



Faculty of Science Ubon Ratchathani University
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

JSSE

Journal of Science and Science Education

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

Vol. 8 No. 2 | July - December 2025

ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 | กรกฎาคม - ธันวาคม 2568



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

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

Journal of Science and Science Education (JSSE)

ISSN 2586-9256 (Print)

ISSN 2697-410X (Online)

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สำนักงาน

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสถลมารค ตำบลเมืองศรีไค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425

โทรสาร 045-353422

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

พิมพ์ที่

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสถลมารค ตำบลเมืองศรีไค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

วันที่พิมพ์ 30 ธันวาคม 2568

ขอคิดเห็นในบทความของวารสารนี้เป็นทัศนะของผู้เขียน
กองบรรณาธิการของวารสารฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (Journal of Science and Science Education: JSSE) หมายเลข ISSN 2586-9256 เป็นวารสารที่จัดทำโดยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่บทความวิจัย (Research articles) หรือบทความวิชาการ (Review articles) ทั้งด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา (ซึ่งหมายรวมถึงเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ศึกษา และคณิตศาสตร์ศึกษา) และด้านวิทยาศาสตร์ (โดยเน้นเป็นวิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ เคมี ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี) ทั้งบทความภาษาไทยและบทความภาษาอังกฤษ โดยลักษณะของบทความที่จะนำเสนอเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน ทั้งนี้ ทุกบทความจะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในแต่ละสาขาวิชา (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน ตั้งแต่วารสารปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เป็นต้นมา ผลงานที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน อนึ่ง วารสาร JSSE จัดอยู่ในกลุ่มสาขาวิชาสังคมศึกษา (Main subject categories: Social Sciences) สาขาวิชาสังคมศึกษา (Subject areas: Social Sciences) และอยู่ในสาขาย่อยด้านการศึกษา (Sub-subject: Education) นอกจากนี้ ยังมีสาขาย่อยเพิ่มเติมอีก 4 สาขาวิชาอยู่ในกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ (Main subject categories: Physical Sciences) ได้แก่ (1) เคมีทั่วไป (2) คอมพิวเตอร์ทั่วไป (3) คณิตศาสตร์ทั่วไป และ (4) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ทั่วไป ทั้งนี้ วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษามีกำหนดเผยแพร่บทความปีละ 2 ฉบับหรือเล่ม โดยเล่มที่ 1 เป็นเผยแพร่บทความระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน และเล่มที่ 2 เผยแพร่บทความระหว่าง กรกฎาคม – ธันวาคม ในกรณีที่มิได้มีการประชุมหรือโอกาสพิเศษของคณะวิทยาศาสตร์และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทางกองบรรณาธิการอาจจะมีการพิจารณาเผยแพร่ฉบับเพิ่มเติม (Supplementary Issue) นอกเหนือจากฉบับปกติเป็นรายกรณีไป

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

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

กำหนดออก

เล่มที่ 1 มกราคม – มิถุนายน ของทุกปี

เล่มที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม ของทุกปี

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

ที่ปรึกษาวารสาร คณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองคณบดีฝ่ายวิจัย นวัตกรรมและวิเทศสัมพันธ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ศักดิ์ศรี สุภาพร

กองบรรณาธิการจากภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ชัย รุ่งตระกูล	มหาวิทยาลัยมหิดล
ศาสตราจารย์ประนอม จันทระโนทัย	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์โกสินทร์ จันทน์ไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์สันติ แม่นศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศาสตราจารย์วินิช พรหมอารักษ์	สถาบันวิทยสิริเมธี
รองศาสตราจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ชาติรี ฝ่ายคำตา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
รองศาสตราจารย์อิสรา ก้านจักร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์พัชรินทร์ ปัญญาธิ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์พรรัตน์ วัฒนกุลวิชัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์สุทธิดา รักกะเปา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์พัทธวัน นาใจแก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทนา จันทะสุรย์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์กฤษา แก้วคง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติกา สระมณีอินทร์	นักวิชาการอิสระ

กองบรรณาธิการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์ปฐม จารุจรัส	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์มะลิวรรณ อมตธงไชย	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์สายันต์ แสงสุวรรณ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์เสนอ ชัยรัมย์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์สุระ วุฒิพรหม	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์วรศักดิ์ สุขบท	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐ ดิษเจริญ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ สืบบุตร	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวิน นามมัน	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ช่อทิพย์ กันทะโชติ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลย์ชัญญาภัท อริยะเชาว์กุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

กองบรรณาธิการจัดการวารสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาวดี หิรัญพงศ์สิน	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิเสลา	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ฝ่ายประสานงานวารสาร นางสาวอมรรัตน์ วัชรสุรีย์ และนางสาววิศัลยา จันทะเกษมสุข

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ

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

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

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

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

คำแนะนำในการเขียนเอกสารอ้างอิง

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

การอ้างอิงจากบทความในวารสารวิชาการ

บทความภาษาอังกฤษ

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

บทความภาษาไทย

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

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษเป็น

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

การอ้างอิงจากบทความในรายงานการประชุมวิชาการ

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

ตัวอย่างบทความภาษาไทย

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

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษได้ดังนี้

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

การอ้างอิงจากหนังสือ

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

ตัวอย่าง

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

การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

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

ตัวอย่างวิทยานิพนธ์ภาษาไทย

อิกมะฮ์ อาแวกะจิ (2558). การพัฒนาความเข้าใจโมเดลวิทยาศาสตร์ เรื่องสมดุลเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบายในชั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษได้ดังนี้

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

การอ้างอิงจากเว็บไซต์

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

ตัวอย่างเว็บไซต์ภาษาไทย

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

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ

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

ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

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



ดาวน์โหลดไฟล์เทมเพลตบทความได้ใน

<https://drive.google.com/open?id=13ODZ6 TaSzzXZV6ElmwxHwyBYQ17ynZQb>



ถ้อยแถลงบรรณาธิการ

ปัจจุบันนี้ นักวิชาการหรือผู้ทำงานในสังคมวิชาการส่วนใหญ่มีภารกิจสำคัญหลายอย่าง และหนึ่งในภารกิจเหล่านั้น คือ การเผยแพร่ผลงานวิชาการในวารสารวิชาการหรือการประชุมวิชาการที่มีการกลั่นกรองผลงานโดยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักวิชาการด้วยกันเองและเพื่อเป็นการเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปที่สนใจได้อ่านและศึกษาตามความสนใจของแต่ละคน ทั้งนี้ ผู้เขียนต้องพึงระวังว่า การอ้างอิงผลงานวิชาการเป็นเรื่องที่ต้องใส่ใจเป็นอย่างยิ่งและต้องอ้างอิงอย่างมีวิจารณญาณและมีจริยธรรม ทั้งนี้ ผู้เขียนจะต้องพิจารณาประเด็นเหล่านี้อย่างถี่ถ้วนก่อนส่งมารับการพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฯ เพื่อป้องกันการคัดลอกผลงานวิชาการ (plagiarism) ทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจได้ และผู้เขียนจะต้องแนบไฟล์ผลการตรวจสอบการลอกเลียนวรรณกรรมทางวิชาการด้วยโปรแกรมอักษราวิสุทธิ ผ่าน <https://app.akarawisut.com/> หรือโปรแกรมตรวจสอบความซ้ำซ้อนอื่น โดยจะต้องมีความซ้ำซ้อนต่ำกว่าร้อยละ 20 ทั้งนี้ กองบรรณาธิการของวารสารฯ ได้มีการตรวจสอบบทความอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนจากหลักวิชาการ การคัดลอกผลงานวิชาการ หรือการกระทำที่ผิดต่อจริยธรรมการวิจัย และบทความเหล่านี้ได้ผ่านการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) จากหลากหลายสถาบันและไม่ได้อยู่ในสังกัดเดียวกับผู้พิมพ์ จำนวน ๓ ท่าน

ทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เล็งเห็นความสำคัญข้างต้น จึงได้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ขึ้นมาเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 8 เล่มที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2568 ซึ่งประกอบด้วยบทความทั้งหมด 15 เรื่อง จำแนกเป็นบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 10 เรื่อง บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ 3 เรื่อง และบทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 เรื่อง

ทั้งนี้ วารสารได้ประกาศอัตราค่าธรรมเนียมการพิจารณาบทความ (Article Processing Charge) บทความละ 1,500 บาท โดยจะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมเฉพาะบทความต้นฉบับที่บรรณาธิการวารสารพิจารณาเบื้องต้นแล้วว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของวารสาร จึงจะส่งต่อไปยังกระบวนการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ โดยจะไม่มี การเรียกเก็บค่าธรรมเนียมสำหรับบทความต้นฉบับที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของวารสาร ทั้งนี้ JSSE จะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมการดำเนินการบทความ ผ่านบัญชี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (คณะวิทยาศาสตร์) เลขที่ 869-3-00127-7 ธนาคารไทยพาณิชย์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2566 เป็นต้นไป ทั้งนี้ การชำระค่าธรรมเนียมการพิจารณาบทความ ไม่ได้เป็นการยืนยันว่าบทความดังกล่าวจะได้รับการเผยแพร่ใน JSSE แต่อย่างใด ดังนั้น บทความที่จะได้รับการเผยแพร่ใน JSSE จะต้องผ่านกระบวนการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิตามปกติ



(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาพร)

หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารฯ

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร	b
กองบรรณาธิการ	c
คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ	d
ถ้อยแถลงบรรณาธิการ	g
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Research Articles in Science Education)	
การสร้างกล่องสุญญากาศความดันต่ำจากกล่องอาหาร : การทดลองกฎของแก๊ส ด้วยเซนเซอร์ไร้สาย จิตรา เกตุแก้ว, สราวุธ คงทอง	327-336
การศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนา หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดวงทอง บุญมาชัย, ปิยธิดา สุภา, อัมพร วัจนะ	190-203
การสร้างเสริมสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานทดแทน ของนักเรียนระดับ มัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ ผ่านบทปฏิบัติการทางไกล วันชัย สีนโพธิ์, ภัทรพร ผลดี, นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์	24-31
การพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วันธร ทองหม่อม, จักรกฤษ กลิ่นเอี่ยม	220-23
การจุดประกายสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ของนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมการสร้าง GIS ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นและแผนที่เชิงสถิติบน Google Colab สุพจน์ สืบบุตร, ขยาพร แก่นสาร	234-249
ผลการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรู้และการรับรู้ความสามารถของตนเองในการนำเสนอ ข้อมูลเชิงสถิติ ผ่านการประยุกต์ใช้ GPT ร่วมกับ Google Colab คณิศา โชติจันทิก, สุพจน์ สืบบุตร	250-261
การพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา ปีที่ 4 ในรายวิชาเคมีผ่านการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D โดยชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ สุวัฒน์ ผาบัจันดา, พรพรรณ สกนธวัฒน์	262-274
การศึกษาความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียน ชั้นประถมศึกษาตอนปลาย วิภา ชัยสวัสดิ์, สุพรรณิการ์ ชนะนิล, พันธิทิพา จุฬากาญจน์, ปิยะธิดา ชนะพันธ์	275-285
การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนหอพักระดับมัธยมศึกษาที่ส่งผลต่อ การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงเรียน กิตติคุณ เขียวสกุล, สวรรินทร์ นิลอุทัย, ธรรมิก ชันทอง	286-299

	หน้า
การใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล: การส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 2	300-313
วุฒิชัย ภูดี; พรทิพย์ เข้มปัญญา, ทศนีย์ นาคำ, ณ์ฐพร เดชทะสอน, สุทธิชัย นาคะอินทร์, อรรถพร วรรณทอง	
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Research Articles in Science)	
ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนสำหรับการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ในน้ำมันพืชใช้แล้ว	314-326
รุ่งอรุณ พิมพ์ปัฐ, ฐิติมา สายวงศ์สอน, จุติธรณ์ เลหาพรชัยพันธ์	
ผลเฉลยของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยรูปแบบแน่นอนและตัวแทนของ A2	337-345
ศราวุธ แสนการุณ, ศักดิ์ดา น้อยนาง, ไพรินทร์ สุวรรณศรี, ระติ โภจรัส	
กำหนดการเชิงเส้นเพื่อการจัดสรรที่ดินและน้ำอย่างเหมาะสม กรณีศึกษา: เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น	346-363
อรอุมา สมัญญา, ระติ โภจรัส, สาวิตรี เทนโสภา, อริศรา ฝอยทอง, ไพรินทร์ สุวรรณศรี, กฤษดา นารอง	
บทความวิชาการทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Academic Article in Science Education)	
ไม่ควรมีพืชใดใดถูกทิ้งไว้ข้างหลัง: ทบทวนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อโลกในวันพรุ่งนี้ ด้วยการปลูกฝังความตระหนักรู้เรื่องพืช	364-376
วิษณุดา นวนิจบำรุง, สมรัก อินทิมลศรี	
แนวทางการบูรณาการใช้เทคโนโลยี iNaturalist ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่เพื่อส่งเสริมความผูกพันกับถิ่นที่อยู่และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน	377-390
ปราโมทย์ ศรีคงคา, พชรดา อินทมา, เอกภูมิ จันท軒ติ	



The Study of Needs of Stakeholders for Develop the quality of Master of Education Program in Teaching Science and Technology

Tuangthong Boonmachai¹, Piyatida Supa^{1,*} and Umporn Wutchana¹

¹*Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University*

**Email: piyatida.s@ru.ac.th*

Received <1 May 2025>; Revised <10 June 2025>; Accepted <13 June 2025>

Abstract

The purpose of this research was to study the needs of stakeholders regarding the development of Master of Education program in Teaching Science and Technology. The findings are intended to guide the improvement and enhancement of the curriculum to ensure its quality and responsiveness to the needs of learners and society. A mixed- methods approach was employed, incorporating both qualitative and quantitative research methods. Data were collected using in-depth interviews and questionnaires from 71 stakeholders. The results revealed that most respondents were science and technology teachers at the primary or secondary education levels working in public institutions. There was a strong demand for a curriculum that integrates scientific content with daily life, incorporates technology in learning management, and promotes analytical thinking and problem-solving skills. Additionally, appropriate characteristics such as social responsibility and adaptability to change were emphasized. The interview results were consistent with the survey findings, with all stakeholder groups highlighting the importance of knowledge and skills necessary for science teachers in the 21st century, particularly science content knowledge, technology integration skills, and learning design. Furthermore, they desired graduates to possess the characteristics of modern teachers who are proactive in adapting and engaging in lifelong learning. In conclusion, the findings of this research demonstrate the diverse and comprehensive needs of stakeholders for the development of the Master of Education Program, which will be highly beneficial for informing the improvement and development of the Master of Education Program in Teaching Science and Technology to ensure its quality and genuine responsiveness to the needs of learners and society.

Keywords: Needs of Stakeholders; Master of Education Program; Teaching Science and Technology

การศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนา หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดวงทอง บุญมาชัย¹ ปิยธิดา สุภา^{1,*} และ อัมพร วัจนะ¹

¹ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

*Email: piyatida.s@ru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาหลักสูตรให้มีคุณภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนและสังคม โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ เครื่องมือในการวิจัยประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์เชิงลึก และแบบสอบถาม โดยมีการสำรวจความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจำนวน 71 คน ผลการวิจัยพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นครูวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สอนในระดับประถมศึกษา หรือมัธยมศึกษาและทำงานในหน่วยงานของรัฐ โดยมีความต้องการหลักสูตรที่เน้นการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับชีวิตประจำวัน การใช้เทคโนโลยีในการจัดการเรียนรู้ การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา รวมถึงส่งเสริมการมีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ เช่น ความรับผิดชอบต่อสังคม และความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง ผลการสัมภาษณ์ยังสอดคล้องกับผลสำรวจจากแบบสอบถาม โดยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกกลุ่มให้ความสำคัญกับความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ทักษะในการใช้เทคโนโลยี การออกแบบการเรียนรู้ นอกจากนี้ ยังต้องการให้บัณฑิตมีคุณลักษณะของความเป็นครูยุคใหม่ ที่มีความกระตือรือร้นในการปรับตัวและเรียนรู้ตลอดชีวิต โดยสรุปแล้ว ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความต้องการที่หลากหลายและครอบคลุมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปปรับปรุงและการพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีคุณภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนและสังคมได้อย่างแท้จริง

คำสำคัญ: ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย; หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต; สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บทนำ

ปัจจุบันการศึกษาวิทยาศาสตร์ได้เผชิญกับการเปลี่ยนแปลงในหลายมิติทั้งในระดับชาติและนานาชาติ เช่น ทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในชีวิตประจำวัน ฯลฯ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความต้องการของตลาดแรงงานในยุคปัจจุบัน ทั้งด้านความรู้ ด้านทักษะ ด้านลักษณะอันพึงประสงค์ รวมถึงด้านสมรรถนะ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบการศึกษาโดยรวมในยุคปัจจุบันเป็นอย่างมาก รวมถึงวิทยาการจัดการเรียนรู้อิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคปัจจุบันนั้น มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ฉะนั้น การพัฒนาหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาจึงจำเป็นต้องสอดคล้องกับความก้าวหน้าทางวิชาการ เทคโนโลยีที่ทันสมัย และความต้องการของตลาดแรงงาน ตลอดจนตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) และนโยบายด้านการศึกษาในระดับชาติและนานาชาติ (United Nations Educational and Cultural, 2017; United Nations Educational and Cultural, 2023) ดังนั้น การปรับปรุงหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พ.ศ. 2569 จากหลักสูตรเดิม พ.ศ. 2564 จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้สามารถผลิตบัณฑิตที่มีสมรรถนะสูง มีทักษะการจัดการเรียนรู้อิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทันต่อการเปลี่ยนแปลง และสามารถแข่งขันได้ในระดับโลก (Office of the Basic Education Commission, 2023)

นอกจากนี้ การพัฒนาหลักสูตรจำเป็นต้องสอดคล้องกับกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2565 โดยดำเนินการภายใต้กรอบแนวคิดการจัดการศึกษาที่เน้นผลลัพธ์การเรียนรู้ (Outcome-Based Education: OBE) ที่เน้นการกำหนดผลลัพธ์ของผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง และการออกแบบการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่คาดหวัง (Yusof *et al.*, 2017) เพื่อเสริมสร้างให้ผู้เรียนเกิดทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต มีสมรรถนะและความสามารถที่จำเป็นตามความต้องการของสังคม อีกทั้ง การพัฒนาหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาตามแนวปฏิบัติการจัดการเรียนรู้แบบ OBE นี้ยังสอดคล้องกับการประเมินคุณภาพหลักสูตรตามเกณฑ์ของเครือข่ายประกันคุณภาพมหาวิทยาลัยอาเซียน (ASEAN University Network Quality Assurance: AUN-QA) ที่มุ่งเน้นการพัฒนาคุณภาพอย่างเป็นระบบ ทั้งด้านโครงสร้างหลักสูตร การจัดการเรียนการสอน บุคลากร การวิจัย และการให้บริการทางวิชาการ (Johnson, 2017) ดังนั้น การพัฒนาหลักสูตรให้สอดคล้องกับเกณฑ์ AUN-QA จะช่วยเสริมสร้างความเชื่อมั่นในคุณภาพการศึกษาของหลักสูตร และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของบัณฑิตในระดับภูมิภาคและระดับโลก

โดยกรอบแนวคิดของการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงหลักสูตรของ OBE และตามแนวทางการประกันคุณภาพการศึกษาตามเกณฑ์ระบบประกันคุณภาพ เครือข่ายของมหาวิทยาลัยระดับหลักสูตร (Program – level AUNQA) จะต้องศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยให้การพัฒนาหลักสูตรมีความสอดคล้องกับความต้องการจริง ทั้งจากภาคการศึกษา ผู้ประกอบการ นักศึกษา ศิษย์เก่า และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะทำให้หลักสูตรที่พัฒนาขึ้นมีความทันสมัย มีคุณภาพ และมีความเหมาะสมกับบริบทของสังคมปัจจุบัน (Siriphokeaw, Senarat and Donkamonkan, 2022) ตอบสนองต่อแนวโน้มการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และทักษะในอนาคต (Darlis and Yolanda, 2021)

ด้วยเหตุนี้ การวิจัยเรื่อง การศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่มีต่อการพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิตจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนทางการปรับปรุงหลักสูตรให้มีคุณภาพมากขึ้นและเป็นไปตามมาตรฐานการอุดมศึกษา แนวทาง OBE ที่สอดคล้องกับเกณฑ์ AUN-QA และสามารถผลิตบัณฑิตที่มีศักยภาพ ตอบสนองต่อความต้องการของประเทศและสังคมโลกได้อย่างแท้จริง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในด้านความรู้ ทักษะ จริยธรรม และลักษณะบุคคล
2. เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าความต้องการและความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยทั้งเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ โดยการสำรวจความ

คิดเห็นด้วยแบบสอบถามและทำการสัมภาษณ์โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งมีโครงสร้าง เพื่อวิเคราะห์ความต้องการ และความคาดหวังของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ซึ่งนำไปสู่การพัฒนา ประเมิน และปรับปรุงแนวทางการเรียนการสอนในหลักสูตร

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย อาจารย์มหาวิทยาลัยในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้บริหารสถานศึกษา นักศึกษาปัจจุบัน ศิษย์เก่า ครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ ผู้ประกอบอาชีพในองค์กรทางการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน และผู้ที่สนใจประกอบอาชีพครู

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้จากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการประสานงานเชิญชวนกลุ่มตัวอย่างให้เข้าร่วมโครงการวิจัย จำนวน 71 คน โดยเคารพต่อความเป็นส่วนตัว ไม่ทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดความอึดอัด ลำบากใจ และให้อิสระในการตัดสินใจเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมโครงการวิจัยของผู้วิจัยได้อย่างเต็มที่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้างที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการสร้างดังนี้

1. แบบสอบถามผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสร้างตามกรอบแนวคิดผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565 ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความรู้ (Knowledge) 2) ด้านทักษะ (Skills) 3) ด้านจริยธรรม (Ethics) และ 4) ด้านลักษณะบุคคล (Character) มาเป็นกรอบแนวคิดในการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (The Commission on Higher Education Standards, 2022) โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้ 1) ศึกษาทฤษฎีแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 2) ศึกษาวัตถุประสงค์กรอบแนวคิดและสมมติฐาน 3) นิยามตัวแปรเพื่อสร้างแบบสำรวจ 4) สร้างแบบสำรวจให้ครอบคลุมตัวแปรตามกรอบแนวคิด แล้วนำไปปรึกษาคณะกรรมการบริหารหลักสูตรเพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และ 5) นำแบบสอบถามที่ผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารหลักสูตรไปปรับปรุงแก้ไข เพื่อนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ และตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ โดยการหาค่าความตรงตามเนื้อหาด้วยการประเมินค่าความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์กับข้อความ (Item Object Congruence: IOC) และคัดเลือกข้อความที่มีค่า IOC มากกว่า 0.5 คะแนน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ทำการประเมินข้อความดังกล่าว โดยได้ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 คะแนน

2. แบบสัมภาษณ์ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เครื่องมือเป็นแบบสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีขั้นตอนในการสร้างดังนี้ 1) ศึกษาทฤษฎีแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ทำการวิจัย 2) ศึกษาวัตถุประสงค์และกรอบแนวคิด 3) นิยามตัวแปรเพื่อสร้างแบบสัมภาษณ์ 4) สร้างแบบสัมภาษณ์ให้ครอบคลุมตัวแปร ตามกรอบแนวคิด แล้วนำไปปรึกษาคณะกรรมการบริหารหลักสูตร เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา 5) นำแบบสัมภาษณ์ที่ผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารหลักสูตรไปปรับปรุงแก้ไขเพื่อนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ โดยมีประเด็นที่ใช้ในการสัมภาษณ์ครอบคลุมตามผลลัพธ์การเรียนรู้ตามมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565 ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ความรู้ ทักษะ จริยธรรม และลักษณะบุคคล แสดงรายละเอียดข้อความดังภาพที่ 1

ตอนที่ 2 ความต้องการเกี่ยวกับหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ประเด็นคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์

1. ท่านคิดว่าความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 มีอะไรบ้าง
2. ท่านคิดว่าเนื้อหารายวิชาในหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควรเป็นอย่างไร

3. ท่านคิดว่าทักษะที่จำเป็นต่อการพัฒนาวิชาชีพครูมีอะไรบ้าง เพราะเหตุใด
4. ท่านคิดว่าลักษณะบัณฑิตหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่พึงประสงค์ควรเป็นอย่างไร

5. ท่านคิดว่าบัณฑิตหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ควรมีการฝึกปฏิบัติการสอนในสถานศึกษาหรือไม่ อย่างไร
6. ท่านคิดว่าความต้องการในการเรียนรู้ของบัณฑิตหลังจบหลักสูตรควรมีการเรียนรู้เพิ่มเติมในเรื่องใด

อีกบ้าง

7. ท่านคิดว่าปัญหา/อุปสรรค ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันเป็นอย่างไร

ภาพที่ 1 ตัวอย่างข้อความคำถามในแบบสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาหลักสูตร

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิทธิพลศาสตร์และเทคโนโลยี ประกอบด้วย อาจารย์มหาวิทยาลัยในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้บริหารสถานศึกษา นักศึกษาปัจจุบัน ศิษย์เก่า ครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ ผู้ประกอบอาชีพในองค์กรทางการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน และผู้ที่สนใจประกอบอาชีพครู โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1. ผู้วิจัยดำเนินการเชิญชวนกลุ่มตัวอย่างให้เข้าร่วมโครงการวิจัย โดยเมื่อเริ่มทำวิจัยได้แจ้งวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยให้กับผู้ร่วมวิจัยและผู้เกี่ยวข้องทราบก่อนเริ่มการดำเนินการวิจัย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเคารพต่อความเป็นส่วนตัว ไม่กระทำการซึ่งละเมิดสิทธิกลุ่มตัวอย่าง เก็บรักษาความลับของข้อมูลส่วนตัวของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย และให้อิสระในการตัดสินใจเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมโครงการวิจัยของผู้วิจัยได้อย่างเต็มที่

2. ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยการนำส่งแบบสอบถามความต้องการจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในรูปแบบออนไลน์ผ่าน google form จำนวน 108 คน ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ได้แบบสอบถามคืนจำนวน 71 ชุด คิดเป็นร้อยละ 65.74 ซึ่งสามารถยอมรับได้ (Malhotra and Grover, 1998) และดำเนินการสัมภาษณ์เชิงลึกกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย จำนวน 7 คน โดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้าง โดยแบ่งกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียให้สัมภาษณ์ออกเป็นผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์จำนวน 2 คน ครูวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 คน อาจารย์มหาวิทยาลัยที่สอนในคณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 1 คน และอาจารย์มหาวิทยาลัยที่สอนในคณะครุศาสตร์หรือศึกษาศาสตร์ จำนวน 1 คน ซึ่งการสัมภาษณ์ดังกล่าวจะมีการบันทึกการสัมภาษณ์โดยผู้วิจัยแจ้งและขออนุญาตกลุ่มเป้าหมายทุกครั้งก่อนการสัมภาษณ์ หากกลุ่มเป้าหมายไม่สะดวกหรือมีความไม่สบายใจในการบันทึกการสัมภาษณ์ กลุ่มเป้าหมายสามารถละเว้นการตอบข้อคำถาม หรือหยุดการให้ข้อมูลแก่ผู้วิจัยได้ทันที

3. เมื่อรวบรวมข้อมูลได้ครบถ้วนตามกำหนดจึงนำไปวิเคราะห์ข้อมูลในลำดับถัดไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับกระบวนการในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามความต้องการจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อหลักสูตรผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าร้อยละ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์ โดยสรุปประเด็นต่าง ๆ จากเอกสาร คำสนทนา และจัดแยกเป็นหมวดหมู่ ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยใช้วิธีวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ 1) การถอดเทปข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์อย่างละเอียด จากนั้นจัดเตรียม ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ และนำข้อมูลเหล่านี้มาช่วยในการวิเคราะห์ 2) การให้รหัสเพื่อจัดหมวดหมู่ข้อมูล 3) การตัดทอนข้อมูลโดยการเขียน ข้อสรุปแต่ละเรื่องเป็นการลดขนาดข้อมูลและช่วยกำจัดข้อมูลที่ไม่ต้องการออกไป และ 4) การนำเสนอข้อมูล โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาสรุปหาข้อเท็จจริง

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คือ ครูวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สอนในระดับประถมศึกษาหรือมัธยมศึกษา คิดเป็นประมาณ 50% ของผู้ตอบทั้งหมด จำนวน 36 คน รองลงมาคือ ศิษย์เก่าคณะศึกษาศาสตร์ คิดเป็นประมาณ 16% จำนวน 11 คน นอกจากนี้ ยังมีผู้ตอบจากกลุ่มอื่น ๆ เช่น อาจารย์มหาวิทยาลัย และ ผู้บริหารสถานศึกษา กลุ่มละประมาณ 8% จำนวนกลุ่มละ 6 คน และกลุ่มอื่น ๆ เช่น นักศึกษาปัจจุบัน ผู้ประกอบอาชีพในองค์กรทางการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน และอื่น ๆ (เช่น ผู้ที่สนใจประกอบอาชีพครู) กลุ่มละประมาณ 6% จำนวนกลุ่มละ 4 คน โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ทำงานในหน่วยงานของรัฐ คิดเป็นประมาณ 70% ในขณะที่ประมาณ 24% ทำงานในหน่วยงานของเอกชน และ 6% ไม่ต้องการระบุประเภทหน่วยงานในด้านเพศ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นหญิง คิดเป็นประมาณ 60% และเป็นชาย ประมาณ 40% เมื่อพิจารณาสถานที่ทำงาน (ภูมิภาค) พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด คิดเป็นประมาณ 30% รองลงมาคือกรุงเทพฯ และปริมณฑล คิดเป็นประมาณ 28% และภาคกลาง คิดเป็นประมาณ 20% ผู้ตอบจากภาคอื่น ๆ ได้แก่ ภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคใต้ มีจำนวนน้อยกว่า (ประมาณ 6-8% ในแต่ละภาค) และมีผู้ตอบจากภูมิภาคอื่น ๆ (เช่น ประเทศลาว) คิดเป็นประมาณ 2% โดยสรุป ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นครูวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สอนในระดับประถมศึกษาหรือมัธยมศึกษา ทำงานในหน่วยงานของรัฐ เป็นผู้หญิง และมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ผลการศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากแบบสอบถาม

จากข้อมูลความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิทธิพลศาสตร์และเทคโนโลยีจากการตอบแบบสอบถาม พบว่า

1) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21

ประเด็นสำคัญที่ใช้ในแบบสอบถามประกอบไปด้วยหลักการและแนวทางการจัดการเรียนรู้หรือการสอนที่เน้นไปที่ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเป้าหมายหลักคือการส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ ความเข้าใจในหลักการและแนวคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการสอนวิทยาศาสตร์ที่มีคุณภาพ ควบคู่ไปกับการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับชีวิตประจำวันและสถานการณ์ปัจจุบัน เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความเกี่ยวข้องและสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย การสร้างแรงจูงใจและการส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน เพื่อกระตุ้นความสนใจและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและสร้างความหลากหลายในการสอน รวมถึงการสร้างและใช้สื่อการสอนที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพ เพื่อดึงดูดความสนใจและส่งเสริมความเข้าใจของผู้เรียน การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการใช้เหตุผล ผ่านการตั้งคำถามและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างมีวิจารณญาณ และการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล นอกจากนี้ ยังเน้นถึงความสามารถในการสื่อสารแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับทั้งผู้สอนและผู้เรียน รวมถึงการทำงานร่วมกับผู้อื่นและสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการทำงานเป็นทีม เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แบบร่วมมือ และสุดท้ายคือการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนโดยใช้วิธีการที่หลากหลาย

โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เห็นว่าความรู้และทักษะที่จำเป็นและครูวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ควรมี คือ การเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับชีวิตประจำวันและสถานการณ์ปัจจุบัน (87.1%) ความเข้าใจในหลักการและแนวคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (82.9%) การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) ในการจัดการเรียนรู้ (82.9%) เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย (78.6%) การสร้างและใช้สื่อการสอนที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพ (78.6%)

2) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านเนื้อหาและรายวิชาที่ควรมีในหลักสูตร

ประเด็นสำคัญที่ใช้ในแบบสอบถามประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ โดยครอบคลุมทั้งเนื้อหาวิทยาศาสตร์ขั้นสูง วิทยาศาสตร์ข้อมูลและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ยังรวมถึงแนวคิดและหลักการจัดการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบัน เช่น ปรัชญาและแนวทางการจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21 หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิธีการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในบริบทที่หลากหลาย การใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการศึกษา การออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนกระบวนการวิจัยและประเมินผลทางการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน ระเบียบวิธีวิจัยทางการสอนวิทยาศาสตร์ และสถิติพื้นฐานสำหรับการวิจัย นอกจากนี้ ยังมีหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เพื่อความยั่งยืน จิตวิทยาการเรียนรู้และการพัฒนาผู้เรียน การสร้างชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ และจริยธรรมและคุณธรรมของความเป็นครู

โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เห็นว่าหลักสูตรควรมีเนื้อหาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในบริบทที่หลากหลาย (77.5%) หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (77.5%) และการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (71.8%) นอกจากนี้ ยังมีความสนใจในเนื้อหาเกี่ยวกับจิตวิทยาการเรียนรู้และการพัฒนาผู้เรียน (69%) เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ วิจัยและประเมินผลการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ จริยธรรมและคุณธรรมของความเป็นครู (69%)

3) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านทักษะที่บัณฑิตควรมีหลังสำเร็จการศึกษา

ประเด็นสำคัญที่ใช้ในแบบสอบถามประกอบด้วย ทักษะที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตและการทำงานในยุคปัจจุบัน โดยเน้นไปที่การพัฒนาศักยภาพของบุคคลในหลากหลายมิติ ทักษะการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง และทักษะการสร้างความรู้จากการปฏิบัติ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการเรียนรู้ตลอดชีวิตและการนำความรู้ไปใช้ได้จริง ต่อมาคือ ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ รวมถึง ทักษะการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับการเผชิญหน้าและจัดการกับความท้าทายต่าง ๆ ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ และความเข้าใจในการใช้เทคโนโลยีในยุคดิจิทัล ในด้านการทำงานและการอยู่ร่วมกันในสังคม ครอบคลุมถึงทักษะความเป็นผู้ประกอบการ ทักษะการอยู่ร่วมกับผู้อื่น ทักษะการทำงานเป็นทีม และทักษะการเจรจาต่อรอง ซึ่งล้วนเป็นทักษะที่ช่วยให้บุคคลสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างราบรื่นและบรรลุเป้าหมายร่วมกัน ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทักษะการสะท้อนการปฏิบัติงาน ซึ่งช่วยให้บุคคลสามารถปรับปรุงและพัฒนาตนเองอยู่เสมอ การปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง และความเข้าใจในตนเองและผู้อื่น ซึ่งเป็นรากฐานของการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีและการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ

โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เห็นว่าบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษา ควรมีทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณและทักษะการแก้ปัญหา (81.7%) ทักษะการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง (80.3%) การปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง (77.5%) ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต (74.6%) และความเข้าใจในตนเองและผู้อื่น (74.6%)

4) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านลักษณะที่พึงประสงค์ของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษา

ประเด็นสำคัญที่ใช้ในแบบสอบถามประกอบด้วย คุณลักษณะและแนวปฏิบัติที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับความรับผิดชอบต่อสังคม การทำงานร่วมกับผู้อื่น และการพัฒนาตนเอง โดยเน้นไปที่บริบทของการเป็นครูหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้อย่างมีความรับผิดชอบต่อชุมชนและสังคม ซึ่งบ่งชี้ถึงความสำคัญของการตระหนักถึงบทบาทและการมีส่วนร่วมในสังคมโดยรวม ควบคู่ไปกับการยอมรับความแตกต่างในสังคม ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ส่งเสริมความเข้าใจและการอยู่ร่วมกันอย่างสงบสุขในสังคมที่มีความหลากหลาย ความอดทนในการทำงานตามวิชาชีพ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับความสำเร็จและความก้าวหน้าในอาชีพใด ๆ รวมถึงการใช้จ่ายอย่างมีเหตุผล ซึ่งสะท้อนถึงความมีวินัยและความรอบคอบในการบริหารจัดการทรัพยากร ในบริบทของการเป็นครูหรือผู้จัดการเรียนรู้อีกหนึ่งมิติคือการมีจิตวิญญาณความเป็นครูและมุ่งมั่นในการพัฒนาผู้เรียน ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการเป็นครูที่ดี นอกจากนี้ ยังให้ความสำคัญกับการมีความเห็นอกเห็นใจและใส่ใจต่อความรู้สึกของผู้เรียน ซึ่งจะนำไปสู่ความเข้าใจและความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างครูและนักเรียน การมีทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้และพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถปรับตัวและพัฒนาตนเองให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ การสามารถสะท้อนการปฏิบัติงานของตนเองและนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงการจัดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ ความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและสังคม ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นอย่างยิ่งในโลกปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

โดยผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับลักษณะที่พึงประสงค์ของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาคือ ความรับผิดชอบต่อชุมชนและสังคม (90.1 %) ความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและสังคม (85.9%) ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นที่ครูในยุคปัจจุบันต้องมีความยืดหยุ่นและพร้อมที่จะเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ การมีจิตวิญญาณความเป็นครูและมุ่งมั่นในการพัฒนาผู้เรียน (80.3%) ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของความเป็นครูที่ดี นอกจากนี้ ยังมีคุณลักษณะอื่น ๆ ที่ได้รับความสนใจ เช่น การยอมรับความแตกต่างในสังคม (80.3%) และ การสะท้อนการปฏิบัติงานของตนเอง (77.5%)

ผลการศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากแบบสัมภาษณ์

จากการศึกษาความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพและเทคโนโลยีจากการสัมภาษณ์ โดยผ่านกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่กระชับและตรงประเด็นมากขึ้น โดยข้อมูลสำคัญที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ครอบคลุมประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

1) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21

ความต้องการที่มีต่อครูวิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบันไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่ความรู้ในเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังรวมถึงทักษะที่หลากหลายซึ่งจำเป็นต่อการจัดการเรียนการสอนและการพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง โดยผู้ให้สัมภาษณ์ทุกกลุ่มตระหนักถึงความสำคัญของ "ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์" ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญที่ครูทุกคนต้องมี ไม่ว่าจะเป็นผู้บริหารสถานศึกษา ศึกษานิเทศก์ ครูวิทยาศาสตร์ หรืออาจารย์มหาวิทยาลัย นอกจากนี้ "ทักษะในการใช้เทคโนโลยี" ก็เป็นอีกหนึ่งความต้องการที่ทุกคนให้ความสำคัญ สะท้อนให้เห็นว่าเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการศึกษาและการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบัน แสดงรายละเอียดดังตาราง 1

2) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านเนื้อหาและรายวิชาที่ควรมีในหลักสูตร

จากผลวิจัย มุมมองเกี่ยวกับเนื้อหาและรายวิชาที่ควรมีในหลักสูตรสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการที่แตกต่างกันไปตามบทบาทและหน้าที่ของแต่ละกลุ่มของผู้ให้ข้อมูล โดยผู้ให้สัมภาษณ์ทุกกลุ่มให้ความสำคัญกับการบูรณาการความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้องกับการสอนวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ คือ "เนื้อหาผนวกกับวิธีสอน" เป็นประเด็นที่ถูกกล่าวถึงในหลายกลุ่ม โดยเฉพาะผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความต้องการที่จะให้ครูมีความรู้ทั้งในเนื้อหาวิทยาศาสตร์และวิธีการสอนที่เหมาะสมกับเนื้อหา นั้น ๆ "การออกแบบการเรียนรู้" เป็นอีกประเด็นที่ถูกเน้นย้ำ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการวางแผนและจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ แสดงรายละเอียดดังตาราง 2

ตาราง 1 ความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21

ผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์	ครูวิทยาศาสตร์	อาจารย์มหาวิทยาลัย (วิทยาศาสตร์)	อาจารย์มหาวิทยาลัย (ครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์)
- ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่สอนและวิธีการสอนที่เหมาะสมกับเนื้อหา (PCK) - ความรู้ในการออกแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ - ความรู้เกี่ยวกับพัฒนาการของเด็กในแต่ละช่วงวัย - ทักษะในการสื่อสาร - ทักษะในการใช้เทคโนโลยี - ทักษะในการทำงานเป็นทีม การเป็นผู้นำและผู้ตาม - ทักษะในการแสวงหาความรู้และแก้ปัญหา	- พื้นฐานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ - จิตสาธารณะ คุณธรรม จริยธรรมในการทำงาน - ความสามารถในการประยุกต์ใช้ AI และเทคโนโลยีดิจิทัล	- ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และศาสตร์การสอน - การบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์และการสอน - ทักษะการใช้เทคโนโลยี AI - ทักษะที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล (การใช้ประโยชน์จาก AI ที่ดีเกิดจากการใส่ข้อมูลที่ดี)	- ความรู้วิชาชีพที่ถนัด - ทักษะเทคโนโลยีที่ทันสมัย - ทักษะสื่อสารเข้าใจง่าย และความรู้ภาษาอื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับวิชาชีพ - ต่อยอดความรู้ทำงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ - จรรยาบรรณวิชาชีพ ความเมตตาคุณธรรม และระเบียบวินัย

ตาราง 2 เนื้อหาและรายวิชาที่ควรมีในหลักสูตร

ผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์	ครูวิทยาศาสตร์	อาจารย์มหาวิทยาลัย (วิทยาศาสตร์)	อาจารย์มหาวิทยาลัย (ครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์)
- ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน - จิตวิทยาการเรียนรู้สำหรับครูวิทยาศาสตร์ - นวัตกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ - การออกแบบการสอนที่เชื่อมโยงกับวัตถุประสงค์วิธีการสอน และการวัดผล	- (ไม่ได้กล่าวถึงโดยตรง แต่มีการเน้นย้ำเรื่องการประยุกต์ใช้ความรู้และเทคโนโลยี)	- เนื้อหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอน - วิชาที่ช่วยให้บัณฑิตมีทักษะทั้ง Upskill เช่น การใช้ประโยชน์จาก AI การทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ด้วย AI - แพลตฟอร์ม บอร์ดเกมและ Reskill เช่น การทำงานเป็นทีม ทักษะการใช้ AI/เทคโนโลยี ทักษะการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์	- ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา วิทยาศาสตร์โลก เทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ (AI IoT Data Science เทคโนโลยีสะอาด) และการเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์กับชีวิตจริงและสังคม - การเรียนรู้แบบบูรณาการ (Active Learning Inquiry-Based Learning Project-Based Learning) - การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน - ภาวะผู้นำทางวิชาการและนวัตกรรมในสถานศึกษา การพัฒนานตนเองอย่างต่อเนื่อง และชุมชนแห่งการเรียนรู้ และจรรยาบรรณวิชาชีพ

3) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านทักษะที่บัณฑิตควรมีหลังสำเร็จการศึกษา

ความต้องการที่มีต่อบัณฑิตที่สำเร็จปริญญาโท พบว่าผู้ให้สัมภาษณ์ทุกกลุ่มตระหนักถึงความสำคัญของทักษะที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนและการพัฒนาผู้เรียน ด้านทักษะในการออกแบบการสอน" ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความต้องการที่จะให้บัณฑิตมีความสามารถในการวางแผนและออกแบบการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ ทักษะในการจัดการเรียนรู้" ก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่ถูกเน้นย้ำ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการชั้นเรียนและกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้เรียนแสดงรายละเอียดดังตาราง 3

ตาราง 3 ทักษะที่บัณฑิตควรมีหลังจบการศึกษา

ผู้บริหารสถานศึกษาและ ศึกษานิเทศก์	ครูวิทยาศาสตร์	อาจารย์มหาวิทยาลัย (สาขาวิทยาศาสตร์)	อาจารย์มหาวิทยาลัย (ครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์)
- ทักษะในการออกแบบการสอน - ทักษะในการจัดการเรียนรู้ - ทักษะในการใช้เทคโนโลยี - ทักษะการสื่อสาร - ทักษะการทำงานเป็นทีม - ภาวะผู้นำ - ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต - ทักษะการแสวงหาความรู้และแก้ปัญหา	- ความกระตือรือร้นในการปรับตัวและทันต่อเหตุการณ์	- ทักษะการสร้างสรรคนวัตกรรม	- ทักษะการออกแบบการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี - ทักษะด้านเทคโนโลยีเพื่อการเรียนรู้ - ทักษะด้านการวิจัยและพัฒนา นวัตกรรมการเรียนรู้ - ทักษะการเป็นผู้นำทางวิชาชีพและชุมชนแห่งการเรียนรู้ - ทักษะด้านการสื่อสารและความเข้าใจผู้เรียน

4) ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรด้านลักษณะที่พึงประสงค์ของบัณฑิตที่จบปริญญาโท

ความต้องการที่มีต่อบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาในสาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ คือ การเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนและการพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีคุณภาพ โดยผู้ให้สัมภาษณ์ทุกกลุ่มให้ความสำคัญกับความเป็นครูยุคใหม่ที่มีความสามารถในการปรับตัวและพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและเทคโนโลยี คือ "การมีความกระตือรือร้นในการปรับตัวและทันต่อเหตุการณ์" ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการที่จะให้บัณฑิตมีความพร้อมที่จะเรียนรู้และพัฒนาตนเองอยู่เสมอ มี "ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต (ไม่หยุดพัฒนาตนเองและค้นคว้าต่อยอดได้)" ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเป็นผู้เรียนรู้ตลอดชีวิตเพื่อสร้างสรรค์และเผยแพร่องค์ความรู้ใหม่ ๆ "เป็นครูยุคใหม่ที่มีความรู้ลึกทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ความสามารถในการจัดการเรียนรู้ที่สร้างสรรค์ เป็นผู้นำทางวิชาชีพ ยึดมั่นในจริยธรรมและใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาผู้เรียนในโลกยุคใหม่" ซึ่งเป็นการสรุปรวมคุณลักษณะที่สำคัญของครูวิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบัน

ตาราง 4 ลักษณะที่พึงประสงค์ของบัณฑิตที่จบปริญญาโท

ผู้บริหารสถานศึกษาและ ศึกษานิเทศก์	ครูวิทยาศาสตร์	อาจารย์มหาวิทยาลัย (วิทยาศาสตร์)	อาจารย์มหาวิทยาลัย (ครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์)
- เป็นผู้นำการเปลี่ยนแปลง - มีความรู้ที่กว้างกว่าครูที่จบปริญญาตรี - สามารถสร้างนวัตกรรม ทำวิจัย และสอนที่ไม่เหมือนแบบเดิมได้ - เป็นที่พึ่งและที่ปรึกษาได้ - มีความพร้อมรับการเปลี่ยนแปลง	- ความกระตือรือร้นในการปรับตัวและทันต่อเหตุการณ์	- ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต (ไม่หยุดพัฒนาตนเอง ค้นคว้าต่อยอดได้)	- เป็นครูยุคใหม่ที่มีความรู้ลึกทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ความสามารถในการจัดการเรียนรู้ที่สร้างสรรค์ เป็นผู้นำทางวิชาชีพ ยึดมั่นในจริยธรรม และใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาผู้เรียนในโลกยุคใหม่

5) ปัญหาและอุปสรรคในการสอนวิทยาศาสตร์

ความท้าทายที่หลากหลายในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยตรงไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่ด้านผู้เรียนหรือครูเท่านั้น แต่ยังรวมถึงปัจจัยด้านผู้บริหาร ทรัพยากร และระบบสนับสนุนต่าง ๆ โดยผู้ให้สัมภาษณ์เน้นถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรและวิธีการสอน เช่น "ขาดแคลนสื่อและอุปกรณ์เทคโนโลยี" ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการมีทรัพยากรที่เพียงพอและเหมาะสมเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ "ครูส่วนใหญ่สอนโดยยึดหนังสือเป็นหลัก" เป็นปัญหาที่ถูกระบุโดยผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ แสดงให้

เห็นถึงความต้องการให้ครูมีความหลากหลายในการจัดการเรียนการสอนมากกว่าการพึ่งพาหนังสือเรียนเพียงอย่างเดียว แสดงรายละเอียดดังตาราง 5

ตาราง 5 ปัญหาและอุปสรรคในการสอนวิทยาศาสตร์

ผู้บริหารสถานศึกษาและ ศึกษานิเทศก์	ครูวิทยาศาสตร์	อาจารย์มหาวิทยาลัย (วิทยาศาสตร์)	อาจารย์มหาวิทยาลัย (ครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์)
- ขาดความหลากหลายของครุวิทยาศาสตร์ในโรงเรียน (โดยเฉพาะโรงเรียนขนาดเล็ก) - ขาดแคลนสื่อและอุปกรณ์เทคโนโลยี - ครูส่วนใหญ่สอนโดยยึดหนังสือเป็นหลัก - ครูบางส่วนขาดความรู้ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้	- การลงมือปฏิบัติในโรงเรียนประจำ ยังไม่มากพอ (ขึ้นอยู่กับตัวบุคคล หลักสูตร และเวลา) - ภาระงานของครูในโรงเรียนขนาดกลางมีมากเมื่อเทียบกับจำนวนบุคลากร - ครูต้องสอนวิชาที่ไม่ถนัด - ปัญหานักเรียนส่วนหนึ่งมาจากชุมชน ครอบครัว และผู้ปกครอง	- โรงเรียนขนาดใหญ่มีความพร้อม แต่โรงเรียนขนาดเล็กมีข้อจำกัดด้านครูและทรัพยากร ทำให้การเรียนรู้อาจารย์มหาวิทยาลัยต้องพึ่งพาหนังสือและการทดลองน้อย	- ด้านผู้เรียน ครู ผู้บริหาร ทรัพยากร และระบบสนับสนุน ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยตรง

6) ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผู้ให้สัมภาษณ์ได้ให้ข้อเสนอแนะที่หลากหลายในการปรับปรุงและพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนและสังคมในปัจจุบัน โดยข้อเสนอแนะเหล่านี้ครอบคลุมการปรับปรุงวิธีการสอนหรือเนื้อหา การพัฒนาครู การใช้เทคโนโลยี และการสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยผู้ให้สัมภาษณ์เน้นถึงความสำคัญของการพัฒนาครูและการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีในการจัดการเรียนการสอน เช่น การพัฒนาครูอย่างเป็นระบบ เป็นข้อเสนอแนะที่ถูกกล่าวถึงโดยผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการที่จะให้มีการสนับสนุนและพัฒนาครูอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ครูมีความรู้และทักษะที่ทันสมัยในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ การส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการสอน เป็นอีกข้อเสนอแนะที่ถูกเน้นย้ำโดยผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ และอาจารย์มหาวิทยาลัย (ครุศาสตร์/ศึกษาศาสตร์) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อเพิ่มความน่าสนใจและประสิทธิภาพในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งแต่ละกลุ่มของผู้ให้สัมภาษณ์ได้เน้นย้ำถึงข้อเสนอแนะที่เฉพาะเจาะจงตามบทบาทและหน้าที่ของตนเอง โดยผู้บริหารสถานศึกษาและศึกษานิเทศก์ให้ความสำคัญกับการพัฒนาครูในด้านจิตวิทยาความเป็นครู จรรยาบรรณ และความเป็นครู รวมถึงการฝึกการออกแบบการสอนที่เชื่อมโยงกับองค์ประกอบต่าง ๆ และการเตรียมครูให้พร้อมรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการที่จะให้ครูมีความพร้อมทั้งในด้านความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะที่เหมาะสมกับการเป็นครุวิทยาศาสตร์ และครุวิทยาศาสตร์ เน้นที่ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการฝึกประสบการณ์สอนสำหรับคนที่ยังไม่มีประสบการณ์ และการเพิ่มกิจกรรมที่ส่งเสริมการทำเพื่อสังคมในหลักสูตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความต้องการที่จะให้มีการเตรียมความพร้อมในการเป็นครูและการส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับสังคม

อภิปรายผลการวิจัย

ความต้องการผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านความรู้แสดงให้เห็นว่า ความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับครุวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ควรมีคือ การเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับชีวิตประจำวันและสถานการณ์ปัจจุบัน ความเข้าใจในหลักการและแนวคิดพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) ในการจัดการเรียนรู้ เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย การสร้างและใช้สื่อการสอนที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผู้ให้สัมภาษณ์ทุกกลุ่มยังตระหนักถึงความสำคัญของ "ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์" และ "ทักษะในการใช้เทคโนโลยี" ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการศึกษาและการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบัน ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานของ Bakri *et al.* (2021) ที่พบว่าครุควรมีความสามารถในการผลิตสื่อด้วยเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มคุณภาพการเรียนรู้ จะมีส่วนช่วยแก้ไขปัญหานี้ในชั้นเรียนได้

จากการศึกษาความต้องการผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีด้านทักษะ พบว่าบัณฑิตควรมีทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ทักษะการแก้ปัญหา และการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง (81.4%) มากที่สุดในระดับที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากทักษะดังกล่าวเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 เพื่อให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของเทคโนโลยีและสังคมได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Caratozzolo *et al.* (2024) ที่รายงานผลการศึกษาความจำเป็นในการเตรียมความพร้อมสำหรับแรงงานในอนาคตจากองค์กรระหว่างประเทศ เช่น OECD และ World Economic Forum (WEF) ว่าการเรียนรู้ที่มีคุณภาพควรพัฒนาทักษะดังกล่าวให้กับผู้เรียนได้ ซึ่งผู้ให้สัมภาษณ์ทุกกลุ่มก็ตระหนักถึงความสำคัญของทักษะที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนและการพัฒนาผู้เรียนนี้ โดยเฉพาะ "ทักษะในการออกแบบการสอน" และ "ทักษะในการจัดการเรียนรู้" ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการที่จะให้บัณฑิตมีความสามารถในการวางแผนและออกแบบการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการจัดการชั้นเรียนและกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้เรียน (Petko, Mishra and Koehler, 2025) ซึ่งจากความต้องการผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อการพัฒนาคุณภาพหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยีด้านลักษณะบุคคลของบัณฑิตหลังสำเร็จการศึกษา พบว่าบัณฑิตควรมีความรับผิดชอบต่อชุมชนและสังคม (88.1%) มากที่สุด รองลงมาคือความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและสังคม (84.7%) รองลงมาคือ การมีจิตวิญญาณความเป็นครูและมุ่งมั่นในการพัฒนาผู้เรียน (81.4%) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากการสัมภาษณ์ที่ให้ความสำคัญกับความเป็นครูยุคใหม่ที่มีความสามารถในการปรับตัวและพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมและเทคโนโลยี โดยมีความกระตือรือร้นในการปรับตัวและทันต่อเหตุการณ์ มีทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต และมีความรู้ความสามารถในการจัดการเรียนรู้ที่สร้างสรรค์ เป็นผู้นำทางวิชาชีพ ยึดมั่นในจริยธรรมและสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งสอดคล้องกับ Kwok (2021) ที่ได้พบว่าลักษณะที่พึงประสงค์ของนักศึกษาครูควรมีจริยธรรมสำหรับครูและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้อย่างเป็นมืออาชีพ

และผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เห็นว่าหลักสูตรควรให้ความสำคัญกับเนื้อหาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ ในบริบทที่หลากหลาย การบูรณาการความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้องกับการสอนวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ รวมถึงจิตวิทยาการเรียนรู้และพัฒนาผู้เรียน เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและประเมินผลการศึกษาวิทยาศาสตร์ จริยธรรมและคุณธรรมของความเป็นครู นอกจากนี้ ยังเห็นว่าบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาศาสตรมหาบัณฑิตควรมีทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ทักษะการแก้ปัญหา และการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง ทักษะการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต และความเข้าใจในตนเองและผู้อื่น ตลอดจนมีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ เช่น ความรับผิดชอบต่อชุมชนและสังคม ความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและสังคม การมีจิตวิญญาณความเป็นครูและมุ่งมั่นในการพัฒนาผู้เรียน

จากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาหลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการจัดการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์และเทคโนโลยี ยังพบว่าอุปสรรคปัญหาการจัดการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีสาเหตุมาจากการขาดแคลนสื่อและอุปกรณ์เทคโนโลยีที่ทันสมัย และการที่ครูส่วนใหญ่สอนโดยยึดเนื้อหาในหนังสือเรียนเป็นหลัก ซึ่งสอดคล้องกับ Faikhamta (2013) และ Albarra Shidiq, Promkaew and Faikhamta (2022) ที่ให้ความคิดเห็นว่าการจัดการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์ควรสอนให้เห็นธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และผนวกวิธีสอนที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นในการสนับสนุนด้านทรัพยากรและส่งเสริมให้ครูมีความหลากหลายในการจัดการเรียนการสอนมากขึ้น จากผลการวิจัยดังกล่าวผู้ให้สัมภาษณ์ได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงและพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ การพัฒนาครูอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง การส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการสอน การฝึกประสบการณ์สอนสำหรับผู้ที่ยังไม่มีประสบการณ์ และการเพิ่มกิจกรรมที่ส่งเสริมการทำเพื่อสังคมให้กับนักศึกษาในหลักสูตรให้มากขึ้น

แนวทางการปรับปรุงและพัฒนาหลักสูตร

จากข้อมูลความต้องการผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลุ่มต่าง ๆ ที่ได้จากการสอบถามและสัมภาษณ์ความคิดเห็น สามารถแบ่งประเด็นแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาหลักสูตร โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความรู้และทักษะ

ความรู้ที่ควรเน้น ได้แก่ ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์และวิธีการสอน (PCK) พื้นฐานความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความรู้วิชาชีพที่ถนัด การบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์และการสอน

ทักษะที่ควรเน้น ได้แก่ ทักษะการจัดการเรียนรู้ ทักษะการใช้เทคโนโลยีและ AI ทักษะการสื่อสาร ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ทักษะการแก้ปัญหาและการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง ทักษะการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต

แนวทางการพัฒนา คือ บูรณาการความรู้และทักษะโดยออกแบบหลักสูตรที่บูรณาการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์กับทักษะการสอนและการใช้เทคโนโลยี เพื่อให้บัณฑิตสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เน้นการปฏิบัติโดยจัดให้มีกิจกรรมที่เน้นการฝึกปฏิบัติจริง เช่น การฝึกประสบการณ์สอน การปฏิบัติการในชั้นเรียน และการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน ส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิตโดยพัฒนาทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเองและการแสวงหาความรู้ใหม่ ๆ เพื่อให้บัณฑิตสามารถพัฒนาตนเองได้อย่างต่อเนื่อง และพัฒนาทักษะด้านเทคโนโลยีโดยส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีและ AI ในการจัดการเรียนรู้ การสร้างสื่อการเรียนรู้ และการประเมินผล

2. เนื้อหารายวิชา

รายวิชาที่ควรมีประกอบด้วย การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในบริบทที่หลากหลาย หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน จิตวิทยาการเรียนรู้และพัฒนาผู้เรียน เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการศึกษาวิทยาศาสตร์ วิจัยและประเมินผลการศึกษาวิทยาศาสตร์ จริยธรรมและคุณธรรมของความเป็นครู การออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบดิจิทัล การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เพื่อความยั่งยืน

แนวทางการพัฒนา ได้แก่ ปรับปรุงเนื้อหาให้ทันสมัย ปรับปรุงเนื้อหาวิชาให้สอดคล้องกับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และความต้องการของสังคม เพิ่มความหลากหลายของเนื้อหา จัดให้มีรายวิชาที่หลากหลายและครอบคลุมประเด็นสำคัญในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เน้นการบูรณาการ ส่งเสริมการบูรณาการเนื้อหาจากศาสตร์ต่าง ๆ เพื่อให้บัณฑิตสามารถจัดการเรียนรู้ได้อย่างรอบด้าน พัฒนาสื่อการเรียนรู้ ส่งเสริมการสร้างสรรค์สื่อการเรียนรู้ในรูปแบบดิจิทัลที่เหมาะสมกับความสนใจของผู้เรียน

3. ทักษะของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษา

ทักษะที่ควรมี ได้แก่ ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ทักษะการแก้ปัญหาและการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง ทักษะการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิต ความเข้าใจในตนเองและผู้อื่น ทักษะการอยู่ร่วมกับผู้อื่นและการทำงานเป็นทีม ทักษะด้านดิจิทัล ทักษะการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ทักษะการสร้างความรู้ในการปฏิบัติและการสะท้อนการปฏิบัติงาน

แนวทางการพัฒนา คือ ส่งเสริมการพัฒนาทักษะโดยจัดกิจกรรมและโครงการที่ส่งเสริมการพัฒนาทักษะที่จำเป็นสำหรับบัณฑิต เช่น การทำโครงงาน การนำเสนอผลงาน และการทำงานกลุ่ม สร้างโอกาสในการเรียนรู้โดยจัดให้มีกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้บัณฑิตได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง เช่น การฝึกงาน การศึกษาดูงาน และการเข้าร่วมชุมชนแห่งการเรียนรู้วิชาชีพ และประเมินทักษะของบัณฑิตอย่างรอบด้านโดยใช้เครื่องมือและวิธีการประเมินที่หลากหลาย

4. จริยธรรมและลักษณะบุคคล

คุณลักษณะที่ควรมี ได้แก่ ความรับผิดชอบต่อชุมชนและสังคม ความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและสังคม การมีจิตวิญญาณความเป็นครูและมุ่งมั่นในการพัฒนาผู้เรียน การยอมรับความแตกต่างในสังคม การสะท้อนการปฏิบัติงานของตนเอง ความเห็นอกเห็นใจและใส่ใจต่อความรู้สึกของผู้เรียน ความอดทนในการทำงานตามวิชาชีพ

แนวทางการพัฒนา ได้แก่ ปลูกฝังคุณธรรมและจริยธรรมโดยสอดแทรกเนื้อหาเกี่ยวกับคุณธรรม จริยธรรม และจิตสำนึกที่ดีในการจัดการเรียนการสอน ส่งเสริมความเป็นครูโดยสร้างบรรยากาศที่ส่งเสริมความเป็นครูและสร้างแรงบันดาลใจในการพัฒนาผู้เรียน พัฒนาทักษะทางสังคมและอารมณ์โดยจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมการพัฒนาทักษะทางสังคมและอารมณ์ เช่น การสื่อสาร การทำงานร่วมกับผู้อื่น และการจัดการอารมณ์ และส่งเสริมการสะท้อนการปฏิบัติงานโดยสนับสนุนให้บัณฑิตสะท้อนการปฏิบัติงานของตนเองอย่างสม่ำเสมอเพื่อพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง

โดยมีแนวทางในการจัดการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่นและสอดคล้องกับความแตกต่างของผู้เรียน การจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่หลากหลาย การจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาการศึกษา การสร้างความสัมพันธ์ที่ดีกับผู้เรียน การสื่อสารอย่างสร้างสรรค์และมีปฏิสัมพันธ์ การจัดการชั้นเรียนเชิงบวก การประเมินผลการเรียนรู้ที่หลากหลาย

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้สรุปผลได้ว่า ความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อหลักสูตรทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความรู้และทักษะของครูวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ที่ควรมีความสามารถในการเชื่อมโยงเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวันและเหตุการณ์ปัจจุบัน โดยเน้นย้ำถึงความสำคัญของความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการสอนและการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ 2) ด้านเนื้อหาและรายวิชา หลักสูตรควรมีการกำหนดรายวิชาที่ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ในบริบทที่หลากหลายและทันสมัย 3) ด้านทักษะของบัณฑิต เห็นว่าบัณฑิตควรมีทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลต่อการออกแบบการสอนและการ

พัฒนาผู้เรียนผ่านการบูรณาการความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้องกับการสอนวิทยาศาสตร์ 4) ด้านลักษณะบุคคลที่พึงประสงค์ ทางหลักสูตรควรให้ความสำคัญกับความรับผิดชอบต่อชุมชนและสังคม และความสามารถในการปรับตัว การพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง และการเรียนรู้ตลอดชีวิตของบัณฑิต โดยการพัฒนาศูนย์กลางศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาการจัดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาทั้งความรู้ ทักษะ จริยธรรม ลักษณะบุคคล และการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลายเพื่อผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพและสามารถตอบสนองความต้องการของสังคมได้

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังระบุถึงปัญหาและอุปสรรคในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งรวมถึงข้อจำกัดด้านการบริหารจัดการ ทรัพยากร การจัดการเรียนการสอน ระบบสนับสนุน การพัฒนาทางวิชาชีพ โดยเฉพาะในด้านจิตวิทยาครู จรรยาบรรณวิชาชีพ และการออกแบบการสอนที่บูรณาการความรู้กับสถานการณ์จริง ดังนั้นหลักสูตรควรส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่นและสอดคล้องกับความแตกต่างของผู้เรียน รวมถึงการใช้เทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และเตรียมครูให้พร้อมสำหรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ควรมีการวิจัยเพื่อศึกษากลุ่มผู้มีส่วนได้เสียในกลุ่มอื่น ๆ เช่น อาจารย์ประจำหลักสูตร อาจารย์ผู้สอน นักเรียน ผู้สมัครเข้าสอบสัมภาษณ์ในหลักสูตร และกลุ่มผู้ปกครอง เพื่อพัฒนาศูนย์กลางให้มีคุณภาพ และให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
2. ควรมีการศึกษาผลกระทบของการใช้หลักสูตรที่พัฒนาขึ้นต่อผลลัพธ์การเรียนรู้ของผู้เรียนในระยะยาว เพื่อประเมินประสิทธิภาพของหลักสูตรและนำไปสู่การปรับปรุงอย่างยั่งยืน

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยทางสาขาสังคมศาสตร์ ซึ่งเป็นการศึกษาวิจัยในมนุษย์ จึงจำเป็นต้องระมัดระวัง และมีความละเอียดรอบคอบในการดำเนินการทำวิจัย ผู้วิจัยได้ปฏิบัติตามหลักจริยธรรมการทำวิจัยในคนทั่วไป (Belmont Report) ประกอบด้วยหลักสำคัญ 3 ประการ ได้แก่

1. หลักความเคารพในบุคคล การเคารพในศักดิ์ศรีความเป็นมนุษย์ (Respect for human dignity) ก่อนดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ขออนุญาตผู้เข้าร่วมวิจัยพร้อมทั้งชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยให้กับผู้ร่วมวิจัยและผู้เกี่ยวข้องทราบก่อนเริ่มการดำเนินการวิจัย ไม่กระทำการซึ่งละเมิดสิทธิกลุ่มตัวอย่าง เคารพในความเป็นส่วนตัว และเก็บรักษาความลับของข้อมูลส่วนตัวของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
2. หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย (Beneficence) ในการวิจัยครั้งนี้แจ้งให้ผู้ร่วมวิจัยทราบว่า จะได้รับประโยชน์หรือไม่ ประโยชน์อะไร หรือประโยชน์อื่น ๆ อาจเกิดความเสี่ยงอะไรต่อตัวผู้ร่วมวิจัย ข้อมูลที่ได้จะเก็บเป็นความลับ ชื่อที่ใช้ในงานวิจัยจะเป็นนามสมมติ และในการตีความหมายข้อมูลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์ ไม่มีการระบุตัวตนในการรายงานผลการวิจัย เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้เกี่ยวข้องภายหลังการวิจัย
3. หลักความยุติธรรม (Justice) ผู้วิจัยเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัยโดยการสมัครใจ มีเกณฑ์การคัดเลือกและออกชัดเจน ไม่มีอคติ มีการกระจายประโยชน์ และความเสี่ยงอย่างเท่าเทียมกัน

References

- Albarra Shidiq, G., Promkaew, S. and Faikhamta, C. (2022). Trends of competencies in teacher education from 2015 to 2020: A Systematic Review Analysis. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 43(1), 257-264.
- Bakri, F., Permana, H., Fitriani, W., Ambarwulan, D. and Mulyati, D. (2021). The development of 21st century skills and competence in service teacher through TPACK training workshop. *The 9th National Physics Seminar 2020* (pp.1-5). Jakarta State University: Jakarta.
- Caratozzolo, P., Cukierman, U., Nørgaard, B., Schrey-Niemenmaa, K., Azofeifa, J. D. and Rueda-Castro, V. (2024). Future skills forecasting: ensuring quality learning for every segment of the workforce. *EDUCON 2024 - IEEE Global Engineering Education Conference Proceedings* (pp.1-5). Mexico: Institute for the Future of Education, Tecnologico de Monterrey.
- Darlis, V. and Yolanda, D. R. (2021). Development of Monitor and Evaluation System of Learning Process Towards ASEAN University Network-Quality Assurance Criteria. *The 3rd International Conference on*

- Educational Development and Quality Assurance (ICED-QA 2020)** (pp.1-5). Greece: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Faikhamta, C. (2013). The development of in-service science teachers' understandings of and orientations to teaching the nature of science within a PCK-based NOS course. **Research in science education**, 43, 847-869.
- Johnson, O. C. B. (2017). The impact of ASEAN university network-quality assurance (AUN-QA) assessment on the quality of educational programmes. In **Theory and practice of quality and reliability engineering in Asia industry** (pp. 87-97). Springer.
- Kwok, A. (2021). Pre-service teachers' classroom management beliefs and associated teacher characteristics. **Educational Studies**, 47(5), 609-626.
- Malhotra, M. K. and Grover, V. (1998). An assessment of survey research in POM: from constructs to theory. **Journal of operations management**, 16(4), 407-425.
- Office of the Basic Education Commission. (2023). List of schools in the offices of the Office of the Basic Education Commission. Retrieved 3 March 2025, from **Bopp**: http://www.bopp.go.th/?page_id=878
- Petko, D., Mishra, P. and Koehler, M. J. (2025). TPACK in context: an updated model. **Computers and Education Open**, 100244.
- Siriphokeaw, W., Senarat, S. and Donkamonkan, T. (2022). Comparison of internal assurance criteria to quality assurance criteria ASEAN University Network (Comparison of IQA and AUN-QA Assurance). **Journal of Modern Learning Development**, 7(7), 474-489.
- The Commission on Higher Education Standards. (2022). Details of Learning Outcomes Based on the Higher Education Qualifications Framework Standard B.E. 2565 (2022). Retrieved 26 March 2025, from **Edu**: <https://www.ops.go.th/th/e-book/edu-standard/item/6940-2022-07-22-02-54-49>
- United Nation Educational and Cultural. (2017). Education for Sustainable Development Goals Learning Objectives. Retrieved 3 March 2025, from **Unesdoc**: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>
- United Nation Educational and Cultural. (2023). Greening Education Partnership. Retrieved 3 March 2025, from **Unesco**: <https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education/greening-future>
- Yusof, R., Othman, N., Norwani, N. M., Ahmad, N. L. B. and Jalil, N. B. A. (2017). Implementation of outcome-based education (OBE) in accounting programme in higher education. **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences**, 7(6), 1186-1200.



Fostering Secondary School Students' Scientific Explanation Competency on Renewable Energy Using Inquiry-based Remote Laboratory Learning

Wanchai Sinpho¹, Phattaraporn Pondee¹ and Niwat Srisawasdi^{1,2*}

¹Faculty of Education, Khon Kaen University, Khon Kaen

²Digital Education and Learning Engineering Association, Nonthaburi

*Email: niwsri@kku.ac.th

Received <17 Mar. 2025>; Revised <11 Jun. 2025>; Accepted <16 Jun. 2025>

Abstract

Science education plays a crucial role in developing students' ability to apply scientific knowledge, reason critically, and solve real-world problems. This classroom-based study explores the development of scientific explanation competency among twenty-five eleventh-grade students through a remote hands-on laboratory learning approach, integrating sensor technology and interactive simulations within an inquiry-based physics class on renewable energy. Conducted as a pre-experimental research design at a public secondary school in northeastern Thailand, the research examines students' abilities to construct claims, use evidence, and apply reasoning before and after engaging in remote physics experiments. Students interacted with real-time sensor data and dynamic simulations to analyze energy transformations. Descriptive statistics, including mean and standard deviation, were used, and a paired-samples t-test assessed pre- and post-learning differences in scientific explanation abilities. Results show a statistically significant improvement ($p < .05$) in students' overall competency, with notable gains in claims, evidence, and reasoning. The findings suggest that inquiry-based remote laboratory learning with sensor technology and interactive simulations effectively supports students in constructing well-reasoned scientific explanations. This study underscores the potential of technology-enhanced remote experimentation to enhance students' engagement, accessibility to laboratory experiences, and deeper scientific understanding. Future research should explore the long-term impacts of inquiry-based remote laboratory learning and compare different instructional strategies to maximize students' scientific explanation competency in school science.

Keywords: Remote laboratory; Inquiry-based learning; Scientific explanation; Sensor technology; Interactive simulation

การสร้างเสริมสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานทดแทน ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ ผ่านบทปฏิบัติการทางไกล

วันชัย สีนโพธิ์¹ ภัทรพร ผลดี¹ และ นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์^{1,2*}

¹คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น

²สมาคมการศึกษาดิจิทัลและวิศวกรรมการเรียนรู้ นนทบุรี

*Email: niwsri@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ และการแก้ปัญหาในสถานการณ์จริง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 25 คน ที่ได้รับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล เรื่อง พลังงานทดแทน โดยการศึกษาใช้รูปแบบการวิจัยแบบยังไม่เข้าขั้นการทดลองและดำเนินการที่โรงเรียนมัธยมศึกษาของรัฐแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อศึกษาความสามารถของนักเรียนในการสร้างคำกล่าวอ้าง การใช้ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผลทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบดังกล่าว วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์ Paired-Samples t-test เพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการเรียนรู้ ผลการศึกษาพบว่า สมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนพัฒนาขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 โดยมีคะแนนที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในองค์ประกอบด้านคำกล่าวอ้าง ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้สนับสนุนว่าการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลสามารถส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นแล้วการศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่าการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลสามารถพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยเป็นการเพิ่มโอกาสการเข้าถึงการทดลองทางวิทยาศาสตร์และกระตุ้นการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้นได้ ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยในอนาคตเพื่อศึกษาผลกระทบระยะยาวของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล และเปรียบเทียบแนวทางการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวในเงื่อนไขที่ต่างกันไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับโรงเรียน

คำสำคัญ: บทปฏิบัติการทางไกล; การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ; การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์; เทคโนโลยีเซ็นเซอร์; สถานการณ์จำลองแบบมีปฏิสัมพันธ์

บทนำ

ในปัจจุบัน การจัดการศึกษาในหลายประเทศทั่วโลกเผชิญกับปัจจัยภายนอกที่หลากหลายและท้าทายอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทของประเทศไทยที่กำลังเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงจากโลกยุคใหม่ซึ่งอยู่ภายใต้บริบทของ VUCA World ที่ประกอบด้วยความผันผวน (Volatility) ความไม่แน่นอน (Uncertainty) ความซับซ้อน (Complexity) และความคลุมเครือ (Ambiguity) สถานการณ์เหล่านี้ส่งผลให้ระบบการศึกษาจำเป็นต้องปรับตัวอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในทุกมิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Rangubtook, 2020) กรณีสถานการณ์ผลกระทบภายนอกที่ชัดเจนนั้น ตัวอย่างเช่น การต้องจัดการศึกษาในสถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 เป็นต้น โดยตามรายงานของ UNESCO (2021) โรงเรียนจำเป็นต้องเปลี่ยนมาใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์ เป็นการสร้างความท้าทายด้านการเข้าถึงเทคโนโลยี ความเท่าเทียม และแรงจูงใจในการเรียนรู้ ทั้งนักเรียนและครูต้องปรับตัวเพื่อใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมการสอนเพื่อให้สอดคล้องกับการเรียนรู้ในยุคดิจิทัล นอกจากนี้ในมิติความก้าวหน้าในวิทยาการและองค์ความรู้สมัยใหม่แล้วนั้น การจัดการเรียนรู้ในยุคปัจจุบันยังต้องสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงและความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อม เพื่อจะได้เป็นการพัฒนาศักยภาพของคนในชาติและให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศได้ อย่างที่ทราบกันเป็นอย่างดีว่าวิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันและการประกอบอาชีพ รวมถึงการสร้างสรรคเทคโนโลยีและสิ่งประดิษฐ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวก วิทยาศาสตร์ส่งเสริมทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ การคิดวิเคราะห์และสร้างสรรค์ พร้อมทั้งพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการตัดสินใจที่มีเหตุผล ในโลกสมัยใหม่ที่เป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ ทุกคนจึงจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาชีวิตและสังคมอย่างยั่งยืน และสร้างสรรค์ (Ministry of Education, 2017) การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ (Inquiry-based science learning) เป็นแนวทางที่เน้นให้นักเรียนได้สำรวจตรวจสอบอย่างเป็นวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการตั้งคำถาม การทดลอง การสังเกต และการอธิบายผลอย่างมีหลักฐานรองรับ (National Research Council, 2000) การประยุกต์แนวทางดังกล่าวกับการเรียนรู้ทางไกล โดยเฉพาะในสถานการณ์ COVID-19 จึงเกิดเป็นรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล ซึ่งผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น การใช้ Sensor, ซอฟต์แวร์วิเคราะห์กราฟ และสถานการณ์จำลอง (Kularatne *et al.*, 2021) เพื่อให้นักเรียนยังคงมีปฏิสัมพันธ์กับกระบวนการทดลองเสมือนจริง และสามารถอธิบายผลลัพธ์ทางวิทยาศาสตร์อย่างมีเหตุผล

การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์เป็นสมรรถนะสำคัญในการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่ถูกกล่าวไว้ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ โดยเป็นการสร้างคำอธิบายที่สนับสนุนด้วยประจักษ์พยานและเหตุผลที่เชื่อมโยงระหว่างคำกล่าวอ้างและประจักษ์พยานในปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ การพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนนั้นช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดหลักและปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี โดยที่ McNeill and Krajcik (2008) ได้เสนอกรอบแนวคิดเกี่ยวกับการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจนไว้ว่า เป็นสมรรถนะสำคัญซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ คำกล่าวอ้าง (Claim) ประจักษ์พยาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning) นอกจากนั้นแล้วในบริบทประเทศไทยนั้น Chaowakeeratiyapong (2019) ได้กล่าวถึงสมรรถนะดังกล่าวไว้ว่า การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ มีลักษณะเป็นข้อความที่ใช้ในการให้ความหมายและอธิบายผลการสังเกตหรือการทดลอง โดยเชื่อมโยงประจักษ์พยานเชิงประจักษ์กับการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ การสร้างคำอธิบายที่มีคุณภาพจะประกอบด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ คำกล่าวอ้างเป็นคำตอบจากการศึกษา ประจักษ์พยานที่สนับสนุน คำกล่าวอ้างมีลักษณะทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ และการให้เหตุผลที่เชื่อมโยงประจักษ์พยานกับคำกล่าวอ้าง โดยที่ Lertdechaphat and Limpanonphromrat (2018) ได้ศึกษาผลของการสืบสอบแบบร่วมมือรวมพลังต่อการสร้างคำอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น และพบว่าวิธีการนี้ช่วยเพิ่มทักษะการให้เหตุผลและเชื่อมโยงหลักฐานกับคำกล่าวอ้างได้ดียิ่งขึ้น และ Saengprasert, Latuang and Chuewatcharin (2021) แสดงแนวคิดไว้ว่าการอธิบายทางวิทยาศาสตร์นั้นสะท้อนถึงการประมวลผลความรู้ การประยุกต์ใช้ความรู้ การสื่อสารเนื้อหาลงถูกต้อง พร้อมทั้งมีประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์ที่เพียงพอและมีความน่าเชื่อถือในการสนับสนุนคำกล่าวอ้าง ดังนั้นแล้วจะเห็นได้ว่า การอธิบายทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นสมรรถนะสำคัญในการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ และยังเป็นเสมือนเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ

แม้ว่าการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์จะได้รับการยอมรับว่าเป็นสมรรถนะสำคัญในการศึกษาวิทยาศาสตร์ และมีการกำหนดกรอบแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบหลัก ได้แก่ คำกล่าวอ้าง ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล แต่ยังมีช่องว่างสำคัญในเชิงการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการส่งเสริมสมรรถนะดังกล่าวผ่านการจัดการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยีดิจิทัล โดยเฉพาะในบริบทของการปฏิบัติงานการทดลองทางไกล (Remote laboratory learning) ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าถึงการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้โดยไม่จำกัดเวลาและสถานที่ ดังนั้นแล้ววิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งหมายให้นักเรียนได้สำรวจตรวจสอบอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ผ่านการปฏิบัติงานการทดลองวิทยาศาสตร์ที่ไม่ถูกจำกัดสถานที่และเวลา จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อจำลองประสบการณ์ในห้องปฏิบัติการจริง ช่วยให้นักเรียนทำการทดลอง รวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ผลลัพธ์จากระยะไกลได้ การจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทางไกลมีประโยชน์อย่างมากสามารถเข้าถึงการทดลองได้ทุกที่ทุกเวลา ส่งเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ร่วมกันกับสถานการณ์ที่ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับอุปกรณ์ หรือการจำลอง ทำการทดลอง และสังเกตผลลัพธ์จากระยะไกล ช่วยแก้ไขข้อจำกัดทางความสะดวกในการเดินทาง และเพิ่มการเข้าถึงวัสดุอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ (Zurita and Nussbaum, 2004) โดยจากผลการศึกษาก่อนหน้านั้นได้พบว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการฟิสิกส์อย่างมีประสิทธิภาพต่อการเรียนรู้ของนักเรียน ช่วยลดความเสี่ยงและช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการดำเนินกิจกรรมทดลองของนักเรียน แต่นักเรียนยังสามารถทำความเข้าใจในหลักการ แนวคิดหลัก และทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างดี และยังสามารถนำสู่ผลการเรียนรู้ที่ดีขึ้นในการทดลองแบบลงมือปฏิบัติ (Galan et al., 2018; Pastor and Tobarra, 2020; Samuelsen and Graven, 2016)

ปัจจุบันยังขาดรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ผ่านการทดลองทางไกลที่สามารถกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำอธิบายโดยอิงจากประจักษ์พยานและการให้เหตุผลที่ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ ยังมีข้อจำกัดด้านแนวทางการออกแบบกิจกรรมและเครื่องมือประเมินที่สามารถสะท้อนระดับความสามารถของนักเรียนในการอธิบายผลการทดลองได้อย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับบริบทของการเรียนรู้ยุคดิจิทัล ดังนั้น การวิจัยเกี่ยวกับการบูรณาการวิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล เพื่อส่งเสริมสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์จึงเป็นประเด็นที่มีความสำคัญและจำเป็นต้องได้รับการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและสามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างยั่งยืน

แนวคิดเชิงหลักการเกี่ยวกับการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ และข้อค้นพบจากงานวิจัยก่อนหน้า

แนวคิดเชิงหลักการเกี่ยวกับการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์

การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ถือเป็นแกนหลักของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดและปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ หมายถึงการสรุปข้อเท็จจริง และสร้างข้อสรุปจากประจักษ์พยานที่ได้ผ่านการสืบค้นและวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ รวมถึงการนำเสนอข้อมูลที่ได้รับ นักเรียนที่ได้รับการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์สามารถสร้างคำกล่าวอ้างที่อ้างอิงจากประจักษ์พยานที่น่าเชื่อถือ และต้องมีความสามารถในการให้เหตุผลที่มีความเชื่อมโยงและสอดคล้องกันในกระบวนการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ในบริบทของการศึกษา การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการที่ซับซ้อน ต้องอาศัยทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ และการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ นักเรียนสามารถประมวลผลข้อมูลอย่างเป็นระบบ สร้างความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูล และข้อสรุปที่สอดคล้องกับประจักษ์พยาน การพัฒนาทักษะดังกล่าวได้รับการสนับสนุนจากกรอบแนวคิดที่เสนอโดย McNeill and Krajcik (2008) ได้เสนอกรอบแนวคิดการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ คำกล่าวอ้าง คือการแสดงข้อสรุปหรือคำตอบที่ต้องการเสนอ เป็นการบอกว่ามีบางสิ่งเกิดขึ้นหรือเป็นความจริง ประจักษ์พยาน คือข้อมูลหรือข้อเท็จจริงที่สนับสนุนคำกล่าวอ้าง อาจมาจากการทดลอง การสังเกต หรือข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ และการให้เหตุผล คือการเชื่อมโยงระหว่างคำกล่าวอ้างและประจักษ์พยานเพื่ออธิบายประจักษ์พยานที่น่าเสนอถึงการสนับสนุนคำกล่าวอ้างได้ การใช้กรอบแนวคิดการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ช่วยให้นักเรียนสามารถคิดอย่างมีเหตุผล สามารถสื่อสารความคิดเห็นได้อย่างชัดเจน มีการสนับสนุนตาม

องค์ประกอบช่วยให้นักเรียนมีแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบ สร้างข้อสรุปที่มีเหตุผลสนับสนุน นำเสนอข้อสรุปได้ชัดเจน และสมเหตุสมผล

ข้อค้นพบจากงานวิจัยก่อนหน้า

จากงานวิจัยของ Chaowakeeratiyapong (2019) พบว่าการส่งเสริมสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ด้วยกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ช่วยให้นักเรียนมีการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการสร้างความเข้าใจในเรื่องของการสังเกต การทดลอง และการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับประจักษ์พยาน โดยนักเรียนได้รับการฝึกฝนในการวิเคราะห์และประเมินสมมติฐาน จากนั้นนำไปสู่การสร้างข้อโต้แย้งที่มีพื้นฐานจากประจักษ์พยานที่ได้รับมาอย่างละเอียด การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบวิธีการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วยคำถามอ้างอิง ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาทักษะการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ เป็นพื้นฐานสำคัญในการสร้างความเข้าใจ และถูกต้องเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ งานวิจัยของ Saengprasert, Latuang and Chuewatcharin (2021) ได้ศึกษาการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น (7E) ร่วมกับกลยุทธ์การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ผลการศึกษาพบว่าการจัดการเรียนรู้ในลักษณะนี้ช่วยเสริมสร้างสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ เน้นการสร้างคำถามอ้างอิงที่มีประจักษ์พยานสนับสนุนและการให้เหตุผลที่ชัดเจน การใช้กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น (7E) ช่วยให้นักเรียนมีโอกาสดำเนินการตรวจสอบแนวคิดผ่านกระบวนการตั้งคำถาม การสำรวจ การสืบค้น การขยายความรู้ การอธิบาย การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการประเมินผล ช่วยเสริมสร้างทักษะในการประมวลผลข้อมูลและการประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทที่แตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ผ่านการเรียนรู้เชิงปฏิบัติการ การอธิบายที่มีประจักษ์พยานสนับสนุนและการให้เหตุผลที่ชัดเจนช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงข้อมูลและสร้างข้อสรุปที่มีความหมาย เป็นเครื่องมือสำคัญในการเสริมสร้างความเชื่อมั่นในการใช้เหตุผล และการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ

Putra and Wulandari (2021) ศึกษาการใช้สื่อการเรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานทดแทนที่พัฒนาจากภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ของนักเรียนมัธยมศึกษา กิจกรรมเน้นให้นักเรียนสำรวจ สังเกต เปรียบเทียบ และอภิปรายข้อมูลจากแหล่งพลังงานท้องถิ่น เช่น ชีวมวล แสงอาทิตย์ และลม ผลการวิจัยชี้ว่า การเชื่อมโยงเนื้อหาเกี่ยวกับชีวิตจริงช่วยพัฒนาทักษะการตั้งคำถาม การใช้เหตุผล และการอภิปรายด้วยหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะในประเด็นพลังงานทดแทนซึ่งมีข้อมูลหลากหลายและข้อถกเถียงทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับโลก ทำให้เหมาะสมต่อการส่งเสริมการคิดขั้นสูงและการอธิบายที่มีหลักฐานรองรับ

Kularatne *et al.* (2021) ได้ออกแบบกิจกรรมบทปฏิบัติการทางไกลตามกรอบแนวคิดการเรียนรู้แบบประสบการณ์ (Experiential Learning Framework) เพื่อให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับการทดลองแม้ไม่สามารถเข้าห้องปฏิบัติการจริงได้ กิจกรรมประกอบด้วยขั้นตอนเตรียมความพร้อม การสังเกต การจำลองผล การอภิปราย และการจัดทำรายงาน ซึ่งเอื้อต่อการฝึกทักษะทางวิทยาศาสตร์ เช่น การตั้งสมมติฐาน การวิเคราะห์ และการอธิบายผลโดยมีหลักฐานรองรับ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีพัฒนาการด้านการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะในการใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ประกอบการให้เหตุผล สะท้อนว่าแม้มีข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่ การเรียนรู้ทางไกลที่มีโครงสร้างชัดเจนก็สามารถส่งเสริมสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการวิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล เรื่องพลังงานทดแทน

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบยังไม่เข้าขั้นการทดลอง (Pre-experimental design) โดยเฉพาะรูปแบบ One-group pretest-posttest ตามแนวทางของ Campbell and Stanley (1963) และได้รับการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในงานวิจัยทางสังคมร่วมสมัย (Thyer, 2010)

ผู้เข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักเรียนโรงเรียนนางรอง อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาบุรีรัมย์ ที่กำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 1 ห้อง จำนวนนักเรียน 25 คน ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง โดยได้ขอความยินยอมจากผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

เครื่องมือ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ หน่วยการเรียนรู้ที่ 14 เรื่องไฟฟ้ากระแส รายวิชาฟิสิกส์ รหัส ว30204 ผู้วิจัยมุ่งพัฒนาแนวคิดทางฟิสิกส์อย่างเป็นระบบ โดยเน้นหน่วยย่อยที่ 9 เรื่องพลังงานทดแทน ตามผลการเรียนรู้อธิบายการเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสืบค้นและอภิปรายเกี่ยวกับเทคโนโลยี ที่นำมาแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงานไฟฟ้า โดยเน้นด้านประสิทธิภาพ และความคุ้มค่าด้านค่าใช้จ่าย ผู้วิจัยได้ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 แผน ครอบคลุมพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม เพื่อส่งเสริมความเข้าใจในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและเชื่อมโยงกับบริบทจริง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้รายวิชาฟิสิกส์

แผนการจัดการเรียนรู้	สาระสำคัญ	ระยะเวลา
1. พลังงานทดแทน	การเปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้าทำได้โดยนำพลังงานทดแทนมาทำให้เกิดความร้อนโดยใช้กระบวนการต่าง ๆ แล้วนำความร้อนที่ได้มาทำให้เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า หรือการนำเทคโนโลยีเซลล์สุริยะมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า	120 นาที
2. พลังงานทดแทน (พลังงานแสงอาทิตย์)	พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดและยั่งยืน เทคโนโลยีเซลล์สุริยะแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	60 นาที
3. พลังงานทดแทน (พลังงานลม)	พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนที่ใช้กังหันลมเปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เทคโนโลยีนี้ช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและส่งเสริมพลังงานสะอาดอย่างยั่งยืน	60 นาที

1.2 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นเกี่ยวกับพลังงานทดแทน ชุดกิจกรรมวิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลที่พัฒนาขึ้นเกี่ยวกับพลังงานทดแทน ประกอบด้วยกิจกรรมการทดลองที่มุ่งเน้นการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติการ 3 กิจกรรมหลัก ได้แก่ กิจกรรมที่ 1 การศึกษารูปแบบและการเปลี่ยนรูปของพลังงานโดยใช้ PhET Interactive Simulation กิจกรรมที่ 2 การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า นักเรียนจะได้ศึกษาวิธีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และกิจกรรมที่ 3 การเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า นักเรียนจะได้ทดลองวิธีการเปลี่ยนพลังงานกลของลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกิจกรรมที่ 2 และ 3 เป็นการจัดวิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กิจกรรมการศึกษารูปแบบและการเปลี่ยนรูปของพลังงาน (ก) กิจกรรมการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (ข) กิจกรรมการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า (ค)

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรม 3 กิจกรรม ภายใต้แนวคิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมอย่างเป็นระบบในกระบวนการสร้างองค์ความรู้ด้วย

ตนเอง กิจกรรมแต่ละกิจกรรมได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับขั้นตอนของโมเดลการเรียนรู้แบบ 5E ได้แก่ การสร้างความสนใจ (Engagement) การสำรวจและค้นหา (Exploration) การอธิบาย (Explanation) การขยายความรู้ (Elaboration) และการประเมินผล (Evaluation) ล้วนสนับสนุนการพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์และสมรรถนะการอธิบายอย่างมีเหตุผลของผู้เรียน (Bybee et al., 2006)



ภาพที่ 2 กระบวนการการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล

จากภาพที่ 2 แสดงลำดับกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 3 กิจกรรม โดยชี้ให้เห็นความสัมพันธ์กิจกรรมและกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะที่ใช้สื่อการเรียนรู้ เช่น PhET Interactive Simulation และบทปฏิบัติการทางไกล ในแต่ละกิจกรรม ช่วยให้ผู้เรียนสามารถสำรวจ สังเกต วิเคราะห์ และสังเคราะห์องค์ความรู้จากหลักฐานที่ได้ด้วยตนเอง ขณะที่ครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกการเรียนรู้โดยชี้แนะการถ่ายทอดความรู้โดยตรง สะท้อนแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง และพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์

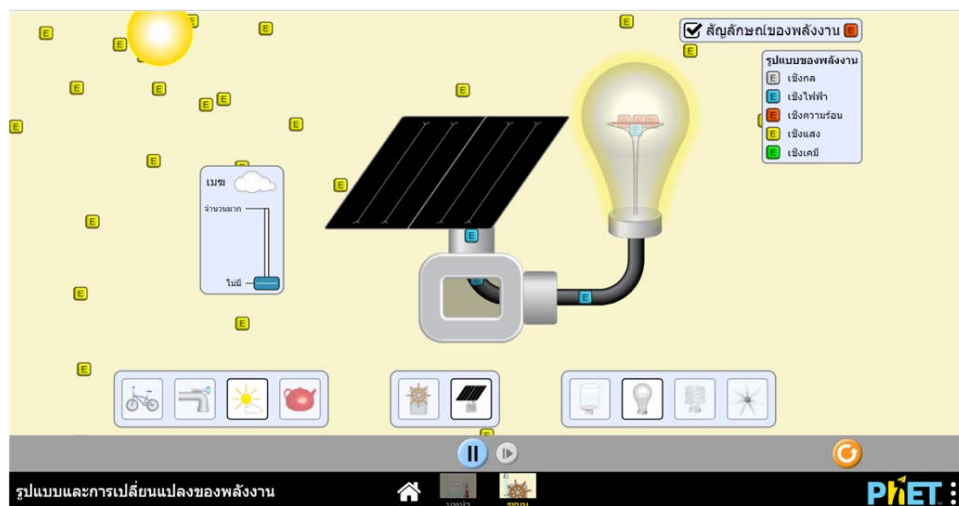
กิจกรรมที่ 1 การศึกษารูปแบบและการเปลี่ยนรูปของพลังงาน (ภาพที่ 3) ตัวอย่างสื่อในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การสอนของกิจกรรมที่ 1 เป็นการศึกษาแบบและการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน กิจกรรมนี้มีการอธิบายขั้นตอนการดำเนินการผ่านการทดลองเสมือนจริงด้วย PhET Interactive Simulation โดยมีขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นักเรียนสามารถเข้าสู่ PhET Interactive Simulation ได้ 2 ช่องทาง ได้แก่ การเข้าผ่านลิงก์ที่ครูจัดเตรียมให้เพื่อทดลองผ่านเว็บเบราว์เซอร์ หรือผ่านแอปพลิเคชัน PhET Interactive Simulation โดยนักเรียนสามารถเลือกใช้ช่องทางตามความสะดวกของนักเรียน

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อเข้าสู่หน้าจอ Energy Forms and Changes นักเรียนลงมือปฏิบัติทำการศึกษาการเปลี่ยนรูปของพลังงาน 4 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบมี 2 เงื่อนไขดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ให้นักเรียนเพิ่มปริมาณก้อนเมฆและสังเกตการเปลี่ยนรูปของพลังงาน
2. การเปลี่ยนแปลงพลังงานเชิงกลจากการปั่นจักรยานให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยนักเรียนเพิ่มอัตราการปั่นจักรยานและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน
3. การเปลี่ยนแปลงพลังงานเชิงกลจากน้ำที่ไหลจากก๊อกให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
4. การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนจากแรงดันไอน้ำให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยนักเรียนค่อย ๆ ปรับระดับความร้อนและสังเกตการเปลี่ยนรูปของพลังงาน

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากดำเนินกิจกรรมเสร็จสิ้น นักเรียนจะต้องตอบคำถามท้ายกิจกรรมและอภิปรายผลที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 3 สื่อสถานการณ์จำลองวิทยาศาสตร์ของกิจกรรมที่ 1 การศึกษารูปแบบและการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน

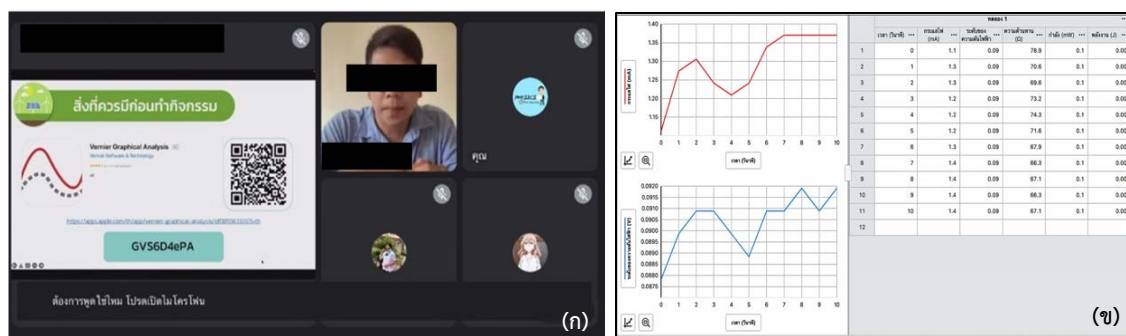
ในกิจกรรมที่ 2 เรื่องการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า นักเรียนได้ศึกษาวิธีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ และกิจกรรมที่ 3 เป็นการศึกษาการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยนักเรียนได้ทดลองแปลงพลังงานลมจากแรงลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านกังหันลมที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกิจกรรมทั้งสองดำเนินการภายใต้รูปแบบการเรียนรู้แบบปฏิบัติการทางไกล เปิดโอกาสให้นักเรียนสามารถเรียนรู้และทดลองได้แม้ว่าอยู่ต่างสถานที่ ผ่านการใช้ชุดอุปกรณ์ที่บปฏิบัติการทางไกล ประกอบด้วย

1. แหล่งพลังงานจำลอง โคมไฟที่สามารถปรับระดับความเข้มของแสงเพื่อจำลองแสงอาทิตย์ และพัดลมที่สามารถปรับแรงลมเพื่อจำลองพลังงานลม
2. อุปกรณ์รับพลังงาน แผงโซลาร์เซลล์สำหรับรับพลังงานแสง และกังหันลมเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. วงจรวัดพลังงาน Energy Sensor สำหรับตรวจวัดพลังงาน โดยเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงานเข้าสู่ตำแหน่ง SOURCE และเชื่อมกับตัวต้านทานที่ตำแหน่ง LOAD เพื่อจำลองการใช้งานจริง
4. อุปกรณ์วิเคราะห์ข้อมูล LABQUEST Interface สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า (CH1) และแรงดันไฟฟ้า (CH2)

5. ซอฟต์แวร์วิเคราะห์กราฟ แอปพลิเคชัน Vernier Graphical Analysis สำหรับแสดงผลในรูปแบบกราฟ แสดงผลแบบเวลาจริง พร้อมระบบลงทะเบียน License สำหรับใช้งาน

6. อุปกรณ์ดิจิทัลของนักเรียน โทรศัพท์มือถือหรือแท็บเล็ตที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน Vernier Graphical Analysis สำหรับวิเคราะห์ บันทึก และแสดงผลข้อมูลจากการทดลอง

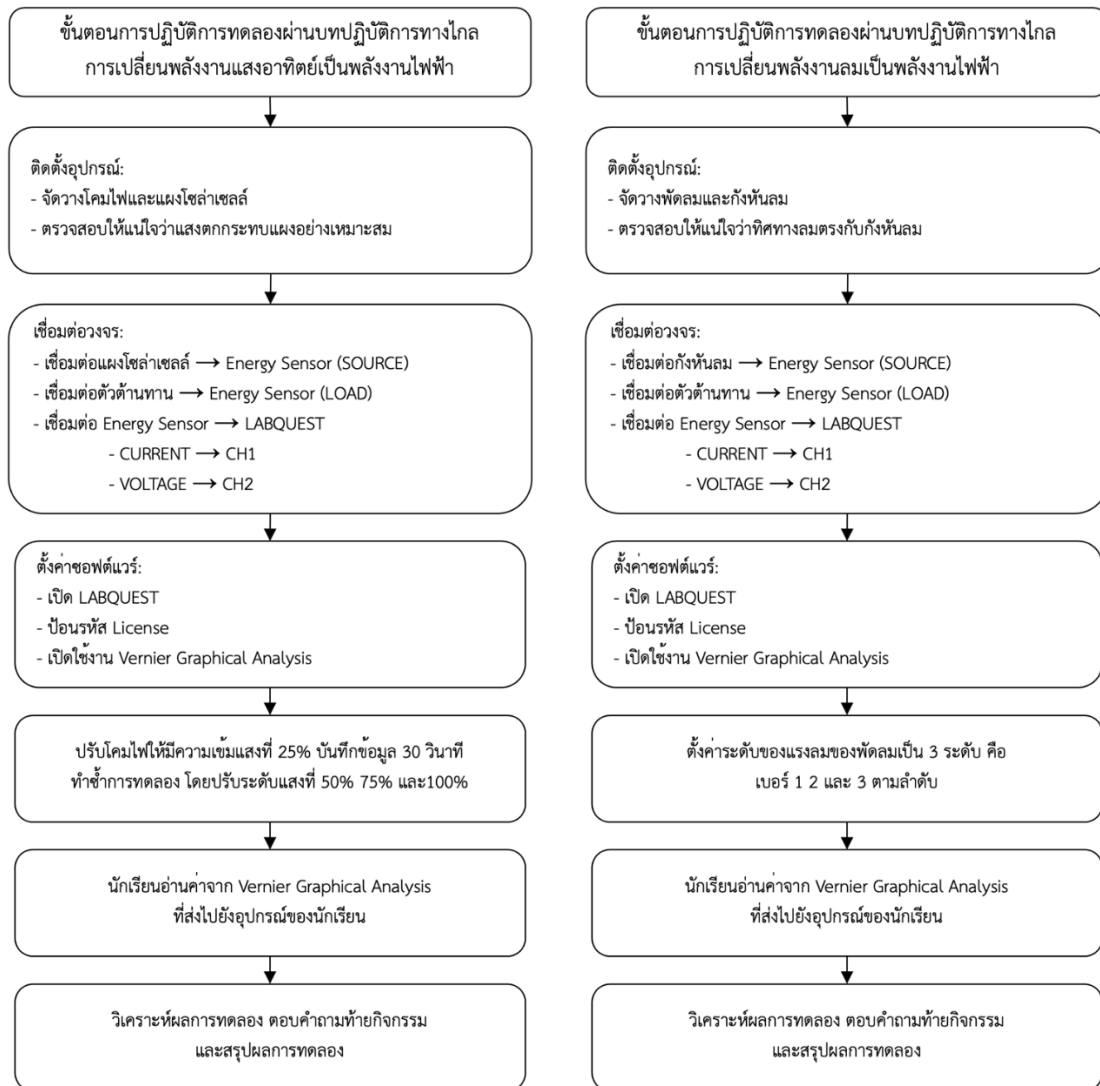
การออกแบบกิจกรรมดังกล่าวช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับข้อมูลการทดลองเชิงประจักษ์อย่างเป็นระบบ แม้ไม่ได้อยู่ในห้องปฏิบัติการจริง และสามารถพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการจัดการเรียนการสอนการใช้ Vernier Graphical Analysis ในรูปแบบออนไลน์ (ก)
ตัวอย่างผลการทดลองการเรียนรู้บทปฏิบัติการทางไกล (ข)

กิจกรรมที่ 2 การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (ภาพที่ 5) กระบวนการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลในกิจกรรมที่ 2 การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเป็นการจำลองแสงอาทิตย์โดยใช้แสงจากโคมไฟที่สามารถควบคุมปริมาณแสงได้ ติดตั้งโคมไฟและแผงโซลาร์เซลล์ให้อยู่ในตำแหน่งที่โคมไฟสามารถส่องมายังแผงโซลาร์เซลล์ได้ โดยในขั้นตอนการทำการกิจกรรมเริ่มต้นด้วยการต่อสายไฟของแผงโซลาร์เซลล์เข้าตัว Energy Sensor ที่ตำแหน่ง SOURCE ต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้า Energy Sensor ที่ตำแหน่ง LOAD นำสายไฟที่ออกจาก Energy Sensor เชื่อมกับ LABQUEST โดย CURRENT ต่อเข้ากับ CH1 และ VOLTAGE เข้ากับ CH2 เมื่อเชื่อมต่อทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้วให้ทำการเปิดเครื่อง ทำการใส่รหัสให้เรียบร้อยเพื่อขอใช้ License สำหรับนักเรียน ให้ทำการติดตั้งแอปพลิเคชัน Vernier Graphical Analysis ลงในอุปกรณ์ของนักเรียน (รองรับทั้ง Android และ IOS) นักเรียนรับรหัสการเข้าใช้งานแอปพลิเคชันจากครูผู้สอน และการใส่รหัสเพื่อเข้าใช้แอปพลิเคชัน ครูผู้สอนทำการตั้งค่าข้อมูลโดยใช้ปริมาณแสงที่มาจากหลอดไฟร้อยละ 25 ใช้ข้อมูล 1 ตัวอย่างใช้เวลา 30 วินาที ต่อการทดลอง 1 ครั้ง และทำการบันทึกภาพหน้าเก็บไว้ในส่วนผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำอีก 3 ครั้ง โดยการเปลี่ยนปริมาณแสงเป็นร้อยละ 50 75 และ 100 ตามลำดับ ทำการอ่านข้อมูลที่ได้จากตารางผลการทดลอง และกราฟที่ได้จากการทดลอง หลังจากนั้นนักเรียนทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ตอบคำถามท้ายกิจกรรม และสรุปผลการทดลอง

กิจกรรมที่ 3 การเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า (ภาพที่ 6) กระบวนการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลในกิจกรรมที่ 3 การเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเป็นการจำลองลมโดยใช้พัดลมที่สามารถควบคุมระดับของลมได้ โดยติดตั้งพัดลมและกังหันลมให้อยู่ในตำแหน่งที่พัดลมสามารถส่งแรงลมมายังกังหันลมได้ ติดตั้งกังหันลมเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต่อสายไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าตัว Energy Sensor ที่ตำแหน่ง SOURCE ต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้า Energy Sensor ที่ตำแหน่ง LOAD นำสายไฟที่ออกจาก Energy Sensor เชื่อมกับ LABQUEST โดย CURRENT ต่อเข้ากับ CH1 และ VOLTAGE เข้ากับ CH2 เมื่อเชื่อมต่อทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้วให้ทำการเปิดเครื่อง ทำการใส่รหัสให้เรียบร้อยเพื่อขอใช้ License สำหรับนักเรียน ให้ติดตั้งแอปพลิเคชัน Vernier Graphical Analysis ลงในอุปกรณ์ของนักเรียน (รองรับทั้ง Android และ IOS) ให้นักเรียนรับรหัสการเข้าโปรแกรมจากครูผู้สอน และใส่รหัสเพื่อเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน ครูผู้สอนทำการตั้งค่าข้อมูลโดยใช้ข้อมูล 1 ตัวอย่าง ใช้เวลา 30 วินาที ต่อการทดลอง 1 ครั้ง และทำการบันทึกภาพหน้าเก็บไว้ในส่วนผลการทดลอง ทดลองซ้ำโดยใช้ความแรงของพัดลมเป็น 3 ระดับ คือ เบอร์ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ทำการอ่านข้อมูลที่ได้จากตารางผลการทดลอง และกราฟที่ได้จากการทดลอง หลังจากนั้นนักเรียนทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ตอบคำถามท้ายกิจกรรม และสรุปผลการทดลอง



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการปฏิบัติการทดลองผ่านบทปฏิบัติการทางไกลการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการปฏิบัติการทดลองผ่านบทปฏิบัติการทางไกลการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยนี้ ได้มีการพัฒนาแบบวัดสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่องพลังงานทดแทน โดยใช้คำถามปลายเปิด (Open-ended questions) จำนวน 6 ข้อ มีคะแนนเต็มรวม 12 คะแนน แบบวัดนี้ถูกสร้างขึ้นโดยอิงตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) ที่เน้นการประเมินสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ 3 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ คำกล่าวอ้าง จำนวน 2 ข้อ คะแนนเต็ม 4 คะแนน การวัดความสามารถของนักเรียนในการนำเสนอคำกล่าวอ้างที่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ประจักษ์พยาน จำนวน 2 ข้อ คะแนนเต็ม 4 คะแนน มุ่งเน้นการประเมินความสามารถในการนำเสนอประจักษ์พยานที่สนับสนุนคำกล่าวอ้างของนักเรียน และการให้เหตุผล จำนวน 2 ข้อ คะแนนเต็ม 4 คะแนน และจากผลการวิเคราะห์ พบว่าค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (IOC) ของแบบประเมินทุกข้ออยู่ในช่วง 0.67–1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้ คือ 0.50 ตามเกณฑ์ของ Tirakananth (2006) สรุปได้ว่า ข้อคำถามทั้งหมดมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการประเมิน และสามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลได้ เป็นการวัดความสามารถในการเชื่อมโยงประจักษ์พยานเข้ากับคำกล่าวอ้างอย่างมีเหตุผล นักเรียนทำแบบทดสอบผ่านรูปแบบออนไลน์ Google Forms เพื่อประเมินสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ก่อนและหลังการเรียนรู้

การเก็บข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัย โดยใช้แบบวัดสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์เรื่อง พลังงานทดแทน ฉบับก่อนเรียน และหลังเรียน มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิด โดยนักเรียนทำแบบทดสอบรูปแบบออนไลน์ผ่าน Google forms โดยวัดสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน และหลังเรียนเป็นคำถามปลายเปิด ใช้เวลาในการทดสอบ 60 นาที

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยวิเคราะห์สมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในหัวข้อพลังงานทดแทน โดยใช้วิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบวัดสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 6 ข้อ ครอบคลุม 3 องค์ประกอบหลักตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) ได้แก่ คำกล่าวอ้าง ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล การให้คะแนนในแต่ละองค์ประกอบแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0 1 และ 2 คะแนน รวมคะแนนเต็ม 12 คะแนน ซึ่งจัดเป็นข้อมูลระดับอันดับเนื่องจากระดับคะแนนสะท้อนลำดับของพฤติกรรมที่ชัดเจนและมีช่วงห่างของคะแนนเท่ากัน การตรวจคำตอบดำเนินการรายบุคคล โดยวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) พร้อมทั้งพิจารณาระดับสมรรถนะตามเกณฑ์ที่ปรับปรุงจากต้นแบบเดิมให้เหมาะสมกับบริบทของการวิจัยครั้งนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ (McNeill and Krajcik, 2008)

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
คำกล่าวอ้าง (Claim)	ไม่เขียนข้อกล่าวอ้าง หรือเขียนข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้อง	เขียนข้อกล่าวอ้างถูกต้องแต่ไม่ชัดเจน	เขียนข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องและชัดเจน
ประจักษ์พยาน (Evidence)	ไม่มีการแสดงหลักฐานหรือแสดงหลักฐานไม่เหมาะสม กล่าวคือเป็นหลักฐานที่ไม่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง	แสดงหลักฐานได้เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอและอาจมีหลักฐานบางประการที่ไม่เหมาะสม	แสดงหลักฐานได้เหมาะสมและมีจำนวนเพียงพอต่อการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง
การให้เหตุผล (Reasoning)	ไม่แสดงเหตุผลหรือแสดงเหตุผลที่ไม่เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง	แสดงเหตุผลที่เชื่อมโยงกับข้อกล่าวอ้าง แต่มีการใช้หลักฐานซ้ำ และ/หรือ ใช้หลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์บ้างแต่ไม่เพียงพอ	แสดงเหตุผลที่เป็นการเชื่อมโยงหลักฐานไปสู่ข้อกล่าวอ้างรวมถึงใช้หลักการเชิงวิทยาศาสตร์ได้เหมาะสมและเพียงพอ

นอกจากนั้น ผู้วิจัยวิเคราะห์สถิติเพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงแบบปกติ (Test of normality) ของข้อมูลคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของทั้ง 3 องค์ประกอบหลักและคะแนนรวมโดยใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องและความเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นเพื่อการเลือกใช้สถิติวิเคราะห์ให้แม่นยำและถูกต้อง ซึ่งพบว่า ชุดข้อมูลคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนมีการแจกแจงไม่เป็นแบบโค้งปกติในทุกชุดข้อมูล ($p < .05$) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) มาใช้เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลคะแนนดังกล่าวโดยสถิติที่เลือกใช้ ได้แก่ การทดสอบ Wilcoxon Matched Pairs Signed-Ranks Test โดยที่ผู้วิจัยนำเสนอระดับสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้สถิติเชิงบรรยาย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และผลการวิเคราะห์สถิติเชิงอ้างอิงจากผลการทดสอบ Wilcoxon Matched Pairs Signed-Ranks Test เพื่อเปรียบเทียบคะแนนสมรรถนะก่อนเรียนและหลังเรียนว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

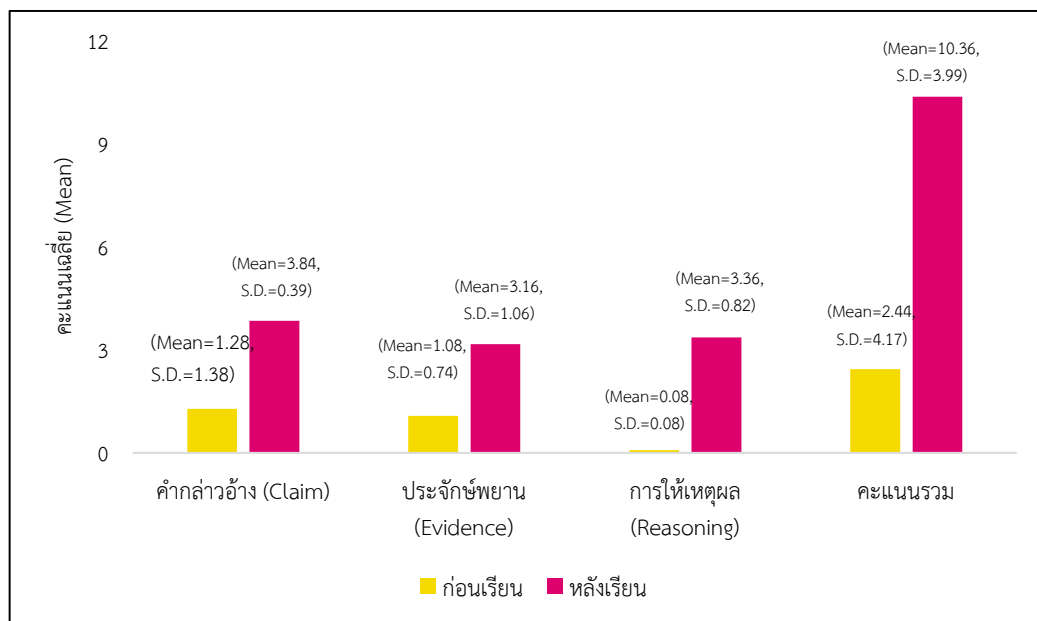
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล เรื่องพลังงานทดแทน โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ สามารถนำเสนอผลการวิจัยได้ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล โดยใช้สถิติ Wilcoxon Matched Pairs Signed-Ranks Test

รายการ	ก่อนเรียน		หลังเรียน		Z-score	ค่านัยสำคัญทางสถิติ (p)
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
คำกล่าวอ้าง (Claim)	1.28	1.38	3.84	0.39	4.271	<.001*
ประจักษ์พยาน (Evidence)	1.08	0.74	3.16	1.06	3.856	<.001*
การให้เหตุผล (Reasoning)	0.08	0.08	3.36	0.82	4.465	<.001*
คะแนนรวม (การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์)	2.44	4.17	10.36	3.99	4.300	<.001*

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



ภาพที่ 7 แผนภูมิการเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล

จากภาพที่ 7 และตารางที่ 3 พบว่า ในการศึกษาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง พลังงานทดแทน โดยใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล ได้ทำการศึกษาก่อนเรียนและหลังเรียน โดยก่อนเรียนนักเรียนมีสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ โดยมีคะแนนรวมเฉลี่ย 2.44 คะแนน จากคะแนนเต็ม 12 คะแนน ส่วนคะแนนเฉลี่ยของสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ได้จำแนกออกเป็น 3 องค์ประกอบ ดังนี้ คำกล่าวอ้าง มีคะแนนเฉลี่ย 1.28 คะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.38 ประจักษ์พยาน มีคะแนนเฉลี่ย 1.08 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.74 และการให้เหตุผล มีคะแนนเฉลี่ย 0.08 คะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.08 และในส่วนผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์หลังเรียน พบว่านักเรียนมีสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ โดยมีคะแนนรวมเฉลี่ย 10.36 คะแนน จากคะแนนเต็ม 12 คะแนน ส่วนคะแนนเฉลี่ยของการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ได้จำแนกออกเป็น

3 องค์ประกอบ ดังนี้ คำกล่าวอ้าง มีคะแนนเฉลี่ย 3.84 คะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39 ประจักษ์พยาน มีคะแนนเฉลี่ย 3.16 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.06 และการให้เหตุผล มีคะแนนเฉลี่ย 3.36 คะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.82 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์จำแนกตามรายประเด็น ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนมีลำดับในทิศทางที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ในประเด็น คำกล่าวอ้างมีค่าเฉลี่ยของคะแนนสูงที่สุดทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน แต่ในส่วนของการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ในประเด็นการให้เหตุผล และการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ในประเด็นประจักษ์พยาน คะแนนหลังเรียนมีค่ามากกว่า ก่อนเรียนผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนและ หลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้แบบปฏิบัติทางไกล เรื่อง พลังงานทดแทน โดยภาพรวม พบว่า สมรรถนะการอธิบาย อย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล (Mean = 10.36, S.D.=3.99) สูงกว่าก่อนเรียน (Mean=2.44, S.D.=4.17) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในระดับสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ในระดับ 0-2 ในองค์ประกอบของการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ 3 รายการ คือ คำกล่าวอ้าง ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ในระดับ 0-2 ในองค์ประกอบของการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ 3 รายการ

สมรรถนะการอธิบาย อย่างเป็นวิทยาศาสตร์	คำกล่าวอ้าง	ประจักษ์พยาน	การให้เหตุผล
ตัวอย่างข้อสอบ	1.1 นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดแผงโซลาร์เซลล์จึงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้	1.2 นักเรียนสามารถนำข้อสรุปจากชุดข้อมูลข้างต้นมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้หรือไม่ เพราะเหตุ	1.3 นักเรียนมีเหตุผลใดที่สามารถอธิบายได้ว่า คำตอบในข้อที่ 1.1 และ 1.2 มีความสอดคล้องกันอย่างไร
ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในระดับ 2	“แผงโซลาร์เซลล์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยพลังงานแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของแผงจะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการทางกายภาพภายในเซลล์สุริยะ ทำให้สามารถจ่ายไฟฟ้าให้วงจรได้”	“จากการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มแสงจากร้อยละ 50 เป็น ร้อยละ 100 แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น โดยข้อมูลจากเครื่องมือวัดแสดงค่าที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแสงกับการผลิตไฟฟ้า”	“พลังงานแสงที่มากขึ้นนำไปสู่จำนวนโฟตอนที่มากขึ้น ทำให้วัสดุสารกึ่งตัวนำภายในแผงโซลาร์เซลล์ปล่อยอิเล็กตรอนได้มากขึ้น กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงมากขึ้นตามหลักการโฟโตอิเล็กทริก ซึ่งเป็นกระบวนการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นวิทยาศาสตร์”
ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในระดับ 1	“แผงโซลาร์เซลล์เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าได้”	“แสงจากหลอดไฟทำให้แผงโซลาร์เซลล์ปล่อยไฟฟ้า”	“เพราะแสงเยอะจึงเกิดไฟฟ้ามากกว่า แสงน้อยทำให้เกิดน้อย”
ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในระดับ 0	“แผงโซลาร์เซลล์ทำให้ไฟฟ้ามาเอง”	“เพราะข้อมูลใกล้เคียงกัน”	“เพราะมันทำงานได้เองเมื่อเปิดหลอดไฟ”

จากผลการวิจัยพบว่า การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล เรื่องพลังงานทดแทน ช่วยพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกิจกรรมที่ออกแบบในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลนั้น มีลักษณะคล้ายกับการปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์จริง นักเรียนสามารถเห็นผลลัพธ์และกราฟการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจากสถานการณ์จำลอง ได้แก่ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า และการเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า ส่งผลให้นักเรียนสามารถอธิบายกระบวนการเปลี่ยนรูปของพลังงานได้อย่างเป็นเหตุเป็นผลและเชื่อมโยงกับแนวคิดทางฟิสิกส์ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในภาพรวม พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงขึ้นจาก 2.44 เป็น 10.36 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สะท้อนถึงพัฒนาการที่ชัดเจนในการสร้างคำอธิบายอย่าง เป็นวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะใน 3 องค์ประกอบหลักตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) ได้แก่ คำกล่าวอ้าง (Claim) ประจักษ์พยาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning) องค์ประกอบคำกล่าวอ้าง เป็นองค์ประกอบที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดทั้งก่อนและหลังเรียน โดยคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 1.28 เป็น 3.84 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง

จาก 1.38 เป็น 0.39 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถระบุข้ออ้างหลักในการอธิบายได้ตรงประเด็นและสอดคล้องกันมากขึ้น ในองค์ประกอบประจักษ์พยาน นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 1.08 เป็น 3.16 แต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกลับเพิ่มขึ้นจาก 0.74 เป็น 1.06 แสดงถึงความแปรปรวนที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนในด้านการระบุและเลือกใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ในการสนับสนุนคำอธิบาย ซึ่งสะท้อนว่านักเรียนบางกลุ่มสามารถให้หลักฐานได้ครบถ้วน เช่น การใช้ข้อมูลเชิงตัวเลขจากการทดลอง กราฟ หรือคำอธิบายทางฟิสิกส์ที่ชัดเจน ในขณะที่บางกลุ่มยังคงมีข้อจำกัดในการเลือกและเชื่อมโยงหลักฐาน ทำให้คะแนนในองค์ประกอบนี้กระจายตัวมากขึ้น และองค์ประกอบการให้เหตุผล มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.08 เป็น 3.36 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพิ่มจาก 0.08 เป็น 0.82 แสดงว่านักเรียนสามารถเชื่อมโยงระหว่างคำกล่าวอ้างกับประจักษ์พยานได้ดีขึ้น ความแตกต่างในระดับความสามารถของนักเรียนในองค์ประกอบนี้ยังคงมีอยู่ โดยเฉพาะในแง่ของการใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานของ Chaowakeeratiyapong (2019) ที่ชี้ว่าการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้สามารถพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ และงานของ Saengprasert, Latuang and Chuewatcharin (2021) ที่แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบ 7E ร่วมกับกลยุทธ์การอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ช่วยพัฒนาทั้งผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและสมรรถนะการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ยังสามารถเชื่อมโยงกับงานของ Putra and Wulandari (2021) ซึ่งพบว่า การเรียนรู้พลังงานทดแทนที่เชื่อมโยงกับบริบทท้องถิ่นและข้อมูลจริงจากชุมชนช่วยกระตุ้นการตั้งคำถาม การใช้เหตุผล และการอภิปรายด้วยหลักฐานของนักเรียนได้อย่างลึกซึ้ง รวมถึงสอดคล้องกับงานของ Kularatne *et al.* (2021) ที่แสดงให้เห็นว่า การออกแบบบทปฏิบัติการทางไกลภายใต้กรอบแนวคิดการเรียนรู้แบบมีประสบการณ์ ช่วยส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ของนักเรียนกับข้อมูลจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถพัฒนาการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ในสถานการณ์ที่ไม่สามารถจัดการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการจริงได้ จึงสามารถยืนยันได้ว่าบทปฏิบัติการทางไกลเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอย่างรอบด้าน

ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะการวิจัย

1. ข้อจำกัด

- 1.1 ด้านความพร้อมของเทคโนโลยี การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ เช่น อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง โทรศัพท์ แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์
- 1.2 ด้านความแตกต่างระหว่างนักเรียน นักเรียนมีพื้นฐานความรู้และทักษะที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความสามารถในการสร้างคำกล่าวอ้าง การใช้ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล โดยเฉพาะในบางกลุ่มที่ยังมีข้อจำกัดด้านความเข้าใจหรือทักษะที่ต้องได้รับการพัฒนาสูงกว่ากลุ่มอื่น

2. ข้อเสนอแนะทั่วไป

- 2.1 ในการพัฒนาความสามารถในการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมการให้นักเรียนมีโอกาสมากขึ้นที่เกี่วข้องกับอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน
- 2.2 จัดกิจกรรมที่เน้นการประหยัดพลังงานและสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับผลกระทบของการใช้พลังงานต่อสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่าย

3. ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

- 3.1 ติดตามความก้าวหน้าของนักเรียนในด้านทักษะต่าง ๆ ที่ได้รับการพัฒนาประเมินผลโดยให้นักเรียนมีบทวิจารณ์และข้อเสนอแนะในการปรับปรุง
- 3.2 เชื่อมโยงกิจกรรมการเรียนรู้กับชุมชน โดยเน้นให้นักเรียนมีโอกาสนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน สร้างโอกาสให้นักเรียนมีโอกาแบ่งปันความรู้ร่วมกับชุมชน
- 3.3 เนื่องจากความแตกต่างระหว่างผู้เรียนในด้านการใช้ประจักษ์พยานและการให้เหตุผล จึงควรเสนอแนะแนวทางการจัดกิจกรรมเสริมที่มีความเหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม เช่น การจัดการเรียนรู้แบบกลุ่มย่อย หรือการใช้แบบฝึกหัดที่มีลำดับขั้น เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนทุกกลุ่มสามารถพัฒนาทักษะได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ

สรุปผล

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกล เรื่อง พลังงานทดแทน มีประสิทธิภาพในการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเฉพาะในบริบทของสถานการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 ส่งผลให้โรงเรียนหลายแห่งไม่สามารถจัดกิจกรรมในห้องปฏิบัติการจริงได้ การใช้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านบทปฏิบัติการทางไกลจึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยให้ นักเรียนยังสามารถเข้าถึงกระบวนการเรียนรู้เชิงวิทยาศาสตร์ได้อย่างต่อเนื่อง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า คะแนนรวมเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจาก 2.44 เป็น 10.36 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สะท้อนถึงพัฒนาการอย่างชัดเจนของนักเรียนในด้านสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะใน 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ คำกล่าวอ้าง ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2008) แต่เมื่อตรวจสอบค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงถึงความกระจายของคะแนนในแต่ละองค์ประกอบ พบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ องค์ประกอบประจักษ์พยานเพิ่มขึ้นจาก 0.74 เป็น 1.06 และองค์ประกอบ การให้เหตุผลเพิ่มขึ้นจาก 0.08 เป็น 0.82 หลัง การเรียนรู้ แสดงถึงความแตกต่างของระดับความสามารถในกลุ่มนักเรียน กล่าวคือ มีนักเรียนบางส่วนที่สามารถเชื่อมโยง หลักฐานจากการทดลองกับคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างแม่นยำ ขณะที่บางกลุ่มยังคงไม่สามารถเลือกใช้หลักฐานที่ เหมาะสม หรือยังไม่สามารถให้เหตุผลเชิงกลไกทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างครบถ้วน ในส่วนของการบูรณาการเทคโนโลยี เช่น การแสดงผลการทดลองแบบเวลาจริง การจำลองสถานการณ์ผ่านสื่อดิจิทัล และการโต้ตอบกับข้อมูลการทดลอง ช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงผลการทดลองกับแนวคิดทางฟิสิกส์ได้อย่างเป็นระบบ อีกทั้งยังช่วยขยายโอกาสทาง การศึกษาให้กับโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ การเรียนรู้บทปฏิบัติการทางไกลในช่วงหลังการแพร่ระบาด ของ COVID-19 จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการส่งเสริมสมรรถนะการอธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ในยุคดิจิทัล และเป็นรากฐานของทักษะการคิดขั้นสูงในศตวรรษที่ 21 สำหรับการวิจัยในอนาคต ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้ เทคโนโลยีการเรียนรู้แบบปรับตัว (Adaptive learning technologies) หรือปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อสนับสนุนการ เรียนรู้แบบสืบเสาะในรูปแบบทางไกล รวมถึงการพัฒนาเครื่องมือประเมินที่สามารถวัดความก้าวหน้าในสมรรถนะการ อธิบายอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ได้อย่างรอบด้านและมีความเที่ยงตรงทางวิชาการมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณพระคุณ ผู้อำนวยการโรงเรียน คณะครูและบุคลากรทุกท่าน นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 5 ปีการศึกษา 2564 ที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยยึดหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์อย่างเคร่งครัด คำนึงถึงสิทธิ เสรีภาพและ สวัสดิภาพของผู้เข้าร่วม ตลอดจนผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น และให้ข้อมูลครบถ้วนก่อนตัดสินใจเข้าร่วม ผู้เข้าร่วมสามารถถอนตัว ได้ตลอดเวลาโดยไม่มีผลกระทบ ข้อมูลได้รับการปกป้องด้วยมาตรการรักษาความลับงานวิจัยนี้ยึดหลักจริยธรรมสากล ได้แก่ ความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย และหลักความยุติธรรม แม้ไม่มีการรับรองจาก คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของสถาบัน แต่ยังคงปฏิบัติตามมาตรฐานจริยธรรมอย่างครบถ้วน

References

- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A. and Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. Colorado Springs, CO: Biological Sciences Curriculum Study.
- Campbell, D. T. and Stanley, J. C. (1963). Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching. In N. L. Gage (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 171–246). Chicago, IL: Rand McNally.
- Chaowakeeratiyapong, N. (2019). Enhancing the ability in constructing scientific explanations of learners by using the inquiry teaching method (in Thai). *Sukhothai Thammathirat Open University Journal of Education*, 12(1), 40-54.

- Galan, D., Isaksson, O., Rostedt, M., Enger, J., Hanstorp, D. and de la Torre, L. (2018). A remote laboratory for optical levitation of charged droplets. **European Journal of Physics**, 39(4), 045301.
- Kularatne, W. D., Dissawa, L. H., Ekanayake, T. M. S. S. K. and Ekanayake, J. B. (2021). **Developing and delivering a remote experiment based on the experiential learning framework during COVID-19 pandemic**.
- Lertdechaphat, K. and Limpanonphromrat, P. (2018). Effects of collaborative inquiry on ability in the scientific explanation making of lower secondary school students (in Thai). **Chulalongkorn University Journal of Education**, 46(2), 1-20.
- McNeill, K. L. and Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In J. Luft, R. Bell, and J. Gess-Newsome (Eds.), **Science as inquiry in the secondary setting** (pp. 121-134). Arlington, VA: National Science Teacher Association Press.
- Ministry of Education. (2017). **Learning standards and indicators (Revised Edition 2017)** (in Thai). Bangkok: Kurusapa Ladphrao Publishing House.
- National Research Council. (2000). **Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning**. Washington, DC: National Academy Press.
- Pastor, R. and Tobarra, L. (2020). Renewable energy remote online laboratories in Jordan universities: Tools for training students in Jordan. **Renewable Energy**, 149, 749-759.
- Putra, A. P. and Wulandari, S. (2021). The impact of renewable energy learning media based on local wisdom on critical thinking skills. **International Journal of Instruction**, 14(4), 123-138.
- Rangubtook, W. (2020). Thai students' competencies in the era of VUCA world transformation (in Thai). **Kurusapa Witayacharn Journal**, 1(1), 8-18.
- Saengprasert, B., Latuang, T. and Chuewatcharin, N. (2021). A study of learning achievement and scientific explanation on photosynthesis of eleventh grade students using inquiry-based instruction (7E) with scientific explanation strategy (in Thai). **Naresuan University Journal of Education**, 23(4), 67-78.
- Samuelsen, D. A. H. and Graven, O. H. (2016). Remote laboratories in engineering education-An overview of implementation and feasibility. **14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering Innovations for Global Sustainability**.
- Thyer, B. A. (2010). Pre-experimental and quasi-experimental research designs. In B. A. Thyer (Ed.), **The handbook of social work research methods** (2nd ed., pp. 183-204). SAGE Publications.
- Tirakananth, S. (2006). **Social science research methodology: A practical approach** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- UNESCO. (2021). COVID-19 educational disruption and response. Retrieved 1 November 2021, from **UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)**: <https://www.unesco.org/en/covid-19/education-response>
- Zurita, G. and Nussbaum, M. (2004). A constructivist mobile learning environment supported by a wireless handheld network. **Journal of Computer Assisted Learning**, 20(3), 235-243.



Development of Critical Thinking Ability by Using Realistic Mathematics Education Learning on Probability for Grade 11 Students

Waranthon Tongmom^{1,*} and Chakkrid Klineam²

¹*Master of Education Program in Mathematics Education, Faculty of Education, Naresuan University*

²*Faculty of Science, Naresuan University*

**Email: waranthon.wrt@gmail.com*

Received <17 June 2025>; Revised <8 August 2025>; Accepted <13 August 2025>

Abstract

This research aimed to investigate approaches to learning management organized around Realistic Mathematics Education (RME that enhance critical thinking abilities, and to assess the effects of implementing RME-based learning management on these abilities regarding probability among 30 Grade 11 students in the second semester of the 2024 academic year from a large special school in Phetchabun Province, selected through purposive sampling. The research employed a classroom action research design consisting of 3 action cycles totaling 10 hours. The research instruments included 3 lesson plans, activity worksheets, and a critical thinking ability assessment test. The collected data were analyzed through content analysis by considering the components of critical thinking ability: issue identification, credibility assessment of information, identifying basic assumptions, drawing conclusions, and decision-making. The research findings revealed that 1) The approach to organizing learning activities based on RME concepts that develops critical thinking abilities should emphasize key aspects including selecting contexts relevant to students' real lives, promoting small group discussions, using structured probing questions, providing opportunities for students to compare and exchange ideas, and reviewing related foundational knowledge. 2) Students showed development in all five aspects of critical thinking ability, with the greatest improvement in drawing conclusions, followed by issue identification, credibility assessment of information, identifying basic assumptions, and decision-making, respectively.

Keywords: Critical Thinking; Realistic Mathematics Education (RME); Probability

การพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้
ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เรื่อง ความน่าจะเป็น
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

วรินทร์ ทองหม่อม^{1,*} และ จักรกฤษ กลิ่นเอี่ยม²

¹หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

*Email: Email: waranthon.wrt@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง (Realistic Mathematics Education: RME) ที่พัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และเพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด RME ที่มีต่อความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 30 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จากโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง การวิจัยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน ประกอบด้วย 3 วงจรปฏิบัติการ รวมเวลา 10 ชั่วโมง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ 3 แผน ใบกิจกรรม และแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ข้อมูลที่ได้ถูกวิเคราะห์เชิงเนื้อหา โดยพิจารณาตามองค์ประกอบของความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ได้แก่ การระบุประเด็น การพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล การระบุข้อตกลงเบื้องต้น การลงข้อสรุป และการตัดสินใจ ผลการวิจัยพบว่า 1) แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด RME ที่พัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ประเด็นสำคัญที่ควรให้ความสำคัญในการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ การเลือกบริบทที่สอดคล้องกับชีวิตจริงของผู้เรียน การส่งเสริมการอภิปรายกลุ่มย่อย การใช้คำถามกระตุ้นเชิงโครงสร้าง การเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เปรียบเทียบและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการทบทวนความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้อง 2) นักเรียนมีพัฒนาการในความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณทั้ง 5 ด้าน โดยมีพัฒนาการมากที่สุดในด้านการลงข้อสรุป รองลงมาคือ การระบุประเด็น การพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล การระบุข้อตกลงเบื้องต้น และการตัดสินใจ ตามลำดับ

คำสำคัญ: การคิดอย่างมีวิจารณญาณ; แนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง; ความน่าจะเป็น

บทนำ

การคิดอย่างมีวิจารณญาณทางคณิตศาสตร์เป็นการหาความชัดเจนของปัญหาและพิจารณาตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางคณิตศาสตร์อย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจเลือกวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ดำเนินการหาข้อสรุปอย่างสมเหตุสมผล และสามารถสื่อสารอภิปรายร่วมกับผู้อื่นได้ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2012) การพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณของคณิตศาสตร์ได้กลายเป็นวาระหลักในหลักสูตรการศึกษาคณิตศาสตร์ทั่วโลก อย่างไรก็ตามกระบวนการสอนส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในโรงเรียนคือวิธีการบรรยายซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการท่องจำทำให้นักเรียนคิดอย่างมีวิจารณญาณน้อยลง (Firdaus *et al.*, 2015) ดังนั้น การพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณของคณิตศาสตร์จึงมีความสำคัญ เนื่องจากทักษะนี้ไม่เพียงแต่มีบทบาทในการแก้ปัญหาทั่วไป แต่ยังเป็นส่วนสำคัญในการเผชิญหน้ากับปัญหาคณิตศาสตร์ที่ท้าทาย Firdaus *et al.* (2015) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาในวิชาคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะในปัญหาปลายเปิดและปัญหาที่มีบริบทเฉพาะ ซึ่งวิธีการเหล่านี้สามารถส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาการคิดเชิงคณิตศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Marcut (2005) ได้กล่าวว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหาจะทำให้ควบคู่กัน ซึ่งการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ผ่านการแก้ปัญหา ยังสามารถช่วยพัฒนาการคิดอย่างมีวิจารณญาณไปด้วยเช่นกัน นักเรียนจะได้รับโอกาสในการค้นหาคำตอบและวิเคราะห์หลักฐานที่เกี่ยวข้องแทนที่จะมุ่งเน้นการจำข้อเท็จจริงเพียงอย่างเดียว ช่วยให้พวกเขามีความมั่นใจในความสามารถด้านคณิตศาสตร์ และเข้าใจว่าคณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่มีความหมายและน่าสนใจ

แม้ว่าประเทศไทยจะให้ความสำคัญกับการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ควบคู่กับวิทยาศาสตร์มาโดยตลอด หากแต่ผลการประเมินระดับชาติและนานาชาติยังสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดในการพัฒนาผู้เรียนให้สามารถนำความรู้ทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะผลการประเมินจากโครงการ PISA ปี ค.ศ. 2022 พบว่า นักเรียนไทยมีคะแนนเฉลี่ยด้านการรู้เรื่องคณิตศาสตร์เพียง 394 คะแนน ต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มประเทศ OECD ที่อยู่ที่ 472 คะแนน และถือเป็นคะแนนต่ำที่สุดนับตั้งแต่ประเทศไทยเริ่มเข้าร่วมการประเมินได้ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2023) ขณะที่ผลสอบ O-NET ปีการศึกษา 2566 ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ก็แสดงให้เห็นในทำนองเดียวกัน โดยได้คะแนนเฉลี่ยเพียง 19.96 คะแนนจากคะแนนเต็ม 100 (National Institute of Educational Testing Service (Public Organization), 2024) ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนว่า การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในประเทศไทยยังไม่สามารถพัฒนาผู้เรียนให้สามารถนำความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาในระดับโครงสร้างของการประเมิน PISA จะพบว่า กระบวนการสำคัญที่เป็นเป้าหมายของความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ คือความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูล ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ประเมินความน่าเชื่อถือ พิจารณาเงื่อนไขของปัญหา เลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม และอธิบายหรือสื่อสารข้อสรุปอย่างมีเหตุผล ซึ่งล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญของการคิดอย่างมีวิจารณญาณทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นคะแนนด้านคณิตศาสตร์จึงสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดในการพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณทางคณิตศาสตร์ที่ยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร

การศึกษาสภาพปัญหาการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า ครูส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการถ่ายทอดเนื้อหา เช่น สูตร กฎ ทฤษฎีบท และการแก้โจทย์ตามตัวอย่าง มากกว่าการพัฒนาทักษะกระบวนการคิดวิเคราะห์ ครูมักเชื่อว่าหากนักเรียนสามารถทำข้อสอบได้ถือว่าเรียนรู้สำเร็จแล้ว ส่งผลให้นักเรียนขาดโอกาสในการฝึกคิดอย่างลึกซึ้ง ขาดความสามารถในการวิเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูล ตลอดจนการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล เมื่อเผชิญกับโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนหรือแตกต่างจากแบบฝึกที่เคยเรียน นักเรียนมักไม่สามารถนิยามปัญหา ประเมินข้อมูล หรือเลือกแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาได้ ซึ่งสะท้อนถึงข้อจำกัดในการใช้คณิตศาสตร์กับสถานการณ์จริง เช่น การวางแผนการเดินทาง หรือการคาดการณ์เหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนโดยอาศัยความน่าจะเป็น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการขาดทักษะในการคิดอย่างมีวิจารณญาณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรวมถึงการตั้งคำถาม รวบรวมข้อมูลที่น่าเชื่อถือ วิเคราะห์ และสรุปอย่างมีเหตุผล ตามที่ Schaferman (1991) ชี้ให้เห็นว่าทุกกระบวนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องใช้การคิดอย่างมีวิจารณญาณ เช่นเดียวกับ Marcut (2005) ที่เสนอว่าทักษะนี้ไม่ได้เป็นเพียงการจดจำข้อมูล แต่ครอบคลุมการตั้งคำถามเกี่ยวกับข้อสมมติฐาน การประเมินคุณภาพของข้อมูล และการพิจารณามุมมองที่หลากหลาย การเรียนรู้ที่ส่งเสริมกระบวนการคิดดังกล่าวจะช่วยให้นักเรียนสามารถเลือกแนวทางที่เหมาะสม และมองเห็นทางเลือกที่หลากหลายในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีเหตุผล ดังนั้นการจัดการเรียนรู้จึงควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ตั้งคำถาม ทำงานกลุ่ม และอภิปรายแนวทางการแก้ปัญหา เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการตัดสินใจอย่างรอบคอบ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการใช้คณิตศาสตร์ในชีวิตจริง

การจัดกิจกรรมเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง (Realistic Mathematics Education: RME) มีลักษณะที่เอื้อให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ แนวคิดนี้มีจุดเน้นว่าคณิตศาสตร์เป็นกิจกรรมของมนุษย์และต้องเชื่อมโยงกับชีวิตจริง โดยใช้บริบทสถานการณ์โลกความเป็นจริงเป็นแบบจำลองหรือแหล่งเรียนรู้ในการพัฒนาแนวคิดประยุกต์ผ่านกระบวนการการคิดให้เป็นคณิตศาสตร์ (Mathematization) เพื่อให้นักเรียนใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาจนนำไปสู่การสร้างข้อสรุปเกี่ยวกับแนวคิดหรือโมเดลทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับบริบทปัญหานั้น ๆ โดย

แนวทางการออกแบบการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับชีวิตจริงที่ Gravemeijer (1994) เสนอมี 3 หลักการ คือ 1) ผู้เรียนควรได้รับประสบการณ์จากสถานการณ์จริงโดยได้รับคำแนะนำและอำนวยความสะดวกจากครูเกี่ยวกับการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นทางการ ให้โอกาสนักเรียนคิดค้นคณิตศาสตร์ที่เป็นแบบแผนมากขึ้น กล่าวคือ ครูควรเน้นกระบวนการมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้ 2) การสอนที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายสำหรับผู้เรียน และ 3) เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้นำความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการพัฒนาแบบจำลองของตนในการแก้ปัญหา ซึ่งแบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จากแบบจำลองง่าย ๆ ไปสู่แบบจำลองที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ตัวอย่างแบบจำลอง เช่น ภาษา สัญลักษณ์ ภาพวาด แผนภาพ เส้นจำนวน ตาราง สมการ เป็นต้น ควรส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างความรู้ทางคณิตศาสตร์ โดยเริ่มจากมุมมองของตนเอง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงมาพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่สามารถเชื่อมโยงกับปัญหาในชีวิตของผู้เรียนได้หลากหลายสถานการณ์ สามารถใช้ข้อมูลจากการคำนวณความน่าจะเป็นเพื่อนำมาประกอบการพิจารณาในการตัดสินใจ หรือประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลและความเป็นไปได้ของสถานการณ์นั้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งคาดว่าจะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้คณิตศาสตร์ได้อย่างมีความหมาย เห็นถึงคุณค่าและความสำคัญของคณิตศาสตร์กับชีวิตจริง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงที่พัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
2. เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงที่มีต่อความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) ตามแนวคิดของ Kitkuekul (2014) ซึ่งเป็นการวิจัยที่สะท้อนผลการปฏิบัติงานของผู้วิจัยเอง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนใน 1 วงจรปฏิบัติการ ได้แก่ ขั้นวางแผน (Plan) ขั้นปฏิบัติการ (Act) ขั้นสังเกตการณ์ (Observe) และขั้นสะท้อนผล (Reflect) ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนของการวิจัยเชิงปฏิบัติการซ้ำเป็นวงจรจำนวน 3 วงจรปฏิบัติการ และมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นวางแผน (Plan) ผู้วิจัยศึกษาสภาพปัญหาในชั้นเรียน ตลอดจนแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกิจกรรมตามแนวคิด Realistic Mathematics Education (RME) และการพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เพื่อนำมาวางแผนออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้โดยอ้างอิงกรอบทฤษฎี RME ของ Wahyudi (2016) เป็นหลัก ทั้งนี้ ผู้วิจัยปรับเนื้อหา บริบทปัญหา และวิธีการจัดกิจกรรมให้สอดคล้องกับลักษณะผู้เรียนและบริบทของโรงเรียน เพื่อให้เหมาะสมต่อการพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิบัติการ (Act) ผู้วิจัยจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนจัดการเรียนรู้ทั้ง 5 ขั้นตอนของแนวคิด RME ที่สร้างขึ้นไปใช้ในห้องเรียน ซึ่งดำเนินการในเดือนมกราคม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 3 แผน แผนละ 3-4 ชั่วโมง รวมเป็น 10 ชั่วโมง

ขั้นที่ 3 ขั้นสังเกตการณ์ (Observe) ขั้นนี้เกิดขึ้นพร้อมขั้นที่ 2 โดยผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการณ์ ซึ่งคือครูประจำการทำหน้าที่สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้และปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ พร้อมทั้งบันทึกผลการจัดการเรียนรู้ลงในแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการสะท้อนผลในภายหลัง

ขั้นที่ 4 ขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect) ผู้วิจัยนำข้อมูลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ มาวิเคราะห์ร่วมกับผู้ร่วมสังเกตการณ์ เพื่อสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ ปัญหา และอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ เพื่อนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการถัดไปให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2. กลุ่มเป้าหมาย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวน 30 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ซึ่งคัดเลือกโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากนักเรียนกลุ่มนี้มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ใกล้เคียงกัน โดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ประเมินจากแบบทดสอบก่อนเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการเชื่อมโยงความรู้ทางคณิตศาสตร์กับสถานการณ์จริง สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่มุ่งพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งเป็นทักษะการคิดขั้นสูง การคัดเลือกนักเรียนที่มีพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เพียงพอจึงมีความเหมาะสม เพื่อให้สะท้อนผลการพัฒนาทักษะดังกล่าวได้อย่างชัดเจน

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ทางการจัดกิจกรรมเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เรื่อง ความน่าจะเป็น จำนวน 3 แผนจัดการเรียนรู้ ใช้เวลาทั้งหมด 10 ชั่วโมง ได้แก่ 1) การทดลองสุ่มและเหตุการณ์ 2) ความน่าจะเป็น 3) กฎที่สำคัญบางประการของความน่าจะเป็น

3.2 ใบกิจกรรม เป็นส่วนหนึ่งของแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งข้อคำถามแต่ละข้อในใบกิจกรรมจะส่งเสริมความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียน เป็นแบบเขียนตอบอิสระ

3.3 แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ สำหรับผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้สังเกตและจดบันทึกสภาพปัญหา ข้อดี และข้อที่ควรปรับปรุง ในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยในวงจรปฏิบัติการถัดไป

3.4 แบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับประเมินผลหลังการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 แผน เป็นแบบเขียนตอบอิสระโดยมีสถานการณ์ปัญหา พร้อมคำถามที่สอดคล้องกับกระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณเช่นเดียวกับใบกิจกรรม เครื่องมือนี้ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่าทุกข้อมีค่า IOC เท่ากับ 1.00 แสดงว่าแบบวัดมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสามารถนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

4.1 ปฐมนิเทศและชี้แจงจุดประสงค์การเรียนรู้แก่กลุ่มเป้าหมายนักเรียน

4.2 จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 รวมเวลาเรียน 10 ชั่วโมง

4.3 ระหว่างกิจกรรม นักเรียนทำกิจกรรมเป็นกลุ่มย่อย 5 กลุ่ม กลุ่มละ 6 คน โดยใช้การคลาะความสามารถทางคณิตศาสตร์ นักเรียนร่วมกันศึกษา แสดงวิธีคิด แลกเปลี่ยนแนวคิด และบันทึกผลในใบกิจกรรม ขณะเดียวกันผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตจดบันทึกพฤติกรรมในแบบสะท้อนผล

4.4 เมื่อแต่ละกลุ่มส่งใบกิจกรรม ผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตให้คะแนน และสะท้อนผลการเรียนรู้ในชั่วโมงสุดท้ายของแต่ละแผน

4.5 เมื่อจบแต่ละแผน คณะผู้วิจัยได้ประชุมร่วมกันพิจารณาสรุปผลการจัดกิจกรรมเพื่อนำไปปรับปรุงแผนต่อไป

4.6 หลังจบกิจกรรมทั้ง 3 แผน (3 วงจรปฏิบัติการ) นักเรียนทำแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณรายบุคคล ประกอบด้วย 3 สถานการณ์ สถานการณ์ละ 5 ข้อ รวม 15 ข้อ ครอบคลุมองค์ประกอบทั้ง 5 ด้าน ใช้เวลาทดสอบ 2 ชั่วโมง

4.7 ผู้วิจัยนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาผลการวิจัย

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากเครื่องมือวิจัยมาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.1 การวิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้มาทำการวิเคราะห์เมื่อสิ้นสุดในแต่ละวงจรปฏิบัติการ โดยการลดและแยกข้อมูล รวมกลุ่มข้อมูลเป็นหมวดหมู่ และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้ เพื่อสรุปประเด็นในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ แล้วตรวจสอบว่าข้อมูลจากผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้มีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยใช้การตรวจสอบสามเส้าแบบใช้แหล่งข้อมูลมากกว่าหนึ่งชนิด (Resource triangulation) จากนั้นสรุปเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง หลังจากจัดการเรียนรู้ครบ 3 วงจร

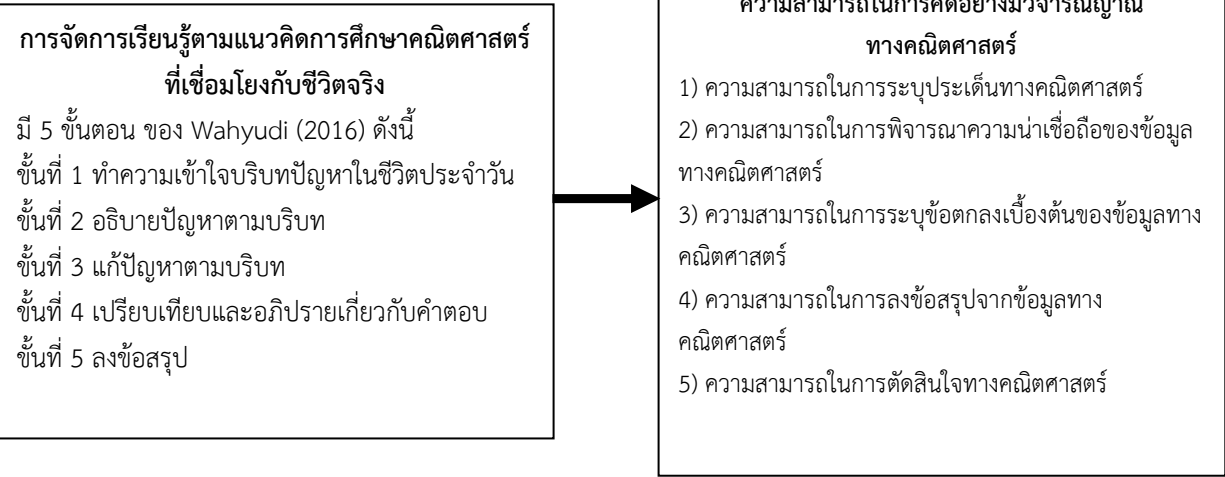
5.2 การวิเคราะห์ผลต่อความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลจากใบกิจกรรมและแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ มาทำการวิเคราะห์เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 วงจร โดยใช้การตรวจสอบสามเส้าแบบใช้เครื่องมือวิจัยมากกว่าหนึ่งชนิด (Methodological triangulation) เริ่มจากการลดและแยกคำตอบ จัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนที่สามารถบ่งบอกพฤติกรรมที่แสดงถึงความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณตามองค์ประกอบทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ การระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ การพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล การระบุข้อตกลงเบื้องต้น การลงข้อสรุป และการตัดสินใจ โดยจำแนกเป็นระดับพฤติกรรมของนักเรียนในแต่ละด้าน เป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีเยี่ยม (3) ดี (2) พอใช้ (1) และปรับปรุง (0) ตามลำดับ แล้วนำมาวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผลการวิเคราะห์จากใบกิจกรรมระหว่างการเรียนรู้แบบกลุ่มกับแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณรายบุคคล จากนั้นสรุปผลการพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งผู้วิจัยแสดงการจำแนกเกณฑ์การประเมินความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณตามรายด้าน ทั้งนี้ได้นำเสนอตัวอย่างเกณฑ์การประเมินในด้านความสามารถในการระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์

ความสามารถ รายด้าน	ระดับ ความสามารถ	เกณฑ์การประเมิน
ความสามารถ ในการระบุ ประเด็นทาง คณิตศาสตร์	3 (ดีเยี่ยม)	สามารถระบุประเด็นปัญหาที่โจทย์ต้องการได้อย่างถูกต้อง ชัดเจน และครบถ้วน พร้อมทั้งระบุหัวข้อทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม และครอบคลุมประเด็น โดยอธิบายได้ชัดเจนว่าหัวข้อนั้นสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างไร โดยมีความสมเหตุสมผล
	2 (ดี)	สามารถระบุประเด็นปัญหาได้ค่อนข้างถูกต้องและชัดเจน แต่อาจขาดบางจุดย่อยหรือรายละเอียดเล็กน้อย และระบุหัวข้อทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องในระดับหนึ่ง แต่อธิบายการนำไปใช้ยังไม่สมบูรณ์หรือคลุมเครือเล็กน้อย
	1 (พอใช้)	สามารถระบุประเด็นปัญหาได้เพียงบางส่วนหรือไม่ชัดเจน มีความคลาดเคลื่อนในสาระสำคัญของประเด็น และระบุหัวข้อทางคณิตศาสตร์ได้ไม่ครบหรือมีความคลาดเคลื่อนบางส่วน และอธิบายการนำไปใช้อย่างไม่ชัดเจนหรือไม่ถูกต้อง
	0 (ปรับปรุง)	ไม่สามารถระบุประเด็นปัญหาได้เลย หรือระบุผิดไปจากความตั้งใจของปัญหาทั้งหมด และไม่สามารถระบุหัวข้อทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องได้เลย หรืออธิบายการนำไปใช้อย่างผิดพลาดโดยสิ้นเชิง

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ผลการวิจัยตอนที่ 1 แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงที่พัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ผู้วิจัยได้สรุปปัญหาและแนวทางการปรับปรุงของแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 พบว่า นักเรียนบางส่วนยังไม่เข้าใจบริบทปัญหาอย่างชัดเจน แม้ใบกิจกรรมที่ใช้จะมีความเชื่อมโยงกับชีวิตจริงของนักเรียน แต่เนื่องจากข้อมูลที่ให้มามีจำนวนมากและหลากหลาย ทำให้นักเรียนบางส่วนไม่สามารถระบุประเด็นที่ต้องการแก้ปัญหาได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงปรับปรุงใบกิจกรรมโดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่จำเป็น ลดความซ้ำซ้อน และจัดลำดับข้อมูลให้กระชับและชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ได้เพิ่มการอภิปรายกลุ่มย่อยเพื่อให้เพื่อนช่วยกันอธิบายและแลกเปลี่ยนความเข้าใจ ทำให้นักเรียนที่ยังไม่เข้าใจสามารถเห็นภาพของปัญหาชัดเจนขึ้น พร้อมทั้งให้ครูใช้คำถามกระตุ้นและให้นักเรียนย้อนกลับไปอ่านสถานการณ์ซ้ำ เพื่อช่วยให้สามารถระบุประเด็นปัญหาได้ถูกต้อง นอกจากนี้นักเรียนบางกลุ่มยังไม่สามารถอธิบายเงื่อนไขของปัญหาได้ครบถ้วน ผู้วิจัยจึงเพิ่มตัวอย่างปัญหาที่คล้ายคลึงเพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจบริบทมากขึ้น และให้ครูใช้คำถามชี้แนะเพื่อกระตุ้นให้ระบุเงื่อนไขสำคัญได้ถูกต้อง ส่วนการแก้ปัญหาตามบริบทยังพบว่านักเรียนบางส่วนไม่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับความรู้เดิมได้อย่างต่อเนื่อง จึงได้ปรับลำดับคำถามในใบกิจกรรมให้เป็นขั้นตอนง่ายต่อการคิดวิเคราะห์ พร้อมทั้งให้แต่ละกลุ่มนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหา และเปิดโอกาสให้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกลุ่ม โดยให้กลุ่มอื่นซักถามหรือให้ข้อเสนอแนะเพื่อช่วยตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของวิธีแก้ปัญหา ในขั้นการอภิปรายเปรียบเทียบ พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่กล้าแสดงความคิดเห็น ผู้วิจัยจึงปรับให้มีการอภิปรายแบบกลุ่มย่อยก่อน เพื่อสร้างความมั่นใจในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และให้ครูมีบทบาทกระตุ้นด้วยคำถามที่ชี้แนะให้นักเรียนเปรียบเทียบข้อดีข้อจำกัดของแต่ละวิธีอย่างมีเหตุผลมากขึ้น สุดท้ายขั้นการลงข้อสรุป นักเรียนยังไม่สามารถสรุปคำตอบได้อย่างชัดเจนและขาดเหตุผลประกอบที่เป็นระบบ ผู้วิจัยจึงเพิ่มเวลาในการสรุปผล และให้ครูใช้คำถามชี้แนะให้นักเรียนอธิบายเหตุผลประกอบอย่างเป็นลำดับขั้น

วงจรปฏิบัติการที่ 2 หลังการปรับปรุงพบว่า นักเรียนสามารถเข้าใจบริบทปัญหาได้ดีขึ้น แต่บางคนยังไม่สามารถเชื่อมโยงกับประสบการณ์ของตนเองได้ ผู้วิจัยจึงเพิ่มกิจกรรมอภิปรายประสบการณ์ส่วนตัวก่อนเริ่มทำใบกิจกรรม เพื่อให้ นักเรียนตระหนักถึงความเชื่อมโยงระหว่างบริบทกับชีวิตจริง พร้อมทั้งให้ครูใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนอธิบายเหตุผลประกอบการเลือกข้อมูลให้ครบถ้วนมากขึ้น ในขั้นอธิบายปัญหาพบว่า นักเรียนบางกลุ่มยังเขียนเงื่อนไขของปัญหาไม่เป็นระบบ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้แต่ละกลุ่มช่วยกันระบุเงื่อนไขเป็นข้อ ๆ และครูคอยตรวจสอบระหว่างทำกิจกรรม ส่วนการแก้ปัญหาตามบริบท นักเรียนบางกลุ่มยังให้เหตุผลไม่ต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงให้ครูตั้งคำถามเชิงลึกเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบ พร้อมทั้งให้แต่ละกลุ่มนำเสนอคำตอบและเปิดโอกาสให้กลุ่มอื่นให้ข้อเสนอแนะซึ่งกันและกัน เพื่อช่วยตรวจสอบความถูกต้องของวิธีแก้ปัญหา ในขั้นการอภิปรายเปรียบเทียบ นักเรียนบางกลุ่มยังนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาไม่ครบทุกประเด็น ผู้วิจัยจึงกระตุ้นให้นักเรียนให้ข้อเสนอแนะซึ่งกันและกัน เพื่อช่วยเติมเต็มประเด็นที่ขาดและตระหนักถึงความแตกต่างของแต่ละแนวทาง ส่งผลให้นักเรียนเริ่มกล้าแลกเปลี่ยนความคิดเห็นมากขึ้น และสามารถเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละแนวทางได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามนักเรียนบางคนยังขาดความสนใจต่อการนำเสนอของเพื่อน ผู้วิจัยจึงให้ครูใช้คำถามชี้แนะเชิงลึกและรายบุคคล เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนตั้งใจฟังและมีส่วนร่วมในการอภิปรายมากยิ่งขึ้น ส่วนขั้นการลงข้อสรุปนักเรียนบางกลุ่มยังสรุปคำตอบโดยไม่เชื่อมโยงเหตุผลทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยจึงเพิ่มตัวอย่างการสรุปที่ชัดเจนพร้อมเหตุผลประกอบ และย้ำให้นักเรียนใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายคำตอบอย่างเป็นลำดับขั้น

วงจรปฏิบัติการที่ 3 หลังการปรับปรุงตามแนวทางข้างต้น พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถเข้าใจบริบทและเชื่อมโยงกับประสบการณ์จริงได้ดีขึ้น อธิบายเงื่อนไขของปัญหาได้ครบถ้วนและชัดเจน ใช้เหตุผลในการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ อีกทั้งสามารถเปรียบเทียบแนวทาง วิเคราะห์ข้อดีข้อจำกัด และอธิบายอย่างสร้างสรรค์ได้ดีขึ้น โดยมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและให้ข้อเสนอแนะซึ่งกันและกันอย่างต่อเนื่อง ภายใต้การกระตุ้นของครูที่ใช้คำถามเชิงลึกช่วยให้นักเรียนให้เหตุผลได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สุดท้ายนักเรียนสามารถสรุปผลได้อย่างชัดเจน โดยให้เหตุผลที่เชื่อมโยงกับสถานการณ์จริงอย่างเหมาะสม และมีความกระตือรือร้นในการมีส่วนร่วมตลอดกระบวนการเรียนรู้

จากการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการทั้ง 3 วงจร แสดงให้เห็นการพัฒนาอย่างเป็นลำดับขั้น โดยการปรับปรุงกิจกรรมในแต่ละขั้นตอนตามผลการสะท้อนผลทำให้แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิด RME มีความเหมาะสมกับนักเรียนมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้สรุปปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหามิในแต่ละวงจรปฏิบัติการ เพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจบริบทปัญหาในชีวิตประจำวัน: การจัดกิจกรรมเริ่มจากการนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงของนักเรียน เช่น การเลือกครีมกันแดด การนั่งในตำแหน่งปลอดภัยบนรถ และการพยากรณ์ฝนในวันกิจกรรมกีฬา โดยสถานการณ์เหล่านี้ถูกออกแบบให้ใกล้เคียงกับประสบการณ์จริงของผู้เรียน เพื่อกระตุ้นความสนใจและสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ นักเรียนมีโอกาสแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับสถานการณ์ที่กำหนด และพยายามวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร ส่งผลให้นักเรียนสามารถระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ได้ชัดเจนมากขึ้น ทั้งในด้านคำถามหลักของปัญหาและแนวคิดเบื้องต้นที่จำเป็นต้องใช้ โดยผู้วิจัยมีบทบาทเป็นผู้กระตุ้นและตั้งคำถามเพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนเชื่อมโยงบริบทกับประสบการณ์เดิม ซึ่งส่งผลต่อความเข้าใจในสถานการณ์อย่างมีความหมาย

ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาตามบริบท: นักเรียนมีส่วนร่วมในการอภิปรายกลุ่มย่อยถึงปัญหาที่พบในสถานการณ์ โดยใช้ข้อมูลจากโจทย์และประสบการณ์ของตนเองเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในกลุ่มย่อยกระบวนการนี้ส่งเสริมการใช้ภาษา คณิตศาสตร์และการให้เหตุผลเชิงวิเคราะห์ นักเรียนสามารถอธิบายปัญหาได้อย่างเป็นระบบ โดยพยายามระบุว่าโจทย์ต้องการให้แก้ไขอะไร ต้องใช้ข้อมูลใด และควรใช้ความรู้คณิตศาสตร์ด้านใดมาประยุกต์ใช้ นอกจากนี้ยังมีการอภิปรายถึงข้อจำกัดและสมมติฐานในสถานการณ์ที่กำหนด ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงพัฒนาการด้านการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยมีบทบาทในการใช้คำถามกระตุ้นคิดเพิ่มเติมที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจปัญหาได้ชัดเจนมากขึ้น

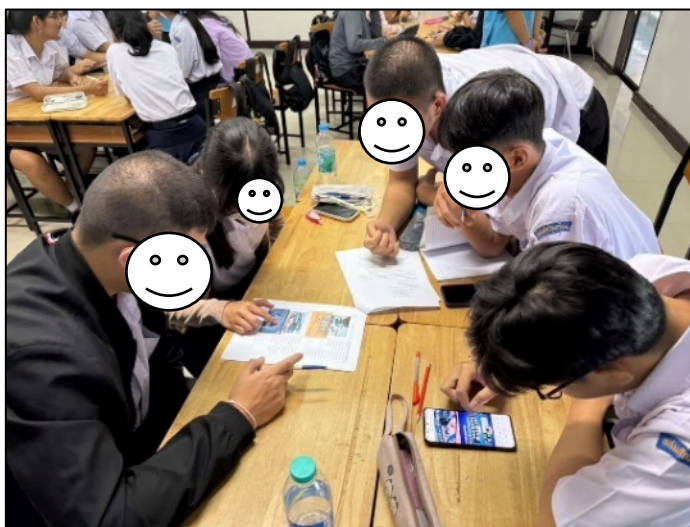
ขั้นที่ 3 แก้ปัญหาตามบริบท: นักเรียนเริ่มต้นการแก้ปัญหาด้วยการเลือกใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นก่อนหน้า และนำมาจัดระบบความคิดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น แผนภาพ ตาราง และสมการ กระบวนการนี้เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความสามารถในการเลือกแนวทางที่เหมาะสมกับสถานการณ์ และใช้เหตุผลประกอบในการแก้ปัญหา นักเรียนบางกลุ่มนำเสนอแนวทางที่หลากหลาย สะท้อนให้เห็นถึงความคิดสร้างสรรค์และความเข้าใจในข้อมูลอย่างลึกซึ้ง ขณะเดียวกันผู้วิจัยมีบทบาทในการให้คำแนะนำ แก้ไขความเข้าใจผิด และตั้งคำถามสะท้อนกลับ เช่น วิธีนี้ใช้กับสถานการณ์จริงได้หรือไม่ เพราะอะไร ทั้งนี้การลงมือเขียนคำตอบในใบกิจกรรมเป็นขั้นตอนที่ทำให้ให้นักเรียนได้สรุปแนวคิดที่ตกผลึกแล้วอย่างเป็นลำดับขั้น

ขั้นที่ 4 เปรียบเทียบและอภิปรายเกี่ยวกับคำตอบ: หลังจากแต่ละกลุ่มนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาและคำตอบ นักเรียนมีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกลุ่ม ซึ่งช่วยให้เกิดการเปรียบเทียบวิธีการ คำตอบ และเหตุผลประกอบ นักเรียนเริ่มวิเคราะห์ข้อดี ข้อจำกัด และความเป็นไปได้ของแต่ละแนวทาง โดยใช้หลักฐานจากข้อมูลในสถานการณ์และหลักการ

ทางคณิตศาสตร์ การอภิปรายมีลักษณะของการให้เหตุผลและการใช้ภาษาทางคณิตศาสตร์ที่ชัดเจนขึ้น เช่น การโต้แย้งเชิงหลักการ หรือการอ้างอิงสมมติฐานในการเลือกใช้อ้างอิง ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่แสดงถึงพัฒนาการด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ผู้วิจัยมีบทบาทในการชี้ให้เห็นจุดเด่นของแนวคิดที่หลากหลาย พร้อมทั้งสนับสนุนให้นักเรียนเคารพความคิดเห็นที่แตกต่าง และนำข้อมูลเหล่านั้นมาไตร่ตรองต่อยอดความคิดของตนเอง

ขั้นที่ 5 ลงข้อสรุป: เมื่อกิจกรรมดำเนินมาถึงขั้นสุดท้าย นักเรียนได้ร่วมกันสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ทั้งในแง่ของผลลัพธ์ แนวทางการแก้ปัญหา และเหตุผลที่สนับสนุนความคิดของตนเอง การสรุปผลลัพธ์ในขั้นนี้ไม่ได้จำกัดเพียงคำตอบสุดท้ายเท่านั้น แต่รวมถึงกระบวนการคิด การเลือกใช้อ้างอิง และการพิจารณาความเหมาะสมของแนวทางต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกิจกรรม การสะท้อนผลการเรียนรู้ร่วมกันช่วยให้นักเรียนเข้าใจว่าการคิดอย่างมีวิจารณญาณไม่ใช่เพียงการหาคำตอบที่ถูกต้อง แต่ต้องสามารถอธิบายและให้เหตุผลสนับสนุนได้อย่างสมเหตุสมผลด้วย ผู้วิจัยชี้ให้เห็นถึงตัวแปรที่มีผลต่อการตัดสินใจ เช่น ความสมเหตุสมผล หรือความน่าเชื่อถือของข้อมูล พร้อมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนเชื่อมโยงบทเรียนกับสถานการณ์ชีวิตจริง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่ยั่งยืน

สรุปได้ว่า แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตที่พัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 อ้างอิงขั้นตอนการจัดกิจกรรมตามแนวคิด RME 5 ขั้นตอนของ Wahyudi (2016) ซึ่งได้ผ่านการดำเนินการและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องใน 3 วงจรปฏิบัติการ โดยผลการสังเคราะห์พบว่าควรเน้นประเด็นสำคัญเพิ่มเติมในแต่ละขั้นตอน ดังนี้ ได้แก่ 1) การคัดเลือกบริบทปัญหาที่มีความหมายและสอดคล้องกับชีวิตจริงของผู้เรียน 2) การอภิปรายกลุ่มย่อยเพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกันในสถานการณ์ปัญหาอย่างลึกซึ้ง 3) การใช้คำถามกระตุ้นแบบมีโครงสร้าง โดยครูเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงลึก 4) การเปิดพื้นที่ให้มีการเปรียบเทียบ อภิปราย และแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และ 5) การทบทวนความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ก่อนเข้าสู่เนื้อหาที่ซับซ้อน



ภาพที่ 1 การมีส่วนร่วมในการอภิปรายและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่มย่อย

ตอนที่ 2 ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงที่มีต่อความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยให้นักเรียนทำกิจกรรมเป็นรายกลุ่ม ๆ จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 6 คน และเมื่อจัดการเรียนรู้ครบ 3 แผนแล้ว ผู้วิจัยจึงให้นักเรียนทำแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นรายบุคคล และทำการวิเคราะห์ผลจากใบกิจกรรมและแบบวัด ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content Analysis) โดยการจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียน ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีเยี่ยม (3) ดี (2) พอใช้ (1) และปรับปรุง (0) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

อภิปรายผลการวิจัย

ตอนที่ 1 แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงที่พัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจบริบทปัญหาในชีวิตประจำวัน: การเริ่มต้นการเรียนรู้ด้วยสถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงที่เกี่ยวข้องกับตัวผู้เรียน มีความซับซ้อนพอเหมาะ และมีบริบทที่หลากหลาย เช่น การเลือกครีมกันแดดที่เหมาะสม โอกาสที่ได้นั่งในตำแหน่งที่ปลอดภัยบนยานพาหนะ หรือการพยากรณ์ฝนในเพชรบูรณ์ ส่งผลให้นักเรียนรู้สึกอยากมีส่วนร่วมและสนใจเนื้อหามากยิ่งขึ้น ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญของการกระตุ้นให้นักเรียนได้ฝึกวิเคราะห์และตีความสถานการณ์ที่หลากหลาย ซึ่งการใช้คำถามกระตุ้นคิดและชวนอภิปรายถึงสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้นักเรียนเข้าใจถึงปัญหาได้ดีขึ้น เห็นถึงปัญหาและข้อมูลที่สำคัญที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหา แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Gravemeijer (1994) และ Wahyudi (2016) ที่เห็นว่าการสร้างความหมายทางคณิตศาสตร์ควรเริ่มต้นจากบริบทจริงที่มีความหมายต่อตัวผู้เรียน เพื่อกระตุ้นให้เกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์ด้วยตนเอง ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการเรียนรู้คณิตศาสตร์อย่างมีคุณภาพ นอกจากนี้ การใช้สถานการณ์จากชีวิตจริงยังสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kaewsaensai and Kijkuakul (2021) ที่พบว่า การใช้บริบทจริงในการเรียนการสอนช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางคณิตศาสตร์ได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น และสามารถอธิบายแนวคิดต่าง ๆ ด้วยเหตุผลอย่างชัดเจน

ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาตามบริบท: นักเรียนมีการอภิปราย แลกเปลี่ยน และตั้งคำถามร่วมกับเพื่อนในกลุ่ม โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้ภาษาของตนเองในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น อธิบายสถานการณ์ และตั้งคำถามต่อกัน เพื่ออธิบายความเข้าใจของตนเองต่อสถานการณ์และข้อมูลในโจทย์ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องอธิบายให้เพื่อนที่ยังไม่เข้าใจสามารถตามได้ทัน กระบวนการดังกล่าวช่วยให้สมาชิกในกลุ่มเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น นักเรียนสามารถอธิบายสถานการณ์และปัญหาทางคณิตศาสตร์จากบริบทจริงได้อย่างมีเหตุผล ชัดเจน และเชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่มีอยู่ แนวทางนี้สอดคล้องกับ Wahyudi (2016) ที่ระบุว่า การอภิปรายในกลุ่มช่วยให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในบริบทของสถานการณ์ปัญหา และสามารถแปลงสถานการณ์เหล่านั้นให้เป็นโจทย์คณิตศาสตร์ได้ด้วยตนเอง ซึ่งการอภิปรายกลุ่มยังช่วยมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเรียนรู้แบบร่วมมือ ที่ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้จากกันและกัน ผ่านการอธิบายแนวคิดของตนเอง รับฟังมุมมองของผู้อื่น และตั้งคำถามซึ่งกันและกัน กระบวนการนี้ส่งผลให้เกิดการพัฒนาแนวคิดอย่างเป็นระบบ และช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจสถานการณ์ทางคณิตศาสตร์ได้ลึกซึ้งกว่าการเรียนรู้แบบรายบุคคล และยังสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Sukkerd (2022) ที่พบว่า การใช้คำถามเชิงการรู้คิดร่วมกับบริบทใกล้ตัวนักเรียน สามารถส่งเสริมความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในด้านการตั้งคำถาม การวิเคราะห์เงื่อนไข และการตรวจสอบข้อมูลจากสถานการณ์ที่กำหนด

ขั้นที่ 3 แก้ปัญหาตามบริบท: การแก้ปัญหาตามบริบทเป็นช่วงสำคัญที่นักเรียนได้ฝึกฝนการนำความรู้เดิมมาเชื่อมโยงกับสถานการณ์ใหม่อย่างสร้างสรรค์ ผ่านการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น ตาราง สมการ หรือแผนภาพ เพื่อวิเคราะห์สื่อสาร และเสนอแนวทางแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผล กระบวนการนี้เปิดโอกาสให้นักเรียนฝึกคิดเชิงระบบ ตรวจสอบวิธีการที่เลือกใช้ด้วยข้อมูลที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้นักเรียนยังได้ฝึกการอภิปรายร่วมกับเพื่อนภายในกลุ่ม เพื่อร่วมกันวิเคราะห์ และหาข้อสรุปที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในระดับลึกและส่งเสริมทักษะการใช้เหตุผลและการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการในการลงข้อสรุปจากข้อมูลและการตัดสินใจอย่างมีวิจารณญาณ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Deelamai, Somjaipheng and Kasemsukpapipat (2024) ได้กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยให้นักเรียนสามารถแปลงสถานการณ์ในชีวิตจริงเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เลือกวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา และอธิบายเหตุผลประกอบการตัดสินใจของตนเองได้อย่างมีตรรกะ ซึ่งแสดงถึงการพัฒนาความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณในระดับที่ลึกซึ้ง

ขั้นที่ 4 เปรียบเทียบและอภิปรายเกี่ยวกับคำตอบ: เป็นช่วงสำคัญของกระบวนการเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนการวิเคราะห์ การประเมิน และการสื่อสารเหตุผล นักเรียนได้มีโอกาสนำเสนอแนวทางแก้ปัญหาของตนเองต่อหน้าชั้นเรียน ซึ่งส่งเสริมความมั่นใจและการใช้ภาษาทางคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน จากนั้นนักเรียนกลุ่มอื่นมีบทบาทในการตั้งคำถาม แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และวิพากษ์แนวทางของกันและกันอย่างสร้างสรรค์ ครูคอยชี้แนะให้นักเรียนพิจารณาความเหมาะสมของแต่ละแนวทาง โดยใช้คำถามกระตุ้นคิด เช่น แนวทางนี้มีข้อดีอย่างไร มีจุดใดที่ควรปรับปรุงหรือไม่ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเปรียบเทียบแนวทางในการแก้ปัญหาของแต่ละกลุ่ม ซึ่งนักเรียนสามารถแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล แลกเปลี่ยนแนวคิด เปรียบเทียบข้อดีข้อจำกัดของแต่ละวิธีการ และใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการประเมินความถูกต้องของแนวทางที่เสนอ ซึ่งแสดงถึงพัฒนาการด้านการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ โดยนักเรียนสามารถเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุด พร้อมอธิบายเหตุผลที่ใช้สนับสนุนการตัดสินใจของตนได้อย่างมีเหตุผลและมีหลักการ สอดคล้องกับแนวคิดของ Hikayat *et al.* (2020) ที่เสนอว่า

การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการอภิปรายและเปรียบเทียบแนวทางของเพื่อน จะช่วยพัฒนาทักษะการวิเคราะห์และการสรุปผลของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณทางคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 5 ลงข้อสรุป: กระบวนการลงข้อสรุปเป็นขั้นตอนสำคัญที่เปิดโอกาสให้นักเรียนไตร่ตรองสิ่งที่ได้เรียนรู้จากสถานการณ์ปัญหา ทั้งในด้านข้อมูลคณิตศาสตร์ วิธีการแก้ปัญหา และข้อสรุปเพื่อใช้ในการตัดสินใจถึงความเหมาะสม โดยครูจะใช้คำถามกระตุ้นเพื่อให้นักเรียนได้เชื่อมโยงความรู้ที่เรียนมากับบริบทในชีวิตจริง ทำให้นักเรียนสามารถร่วมกันสรุปแนวคิดและเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดจากหลายแนวทางได้อย่างมีเหตุผล โดยอ้างอิงจากข้อมูลและหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ศึกษาและพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์อย่างรอบคอบ สอดคล้องกับงานของ Marasri (2019) ที่พบว่า การให้นักเรียนได้อภิปรายร่วมกันในหัวข้อที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงหรือเป็นเรื่องที่สนใจ ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนฝึกการลงข้อสรุปอย่างมีเหตุผลและประเมินความคิดเห็นของผู้อื่นได้อย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการจัดกิจกรรมที่เน้นการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ในวิชาคณิตศาสตร์ และนักเรียนยังสามารถสะท้อนความเข้าใจ วิเคราะห์ข้อผิดพลาดของตนเอง และเสนอแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขได้อย่างมีเหตุผล

ตอนที่ 2 ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการศึกษาคณิตศาสตร์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงที่มีต่อความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เรื่อง ความน่าจะเป็น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

1. ความสามารถในการระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์

นักเรียนมีความสามารถในการระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์ในใบกิจกรรมและแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณอยู่ในระดับดีเยี่ยม ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด RME โดยในขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจบริบทในชีวิตประจำวันกิจกรรมที่ออกแบบโดยใช้สถานการณ์ที่ใกล้ตัวนักเรียน เช่น การเลือกใช้ครีมกันแดด การเลือกตำแหน่งที่นั่งปลอดภัย การวิเคราะห์เกมฟุตบอล และการพยากรณ์ฝนในเพชรบูรณ์ มีส่วนช่วยกระตุ้นความสนใจและแรงจูงใจให้นักเรียนเข้าใจสถานการณ์ปัญหาอย่างลึกซึ้ง ส่งผลให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ได้ว่าสถานการณ์ต้องการให้แก้ปัญหาอะไร และควรใช้ความรู้คณิตศาสตร์ในหัวข้อใดในการแก้ปัญหานั้น ในขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาตามบริบท การอภิปรายกลุ่มย่อยช่วยให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้วยภาษาของตนเอง ทำให้สามารถอธิบายและระบุประเด็นของปัญหาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยครูมีบทบาทสำคัญในการชี้แนะการใช้ภาษาทางคณิตศาสตร์อย่างเหมาะสม ทั้งนี้กระบวนการในสองขั้นตอนแรกช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้คณิตศาสตร์กับบริบทของสถานการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวคิดของ Freudenthal (1973) ที่เสนอว่าการเรียนรู้คณิตศาสตร์ควรเกิดขึ้นจากสถานการณ์ในชีวิตจริงที่นักเรียนมีประสบการณ์และสามารถมีส่วนร่วมได้อย่างแท้จริง โดยเน้นให้ผู้เรียนสร้างความหมายทางคณิตศาสตร์จากการมีปฏิสัมพันธ์กับบริบท และสอดคล้องกับ Kaewsaensai and Kijkuakul (2021) ในการศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน พบว่า นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมกับสถานการณ์ใหม่ และระบุสิ่งที่ต้องการหาคำตอบจากปัญหาได้ชัดเจน ซึ่งเป็นหัวใจของการระบุประเด็นทางคณิตศาสตร์

2. ความสามารถในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลทางคณิตศาสตร์

นักเรียนมีความสามารถในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูลทางคณิตศาสตร์ในใบกิจกรรมและแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณอยู่ในระดับดีเยี่ยม ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด RME โดยเฉพาะในขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจบริบทในชีวิตประจำวัน เมื่อนักเรียนเข้าใจสถานการณ์ปัญหาได้อย่างลึกซึ้ง จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าข้อมูลที่โจทย์ให้มามีอะไรบ้าง และเลือกใช้ข้อมูลใดในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามในวงปฏิบัติการที่ 1 พบว่านักเรียนบางกลุ่มยังไม่สามารถเลือกข้อมูลที่จำเป็นได้ครบถ้วน ซึ่งอาจเกิดจากความซับซ้อนและปริมาณข้อมูลที่มากเกินไปในกิจกรรมแรก แต่การจัดกิจกรรมกลุ่มย่อยที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกัน พร้อมทั้งการตั้งคำถามกระตุ้นคิดโดยครู ส่งผลให้นักเรียนสามารถระบุและอธิบายข้อมูลที่เลือกใช้ในการแก้ปัญหาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาตามบริบท การอภิปรายภายในกลุ่มช่วยให้นักเรียนเข้าใจข้อมูลที่ได้รับและข้อมูลที่เลือกใช้อย่างลึกซึ้ง โดยการใช้ภาษาของตนเองในการสื่อสารและวิเคราะห์ความเพียงพอและความสอดคล้องของข้อมูล ส่งผลให้นักเรียนสามารถประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างมีเหตุผล สอดคล้องกับแนวคิด Marasri (2019) ที่เสนอว่า การคิดอย่างมีวิจารณญาณทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วยการประเมินข้อมูลอย่างมีระบบ ผู้เรียนจำเป็นต้องฝึกฝนการพิจารณาความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยเฉพาะในบริบทของสถานการณ์จริงที่มีความหมายต่อตัวผู้เรียน ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเลือกใช้ข้อมูลอย่างเหมาะสมและมีเหตุผล และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiangsin and Patphol (2018) ที่พบว่า การอภิปรายกลุ่มและการตั้งคำถามเชิงสะท้อนช่วยให้นักเรียนสามารถเลือกข้อมูลที่จำเป็นและประเมินความเพียงพอของข้อมูลได้อย่างรอบคอบและมีเหตุผล

3. ความสามารถในการระบุข้อตกลงเบื้องต้นของข้อมูลทางคณิตศาสตร์

นักเรียนมีความสามารถในการระบุข้อตกลงเบื้องต้นของข้อมูลทางคณิตศาสตร์ในใบกิจกรรมและแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณอยู่ในระดับดีเยี่ยม ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด RME โดยเฉพาะในขั้นที่ 3 แก้ปัญหาตามบริบท ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ร่วมกันวิเคราะห์ข้อมูล เลือกวิธีการที่เหมาะสม และวางแผนในการนำข้อมูลไปใช้ในการแก้ปัญหาอย่างมีระบบ นักเรียนในแต่ละกลุ่มสามารถอธิบายแนวทางการแก้ปัญหาจากข้อมูลที่เลือกใช้อย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการตั้งสมมติฐาน และการวางแผนแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผลและเป็นระบบ อันเป็นลักษณะของการระบุข้อตกลงเบื้องต้นของข้อมูลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม สอดคล้องกับแนวคิดของ Polya (1957) ที่เสนอว่า การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพต้องเริ่มจากการทำความเข้าใจปัญหา และการวางแผนแนวทางการแก้ปัญหา โดยเน้นให้ผู้เรียนตั้งสมมติฐานและใช้ข้อมูลอย่างมีระบบ และสอดคล้องกับ Mariani, Nurasiah and Nurmeta (2024) ซึ่งพบว่า การเรียนรู้โดยใช้แนวคิด RME ช่วยให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ข้อมูล ตั้งข้อสันนิษฐาน และวางแผนการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ มีเหตุผล และสามารถอธิบายแนวคิดของตนเองได้อย่างชัดเจน

4. ความสามารถในการลงข้อสรุปจากข้อมูลทางคณิตศาสตร์

นักเรียนมีความสามารถในการลงข้อสรุปจากข้อมูลทางคณิตศาสตร์ในใบกิจกรรมและแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณอยู่ในระดับดีเยี่ยม ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด RME โดยเฉพาะในขั้นที่ 3 แก้ปัญหาตามบริบท ที่นักเรียนได้ร่วมกันดำเนินการแก้ปัญหาตามแนวทางที่วางไว้ พร้อมอธิบายขั้นตอนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ และเลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น ตาราง แผนภาพ หรือสมการ เพื่อจัดระเบียบและนำเสนอข้อมูลอย่างเหมาะสม โดยครูมีบทบาทในการชี้แนะการใช้เครื่องมือเหล่านี้ให้เหมาะสมกับลักษณะของสถานการณ์ปัญหา เมื่อนักเรียนสามารถวิเคราะห์และดำเนินการแก้ปัญหาได้อย่างชัดเจน จึงสามารถอธิบายวิธีการและสรุปผลลัพธ์จากข้อมูลที่มีได้อย่างถูกต้อง มีเหตุผล และเป็นลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงพัฒนาการในการคิดอย่างมีวิจารณญาณในมิติของการลงข้อสรุปได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางนี้สอดคล้องกับงานของ Deelamai, Somjaipheng and Kasemsukpapipat (2024) ที่ชี้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วยให้นักเรียนสามารถอธิบายแนวทางการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ เลือกใช้วิธีที่เหมาะสมกับสถานการณ์ และสรุปผลลัพธ์ด้วยเหตุผลที่มีตรรกะชัดเจน ซึ่งแสดงถึงพัฒนาการในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Afriansyah *et al.* (2021) ที่ระบุว่า แนวคิด RME ช่วยพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในมิติของการวิเคราะห์ การตีความ และการสรุปผลจากข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. ความสามารถในการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์

นักเรียนมีความสามารถในการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ในระดับดีเยี่ยม ทั้งจากใบกิจกรรมและแบบวัดความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ โดยเฉพาะในขั้นที่ 4 เปรียบเทียบและอภิปรายคำตอบ และขั้นที่ 5 ลงข้อสรุป ของแนวคิด RME ซึ่งส่งเสริมให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น วิเคราะห์ข้อดีข้อจำกัดของวิธีการต่าง ๆ และอภิปรายร่วมกันอย่างมีเหตุผล ส่งผลให้นักเรียนสามารถตัดสินใจเลือกแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสม โดยอิงจากข้อมูล วิธีการ และหลักการทางคณิตศาสตร์อย่างมีตรรกะ อย่างไรก็ตาม พบว่านักเรียนบางส่วนยังมีข้อจำกัดในการถ่ายทอดเหตุผลประกอบการตัดสินใจในรูปแบบลายลักษณ์อักษรอย่างชัดเจน ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะของการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ที่ต้องอาศัยการสังเคราะห์ข้อมูลจากหลากหลายแหล่งและจัดระบบความคิดก่อนเรียบเรียงเป็นภาษาเขียน งานวิจัยของ Marzuki *et al.* (2021) ก็สนับสนุนว่า นักเรียนบางคนสามารถตัดสินใจได้ถูกต้องในการแก้ปัญหา แต่ไม่สามารถอธิบายเหตุผลเป็นลายลักษณ์อักษรได้อย่างชัดเจน ภาพรวมของผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด RME ช่วยพัฒนาความสามารถในการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Jannoom and Thamsuan (2017) ที่เน้นให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยน เปรียบเทียบ และอภิปรายแนวทางอย่างมีเหตุผล นอกจากนี้งานวิจัยของ Gunes Uzun (2024) ยังชี้ว่า การอภิปรายและการโต้แย้งเชิงสร้างสรรค์ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้ผู้เรียนวิเคราะห์หลักฐานอย่างรอบด้าน แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และตัดสินใจเลือกแนวทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ National Council of Teachers of Mathematics (2000) ที่ระบุว่า การเรียนรู้คณิตศาสตร์ควรช่วยให้นักเรียนสามารถใช้เหตุผลและตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนและเชื่อมโยงกับชีวิตจริง

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้

1) ควรคัดเลือกบริบทที่มีความหมายและสอดคล้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน เช่น พฤติกรรมของวัยรุ่น การวางแผนใช้เงิน การวิเคราะห์ข่าว หรือประเด็นทางสังคมใกล้ตัว เพื่อให้นักเรียนเห็นว่าเนื้อหาคณิตศาสตร์มีความจำเป็นและนำไปใช้ได้จริง ซึ่งจะช่วยสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้จากภายใน

2) ควรจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วม โดยเฉพาะการอภิปรายกลุ่มย่อย เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็น วิเคราะห์แนวคิดของตนเองและเพื่อนอย่างอิสระ ซึ่งจะส่งเสริมการฟัง การคิดเชิงวิเคราะห์ และการเรียนรู้ร่วมกัน

3) ครูควรทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก โดยใช้คำถามกระตุ้นคิดที่สอดคล้องกับองค์ประกอบของการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนคิดอย่างเป็นระบบและตัดสินใจบนพื้นฐานของเหตุผล แทนการบอกคำตอบโดยตรง พร้อมสนับสนุนให้นักเรียนค้นพบคำตอบด้วยตนเองผ่านการปฏิสัมพันธ์กับบริบทของปัญหาและการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็น

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ผลการวิจัยพบว่า ความสามารถในการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนยังพัฒนาได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นของการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ดังนั้น ควรพัฒนาแนวทางการจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถถ่ายทอดกระบวนการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ได้อย่างชัดเจนทั้งในรูปแบบการพูดและการเขียน โดยควรจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมการสังเคราะห์ข้อมูล การเปรียบเทียบวิธีการ และการให้เหตุผลประกอบข้อสรุปอย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งจัดให้มีช่วงเวลาในการสะท้อนความคิดที่นักเรียนได้ฝึกเขียนอธิบายการตัดสินใจของตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากการได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษ กลิ่นเยี่ยม อาจารย์ที่ปรึกษา นอกจากนี้ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ คณาจารย์สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริหาร คณะครู นักเรียนและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ขอความยินยอมโดยใช้เอกสารจากผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ ไม่ก่ออันตรายต่อผู้เข้าร่วมวิจัย และหลักความยุติธรรม

References

- Afrianyah, E. A., Herman, T., Turmudi and Dahlan, J. A. (2021). Critical thinking skills in mathematics. **Journal of Physics: Conference Series**, 1778, 012013.
- Chiangsin, P. and Patphol, M. (2018). Development of a learning management model to enhance critical mathematical thinking skills among Mathayomsuksa two students (in Thai). **Veridian E-Journal Silpakorn University**, 11(1), 698–713.
- Deelamai, J., Somjaipheng, T. and Kasemsukpipat, W. (2024). A study of mathematical critical thinking abilities on linear equation system in two variables of grade 9 students with learning activities using mathematical modelling (in Thai). **Journal of Educational Innovation and Research**, 8(1), 52–67.
- Firdaus, F., Kailani, I., Bakar, M. N. and Bakry, B. (2015). Developing critical thinking skills of students in mathematics learning. **Journal of Education and Learning (EduLearn)**, 9(3), 226–236.
- Freudenthal, H. (1973). **Mathematics as an educational task**. Dordrecht, The Netherlands: Reidel.
- Gravemeijer, K. (1994). **Developing realistic mathematics education**. Utrecht, The Netherlands: Freudenthal Institute.
- Gunes Uzun, A. (2024). The development of mathematical argumentation: A case study on two mathematics classrooms. **International Electronic Journal of Mathematics Education**, 19(2), em0778.
- Hikayat, C., Suparman, S., Hairun, Y. and Suharna, H. (2020). Design of Realistic Mathematics Education approach to improve critical thinking skills. **Universal Journal of Educational Research**, 8(6), 2232–2244.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). **Guidelines for mathematics learning management to develop critical thinking skills** (in Thai). Bangkok: IPST.

- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). **Mathematical skills and processes (Revised edition)** (in Thai). Bangkok: Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2023). PISA 2022 results – PISA THAILAND. Retrieved 16 October 2024, from **PISA Thailand**: <https://pisathailand.ipst.ac.th>
- Jannoom, T. and Thamsuan, J. (2017). Effects of organizing learning activities using a realistic mathematics education approach and advancing children's thinking on mathematical reasoning and communication abilities of eighth grade students (in Thai). **Online Journal of Education (OJED)**, 12(2), 141–158.
- Kaewsaensai, K. and Kijkuakul, S. (2021). Development of context-based learning guideline in the topic probability of Grade 10 students (in Thai). **Journal of Yala Rajabhat University**, 16(1), 42–50.
- Kitkuekul, S. (2014). **Organizing science learning activities: Directions for 21st century teachers** (in Thai). Bangkok: Juladis.
- Marasri, S. (2019). Developing critical thinking skills in the 21st century (in Thai). **MCU Nakhon Nan Paritassana Journal**, 3(2), 106–118.
- Marcut, I. (2005). Critical thinking – applied to the methodology of teaching mathematics (in Romanian). **Educatia Matematică**, 1(1), 57–66.
- Mariani, S., Nurasiah, I. and Nurmeta, I. K. (2024). Improving critical thinking skills of class VI students on building space materials through the RME learning model. **Jurnal Pendidikan Mandala**, 9(1), 103–110.
- Marzuki, M., Wahyudin, W., Cahya, E. and Juandi, D. (2021). Students' critical thinking skills in solving mathematical problems: A systematic procedure of grounded theory study. **International Journal of Instruction**, 14(4), 529–548.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). **Principles and standards for school mathematics**. NCTM.
- National Institute of Educational Testing Service (Public Organization). (2024). **O-NET results for academic year 2023, Grade 12 (Matthayom 6)** (in Thai). Nonthaburi: National Institute of Educational Testing Service (Public Organization).
- Polya, G. (1957). **How to solve it: A new aspect of mathematical method**. Princeton University Press.
- Schafersman, S. D. (1991). An introduction to critical thinking. Retrieved 31 July 2025, from **Free Inquiry**: <http://www.freeinquiry.com/critical-thinking.html>
- Sukkerd, T. (2022). The effect of organizing learning activities using realistic mathematics education approach and metacognitive questioning on mathematics critical thinking abilities of tenth grade students (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Chulalongkorn University.
- Wahyudi, W. (2016). The development of realistic mathematics education (RME) model for the improvement of mathematics learning of primary teacher education program (PGSD) students of Teacher Training and Education Faculty (FKIP) of Sebelas Maret University in Kebumen. **Proceedings of the International Conference on Teacher Training and Education** (Vol. 2, No. 1, pp. 369–381). Surakarta: Sebelas Maret University.



Sparking Mathematical Digital Competency in Pre-service Mathematics Teachers through GIS Construction Activities Using Linear Regression and Statistical Mapping on Google Colab

Chayaporn Kaensar¹ and Supot Seebut^{1,*}

¹*Department of Mathematics, Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

**Email: supot.s@ubu.ac.th*

Received <9 July 2025 >; Revised <31 August 2025>; Accepted <31 August 2025>

Abstract

This research aimed to examine the performance and self-perceived Mathematical Digital Competency (MDC) of pre-service mathematics teachers through Geographic Information System (GIS)-based learning activities designed for agricultural yield prediction. The participants were 24 pre-service mathematics teachers at Ubon Ratchathani University. Data were collected using a performance assessment rubric and a self-perception survey on MDC. The study was conducted on the Google Colab platform using Python and AI (DeepSeek). The activities consisted of three phases: building a cassava yield prediction model with Python, using AI to generate code for sugarcane yield prediction, and integrating knowledge to create a GIS for rice yield prediction. The results revealed that students could effectively utilize their Mathematical Digital Competency to systematically engage in the learning activities by combining programming with artificial intelligence. They successfully applied mathematical knowledge with digital tools to create innovative GIS solutions. Furthermore, self-reflections indicated that the students gained a deeper understanding of mathematics, technology use, and analytical reasoning. In conclusion, learning through the creation of GIS with Python and AI is a powerful teaching strategy for sparking Mathematical Digital Competency, aligning with 21st-century learning goals.

Keywords: Mathematical Digital Competency; Geographic Information System (GIS); Linear Regression; Statistical Mapping; Google Colab; Artificial Intelligence (AI); DeepSeek

การจตุประกายสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ของนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมการสร้าง GIS ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นและแผนที่เชิงสถิติบน Google Colab

ชยาพร แก่นสาร¹ และ สุพจน์ สิบต^{1,*}

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: supot.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาผลการประเมินการปฏิบัติงานและการรับรู้สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ (Mathematical Digital Competency - MDC) ของนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่ออกแบบมาเพื่อการพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตร ดำเนินการบนแพลตฟอร์ม Google Colab โดยใช้ภาษา Python และ AI (DeepSeek) โดยกิจกรรมประกอบด้วย 3 ระยะ ได้แก่ การสร้างแบบจำลองพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังด้วย Python การใช้ AI สร้างโค้ดสำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย และการบูรณาการความรู้เพื่อสร้าง GIS สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตข้าว กลุ่มเป้าหมายคือ นักศึกษาครุคณิตศาสตร์ชั้นปีสุดท้าย จำนวน 24 คน โดยใช้แบบประเมินการปฏิบัติงานและแบบสำรวจการรับรู้เป็นเครื่องมือเก็บข้อมูล ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนสามารถถึงสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์มาใช้ในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ ผ่านการผสมผสานการเขียนโปรแกรมเข้ากับปัญญาประดิษฐ์ และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ร่วมกับเครื่องมือดิจิทัลเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรม GIS ได้สำเร็จ จากการสะท้อนผลการเรียนยังพบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจในคณิตศาสตร์ การใช้เทคโนโลยี และการให้เหตุผลเชิงวิเคราะห์ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น สรุปได้ว่า การเรียนรู้ผ่านการสร้าง GIS ด้วย Python และ AI ถือเป็นกลยุทธ์การสอนที่ทรงพลังในการจตุประกายสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

คำสำคัญ: สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์; ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS); การถดถอยเชิงเส้น; การทำแผนที่สถิติ; Google Colab; ปัญญาประดิษฐ์ (AI); DeepSeek

บทนำ

สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ (Mathematical Digital Competency - MDC) เป็นสมรรถนะที่ผสมผสานความเชี่ยวชาญทางคณิตศาสตร์เข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ในโลกแห่งความเป็นจริง (Geraniou and Jankvist, 2019; Geraniou *et al.*, 2024; Kontkanen *et al.*, 2023) สมรรถนะดังกล่าวนี้ มีความสำคัญในหลายมิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเสริมสร้างกระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์โดยใช้เครื่องมือดิจิทัล เช่น ซอฟต์แวร์คณิตศาสตร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่สนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เครื่องมือเหล่านี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงข้อมูลและตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ (Bray and Tangney, 2017; Illanes *et al.*, 2022; Saat, Alias and Saat, 2024; Vaillant, Zidán and Bentancor-Biagas, 2021)

การจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์จะช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่จำเป็นอันได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และการนำเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบดิจิทัลอย่างสร้างสรรค์ (Vaillant, Zidán and Bentancor-Biagas, 2021) สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถของผู้เรียนในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนผ่านแนวทางที่เป็นระบบ ซึ่งเป็นสมรรถนะที่จำเป็นสำหรับอาชีพในอนาคต (Ratnayake, Thomas and Kensington-Miller, 2020; Thurm and Barzel, 2020) ดังนั้น การบูรณาการสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ เข้ากับการศึกษาจึงมีความสำคัญเชิงกลยุทธ์ในการเตรียมความพร้อมให้ผู้เรียนสามารถรับมือกับโลกดิจิทัลที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ครูคณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ โดยการออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้ที่ผสมผสานเทคโนโลยีเข้ากับการคิดทางคณิตศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ (Dilling *et al.*, 2024; Dockendorff and Gómez Zaccarelli, 2024; Geraniou *et al.*, 2024; Pranaityte *et al.*, 2023; Vilalta Riera, Deulofeu Piquet and Morera Úbeda, 2024) อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญประการหนึ่งคือ นักศึกษามีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ไม่ชัดเจนเกี่ยวกับสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ ทั้งในเชิงนิยามและการประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง (Ndlovu *et al.*, 2020; Yazici and Şimşek, 2022) ความไม่ชัดเจนนี้เผยให้เห็นช่องว่างในระบบการผลิตครู ซึ่งยังไม่สามารถบูรณาการความรู้ทางคณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และการสอนเข้าด้วยกันได้อย่างสอดคล้องและเป็นรูปธรรม (Li *et al.*, 2024; Monterde, 2023; Putri *et al.*, 2024; Vilalta Riera, Deulofeu Piquet and Morera Úbeda, 2024) ความจำเป็นเร่งด่วนจึงอยู่ที่การพัฒนาโปรแกรมเฉพาะทางที่ช่วยเพิ่มทั้งความเข้าใจและการนำสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ ไปใช้ได้จริงผ่านประสบการณ์ที่หลากหลาย และเน้นการลงมือทำ (Vilalta Riera, Deulofeu Piquet and Morera Úbeda, 2024; Zhang, Juithong and Nilnopkoon, 2025)

เพื่อจัดการกับช่องว่างนี้ งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ที่เป็นรูปธรรม ซึ่งบูรณาการความรู้ทางคณิตศาสตร์เข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัลผ่านการพัฒนาแบบจำลองทางสถิติศาสตร์ (GIS) โดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และการทำแผนที่ทางสถิติบนแพลตฟอร์ม Google Colab (Grădinaru, Badea and Ene, 2025; Illanes *et al.*, 2022; Le Dinh, Fujiwra and Pham Phu, 2025) เป้าหมายหลักของกิจกรรมนี้คือการจุดประกายทั้งความเข้าใจและศักยภาพในด้านสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งมุ่งศึกษาผลการปฏิบัติงานและการรับรู้สมรรถนะดังกล่าวของนักศึกษาครูคณิตศาสตร์ที่เข้าร่วมกิจกรรม โดยให้นักศึกษาครูได้มีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ชุดข้อมูลจริง สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และนำเสนอผลการค้นพบผ่านแผนที่ดิจิทัล ซึ่งจะช่วยให้เห็นความเชื่อมโยงของการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์กับโลกความเป็นจริงได้อย่างชัดเจน (Bhavimane *et al.*, 2024; Jeong and Lee, 2024)

แนวทางการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทั้งสมรรถนะทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Competency - MC) และสมรรถนะดิจิทัล (Digital Competency - DC) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการคิดอย่างเป็นระบบ การประมวลผลข้อมูล และการนำเสนอข้อมูลเชิงลึกด้วยเครื่องมือดิจิทัลสมัยใหม่ ซึ่งเป็นทักษะที่สอดคล้องกับความต้องการในการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (Farida and Indah, 2024; In'am, Effendi and Darmayanti, 2024) ผลกระทบของกิจกรรมได้รับการประเมินผ่านแบบสำรวจการรับรู้ ซึ่งวัดการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจและทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ หลังจากการเข้าร่วมกิจกรรม (Seifert and Lindmeier, 2024; Susantini *et al.*, 2025) ท้ายที่สุดนี้ กิจกรรมดังกล่าวไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นต้นแบบเชิงปฏิบัติสำหรับการเสริมสร้างสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ เท่านั้น แต่ยังเป็นต้นแบบพื้นฐานสำหรับการพัฒนาหลักสูตรและนวัตกรรมการเรียนรู้ในยุคดิจิทัลต่อไปในอนาคต (Martínez Domingo *et al.*, 2025; Nacaroglu, Kizkapan and Demir, 2025)

นิยามสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ในบริบทงานวิจัยนี้

สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ (Mathematical Digital Competency: MDC) ในงานวิจัยนี้ หมายถึง ความสามารถบูรณาการความรู้คณิตศาสตร์กับเครื่องมือดิจิทัลเพื่อกำหนดโจทย์ในบริบทข้อมูลจริง สกัดและจัดระเบียบข้อมูล สร้าง ตรวจสอบ และปรับปรุงแบบจำลองเชิงสถิติหรือเชิงคำนวณ ตลอดจนตีความและสื่อสารผลผ่านสื่อดิจิทัลเชิงพื้นที่อย่างมีวิจารณญาณ เพื่อการตัดสินใจหรือการแก้ปัญหาในโลกจริง

ในทางปฏิบัติ สมรรถนะดังกล่าวครอบคลุมการนิยามปัญหาและตัวแปรเชิงคณิตศาสตร์ในบริบทข้อมูล การได้มาและจัดการข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ การคิดเชิงอัลกอริทึมและการเขียนโปรแกรมบนสภาพแวดล้อมดิจิทัล การให้เหตุผลเชิงสถิติและการตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลอง การสร้าง อ่าน และสื่อความหมายของแผนที่สถิติและภูมิสารสนเทศ การใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อยกระดับการพัฒนาโค้ดอย่างมีความรับผิดชอบ และการสื่อสารเชิงข้อมูลด้วยหลักฐานเชิงประจักษ์

กรอบสมรรถนะนี้สอดคล้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกและการใช้สื่อดิจิทัลเสริมการเรียนรู้ที่ออกแบบไว้ โดยกิจกรรมมุ่งพัฒนาองค์ประกอบย่อยตั้งแต่การจัดการข้อมูล เหตุผลเชิงสถิติ การสร้างแบบจำลองเชิงถดถอย การอ่านและออกแบบแผนที่สถิติบนแพลตฟอร์มโค้ด ไปจนถึงการใช้ AI เพื่อการทำซ้ำและต่อยอดโค้ดอย่างมีวิจารณญาณ ในลำดับถัดไปจะอธิบายฐานคิดทางการศึกษาที่รองรับการออกแบบดังกล่าวและเชื่อมโยงไปสู่รายละเอียดของกิจกรรม

ฐานคิดทางการศึกษาที่รองรับ แนวทางนี้ตั้งอยู่บนการสร้างองค์ความรู้ผ่านการลงมือทำและชิ้นงานดิจิทัล การออกแบบเป็นฐานควบคู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การสืบเสาะในบริบทจริง การพิเคราะห์เชิงความคิดและการลดการคำนวณอย่างเป็นขั้น ตลอดจนการบูรณาการเทคโนโลยี เนื้อหา และกระบวนการสอนเพื่อให้เครื่องมือดิจิทัลนำไปสู่การคิดเชิงระบบ ไม่หยุดเพียงการทดแทนเครื่องมือเดิมจากนิยามและฐานคิดดังกล่าว

งานวิจัยจึงจัดวางกิจกรรมที่เชื่อมข้อมูลจริง อัลกอริทึม และการสื่อสารเชิงพื้นที่เข้าด้วยกัน เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์อย่างเป็นระบบ

บริบทข้อมูล ความรู้คณิตศาสตร์ และเครื่องมือดิจิทัล

การพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในรูปแบบของแผนที่เพื่อพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตรนั้น จำเป็นต้องอาศัยการบูรณาการองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนที่ทำงานร่วมกัน ได้แก่ บริบทของข้อมูล, หลักการทางคณิตศาสตร์ และเครื่องมือดิจิทัล โดยในกิจกรรมนี้ บริบทข้อมูลจะมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เพาะปลูกกับปริมาณผลผลิตของพืชเศรษฐกิจหลัก 3 ชนิด คือ มันสำปะหลัง อ้อย และข้าว ในพื้นที่ 20 จังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.) และสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.) สืบค้นเมื่อช่วงเดือนตุลาคม–ธันวาคม พ.ศ. 2567

ในมิติของคณิตศาสตร์ GIS ถูกมองในฐานะ "แผนที่สถิติ" (Statistical Map) ซึ่งอาศัยหลักการสำคัญในการวิเคราะห์ ได้แก่ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) เพื่อวัดระดับความสัมพันธ์ของตัวแปร การสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) ในรูปแบบ $Y=a+bX$ เพื่อใช้พยากรณ์ผลผลิต และการจำแนกระดับข้อมูลด้วยสี (Color Scale Classification) โดยใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการแบ่งระดับผลผลิตออกเป็น 5 ระดับ เพื่อให้การแสดงผลบนแผนที่ง่ายต่อการตีความ

กระบวนการทั้งหมดนี้เกิดขึ้นได้ด้วยเครื่องมือดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพ (Hwang and Tu, 2021) โดยมี Google Colab เป็นแพลตฟอร์มกลาง ใช้ภาษา Python เป็นเครื่องมือหลักในการจัดการข้อมูลและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีความไว้วางใจได้ว่าสามารถช่วยเพิ่มความเข้าใจในแนวคิดคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ (Tiengyoo, Sotaro and Thaithae, 2024; Seebut et al., 2022) นอกจากนี้ยังมีการใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่าง DeepSeek เพื่อช่วยสนับสนุนการเรียนรู้และส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหา (Hwang and Chen, 2023) อย่างไรก็ตาม แม้เครื่องมือเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพ แต่การออกแบบกิจกรรมและการกำกับดูแลโดยผู้สอนยังคงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อป้องกันการพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไป ซึ่งอาจขัดขวางการพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ของผู้เรียนในระยะยาวได้ (Hwang and Tu, 2021)

กิจกรรมการเรียนรู้ฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และไพธอนโค้ด

กิจกรรมการเรียนรู้ที่นำเสนอในส่วนนี้ ถูกออกแบบมาเพื่อจุดประกายสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ของผู้เรียนผ่านการสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตร โดยแบ่งออกเป็น 3 กิจกรรมหลักที่ต่อเนื่องกัน เริ่มจากการสร้าง GIS ด้วยโปรแกรมภาษา Python บน Google Colab การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (DeepSeek) เพื่อช่วยปรับแก้โค้ดให้เข้ากับบริบทข้อมูลใหม่ และสุดท้ายคือการบูรณาการความรู้ทั้งหมดเพื่อสร้างสรรค์ผลงานด้วยตนเอง ซึ่งเป็นกิจกรรมสำหรับการประเมินผลการปฏิบัติงาน

กิจกรรมที่ 1: การพัฒนา GIS เพื่อพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังจากพื้นที่เพาะปลูก

กิจกรรมนี้เป็นการวางรากฐานการพัฒนา GIS เพื่อพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังโดยใช้พื้นที่เพาะปลูกเป็นตัวแปรอิสระ ผู้เรียนจะรวบรวมข้อมูลและใช้โปรแกรมภาษา Python บน Google Colab เพื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ สร้างแบบจำลองการถดถอย และกำหนดเกณฑ์ระดับผลผลิต จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ไปพยากรณ์และแสดงผลเป็นแผนที่สถิติ โดยรายละเอียดของโค้ดโปรแกรมที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมดนี้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 โค้ดโปรแกรม Python สำหรับวิเคราะห์สหสัมพันธ์ สร้างแบบจำลองถดถอย และจำแนกเกณฑ์ระดับผลผลิตมันสำปะหลัง

```
import numpy as np
# Data for crop areas (X) and yield (Y) for 20 provinces
data = {
    "Kalasin": {
        "X": [429176, 447058, 442194, 437385, 462667, 465460, 432111, 404091, 412360, 402025],
        "Y": [3862584, 4783521, 4811071, 3295126, 3808685, 5366754, 5021133, 3798455, 3876184, 4494640]
    },
    "Khon Kaen": {
        "X": [625450, 651492, 625302, 619091, 654436, 675659, 650196, 613954, 621748, 605182],
        "Y": [5722868, 7003539, 6615695, 4841166, 4830921, 7330900, 7587787, 5660656, 5645472, 6741727]
    },
    "Chalyaphum": {
        "X": [584976, 564052, 509117, 509027, 629570, 628702, 616639, 603424, 602850, 583110],
        "Y": [5557272, 6035356, 5503555, 3949519, 4830921, 6896861, 7183845, 5593740, 5437707, 6519170]
    },
    "Nakhon Phanom": {
        "X": [16124, 16796, 14853, 11372, 9735, 10243, 6669, 4157, 3953, 3361],
        "Y": [153178, 180557, 161749, 97109, 78412, 117077, 77698, 39284, 35735, 37374]
    },
    "Nakhon Ratchasima": {
        "X": [650681, 615166, 580001, 579209, 679737, 697278, 672952, 647914, 667823, 657828],
        "Y": [5921197, 6213177, 6316211, 4654547, 4699890, 7293528, 7893730, 5863622, 6023763, 7249265]
    },
    "Bueng Kan": {
        "X": [4380, 4568, 4153, 4016, 4484, 4980, 2228, 1871, 2607, 2516],
        "Y": [40296, 49334, 45060, 32931, 33630, 54880, 26072, 17288, 23724, 27978]
    },
    "Buriram": {
        "X": [262057, 184775, 130315, 129025, 228838, 232945, 207417, 208924, 210919, 200941],
        "Y": [2489542, 2004809, 1419130, 1155522, 1607092, 2546089, 2472410, 1988956, 2109190, 2228436]
    },
    "Maha Sarakham": {
        "X": [126951, 132275, 130965, 129025, 171360, 181108, 171324, 156892, 161485, 155381],
        "Y": [1104474, 1256613, 1382990, 1008825, 1204564, 1966833, 1994215, 1435562, 1429142, 1724729]
    },
    "Mukdahan": {
        "X": [212392, 214218, 216242, 213458, 229524, 234329, 224193, 199208, 196300, 183437],
        "Y": [1911528, 2317839, 2359200, 1747023, 1837089, 2673694, 2636511, 1880524, 1968889, 2043488]
    },
    "Yasothon": {
        "X": [98959, 102746, 98083, 92526, 95418, 96589, 83000, 60389, 61728, 46803],
        "Y": [870839, 1053147, 1044584, 740208, 729948, 1076001, 966951, 549540, 543824, 522321]
    },
    "Roi Et": {
        "X": [163039, 169769, 164832, 162716, 171775, 173876, 160824, 127574, 130459, 112136],
        "Y": [1514632, 1808040, 1757109, 1269693, 1386258, 1949150, 1876815, 1180570, 1171522, 1223404]
    },
    "Loei": {
        "X": [324442, 337960, 307850, 302132, 314937, 321385, 305001, 285766, 278426, 254572],
        "Y": [3082199, 3626311, 3352487, 2534998, 2479046, 3593084, 3583762, 2757642, 2603283, 2889392]
    },
    "Si Sa Ket": {
        "X": [12044, 12546, 11073, 10963, 32815, 33219, 33191, 32061, 32050, 22064],
        "Y": [107192, 121696, 118370, 88597, 220731, 355775, 386673, 285022, 283322, 244028]
    },
    "Sakon Nakhon": {
        "X": [98034, 102119, 100316, 89794, 89534, 86125, 72384, 64010, 68454, 65156],
        "Y": [901913, 1082461, 1078397, 718724, 620877, 955126, 845440, 603614, 607187, 723232]
    },
    "Surin": {
        "X": [136306, 128713, 124274, 123044, 206126, 208039, 223745, 217977, 219726, 210155],
        "Y": [1294907, 1300001, 1362043, 1100961, 1389216, 2305072, 2651375, 2053343, 2133539, 2349533]
    },
    "Nong Khai": {
        "X": [70194, 73125, 69240, 67894, 71728, 73372, 68782, 64352, 56389, 55212],
        "Y": [663333, 789750, 747792, 613760, 565039, 815897, 810936, 596543, 512012, 622791]
    },
    "Nong Bua Lam Phu": {
        "X": [332343, 346188, 324929, 319214, 348254, 355608, 315706, 283897, 276774, 261123],
        "Y": [3157259, 3738830, 3544975, 2713103, 2759805, 3904576, 3725326, 2728250, 2532482, 2982025]
    },
    "Amnat Charoen": {
        "X": [99516, 103675, 97732, 91339, 94660, 92219, 71232, 62776, 53456, 43826],
        "Y": [925499, 1109323, 1050619, 731625, 728882, 1037464, 833413, 578167, 475224, 488660]
    }
}

# Udon Thani: {
#     "X": [709198, 738696, 706403, 699332, 748540, 758755, 711900, 700016, 710188, 685528],
#     "Y": [6453702, 7926208, 7551448, 5641409, 5564289, 8369068, 8343466, 6510149, 6278062, 7712190]
# },
# Ubon Ratchathani: {
#     "X": [3993, 4116, 3921, 3882, 14613, 15820, 15459, 11418, 18681, 15777],
#     "Y": [35937, 40337, 41994, 34779, 98502, 172122, 181485, 101049, 165700, 174020]
# }

# Function to calculate correlation (r)
def calculate_r(X, Y):
    n = len(X)
    sum_X = sum(X)
    sum_Y = sum(Y)
    sum_XY = sum(x * y for x, y in zip(X, Y))
    sum_X2 = sum(x ** 2 for x in X)
    sum_Y2 = sum(y ** 2 for y in Y)
    numerator = n * sum_XY - sum_X * sum_Y
    denominator = np.sqrt((n * sum_X2 - sum_X ** 2) * (n * sum_Y2 - sum_Y ** 2))
    return numerator / denominator

# Function to calculate b and a
def calculate_a_b(X, Y):
    n = len(X)
    sum_X = sum(X)
    sum_Y = sum(Y)
    sum_XY = sum(x * y for x, y in zip(X, Y))
    sum_X2 = sum(x ** 2 for x in X)
    b = float((n * sum_XY - sum_X * sum_Y) / float((n * sum_X2 - sum_X ** 2)))
    a = float((sum_Y - b * sum_X) / n)
    return a, b

# Function to calculate thresholds (adjusted)
def calculate_thresholds(Y):
    Y_array = np.array(Y, dtype=float)
    std_Y = np.std(Y_array)
    thresholds = [
        int(np.mean(Y_array) - std_Y), # Minimum
        int(np.mean(Y_array) - 0.5 * std_Y), # Low
        int(np.mean(Y_array) + 0.5 * std_Y), # Medium
        int(np.mean(Y_array) + std_Y) # Maximum
    ]
    return thresholds

# Show results
results = []
for province, values in data.items():
    X = values["X"]
    Y = values["Y"]
    r = calculate_r(X, Y)
    a, b = calculate_a_b(X, Y)
    thresholds = calculate_thresholds(Y)
    # Adjusted condition: Suitable only when r >= 0.7 and positive regression_suitable = "Suitable" if r >= 0.7 else "Not Suitable"
    results.append({
        "Province": province,
        "r": r,
        "a": a,
        "b": b,
        "Thresholds": thresholds,
        "Summary": regression_suitable
    })

# Function to format table row
def format_table_row(index, result):
    province = result["Province"]
    r = f"{result['r']:.2f}"
    a = f"{result['a']:.2f}"
    b = f"{result['b']:.2f}"
    thresholds_str = ", ".join([f"t in result['Thresholds']"])
    suitable = result["Summary"]
    return f"{index}<8} {province}<20} {r}<8} Y = {a} + {b}X{r}<5} {thresholds_str}<40} {suitable}<12}"

# Show results in table format
header = f"{index}<8} {Province}<20} {r}<8} {Linear Regression Equation}<30} {Thresholds}<40}"
print(header)
print("-" * 130)
for i, result in enumerate(results, start=1):
    print(format_table_row(i, result))
```

โค้ดโปรแกรมโปรแกรมภาษาไพธอนในตารางที่ 1 ถูกออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลผลิตมันสำปะหลัง โดยคำนวณค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) สร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น ($Y = a + bX$) และกำหนดเกณฑ์การจำแนกผลผลิตเป็น 5 ระดับโดยอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จุดสำคัญของกระบวนการนี้คือการกำหนดเงื่อนไขความน่าเชื่อถือ โดยแบบจำลองจะถือว่า "เหมาะสม" (Suitable) สำหรับการพยากรณ์ก็ต่อเมื่อค่า r ไม่น้อยกว่า 0.70 สำหรับกิจกรรมที่ 1 นี้ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงผู้เรียนสามารถเลือกค่า r ได้ตามเหตุผลและความเหมาะสมที่ผู้เรียนพิจารณา ซึ่งผลการวิเคราะห์ทั้งหมดของแต่ละจังหวัดได้ถูกนำเสนอในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์, การสร้างแบบจำลองการถดถอย และการจำแนกเกณฑ์ระดับผลผลิตมันสำปะหลังรายจังหวัดด้วยโปรแกรมโปรแกรมภาษาไพธอน พร้อมความเหมาะสมของแบบจำลองตามเกณฑ์ $r > 0.70$

Index	Province	r	Linear Regression Equation	Thresholds	Summary
1	Kalasin	0.34	$Y = -84715.79 + 10.14X$	3674388, 3993101, 4630528, 4949242	Not Suitable
2	Khon Kaen	0.39	$Y = -4913887.39 + 17.52X$	5256603, 5727338, 6668807, 7139542	Not Suitable
3	Chaiyaphum	0.51	$Y = -721021.55 + 11.10X$	4836983, 5293889, 6207700, 6664605	Not Suitable
4	Nakhon Phanom	0.97	$Y = -2032.77 + 10.27X$	46744, 72280, 123353, 148890	Suitable
5	Nakhon Ratchasima	0.40	$Y = -414073.90 + 10.28X$	5210987, 5711940, 6713847, 7214800	Not Suitable
6	Bueng Kan	0.89	$Y = 1376.26 + 9.42X$	23692, 29405, 40832, 46546	Suitable
7	Buriram	0.79	$Y = 244118.49 + 8.81X$	1551543, 1776830, 2227404, 2452691	Suitable
8	Maha Sarakham	0.73	$Y = -410542.85 + 12.27X$	1125902, 1288348, 1613240, 1775687	Suitable
9	Mukdahan	0.47	$Y = 9411.87 + 10.02X$	1818944, 1978261, 2296895, 2456212	Not Suitable
10	Yasothon	0.83	$Y = 31690.14 + 9.30X$	598556, 704146, 915326, 1020915	Suitable
11	Roi Et	0.71	$Y = -29894.09 + 10.04X$	1221235, 1367477, 1659961, 1806203	Suitable
12	Loei	0.50	$Y = 217444.99 + 9.34X$	2613579, 2831900, 3268540, 3486861	Not Suitable
13	Si Sa Ket	0.91	$Y = 2473.42 + 9.42X$	118670, 169905, 272375, 323611	Suitable
14	Sakon Nakhon	0.72	$Y = 63574.50 + 8.97X$	636989, 725343, 902051, 990404	Suitable
15	Surin	0.85	$Y = -103203.00 + 10.55X$	1263780, 1528889, 2059108, 2324217	Suitable
16	Nong Khai	0.62	$Y = -25714.80 + 10.44X$	569763, 621774, 725796, 777807	Not Suitable
17	Nong Bua Lam Phu	0.57	$Y = 367741.51 + 8.88X$	2696429, 2937546, 3419780, 3660897	Not Suitable
18	Amnat Charoen	0.86	$Y = 34381.37 + 9.40X$	573866, 684877, 906897, 1017908	Suitable
19	Udon Thani	0.17	$Y = 1575933.85 + 7.62X$	6019972, 6527485, 7542512, 8050025	Not Suitable
20	Ubon Ratchathani	0.94	$Y = -1816.71 + 9.88X$	44002, 74297, 134887, 165182	Suitable

ผลลัพธ์ในตารางที่ 2 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล 20 จังหวัด ถือเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบ GIS โดยผ่าน 4 ขั้นตอนหลักคือ การเก็บรวบรวมและเตรียมข้อมูล การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ การสร้างแบบจำลองการถดถอย และการจำแนกเกณฑ์ผลผลิต จากการวิเคราะห์พบว่ามี 11 จังหวัดที่มีค่าสหสัมพันธ์เหมาะสม ($r > 0.70$) สำหรับการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ที่เชื่อถือได้ ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้ถือเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการสร้าง GIS โดยมีรายละเอียดการนำไปใช้งานจริงด้วยโปรแกรมภาษาไพธอนในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 โค้ดโปรแกรม Python สำหรับการสร้าง GIS เพื่อพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังด้วยพื้นที่เพาะปลูก

```
import numpy as np
import folium

# Updated provinces data with coefficients and ranges for the linear regression equation
provinces_data = {
    'Nakhon Phanom': {'coeff': [-2032.77, 10.27], 'ranges': [46744, 72280, 123353, 148890], 'coords': [17.3920, 104.7694]},
    'Bueng Kan': {'coeff': [1376.26, 9.42], 'ranges': [23692, 29405, 40832, 46546], 'coords': [18.3609, 103.6465]},
    'Buriram': {'coeff': [244118.49, 8.81], 'ranges': [1551543, 1776830, 2227404, 2452691], 'coords': [14.9950, 103.1029]},
    'Maha Sarakham': {'coeff': [-410542.85, 12.27], 'ranges': [1125902, 1288348, 1613240, 1775687], 'coords': [16.2001, 103.2822]},
    'Yasothon': {'coeff': [31690.14, 9.30], 'ranges': [598556, 704146, 915326, 1020915], 'coords': [15.7954, 104.1490]},
    'Roi Et': {'coeff': [-29894.09, 10.04], 'ranges': [1221235, 1367477, 1659961, 1806203], 'coords': [16.0538, 103.6520]},
    'Si Sa Ket': {'coeff': [2473.42, 9.42], 'ranges': [118670, 169905, 272375, 323611], 'coords': [15.1186, 104.3220]},
    'Sakon Nakhon': {'coeff': [63574.50, 8.97], 'ranges': [636989, 725343, 902051, 990404], 'coords': [17.1645, 104.1420]},
    'Surin': {'coeff': [-103203.00, 10.55], 'ranges': [1263780, 1528889, 2059108, 2324217], 'coords': [14.8826, 103.4937]},
    'Amnat Charoen': {'coeff': [34381.37, 9.40], 'ranges': [573866, 684877, 906897, 1017908], 'coords': [15.8588, 104.6258]},
    'Ubon Ratchathani': {'coeff': [-1816.71, 9.88], 'ranges': [44002, 74297, 134887, 165182], 'coords': [15.2287, 104.8700]}
}

# Updated cultivated area data (province, cultivated area) based on your updated data
province_area = {
    'Nakhon Phanom': 12000,
    'Bueng Kan': 2000,
    'Buriram': 170000,
    'Maha Sarakham': 180000,
    'Yasothon': 95000,
    'Roi Et': 195000,
    'Si Sa Ket': 34000,
    'Sakon Nakhon': 110000,
    'Surin': 200000,
    'Amnat Charoen': 100000,
    'Ubon Ratchathani': 17000
}

# Initialize results array
results = []

# Process each province in the dictionary
for province, area in province_area.items():
    if province not in provinces_data:
        print(f'Province {province} not found in the data.')
        continue

    # Get coefficients and ranges for the province
    coeffs = provinces_data[province]['coeff']
    y = coeffs[0] + coeffs[1] * area # Predicted yield

    # Get yield range
    ranges = provinces_data[province]['ranges']

    # Do not clip the yield, use the exact calculation
    y_normalized = y # No clipping here, direct value

    # Assign color and yield category based on predicted yield
    if y_normalized < ranges[0]:
        color = 'red'

        yield_category = 'Low yield'
        elif y_normalized < ranges[1]:
            color = 'lightred'
            yield_category = 'Rather low yield'
        elif y_normalized < ranges[2]:
            color = 'beige'
            yield_category = 'Medium yield'
        elif y_normalized < ranges[3]:
            color = 'lightgreen'
            yield_category = 'Rather high yield'
        else:
            color = 'green'
            yield_category = 'High yield'

    # Store results
    results.append({'province': province, 'Y': y_normalized, 'color': color, 'yield_category': yield_category, 'coords':
provinces_data[province]['coords']})

# Display the results
for result in results:
    print(f'Province: {result["province"]}, Predicted yield: {result["Y"]:.2f}, Yield Category: {result["yield_category"]}')

# Create a map to visualize the results
map_center = [15.8700, 100.9925] # Center of Thailand
m = folium.Map(location=map_center, zoom_start=6)

# Define colors
color_dict = {
    'red': 'red',
    'lightred': 'lightred',
    'beige': 'beige',
    'lightgreen': 'lightgreen',
    'green': 'green'
}

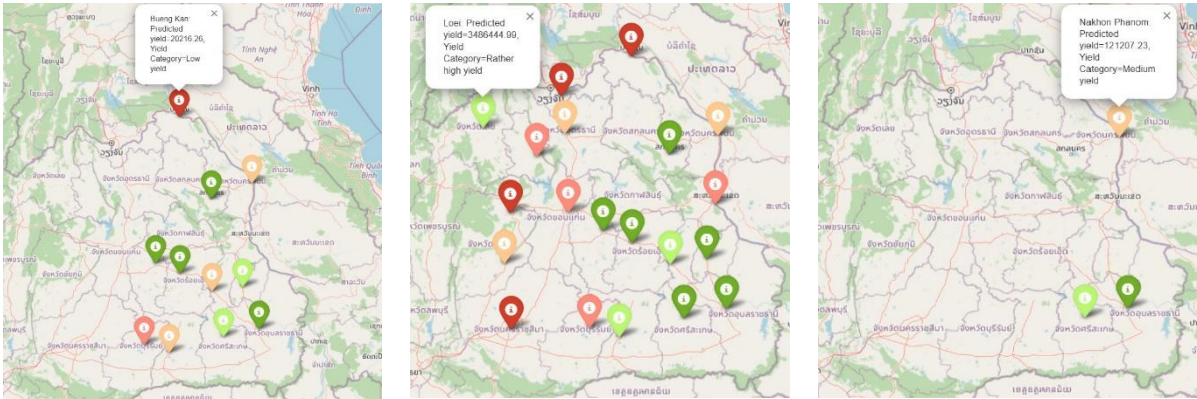
# Add markers to the map
for province in results:
    y = result['Y']
    color = result['color']
    yield_category = result['yield_category']
    coords = result['coords']

    folium.Marker(
        location=coords,
        popup=f'{province}: Predicted yield={y:.2f}, Yield Category={yield_category}',
        icon=folium.Icon(color=color_dict[color])
    ).add_to(m)

# Save the map to an HTML file
m.save('cassava_yield_prediction_map.html')

# Display the map in the notebook
m
```


โค้ดโปรแกรมภาษาไพธอนในตารางที่ 3 เป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนา GIS เพื่อพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลัง โดยบูรณาการการประมวลผลทางสถิติเข้ากับการแสดงผลเชิงพื้นที่ กระบวนการทำงานจะใช้แบบจำลองการถดถอยและข้อมูลพิกัดของแต่ละจังหวัดมาคำนวณค่าพยากรณ์ผลผลิต จากนั้นจึงจำแนกผลลัพธ์เป็น 5 ระดับและกำหนดรหัสสี ก่อนจะแสดงผลลัพธ์สุดท้ายเป็นแผนที่ GIS ซึ่งได้ตอบที่สามารถกรองข้อมูลตามค่าสหสัมพันธ์ (r) ได้ ดังที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังที่สร้างด้วย Python โดยแสดงผลตามเกณฑ์ค่าสหสัมพันธ์ที่ต่างกัน จากซ้ายไปขวาคือกลุ่มจังหวัดที่มีค่า $r > 0.70$, $r > 0.00$ และ $r > 0.90$ ตามลำดับ

ผลลัพธ์ในภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าระบบ GIS ที่สร้างขึ้นสามารถนำมาสมการถดถอยมาพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลัง (Y) จากพื้นที่เพาะปลูก (X) และจำแนกระดับผลผลิตด้วยเกณฑ์ที่กำหนด ก่อนจะแสดงผลเป็นแผนที่สถิติโดยใช้รหัสสี แผนที่ทั้งสามภาพแสดงผลลัพธ์ตามเกณฑ์ค่าสหสัมพันธ์ (r) ที่แตกต่างกัน ($r > 0.70$, $r > 0.00$, และ $r > 0.90$) ซึ่งยืนยันถึงประสิทธิภาพของการกรองข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ การบูรณาการนี้ไม่เพียงแต่มีคุณค่าเชิงระเบียบวิธีวิจัย แต่ยังมีประโยชน์ในเชิงปฏิบัติ ซึ่งในขั้นตอนต่อไปจะมีการพัฒนาระบบโดยเพิ่มส่วนติดต่อกับผู้ใช้ตามรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 โค้ดโปรแกรม Python สำหรับสร้างโปรแกรม GIS พยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังที่สามารถรับข้อมูลจากผู้ใช้ได้

```
import numpy as np
import folium

# Updated provinces data with coefficients and ranges for the linear regression equation
provinces_data = {
    'Nakhon Phanom': {'coeff': [-2032.77, 10.27], 'ranges': [46744, 72280, 123353, 148890], 'coords': [17.3920, 104.7694]},
    'Bueng Kan': {'coeff': [1376.26, 9.42], 'ranges': [23692, 29405, 40832, 46546], 'coords': [18.3609, 103.6465]},
    'Buriram': {'coeff': [244118.49, 8.81], 'ranges': [1551543, 1776830, 2227404, 2452691], 'coords': [14.9950, 103.1029]},
    'Maha Sarakham': {'coeff': [-410542.85, 12.27], 'ranges': [1125902, 1288348, 1613240, 1775687], 'coords': [16.2001, 103.2822]},
    'Yasothon': {'coeff': [31690.14, 9.30], 'ranges': [598556, 704146, 915326, 1020915], 'coords': [15.7954, 104.1490]},
    'Roi Et': {'coeff': [-29894.09, 10.04], 'ranges': [1221235, 1367477, 1659961, 1806203], 'coords': [16.0538, 103.6520]},
    'Si Sa Ket': {'coeff': [2473.42, 9.42], 'ranges': [118670, 169905, 272375, 323611], 'coords': [15.1186, 104.3220]},
    'Sakon Nakhon': {'coeff': [63574.50, 8.97], 'ranges': [636989, 725343, 902051, 990404], 'coords': [17.1645, 104.1420]},
    'Surin': {'coeff': [-103203.00, 10.55], 'ranges': [1263780, 1528889, 2059108, 2324217], 'coords': [14.8826, 103.4937]},
    'Amnat Charoen': {'coeff': [34381.37, 9.40], 'ranges': [573866, 684877, 906897, 1017908], 'coords': [15.8588, 104.6258]},
    'Ubon Ratchathani': {'coeff': [-1816.71, 9.88], 'ranges': [44002, 74297, 134887, 165182], 'coords': [15.2287, 104.8780]}
}

# Get the number of data sets
n = int(input("Enter the number of data sets: "))

# Initialize arrays to store data
provinces = []
x_vals = []

# Get data from user
for i in range(n):
    province = input(f"Enter province (i+1): ")
    x = float(input(f"Enter cultivation area (x) for {province} (in rai): "))
    provinces.append(province)
    x_vals.append(x)

# Initialize results array
results = []

# Process each data set
for i in range(n):
    province = provinces[i]
    x = x_vals[i]

    if province not in provinces_data:
        print(f"Province '{province}' not found in the data.")
        continue

    coeffs = provinces_data[province]['coeff']
    y = coeffs[0] + coeffs[1] * x
    y = coeffs[0] + coeffs[1] * x
    ranges = provinces_data[province]['ranges']

# Determine color and productivity level based on y value
if y < ranges[0]:
    color = 'Red'
    productivity = 'Low'
elif y < ranges[1]:
    color = 'LightRed'
    productivity = 'Quite Low'
elif y < ranges[2]:
    color = 'Beige'
    productivity = 'Medium'
elif y < ranges[3]:
    color = 'LightGreen'
    productivity = 'Quite High'
else:
    color = 'Green'
    productivity = 'High'

results.append({'province': province, 'y': y, 'color': color, 'productivity': productivity, 'coords': provinces_data[province]['coords']})

# Display the results
print("\nResults:")
for result in results:
    print(f"Province: {result['province']}, Predicted Rice Yield (y): {result['y']:.2f} tons, Color: {result['color']}, Productivity: {result['productivity']}")

# Create a map to visualize the results
map_center = [16.0, 103.0] # Center of the selected provinces
m = folium.Map(location=map_center, zoom_start=7)

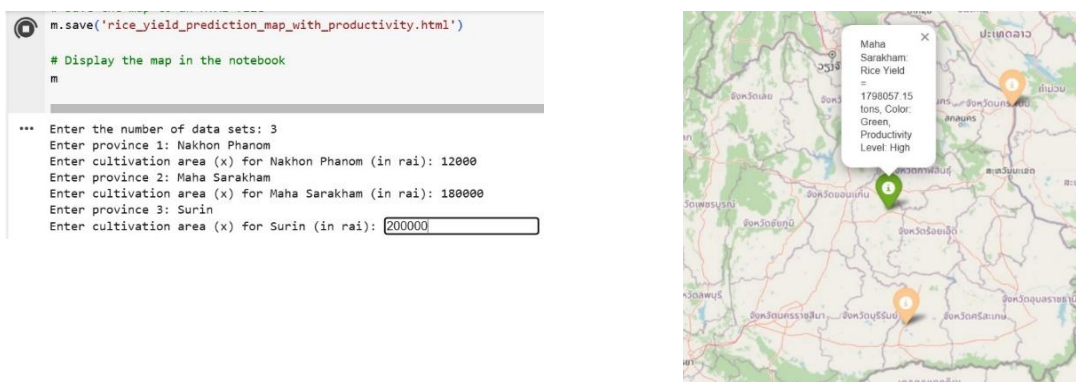
# Define colors
color_dict = {
    'Red': 'red',
    'LightRed': 'lightred',
    'Beige': 'beige',
    'LightGreen': 'lightgreen',
    'Green': 'green'
}

# Add markers to the map
for result in results:
    province = result['province']
    y = result['y']
    color = result['color']
    coords = result['coords']
    productivity = result['productivity']
    folium.Marker(
        location=coords,
        popup=f"{province}: Rice Yield = {y:.2f} tons, Color: {color}, Productivity Level: {productivity}",
        icon=folium.Icon(color=color_dict[color])
    ).add_to(m)

# Save the map to an HTML file
m.save('rice_yield_prediction_map_with_productivity.html')

# Display the map in the notebook
m
```


โปรแกรมภาษาไพธอนในตารางที่ 4 ได้รับการพัฒนาเพื่อสร้าง GIS สำหรับพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลัง โดยเพิ่มความสามารถให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลจังหวัดและพื้นที่เพาะปลูกได้โดยตรง จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าพยากรณ์และจำแนกระดับผลผลิตโดยอัตโนมัติ ก่อนแสดงผลบนแผนที่เชิงสถิติบน Google Colab ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้มีตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลลัพธ์ของ GIS สำหรับพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลัง (เฉพาะจังหวัดที่ $r > 0.90$) ที่มีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ภาพซ้ายคือขั้นตอนการป้อนข้อมูลผ่านแป้นพิมพ์ และภาพขวาคือผลการพยากรณ์บนแผนที่ GIS ที่ปรากฏหลังจากการยืนยันข้อมูล

ผลสำเร็จจากกิจกรรมที่ 1 ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การวิเคราะห์ข้อมูลไปจนถึงการสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) พร้อมส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการบูรณาการวิธีการทางสถิติเข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตรที่แม่นยำและเชื่อถือได้ องค์ความรู้และเครื่องมือที่ได้จากกิจกรรมนี้จึงเป็นรากฐานสำคัญสำหรับกิจกรรมที่ 2 ซึ่งจะมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) DeepSeek เพื่อสร้างระบบ GIS สำหรับพยากรณ์ผลผลิตต่อไป

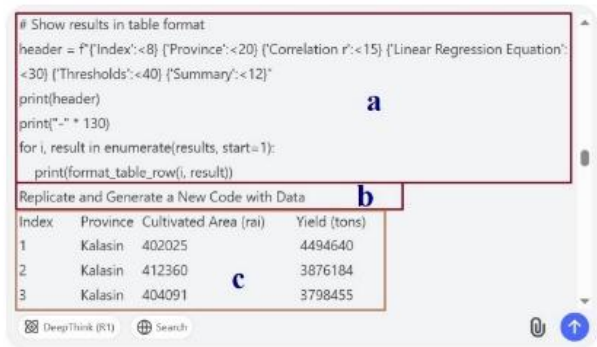
กิจกรรมที่ 2: การพัฒนา GIS เพื่อพยากรณ์ผลผลิตอ้อยจากพื้นที่เพาะปลูก

ในกิจกรรมที่ 2 เป็นการสำรวจศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อยจากพื้นที่เพาะปลูก กระบวนการนี้ใช้วิธีการทำซ้ำและสร้างใหม่ (Replication and Generation) โดยเริ่มต้นจากการเตรียมข้อมูลอ้อยตามที่ได้แสดงในภาพที่ 3 จากนั้นจึงทำซ้ำโค้ดต้นแบบจากตารางที่ 1 ซึ่งเคยใช้ในการวิเคราะห์ผลผลิตมันสำปะหลัง แล้วจึงปรับแก้โค้ดดังกล่าวเพื่อสร้างเวอร์ชันใหม่สำหรับชุดข้อมูลอ้อยโดยเฉพาะ ก่อนจะนำไปตรวจสอบและประมวลผลบนแพลตฟอร์ม Google Colab

Index	Province	Cultivated Area (rai)	Yield (tons)
1	Kalasin	402025	4494640
2	Kalasin	412360	3876184
3	Kalasin	404091	3798455
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
199	Ubon Ratchathani	4116	40337
200	Ubon Ratchathani	3993	35937

ภาพที่ 3 การเตรียมข้อมูลสำหรับกระบวนการทำซ้ำและสร้างโค้ด Python ด้วย DeepSeek เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ สร้างแบบจำลองถดถอย และจำแนกระดับผลผลิตอ้อย

กระบวนการทำซ้ำและสร้างโค้ดโปรแกรมภาษาไพธอนด้วย DeepSeek เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ สร้างแบบจำลองการถดถอย และจำแนกระดับผลผลิตอ้อยนั้น แสดงดังภาพที่ 4 โดยเริ่มต้นจากการวางโค้ดต้นฉบับ (ส่วน a) ตามด้วยการเขียนคำบอกงาน (prompt) ตามหลักการการทำซ้ำและสร้างใหม่ (ส่วน b) และสุดท้ายคือการผนวกชุดข้อมูลอ้อยที่เตรียมไว้ (ส่วน c) ก่อนส่งคำบอกงาน (prompt) ทั้งหมดให้ DeepSeek ประมวลผล



ภาพที่ 4 การออกแบบคำบอกงาน (prompt) สำหรับ DeepSeek เพื่อทำซ้ำและสร้างโค้ดใหม่จากชุดข้อมูลย่อย สำหรับใช้วิเคราะห์สหสัมพันธ์ สร้างแบบจำลองการถดถอย และจำแนกระดับผลผลิต

DeepSeek จะสร้างโค้ดโปรแกรมภาษาไพธอนชุดใหม่จากข้อมูลย่อยที่นำมา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ สร้างแบบจำลองการถดถอย และกำหนดเกณฑ์การจำแนกผลผลิต ส่วนของโค้ดโปรแกรมภาษาไพธอนที่แตกต่างจากเวอร์ชันดั้งเดิมในตารางที่ 4 คือชุดข้อมูลที่ใช้ โดยชุดข้อมูลนี้คือข้อมูลจังหวัด ผลผลิตย่อย และพื้นที่เพาะปลูกที่ถูกส่งไปพร้อมกับคำบอกงาน (prompt) ให้ DeepSeek ประมวลผลนั่นเอง หลังจากตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องของโค้ดกับชุดข้อมูลแล้ว สคริปต์โปรแกรมภาษาไพธอนที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปประมวลผลบน Google Colab จากนั้นจึงกำหนดเกณฑ์ค่าสหสัมพันธ์ อย่างกรณีนี้กำหนด $r > 0.90$ และเมื่อรันโปรแกรม ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำเสนอในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์สหสัมพันธ์ แบบจำลองถดถอย และการจำแนกผลผลิตย่อยด้วย Python พร้อมสรุปความเหมาะสมของแบบจำลองรายจังหวัด (เกณฑ์ $r > 0.90$)

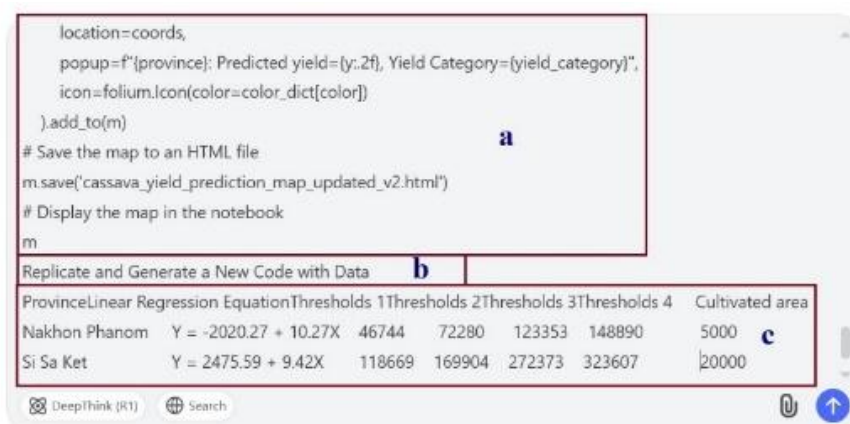
Index	Province	r	Linear Regression Equation	Thresholds	Summary
1	Amnat Charoen	0.86	$Y = 34381.37 + 9.40X$	573866, 684877, 906897, 1017908	Not Suitable
2	Bueng Kan	0.89	$Y = 1376.26 + 9.42X$	23692, 29405, 40832, 46546	Not Suitable
3	Buriram	0.79	$Y = 244118.49 + 8.81X$	1551543, 1776830, 2227404, 2452691	Not Suitable
4	Chaiyaphum	0.51	$Y = -721021.55 + 11.10X$	4836983, 5293889, 6207700, 6664605	Not Suitable
5	Kalasin	0.34	$Y = -84715.79 + 10.14X$	3674388, 3993101, 4630528, 4949242	Not Suitable
6	Khon Kaen	0.39	$Y = -4914406.68 + 17.52X$	5256601, 5727341, 6668822, 7139562	Not Suitable
7	Loei	0.22	$Y = 210278.28 + 8.30X$	1842943, 2285312, 3170050, 3612419	Not Suitable
8	Maha Sarakham	0.73	$Y = -410542.85 + 12.27X$	1125902, 1288348, 1613240, 1775687	Not Suitable
9	Mukdahan	0.47	$Y = 9411.87 + 10.02X$	1818944, 1978261, 2296895, 2456212	Not Suitable
10	Yasothon	0.83	$Y = 31690.14 + 9.30X$	598556, 704146, 915326, 1020915	Not Suitable
11	Nakhon Phanom	0.97	$Y = -2020.27 + 10.27X$	46744, 72280, 123353, 148890	Suitable
12	Nakhon Ratchasima	0.40	$Y = -414073.90 + 10.28X$	5210987, 5711940, 6713847, 7214800	Not Suitable
13	Nong Bua Lam Phu	0.57	$Y = 367741.51 + 8.88X$	2696429, 2937546, 3419780, 3660897	Not Suitable
14	Nong Khai	0.62	$Y = -25714.80 + 10.44X$	569763, 621774, 725796, 777807	Not Suitable
15	Roi Et	0.71	$Y = -29894.09 + 10.04X$	1221235, 1367477, 1659961, 1806203	Not Suitable
16	Sakon Nakhon	0.72	$Y = 63574.50 + 8.97X$	636989, 725343, 902051, 990404	Not Suitable
17	Si Sa Ket	0.91	$Y = 2475.59 + 9.42X$	118669, 169904, 272373, 323607	Suitable
18	Surin	0.85	$Y = -103286.95 + 10.55X$	1263795, 1528912, 2059146, 2324262	Not Suitable
19	Udon Thani	0.17	$Y = 1575933.85 + 7.62X$	6019972, 6527485, 7542512, 8050025	Not Suitable
20	Ubon Ratchathani	0.63	$Y = 46535.14 + 6.21X$	44002, 74297, 134885, 165180	Not Suitable

ข้อมูลในตารางนี้จะถูกนำไปใช้สร้างแผนที่สถิติในขั้นตอนต่อไป โดยต้องเตรียมชุดข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกใหม่สำหรับจังหวัดที่ผ่านเกณฑ์ความเหมาะสม ($r > 0.90$) ซึ่งกระบวนการเตรียมข้อมูลสำหรับป้อนเข้าสู่ DeepSeek เพื่อสร้างแผนที่นั้นแสดงดังภาพที่ 5

Province	Linear Regression Equation	Thresholds 1	Thresholds 2	Thresholds 3	Thresholds 4	Cultivated area
Nakhon Phanom	$Y = -2020.27 + 10.27X$	46744	72280	123353	148890	5000
Si Sa Ket	$Y = 2475.59 + 9.42X$	118669	169904	272373	323607	20000

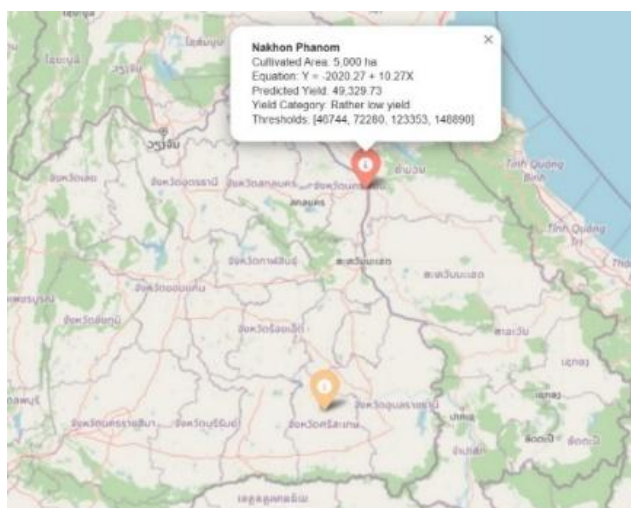
ภาพที่ 5 การเตรียมข้อมูลสำหรับกระบวนการทำซ้ำและสร้างโค้ด Python ด้วย DeepSeek เพื่อสร้าง GIS สำหรับพยากรณ์ผลผลิตย่อยตามพื้นที่เพาะปลูก

กระบวนการนี้ดำเนินตามขั้นตอนเดียวกับการสร้างโค้ดครั้งแรก ดังที่แสดงในภาพที่ 6 โดยเริ่มจากการคัดลอกโค้ดทั้งหมดจากตารางที่ 3 (ส่วน a) ไปยัง DeepSeek ตามด้วยการเขียนคำบอกรงาน (prompt) ตามหลักการทำซ้ำและสร้างใหม่ (ส่วน b) จากนั้นจึงผนวกชุดข้อมูลที่เตรียมไว้ (ส่วน c) แล้วส่งคำบอกรงาน (prompt) ทั้งหมดเพื่อประมวลผล



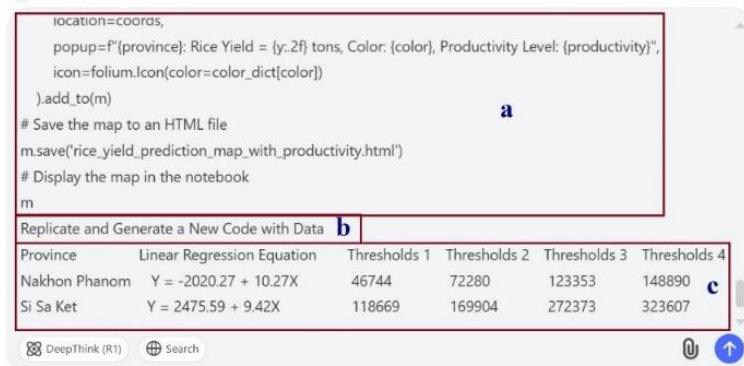
ภาพที่ 6 การออกแบบคำบอกรงาน (prompt) สำหรับ DeepSeek เพื่อทำซ้ำและสร้างโค้ดใหม่จากชุดข้อมูลย่อย สำหรับสร้าง GIS เพื่อพยากรณ์ผลผลิตอ้อยตามพื้นที่เพาะปลูก (เฉพาะกรณี $r > 0.90$)

DeepSeek ให้ผลลัพธ์ของโค้ดที่แตกต่างจากเวอร์ชันดั้งเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลผลิตมันสำปะหลัง (ตารางที่ 3) โดยความแตกต่างที่สำคัญคือส่วนของชุดข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลที่เตรียมไว้ตามภาพที่ 6 และถูกผนวกเข้าไปในคำสั่งที่แสดงในภาพที่ 6 ส่วน (c) จากนั้นจึงนำโค้ดที่ได้ไปประมวลผลอีกครั้งบน Google Colab ซึ่งให้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยเป็นแผนที่สถิติของผลผลิตอ้อยที่พยากรณ์ได้จากพื้นที่เพาะปลูก



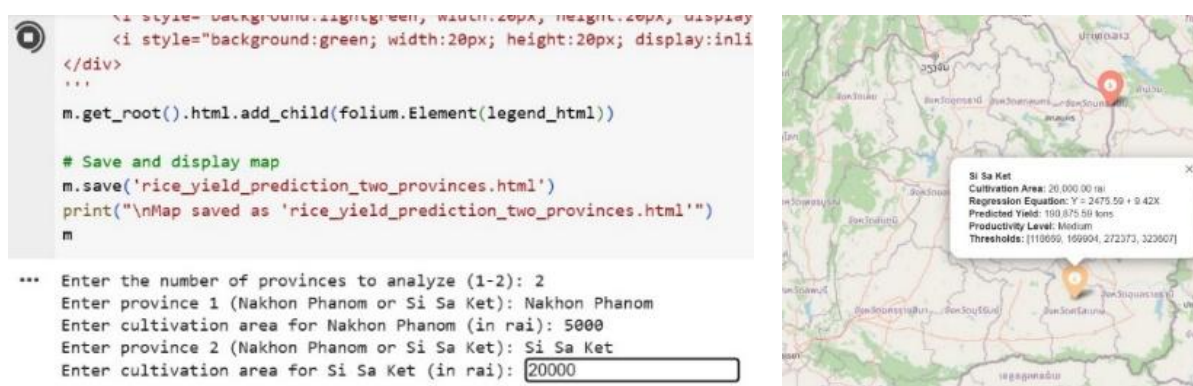
ภาพที่ 7 ผลลัพธ์ของ GIS ที่สร้างด้วย Python สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อยตามพื้นที่เพาะปลูก (เฉพาะกรณี $r > 0.90$)

ในการสร้างโค้ดส่วนติดต่อกับผู้ใช้ จะใช้กระบวนการเดียวกับการสร้างแผนที่ แต่จะเตรียมข้อมูลโดยไม่รวมค่าพื้นที่เพาะปลูกเพื่อให้ผู้ใช้ป้อนเอง กระบวนการทั้งหมดนี้เริ่มต้นใหม่โดยใช้โค้ดจากตารางที่ 4 เป็นต้นแบบและดำเนินตามขั้นตอนที่แสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การออกแบบคำบอกงาน (prompt) สำหรับสร้างโค้ด Python เพื่อพัฒนา GIS สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย ซึ่งมีส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (UI) สำหรับการป้อนข้อมูลผ่านแป้นพิมพ์

DeepSeek จะสร้างโค้ดชุดใหม่ ซึ่งมีความแตกต่างจากเวอร์ชันดั้งเดิมที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลผลิตมันสำปะหลังในตารางที่ 4 ส่วนของชุดข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลที่เตรียมไว้ตามภาพที่ 5 และถูกผนวกเข้าไปในคำสั่งดังแสดงในภาพที่ 8 ส่วน (c) จากนั้นจึงนำโค้ดที่ได้ไปประมวลผลบน Google Colab ซึ่งโปรแกรมจะร้องขอให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลผ่านแป้นพิมพ์ และเมื่อผู้ใช้นำข้อมูลแล้ว โปรแกรมจะแสดงผลดังที่ปรากฏในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลลัพธ์ของ GIS สำหรับพยากรณ์ผลผลิตอ้อย (เฉพาะกรณี $r > 0.90$) ซึ่งมีส่วนต่อประสานสำหรับรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน ภาพซ้ายคือการป้อนข้อมูลผ่านแป้นพิมพ์ และภาพขวาคือผลลัพธ์ที่แสดงหลังจากการป้อนข้อมูล

ในขั้นตอนนี้ ผู้เรียนจะสังเกตได้ว่ากระบวนการพัฒนา GIS มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญด้วยพลังของปัญญาประดิษฐ์ กิจกรรมที่ 1 และ 2 ร่วมกันสะท้อนให้เห็นถึงระดับของสมรรถนะดิจิทัลที่เพิ่มขึ้นจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ซึ่งช่วยเสริมสร้างประสิทธิผลและศักยภาพของการปฏิบัติงานบนฐานดิจิทัล

กิจกรรมที่ 3: การพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อพยากรณ์ผลผลิตข้าวจากพื้นที่เพาะปลูก

ในกิจกรรมสุดท้ายนี้ ผู้เรียนจะต้องประยุกต์ใช้สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนามาทั้งหมดเพื่อสร้างสรรค์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับการพยากรณ์ผลผลิตข้าวด้วยตนเองอย่างอิสระ โดยมีผู้สอนทำหน้าที่สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ ให้คำแนะนำ และประเมินผลการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอน เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ ผู้สอนได้เตรียมข้อมูลการวิเคราะห์เบื้องต้นและผลลัพธ์ที่คาดหวังไว้ให้ผู้เรียนใช้เป็นแนวทางอ้างอิงตลอดกิจกรรม หลังจาก que ผู้เรียนพัฒนาโครงการ GIS ของตนเองสำเร็จ จะมีการนำเสนอผลงานและอภิปรายร่วมกันทั้งห้องเรียน โดยผู้สอนเป็นผู้อำนวยความสะดวกและอภิปรายผ่านการสุ่มเลือกบางผลงาน ซึ่งเน้นการตีความค่าสหสัมพันธ์ (r) เพื่ออธิบายเกณฑ์การคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม และเมื่อสิ้นสุดกิจกรรม ผู้เรียนจะได้ทำแบบสำรวจเพื่อสะท้อนการรับรู้ต่อสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ (MDC) ที่ได้รับการพัฒนาผ่านประสบการณ์การเรียนรู้

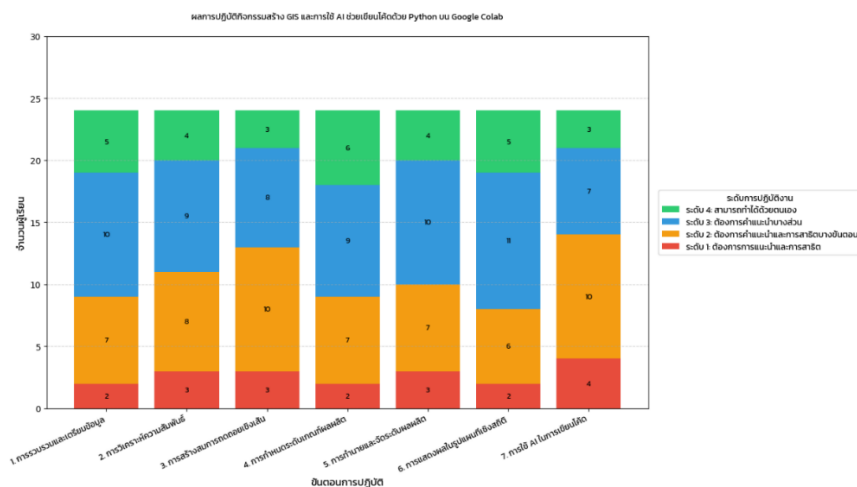
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการประเมินการปฏิบัติงานและการรับรู้สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ของนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ มีกลุ่มเป้าหมายเป็นนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ชั้นปีสุดท้าย จำนวน 24 คน จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยชุดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ด้วยโปรแกรมภาษาไพธอนและปัญญาประดิษฐ์ (DeepSeek) และเครื่องมือรวบรวมข้อมูล ซึ่งได้แก่ แบบประเมินการปฏิบัติงาน (Performance Assessment) ปรับจากกรอบของ Ukobizaba, Ndayambaje and Niyibizi (2021) เพื่อวัดสมรรถนะการบูรณาการคณิตศาสตร์กับเทคโนโลยี กำหนด 7 ด้าน ครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมจัดการข้อมูล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ การสร้างแบบจำลองถดถอย การกำหนดเกณฑ์ผลผลิต การพยากรณ์และการจัดระดับ การทำแผนที่เชิงสถิติ ไปจนถึงการใช้เทคนิค AI เพื่อปรับแก้โค้ด ใช้ระดับคะแนน 4 ระดับ (1–4) พร้อมคำอธิบายพฤติกรรมรายระดับให้ผู้ประเมินใช้สอดคล้องกัน การตรวจคุณภาพ ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านตรวจความตรงเชิงเนื้อหา ผล IOC รายด้าน = 0.67–1.00 (มัธยฐาน = 0.67), S-CVI/Ave = 0.76 (ทุกด้านผ่านเกณฑ์ ≥ 0.67) และเมื่อ นำไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างได้ Cronbach's alpha = 0.67 (ระดับปานกลางเหมาะสมกับเครื่องมือหลายมิติ) อีกเครื่องมือจะเป็นแบบสำรวจการรับรู้สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ (MDC Perception Survey) พัฒนาบนฐานแนวคิดของ Geraniou and Jankvist (2019), Geraniou *et al.* (2024) และ Weinhandl *et al.* (2021) ครอบคลุม 3 มิติ (การคิดเชิงคณิตศาสตร์ในบริบทดิจิทัล การบูรณาการเทคโนโลยี การให้เหตุผลเชิงวิเคราะห์) รวม 12 ข้อ มาตราประมาณค่า Likert 5 ระดับ การตรวจคุณภาพ ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านตรวจความตรงเชิงเนื้อหา ผล IOC รายข้อ = 0.67–1.00 (มัธยฐาน = 1.00), S-CVI/Ave = 0.92 (ผ่านระดับสูงมาก) และการทดลองใช้กับกลุ่มผู้เรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างให้ Cronbach's alpha = 0.80 (สูง) พร้อมสถิติโดยรวม เฉลี่ย = 3.79, SD = 0.70 สะท้อนการรับรู้ระดับมากและความสอดคล้องของข้อคำถามที่ดี กระบวนการวิจัยแบ่งเป็น 3 ระยะคือ การพัฒนา การดำเนินการจัดกิจกรรมซึ่งใช้เวลา 12 ชั่วโมง และการประเมินผล โดยเก็บข้อมูลจากการประเมินพฤติกรรมการทำงานและแบบสำรวจการรับรู้ตนเอง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบแผนภูมิแท่ง (Stacked Bar Chart) และแผนภูมิลิเคิร์ต (Likert Chart) ตามลำดับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลการประเมินการปฏิบัติงานและการรับรู้สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ ของนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมการสร้างระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ด้วยโปรแกรมภาษาไพธอนและปัญญาประดิษฐ์ (AI) ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักคือ ผลการประเมินการปฏิบัติงาน และผลการสะท้อนการรับรู้ตนเองของผู้เรียน

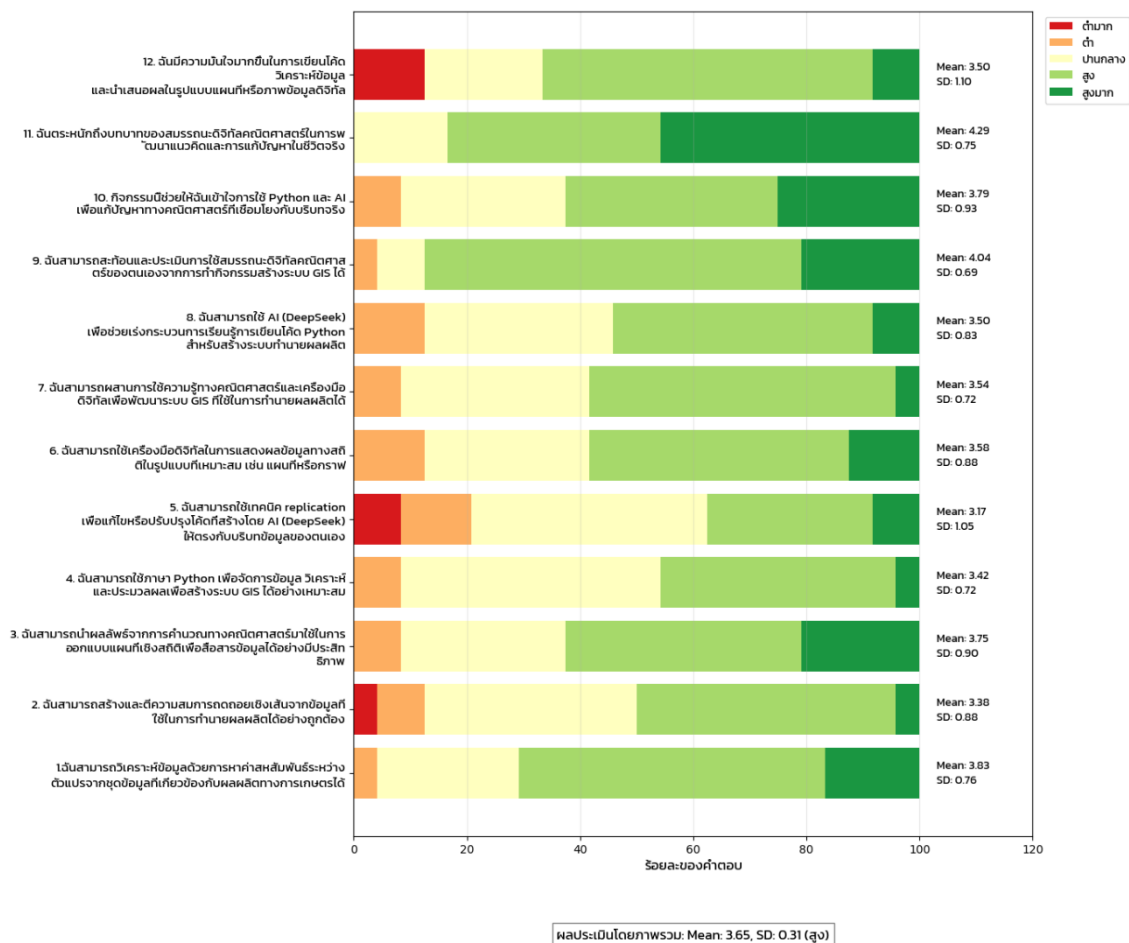
จากการประเมินการปฏิบัติงานของผู้เรียน 24 คนใน 7 ขั้นตอนการปฏิบัติกิจกรรม ดังแสดงในภาพที่ 10 พบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ ต้องการคำแนะนำบางส่วน และ ต้องการคำแนะนำและการสาธิตบางขั้นตอน โดยเฉพาะในขั้นตอนที่มีความซับซ้อนทางเทคนิคสูง เช่น การสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น และ การใช้ AI ในการเขียนโค้ด ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นในการได้รับการสนับสนุนจากผู้สอนอย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่ออกแบบขึ้นสามารถจุดประกายให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนการบูรณาการความรู้ทางคณิตศาสตร์เข้ากับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลอย่างเป็นระบบ และกระตุ้นให้เกิดการสังเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ (MC) และสมรรถนะทางดิจิทัล (DC) เข้าด้วยกันอย่างกลมกลืน



ภาพที่ 10 ผลการปฏิบัติงานของนักศึกษาครูในการสร้าง GIS และการใช้ AI ช่วยเขียนโค้ดด้วย Python บน Google Colab จำแนกตามระดับการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติกิจกรรม

ในส่วนของผลการสะท้อนการรับรู้ตนเองซึ่งแสดงผลเป็นแผนภูมิลิเคิร์ตในภาพที่ 11 พบว่าผู้เรียนมีระดับการรับรู้ต่อสมรรถนะดิจิทัลทัศนศาสตร์ (MDC) ของตนเองในภาพรวมอยู่ในระดับสูง (ค่าเฉลี่ย = 3.65, S.D. = 0.31) โดยรายการที่ผู้เรียนให้คะแนนสูงสุดคือ การตระหนักถึงบทบาทของสมรรถนะดิจิทัลทัศนศาสตร์ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริง (ค่าเฉลี่ย = 4.29) ในขณะที่รายการที่ได้คะแนนต่ำที่สุดคือ การใช้เทคนิค replication เพื่อแก้ไขโค้ดที่สร้างโดย AI (ค่าเฉลี่ย = 3.17) ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินการปฏิบัติงานที่ชี้ว่าการใช้ AI เป็นทักษะที่ท้าทายที่สุดสำหรับผู้เรียน โดยสรุป กิจกรรมการสร้าง GIS ได้ทำหน้าที่เป็น "ตัวเร่ง" ที่ผลักดันให้ผู้เรียนต้องพัฒนาสมรรถนะหลายด้านเข้าด้วยกัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Geraniou and Jankvist (2019), Geraniou *et al.* (2024) และ Weinhandl *et al.* (2021) ที่เน้นย้ำว่าการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลทัศนศาสตร์ที่แท้จริงควรเกิดจากบริบทการเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและสะท้อนผลอย่างต่อเนื่อง

การรับรู้สมรรถนะดิจิทัลทัศนศาสตร์ของผู้เรียนภายหลังการเข้าร่วมกิจกรรมสร้าง GIS (จำนวน = 24 คน)



ภาพที่ 11 การสะท้อนตนเองของผู้เรียนด้านสมรรถนะดิจิทัลทัศนศาสตร์ (MDC) หลังเข้าร่วมกิจกรรมพัฒนา GIS ด้วยการถดถอยเชิงเส้นและการทำแผนที่สถิติบน Google Colab

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังมีข้อสังเกตบางประการ คือกิจกรรมไม่ได้รวมการประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง เช่น การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Blömeke, Gustafsson and Shavelson, 2015) และยังไม่ได้ประเมินความเข้าใจเชิงแนวคิดอย่างลึกซึ้งของผู้เรียน (Pepin *et al.*, 2016) ซึ่งในอนาคตควรมีการเพิ่มเครื่องมือที่วัดความเข้าใจเชิงอธิบาย นอกจากนี้ การเปิดโอกาสให้ผู้เรียนนำเสนอผลงานอาจช่วยส่งเสริมทักษะการสื่อสารและการคิดเชิงสะท้อนได้ดียิ่งขึ้น ถึงกระนั้น กิจกรรมที่ออกแบบขึ้นนี้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ในการจุดประกายสมรรถนะดิจิทัลทัศนศาสตร์ของผู้เรียน โดยใช้กลยุทธ์การเรียนรู้ที่ผสมผสานคณิตศาสตร์ เทคโนโลยีดิจิทัล และ AI ซึ่งสอดคล้องกับการเตรียมความพร้อมให้แก่ครูคณิตศาสตร์สำหรับศตวรรษที่ 21

งานวิจัยนี้วัดสมรรถนะดิจิทัลทัศนศาสตร์ของผู้เรียนจาก 2 ส่วน คือ การลงมือปฏิบัติจริง และการประเมินตนเอง อย่างไรก็ตาม การวัดผลจากการประเมินตนเองนั้นอาจคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากผู้เรียนอาจตอบตามความพึงพอใจหรือขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อม ทำให้การสรุปว่าผู้เรียนมี “พัฒนาการ” จากข้อมูลส่วนนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวัง นอกจากนี้ รูปแบบงานวิจัยยังขาดการเปรียบเทียบผลก่อน-หลัง และไม่มีกลุ่มควบคุม จึงยากที่จะชี้ชัดว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากการเรียนรู้โดยตรง

แม้ว่าผลการปฏิบัติจริงจะช่วยยืนยันแนวโน้มที่ได้ก็ตาม ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตจึงควรเพิ่มหลักฐานที่จับต้องได้มากขึ้น เช่น การวัดผลจากการทำภารกิจจริง ตรวจสอบงาน หรือดูข้อมูลการใช้งานระบบ ควบคู่ไปกับการออกแบบวิจัยที่รัดกุม เช่น การวัดผลก่อน-หลัง หรือมีกลุ่มเปรียบเทียบ เพื่อให้ข้อสรุปมีความน่าเชื่อถือและหนักแน่นยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เข้ากับการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและปัญญาประดิษฐ์ (AI) เกิดขึ้นจากความตระหนักถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ (MDC) ในกลุ่มนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ กิจกรรมนี้ถูกออกแบบอย่างเป็นระบบเพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้พัฒนาความสามารถในการบูรณาการการคิดเชิงคณิตศาสตร์ การให้เหตุผลเชิงวิเคราะห์ และความคล่องแคล่วทางเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลการประเมินการปฏิบัติงานและการรับรู้สมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ ผ่านประสบการณ์จริงจากการลงมือปฏิบัติ ซึ่งเป็นการหลอมรวมสมรรถนะทางคณิตศาสตร์ (MC) และสมรรถนะทางดิจิทัล (DC) เข้าด้วยกันอย่างมีความหมาย ผลลัพธ์จากกิจกรรมเผยให้เห็นว่าผู้เรียนไม่เพียงแต่บรรลุตามทักษะทางเทคนิคที่ตั้งเป้าไว้ แต่ยังเห็นคุณค่าของ MDC อย่างลึกซึ้งในการสร้างสรรค์ผลงานที่เป็นรูปธรรมและมีนวัตกรรม ที่สำคัญไปกว่านั้น กิจกรรมนี้ได้จุดประกายแรงบันดาลใจให้ผู้เรียนได้ไตร่ตรองถึงแนวทางที่จะสามารถปลูกฝังสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ ให้กับนักเรียนของตนเองในอนาคต ดังนั้น กิจกรรมการเรียนรู้บนฐาน GIS นี้จึงถือเป็นแนวทางที่ทรงพลังและนำไปปฏิบัติได้จริงในการจุดประกายสมรรถนะดิจิทัลคณิตศาสตร์ ในการผลิตครุคณิตศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ในเป้าหมายที่ 4 “การศึกษาที่มีคุณภาพ” ผ่านการส่งเสริมทักษะดิจิทัลและคณิตศาสตร์สำหรับครูรุ่นใหม่ และเป้าหมายที่ 9 “อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน” ผ่านการบูรณาการเทคโนโลยีสมัยใหม่และนวัตกรรมทางการศึกษาเพื่อเพิ่มศักยภาพการเรียนรู้ อย่างไรก็ตาม เพื่อต่อยอดการพัฒนาให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ควรมีการพิจารณาเพิ่มเติมในประเด็นต่อไปนี้

การเพิ่มความลึกเชิงสถิติและการประเมิน ในการจัดกิจกรรมครั้งต่อไป ควรเพิ่มกระบวนการประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง เช่น การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ และใช้เครื่องมือวัดความเข้าใจเชิงแนวคิดที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น เพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะการวิเคราะห์เชิงสถิติที่สมบูรณ์ขึ้น

การส่งเสริมทักษะการใช้ AI เนื่องจากผู้เรียนยังพบความท้าทายในการประยุกต์ใช้ AI เพื่อปรับแก้โค้ด หลักสูตรการผลิตครูจึงควรออกแบบกิจกรรมเสริมที่มุ่งเน้นการพัฒนาทักษะการใช้ AI ช่วยในการเขียนโปรแกรมอย่างมีวิจารณญาณ เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับเทคโนโลยีในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยในชั้นเรียน ได้คำนึงถึงหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มีการปิดบังรายชื่อของผู้ร่วมวิจัยทุกคน ยึดหลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย และหลักความยุติธรรม

References

- Bhavimane, A., Shetty, R., Kurunji, G. V., Tayenjam, A., and P. K. (2024). Data Visualization in Education: A Comprehensive Review. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 11(2), 268-273.
- Blömeke, S., Gustafsson, J. E. and Shavelson, R. J. (2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 3–13.
- Bray, A. and Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research: A systematic review of recent trends. *Computer & Education*, 114, 255-271.
- Dilling, F., Schneider, R., Weigand, H.-G. and Witzke, I. (2024). Describing the digital competencies of mathematics teachers: Theoretical and empirical considerations on the importance of experience and reflection. *ZDM – Mathematics Education*, 56(4), 639–650.

- Dockendorff, M. and Gómez Zaccarelli, F. (2024). Successfully preparing future mathematics teachers for digital technology integration: A literature review. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, 56(5), 948-979.
- Farida, A. and Indah, R. P. (2024). The impact of project-based learning with e-modules on mathematical communication skills. **Union**, 12(3), 626-635.
- Geraniou, E. and Jankvist, U. T. (2019). Towards a definition of “mathematical digital competency”. **Educational Studies in Mathematics**, 102(1), 29–45.
- Geraniou, E., Jankvist, U. T., Elicer, R., Tamborg, A. L. and Misfeldt, M. (2024). Towards a definition of “mathematical digital competency for teaching”. **ZDM – Mathematics Education**, 56(4), 625–637.
- Grădinaru, A. P., Badea, A.-C. and Ene, A. (2025). The integration of geospatial analyses based on AI in GIS in the context of the “15-minute city” concept. **E3S Web of Conferences**, 608.
- Hwang, G. J. and Tu, Y. F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. **Mathematics**, 9(6), 584.
- Hwang, G. J. and Chen, N. S. (2023) Editorial Position Paper: Exploring the Potential of Generative Artificial Intelligence in Education: Applications, Challenges, and Future Research Directions. **Educational Technology & Society**, 26, 1-18.
- Illanes, M. K. G., Breda, A., Manríquez, D. D. C. and Martínez, H. A. A. (2022). Analysis of a teaching learning process of the derivative with the use of ICT oriented to engineering students in Chile. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 18(7), em2130.
- In’am, A., Effendi, M. M. and Darmayanti, R. (2024). The effect of project-based learning (PjBL) using Pizzaluv-Mathematics media on self-efficacy and 4C skills. **Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika**, 13(4), 1336-1360.
- Jeong, J. S. and Lee, Y.-J. (2024). Development of Data Literacy Competency System for K-12. **International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology**, 14(6), 2333-2341.
- Kontkanen, S., Pöntinen, S., Kewalramani, S., Veresov, N. and Havu-Nuutinen, S. (2023). Children’s digital competence in early childhood education: A comparative analysis of curricula. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 19(1), em2215.
- Le Dinh, C., Fujiwara, T. and Pham Phu, S. T. (2025). Spatial analysis of informal recyclable station system for integration to formal solid waste management system and circular economy—Proposing integrated methodology of GIS, remote sensing, and statistical learning. **Environmental Quality Management**, 34(3), e70043.
- Li, M., Vale, C., Tan, H. and Blannin, J. (2024). A systematic review of TPACK research in primary mathematics education. **Mathematics Education Research Journal**, 37, 281-311.
- Martínez Domingo, J. A., Aznar Díaz, I., Romero Rodríguez, J. M. and Victoria Maldonado, J. J. (2025). Use of Instagram as an educational tool with pre-service teachers and the impact on digital competence in communication and collaboration. **Education Sciences**, 15(2), 149.
- Monterde, N. B. M. Y. (2023). TPACK correlates mathematics teachers’ performance in selected private higher education institutions (PHEIs). **GEO Academic Journal**, 4(1), 41-52.
- Nacaroğlu, O., Kızkapan, O. and Demir, H. (2025). Middle school students' motivations and learning competencies in science: Mediating role of digital literacy. **Psychology in the Schools**, 62(5), 1475-1487.
- Ndlovu, M., Ramdhany, V., Spangenberg, E. D. and Govender, R. (2020). Preservice teachers’ beliefs and intentions about integrating mathematics teaching and learning ICTs in their classrooms. **ZDM – Mathematics Education**, 52(7), 1365–1380.
- Pepin, B., Xu, B., Trouche, L. and Wang, C. (2017). Developing a deeper understanding of mathematics teaching expertise: An examination of three Chinese mathematics teachers’ resource systems as windows into their work and expertise. **Educational Studies in Mathematics**, 94(3), 257–274.

- Pranaityė, G., Kravcenkienė, V. and Narkeviciene, B. (2023). Revised national mathematics curriculum: Improving competence in mathematical communication through teaching methods. **Lietuvos matematikos rinkinys**, 64, 75-86.
- Putri, A., Juandi, D., Jupri, A., Turmudi and Muchsin, S. B. (2024). Mastering the TPACK framework: Innovative approaches by mathematics teachers. **Jurnal Elemen**, 10(3), 582-594.
- Ratnayake, I., Thomas, M. and Kensington-Miller, B. (2020). Professional development for digital technology task design by secondary mathematics teachers. **ZDM – Mathematics Education**, 52(7), 1423-1437.
- Saat, N. A., Alias, A. F. and Saat, M. Z. (2024). Digital technology approach in mathematics education: A systematic review. **International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development**, 13(4), 173-184.
- Seebut, S., Wongsason, P., Kim, D., Putjuso, T. and Boonpok, C. (2022). Python-based simulations of the probabilistic behavior of random events for secondary school students. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 18(9), em2149.
- Seifert, H. and Lindmeier, A. (2024). Developing a performance-based assessment to measure pre-service secondary teachers' digital competence to use digital mathematics tools. **Journal für Mathematik-Didaktik**, 45(2), 25.
- Susantini, E., Sari, Y. M., Asteria, P. V. and Marzuqi, M. I. (2025). Proving content validity of android-based higher order thinking skill assessment for science and mathematics preservice teacher. **Journal of Education and Learning**, 19(1), 551-560.
- Thurm, D. and Barzel, B. (2020). Effects of a professional development program for teaching mathematics with technology on teachers' beliefs, self-efficacy and practices. **ZDM – Mathematics Education**, 52, 1411-1422.
- Tiengyoo, K., Sotaro, S. and Thaithae, S. (2024). A study of mathematical understanding levels in set theory based on the APOS framework by using Python programming language for secondary school students. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 20(2), em2400.
- Ukobizaba, F., Ndayambaje, I. and Niyibizi, C. (2021). Assessment strategies for enhancing students' mathematical problem-solving skills: A review of literature. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 17(8), em1945.
- Vaillant, D., Zidán, E. R. and Bentancor-Biagas, G. (2021). Plan CEIBAL and the incorporation of digital tools and platforms in the teaching of mathematics according to the teachers' perceptions. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 17(12), em2037.
- Vilalta Riera, A., Deulofeu Piquet, J. and Morera Úbeda, L. (2024). Enriching math teaching guides from a competency-based perspective. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 20(7), em2477.
- Weinhandl, R., Houghton, T., Lindenbauer, E., Mayerhofer, M., Lavicza, Z. and Hohenwarter, M. (2021). Integrating technologies into teaching and learning mathematics at the beginning of secondary education in Austria. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 17(12), em2057.
- Yazici, N. and Şimşek, M. (2022). Examining the scenarios created by pre-service teachers regarding misconceptions that may occur in the teaching process. **Acta Didactica Napocensia**, 15(2), 256-268.
- Zhang, A., Juithong, S. and Nilnopkoon, P. (2025). The effect of teaching a mathematics teaching theory course based on deep learning to enhance mathematics teaching competency for student teachers at Zhoukou Normal University. **International Journal of Sociologies and Anthropologies Science Reviews**, 5(1), 809-820.



Evaluating Learning Progress and Self-Efficacy in Statistical Data Presentation through the Application of GPT Integrated with Google Colab

Kanisa Chodjuntug¹ and Supot Seebut^{1,*}

¹*Department of Mathematics, Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

**Email: supot.s@ubu.ac.th*

Received <17 July 2025>; Revised <4 September 2025>; Accepted <11 September 2025>

Abstract

In the digital era driven by data, statistical data presentation has become a fundamental skill in analytical thinking and data communication. This is especially crucial for pre-service mathematics teachers who are expected to transfer such competencies to the next generation. However, the complexity of statistical software often creates a technical barrier to developing this competency. This study aimed to design and evaluate learning activities that integrate GPT with Google Colab to reduce such obstacles. The participants were 28 third-year pre-service mathematics teachers who engaged in five learning activities. Their performance was evaluated through pre- and post-tests and a self-efficacy questionnaire. The results revealed a medium level of learning gain (mean $n\text{-gain}$ = 0.63) and a high level of self-efficacy (mean = 3.65). These findings highlight the potential of GPT and Google Colab as effective tools for overcoming technical barriers, enhancing content understanding, and preparing future educators for the demands of the digital age. This study specifically evaluated both the learning progress ($n\text{-gain}$) and the self-efficacy of participants, which are central to the research findings.

Keywords: Statistical Data Presentation; GPT; Google Colab; Pre-service Mathematics Teachers; Learning Progress; Self-Efficacy

ผลการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรู้และการรับรู้ความสามารถของตนเองในการ นำเสนอข้อมูลเชิงสถิติ ผ่านการประยุกต์ใช้ GPT ร่วมกับ Google Colab

คณิศา โชติจันทิก¹ และ สุพจน์ สิบต^{1,*}

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: supot.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

ในยุคดิจิทัลที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล ทักษะการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติกลายเป็นพื้นฐานสำคัญของการคิดวิเคราะห์และการสื่อสารเชิงข้อมูล โดยเฉพาะสำหรับนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ที่ต้องเตรียมพร้อมสู่บทบาทผู้ถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ผู้เรียน อย่างไรก็ตาม ความซับซ้อนของซอฟต์แวร์สถิติมักเป็นอุปสรรคสำคัญที่ขัดขวางการพัฒนาสมรรถนะด้านนี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งออกแบบและประเมินกิจกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการ GPT กับ Google Colab เพื่อช่วยลดอุปสรรคดังกล่าว กลุ่มเป้าหมายคือนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 28 คน ซึ่งเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ 5 กิจกรรม โดยประเมินผลผ่านการทดสอบก่อน-หลังเรียน และการสำรวจการรับรู้ความสามารถของตนเอง ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย n-gain = 0.63) และมีการรับรู้ความสามารถของตนเองในระดับสูง (ค่าเฉลี่ย = 3.65) สะท้อนถึงศักยภาพของการใช้ GPT และ Google Colab ในการลดกำแพงทางเทคนิค เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมุ่งพัฒนาความเข้าใจเชิงเนื้อหา และเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นครูในยุคดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินทั้งความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ (n-gain) และการรับรู้ความสามารถของตนเอง ซึ่งเป็นแกนกลางของผลการวิจัย

คำสำคัญ: การนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติ; GPT; Google Colab; นักศึกษาครุคณิตศาสตร์; ความก้าวหน้าทางการเรียนรู้; การรับรู้ความสามารถของตนเอง

บทนำ

ในยุคดิจิทัลที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล ทักษะการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Data Presentation) ได้กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของศาสตร์ด้านวิทยาการข้อมูล (Data Science) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างทฤษฎีที่ซับซ้อนสู่การสื่อสารที่เข้าใจง่าย (Schreiter *et al.*, 2024) อย่างไรก็ตาม การเรียนรู้ทักษะนี้มักเผชิญกับอุปสรรคสำคัญจากความยุ่งยากในการใช้งานซอฟต์แวร์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเปรียบเสมือนกำแพงที่ขวางกั้นผู้เรียนจากการพัฒนาความสามารถด้านการนำเสนอข้อมูล (Statistical Data Presentation Competency) (Abbasnasab Sardareh, Brown and Denny; 2025) และส่งผลกระทบต่อความเข้าใจในข้อมูล (Statistical Data Presentation Literacy) ในระยะยาว ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการทำงานและการดำรงชีวิตในโลกปัจจุบัน (Chang, Chang and Tsai, 2024).

ความท้าทายดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเตรียมความพร้อมของนักศึกษาครูคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นกลุ่มบุคลากรสำคัญที่จะต้องถ่ายทอดความรู้และทักษะเหล่านี้สู่ผู้เรียนในรุ่นต่อไป (Uras, Şata and Soylu; 2024) โปรแกรมการฝึกครูจึงจำเป็นต้องแสวงหาแนวทางจัดการเรียนรู้ที่ทันสมัย สามารถบูรณาการการเรียนรู้ภาคทฤษฎีเข้ากับการปฏิบัติได้อย่างไร้รอยต่อ เพื่อให้บัณฑิตครูที่สำเร็จการศึกษามีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อจัดการเรียนการสอนการนำเสนอข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Fitrah *et al.*, 2025; Yildiz and Arpacı, 2024) และพร้อมสำหรับความท้าทายในโลกการศึกษาแห่งอนาคต (Aleksieva, 2025). อย่างไรก็ตาม นักศึกษาครูจำนวนมากยังเผชิญกับข้อจำกัดจากการใช้ซอฟต์แวร์ที่ซับซ้อน และการขาดทักษะเชิงปฏิบัติ ทำให้การพัฒนาความสามารถด้านการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติยังไม่เต็มศักยภาพ

เพื่อตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับนักศึกษาครูคณิตศาสตร์ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดอุปสรรคทางการเรียนรู้ผ่านการประยุกต์ใช้ผู้ช่วยปัญญาประดิษฐ์ (AI Assistant) อย่าง GPT ร่วมกับแพลตฟอร์ม Google Colab ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมการเขียนโปรแกรมภาษา Python ที่มีประสิทธิภาพและเข้าถึงได้ง่าย (Gurl, Markinson and Artzt, 2024; Schorcht, Peters and Kriegel, 2025; Yanar and Ergene, 2025) แนวทางนี้สอดคล้องกับหลักการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และการเรียนรู้จากการปฏิบัติ (Learning by Doing) ที่เน้นการลดภาระทางเทคนิค เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้เรียนพัฒนาการคิดวิเคราะห์และการสื่อสารด้วยข้อมูลได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น มุ่งหวังที่จะทำลายกำแพงความซับซ้อนด้านเทคนิค เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมุ่งเน้นไปที่แก่นแท้ของการตีความและการสื่อสารด้วยข้อมูล แทนที่จะต้องกังวลกับอุปสรรคจากการใช้เครื่องมือ (Yanar and Ergene, 2025). โดยเฉพาะการผสมผสานจุดแข็งของ GPT ในการสร้างโค้ด กับศักยภาพของ Google Colab ในการประมวลผล ทำให้กิจกรรมที่ออกแบบมีลักษณะกึ่งอัตโนมัติและโต้ตอบได้ทันที ผู้เรียนสามารถโฟกัสกับการตีความผลลัพธ์และการสื่อสารข้อมูลเชิงสถิติได้มากขึ้น การเลือกจัดกิจกรรมทั้ง 5 กิจกรรมมีแรงจูงใจจากการต้องการสะท้อนรูปแบบการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติที่สำคัญและหลากหลาย ตั้งแต่ตาราง กราฟ แผนภูมิ ไปจนถึงการแจกแจงความถี่ เพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกทั้งการแสดงข้อมูลเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์เชิงลึก จุดเด่นของกิจกรรมเหล่านี้คือการผสมผสานการสร้างโค้ดอัตโนมัติจาก GPT กับการประมวลผลจริงบน Colab ทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ ลดภาระด้านเทคนิค และเสริมความมั่นใจในการตีความและสื่อสารข้อมูลอย่างเป็นระบบ

การศึกษานี้ประเมินผลกระทบของกิจกรรมการเรียนรู้ในหลายมิติ โดยเปรียบเทียบความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติของผู้เรียนก่อนและหลังเข้าร่วมกิจกรรม (Schorcht, Peters and Kriegel, 2025) และสำรวจการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) ทั้งในมิติของความสามารถส่วนบุคคลและความสามารถในการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่ผู้อื่น (Hanshaw, Vance and Brewer, 2024) ตัวแปรตามที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย ความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ (n-gain) ซึ่งสะท้อนถึงการพัฒนาความเข้าใจเชิงเนื้อหา และการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) ที่ชี้วัดความเชื่อมั่นในความสามารถส่งผลโดยตรงต่อการเรียนรู้และการถ่ายทอดความรู้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของ GPT และ Google Colab ในฐานะเครื่องมือทรงพลังที่ช่วยลดความซับซ้อน เพิ่มการเข้าถึง และส่งเสริมการเรียนรู้แบบโต้ตอบ (Chen and Chang, 2024; Seebut, Wongsason and Kim, 2024) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเตรียมความพร้อมนักศึกษาครูคณิตศาสตร์ให้ก้าวทันเทคโนโลยีและสามารถจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กิจกรรมการนำเสนอข้อมูลโดยใช้ GPT ร่วมกับ Google Colab

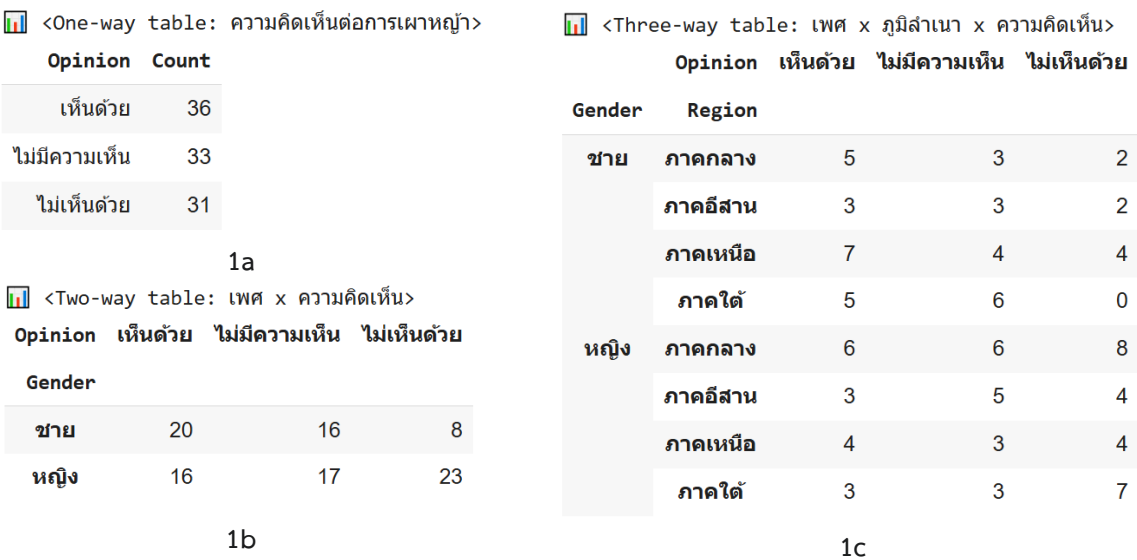
กิจกรรมที่ 1: การนำเสนอด้วยตาราง (Table Presentation)

กิจกรรมนี้มุ่งเน้นให้ผู้เรียนใช้ GPT เป็นเครื่องมือช่วยสร้างโค้ด Python สำหรับการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติเบื้องต้นในรูปแบบตาราง ผู้เรียนจะเริ่มต้นจากการสำรวจชุดข้อมูล survey_data.xlsx ซึ่งพบว่าประกอบด้วยตัวแปรเชิงคุณภาพที่น่าสนใจ 3 ตัว ได้แก่ Gender (เพศ), Region (ภูมิภาค), และ Opinion (ความคิดเห็น) จากนั้น ผู้เรียนจะกำหนดเป้าหมายการวิเคราะห์เพื่อสร้างตาราง 3 รูปแบบ ได้แก่ ตารางทางเดียวของตัวแปร Opinion, ตารางสองทางเพื่อดูความสัมพันธ์

ระหว่าง Gender กับ Opinion, และตารางสามทางเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Gender, Region, และ Opinion พร้อมกัน เพื่อให้ได้โค้ดสำหรับการวิเคราะห์ดังกล่าว ผู้เรียนจะฝึกสร้างชุดคำสั่ง (Prompt) ที่ชัดเจนสำหรับป้อนให้ GPT โดยมีโครงสร้างดังนี้

"ใช้ Python และไลบรารี pandas เพื่อวิเคราะห์ไฟล์ survey_data.xlsx ในชีต Data โดยให้ดำเนินการดังนี้: สร้างตารางนับความถี่ทางเดียว (one-way) จากคอลัมน์ Opinion ตารางไขว้สองทาง (two-way) ระหว่างคอลัมน์ Gender และ Opinion สร้างตารางไขว้สามทาง (three-way) ระหว่าง Gender, Region และ Opinion สุดท้ายให้บันทึกทั้งสามตารางลงในไฟล์ Excel ใหม่ชื่อ survey_tables.xlsx โดยแยกคนละชีต"

โค้ดที่ได้จาก GPT จะถูกนำไปรันบน Google Colab เพื่อสร้างตารางข้อมูลตามที่ต้องการ โดยมีผลลัพธ์ที่คาดหวังดังที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลลัพธ์ที่คาดหวังในการดำเนินกิจกรรมที่ 1 ของผู้เรียนสำหรับการสร้างตารางนำเสนอข้อมูลแต่ละแบบ

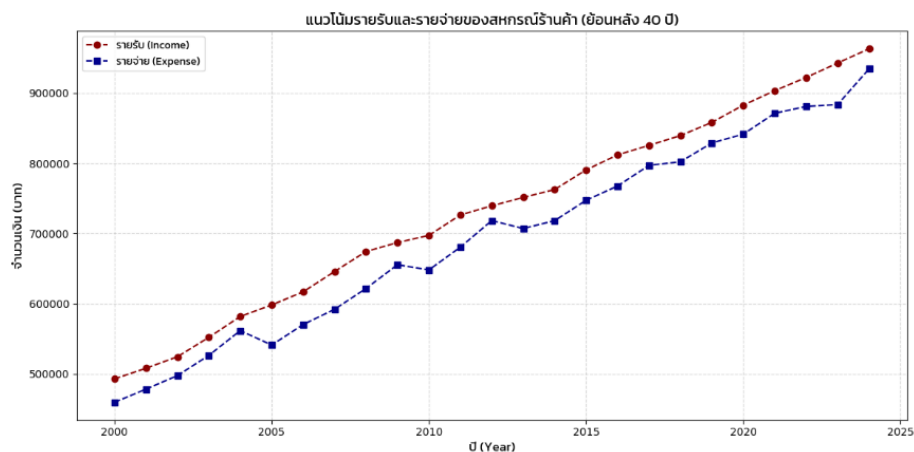
กิจกรรมที่ 2: การนำเสนอด้วยกราฟเส้น (Line Graph)

กิจกรรมนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสามารถใช้ GPT สร้างโค้ด Python สำหรับการนำเสนอข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time-series Data) ด้วยกราฟเส้น ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการแสดงแนวโน้ม ผู้เรียนจะเริ่มต้นจากการสำรวจข้อมูลในไฟล์ financial_data.xlsx ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรเชิงปริมาณ 3 ตัว ได้แก่ Year (ปี), Income (รายรับ), และ Expense (รายจ่าย) เป้าหมายของกิจกรรมคือการสร้างกราฟเส้นเพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของรายรับและรายจ่ายตลอดช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้ได้โค้ดสำหรับสร้างกราฟ ผู้เรียนจะฝึกสร้างชุดคำสั่ง (Prompt) ที่ละเอียดและชัดเจนสำหรับ GPT ดังนี้

"ต้องการโค้ด Python เพื่อสร้างกราฟเส้น (Line Graph) โดยใช้ไลบรารี matplotlib จากข้อมูลในไฟล์ financial_data.xlsx ชีต Annual ให้แกน X เป็น Year และแกน Y แสดงข้อมูล Income และ Expense เส้น Income ให้เป็นเส้นประ (--) สีแดง มี Marker รูปวงกลม (o) เส้น Expense ให้เป็นเส้นประ (--) สีน้ำเงิน มี Marker รูปสี่เหลี่ยม (I) ตั้งชื่อกราฟ, ชื่อแกน X, และแกน Y เป็นภาษาไทย และต้องมีคำอธิบายกราฟ (Legend) บันทึกกราฟเป็นไฟล์รูปภาพชื่อ line_graph.png"

โค้ดที่ได้จาก GPT จะถูกนำไปรันบน Google Colab เพื่อสร้างกราฟเส้นเปรียบเทียบแนวโน้มของข้อมูล โดยมีผลลัพธ์ที่คาดหวังดังที่แสดงใน ภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลลัพธ์ที่คาดหวังในการดำเนินกิจกรรมของผู้เรียนสำหรับการสร้างกราฟเส้นแสดงแนวโน้มข้อมูลอนุกรมเวลา

กิจกรรมที่ 3: การนำเสนอด้วยแผนภูมิ (Chart Presentation)

กิจกรรมนี้ครอบคลุมการสร้างแผนภูมิและแผนที่ทางสถิติ 4 รูปแบบที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบและนำเสนอข้อมูล ได้แก่ แผนภูมิแท่ง, แผนภูมิวงกลม, แผนภูมิรูปภาพ และแผนที่ทางสถิติ โดยทั้งหมดนี้จะใช้ GPT เป็นผู้ช่วยในการสร้างโค้ด

3.1 แผนภูมิแท่ง (Bar Chart)

ในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างแผนภูมิแท่งแบบกลุ่ม (Grouped Bar Chart) เพื่อเปรียบเทียบจำนวนเหรียญรางวัลแต่ละประเภทในกีฬาต่อสู้อัตโนมัติต่าง ๆ โดยที่ผู้เรียนจะเริ่มต้นจากการสำรวจข้อมูลไฟล์ 01combat_medals_data.xlsx ซึ่งมีตัวแปร Sport (ชนิดกีฬา) และ Medal (ประเภทเหรียญ) ใช้คำบอกงานเพื่อให้ GPT สร้าง Python code ดังนี้

"ใช้ Python และ matplotlib สร้าง แผนภูมิแท่งแบบกลุ่ม จากไฟล์ 01combat_medals_data.xlsx เพื่อแสดงจำนวนเหรียญ (Medal) ในแต่ละชนิดกีฬา (Sport) ให้แท่งแต่ละกลุ่มคือชนิดกีฬา และในกลุ่มนั้นแยกสีตามประเภทเหรียญ พร้อมใส่ชื่อกราฟและชื่อแกนเป็นภาษาไทย และบันทึกเป็นไฟล์ bar_chart.png"

3.2 แผนภูมิวงกลม (Pie Chart)

ในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างแผนภูมิวงกลมเพื่อแสดงสัดส่วนหรือร้อยละของแพลตฟอร์มโซเชียลมีเดียที่นักเรียนนิยมใช้ โดยที่ผู้เรียนจะเริ่มต้นจากการสำรวจข้อมูลไฟล์ 02social_media_preference.xlsx ซึ่งมีตัวแปรหลักคือ Primary_Platform ใช้คำบอกงานเพื่อให้ GPT สร้าง Python code ดังนี้

"ใช้ Python และ matplotlib สร้าง แผนภูมิวงกลม จากไฟล์ 02social_media_preference.xlsx เพื่อแสดงสัดส่วนของ Primary_Platform ที่นิยมใช้ ให้แสดงเปอร์เซ็นต์ในแต่ละชิ้นของวงกลมพร้อมชื่อแพลตฟอร์ม กำหนดชื่อแผนภูมิเป็นภาษาไทย และบันทึกเป็นไฟล์ pie_chart.png"

3.3 แผนภูมิรูปภาพ (Pictograph)

ในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างแผนภูมิรูปภาพแบบตัวอักษร (Text-based Pictograph) เพื่อแสดงจำนวนสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิด โดยที่ผู้เรียนจะเริ่มต้นจากการสำรวจข้อมูลไฟล์ 03student_pet_survey.xlsx ที่มีตัวแปร Pet (ชนิดสัตว์เลี้ยง) ใช้คำบอกงานเพื่อให้ GPT สร้าง Python code ดังนี้

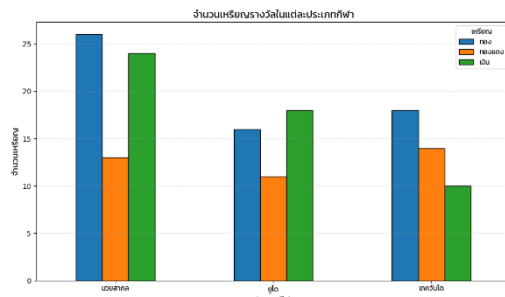
"ใช้ Python สร้าง แผนภูมิรูปภาพแบบ Text-based จากไฟล์ 03student_pet_survey.xlsx เพื่อบันทึกจำนวนสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดในคอลัมน์ Pet โดยกำหนดให้ 1 ไอคอน (เช่น 🐕, 🐈) แทนจำนวน 5 หน่วย และให้พิมพ์ผลลัพธ์ออกมาทางหน้าจอ"

3.4 แผนที่ทางสถิติ (Statistical Map)

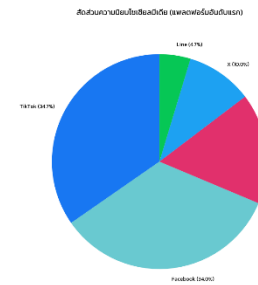
ในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างแผนที่โครเพลธ (Choropleth Map) เพื่อแสดงพื้นที่เพาะปลูกข้าวในแต่ละจังหวัดของประเทศไทยตามมิติทางภูมิศาสตร์ โดยที่ผู้เรียนจะเริ่มต้นจากการสำรวจข้อมูลไฟล์ 04rice_planting_area.xlsx ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร จังหวัด และ พื้นที่เพาะปลูกข้าว (ไร่) ใช้คำบอกงานเพื่อให้ GPT สร้าง Python code ดังนี้

"ต้องการโค้ด Python เพื่อสร้าง แผนที่โครเพลธของประเทศไทย โดยใช้ไลบรารี folium และ pandas จากข้อมูลในไฟล์ 04rice_planting_area.xlsx ให้ระบายสีแต่ละจังหวัดตาม พื้นที่เพาะปลูกข้าว (ไร่) และบันทึกแผนที่เป็นไฟล์ HTML ชื่อ thailand_rice_map.html"

โค้ดที่ได้จาก GPT จะถูกนำไปรันบน Google Colab เพื่อสร้างแผนภูมิและแผนที่ตามลำดับ โดยมีผลลัพธ์ที่คาดหวังดังที่แสดงใน ภาพที่ 3



3a



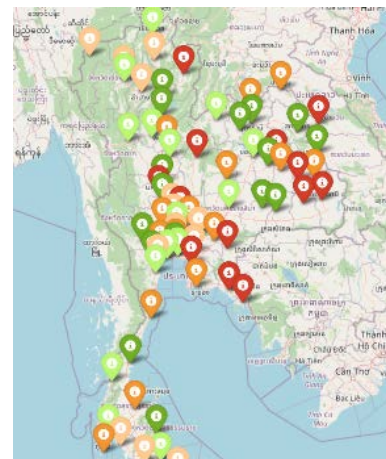
3b

แผนภูมิรูปภาพแสดงจำนวนสัตว์เลี้ยงของนักเรียน (1 รูปแทน 5 ตัว):

สุนัข (34 ตัว): 🐶🐶🐶🐶🐶🐶 +4
 แมว (25 ตัว): 🐱🐱🐱🐱🐱🐱
 ปลา (17 ตัว): 🐟🐟🐟🐟🐟🐟 +2
 นก (10 ตัว): 🐦🐦
 กระต่าย (5 ตัว): 🐰

นักเรียนที่ไม่มีสัตว์เลี้ยง: 9 ตัว

3c



3d

ภาพที่ 3 ผลลัพธ์ที่คาดหวังในการดำเนินกิจกรรมของผู้เรียนสำหรับการสร้างแผนภูมิเพื่อนำเสนอข้อมูลแต่ละแบบ

กิจกรรมที่ 4: การแจกแจงความถี่ด้วยตาราง (Frequency Table)

กิจกรรมนี้สอนการจัดระเบียบข้อมูลดิบ (Raw Data) ให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ผ่านการสร้างตารางแจกแจงความถี่ 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ การแจกแจงข้อมูลเป็นรายตัว, ตารางแบบไม่จัดกลุ่ม, และตารางแบบจัดกลุ่ม

4.1 การแจกแจงแบบจัดเรียง (Listed Distribution)

เพื่อจัดเรียงข้อมูลดิบจากน้อยไปมาก หรือมากไปน้อย เพื่อให้เห็นภาพรวมการกระจายของข้อมูลเบื้องต้น โดยผู้เรียนใช้ไฟล์ 01listed_distribution_scores.xlsx ซึ่งมีตัวแปรหลักคือ Score (คะแนน) ใช้คำบอกงานสำหรับ GPT ให้สร้าง Python Code ดังนี้

"ใช้ Python และ pandas จากไฟล์ 01listed_distribution_scores.xlsx ให้นำข้อมูลในคอลัมน์ Score มาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก และจากมากไปน้อย แล้วแสดงผลทั้งสองแบบ"

4.2 ตารางแจกแจงความถี่แบบไม่จัดกลุ่ม (Ungrouped Frequency Distribution)

เพื่อสร้างตารางนับความถี่ของข้อมูลที่มีค่าไม่ต่อเนื่องกัน หรือมีค่าซ้ำกันไม่มาก เพื่อแสดงว่าแต่ละค่าเกิดขึ้นบ่อยแค่ไหน ผู้เรียนใช้ไฟล์ 02ungrouped_frequency_distribution.xlsx ที่มีตัวแปร Days_Absent (จำนวนวันที่ขาดเรียน) ใช้คำบอกงานสำหรับ GPT ให้สร้าง Python Code ดังนี้

"ใช้ Python และ pandas สร้าง ตารางแจกแจงความถี่แบบไม่จัดกลุ่ม จากคอลัมน์ Days_Absent ในไฟล์ 02ungrouped_frequency_distribution.xlsx ให้ตารางประกอบด้วยจำนวนวันและจำนวนนักเรียน (ความถี่) แล้วบันทึกเป็นไฟล์ Excel"

4.3 ตารางแจกแจงความถี่แบบจัดกลุ่ม (Grouped Frequency Distribution)

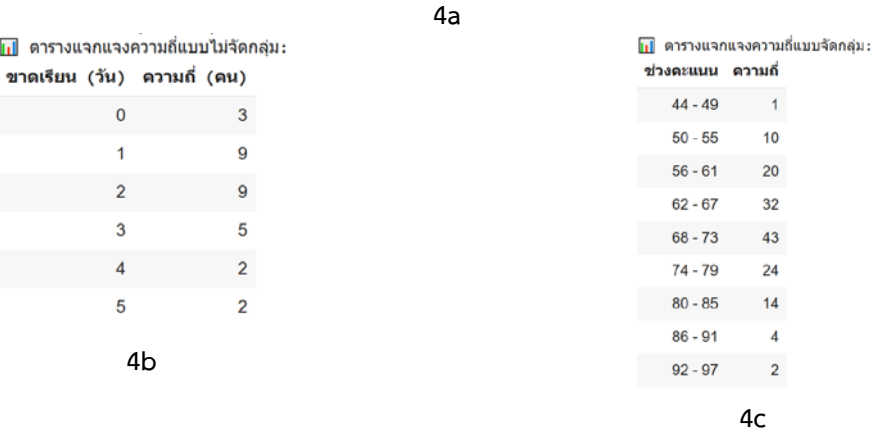
เพื่อสร้างตารางแจกแจงความถี่สำหรับข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่องและกระจายตัวมาก โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงคะแนน (อันตรภาคชั้น) ผู้เรียนใช้ไฟล์ 03Student_Scores.xlsx ซึ่งมีข้อมูล Score ของนักเรียนจำนวนมาก ใช้คำบอกงานสำหรับ GPT ให้สร้าง Python Code ดังนี้

"ต้องการโค้ด Python และ pandas เพื่อสร้าง ตารางแจกแจงความถี่แบบจัดกลุ่ม จากคอลัมน์ Score ในไฟล์ 03Student_Scores.xlsx คำนวณจำนวนชั้นเรียนโดยใช้ กฎของสเตอร์เจส (Sturges' Rule) คำนวณความกว้างของแต่ละชั้น สร้างตารางที่ประกอบด้วย ช่วงคะแนน และความถี่ แสดงผลตารางและบันทึกเป็นไฟล์ Excel"

โค้ดที่ได้จาก GPT จะถูกนำไปรันบน Google Colab เพื่อสร้างตารางแจกแจงความถี่ในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีผลลัพธ์ที่คาดหวัง ดังที่แสดงใน ภาพที่ 4

เรียงจากน้อยไปมาก:
41 42 47 50 50 54 58 60 61 62 63 63 63 68 69 75 78 78 79 82 83 91 92 92 97

เรียงจากมากไปน้อย:
97 92 92 91 83 82 79 78 78 75 69 68 63 63 63 62 61 60 58 54 50 50 47 42 41



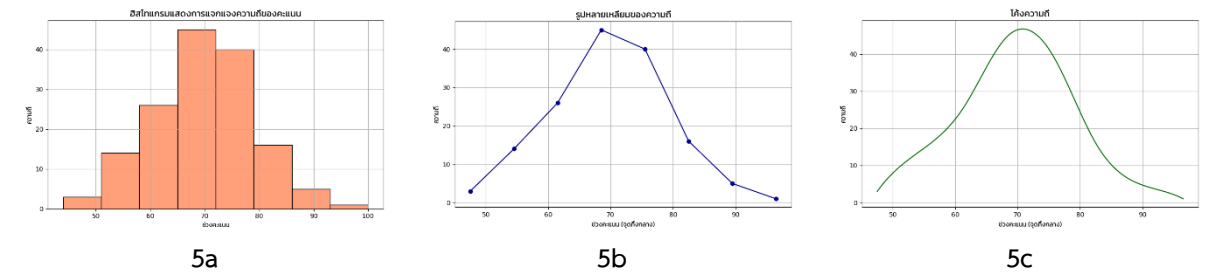
ภาพที่ 4 ผลลัพธ์ที่คาดหวังในการดำเนินการกิจกรรมของผู้เรียนสำหรับการสร้างตารางแจกแจงความถี่แต่ละรูปแบบ

กิจกรรมที่ 5: การแจกแจงความถี่ด้วยกราฟ (Graphing Frequency Distribution)

กิจกรรมนี้เป็นขั้นตอนต่อยอดจากการสร้างตารางแจกแจงความถี่แบบจัดกลุ่ม (กิจกรรมที่ 4.3) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำเสนอข้อมูลการแจกแจงความถี่ในรูปแบบกราฟ ซึ่งช่วยให้เห็นภาพการกระจายตัวของข้อมูลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น กราฟที่จะสร้างประกอบด้วย ฮิสโทแกรม (Histogram), รูปหลายเหลี่ยมของความถี่ (Frequency Polygon), และ โค้งความถี่ (Frequency Curve) ผู้เรียนจะใช้ข้อมูลชุดเดิมจากกิจกรรมที่แล้วคือไฟล์ 01Student_Scores.xlsx ที่มีตัวแปร Score เป็นข้อมูลหลัก เป้าหมายคือการสร้างกราฟทั้ง 3 ประเภทจากข้อมูลชุดเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการนำเสนอของกราฟแต่ละแบบ เพื่อให้ได้โค้ดสำหรับสร้างกราฟทั้งหมด ผู้เรียนจะฝึกสร้างชุดคำสั่งที่ครอบคลุมและมีลำดับขั้นตอนชัดเจนสำหรับ GPT ดังนี้

"ต้องการโค้ด Python และ matplotlib เพื่อสร้างกราฟจากการแจกแจงความถี่ของข้อมูล Score ในไฟล์ 01Student_Scores.xlsx ให้คำนวณหาจำนวนชั้นและความกว้างของชั้นจากข้อมูล Score โดยใช้กฎของสเตอร์เจส (Sturges' Rule) ก่อน สร้างกราฟ 3 แบบ ฮิสโทแกรม (Histogram) รูปหลายเหลี่ยมของความถี่ (Frequency Polygon) โค้งความถี่ (Frequency Curve) กราฟทั้งหมดต้องมีชื่อกราฟ ชื่อแกน X และ Y เป็นภาษาไทย ให้แสดงผลกราฟทั้ง 3 แบบแยกกัน และบันทึกเป็นไฟล์รูปภาพแต่ละประเภท"

โค้ดที่ได้จาก GPT จะถูกนำไปรันบน Google Colab เพื่อสร้างกราฟการแจกแจงความถี่ทั้งสามรูปแบบ โดยมีผลลัพธ์ที่คาดหวัง ดังที่แสดงใน ภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์ที่คาดหวังในการดำเนินการกิจกรรมของผู้เรียนสำหรับการสร้างกราฟแสดงการแจกแจงความถี่แต่ละรูปแบบ

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีกลุ่มเป้าหมายเป็นนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 28 คน จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับ ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เครื่องมือในการวัดและประเมิน และการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

เครื่องมือวิจัยหลักคือชุดกิจกรรมการเรียนรู้ 5 กิจกรรม โดยเชื่อมโยงกับหัวข้อสถิติในหลักสูตรโรงเรียน เพื่อพัฒนาทักษะการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติผ่านการใช้ GPT และ Google Colab รายละเอียดสรุปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดกิจกรรมการเรียนรู้การนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติด้วย GPT และ Google Colab

กิจกรรม	เนื้อหาสถิติที่เกี่ยวข้อง	เวลา (ชม.)	ความเชื่อมโยงกับการสอนใน โรงเรียน	จุดมุ่งหมาย
1. ตาราง (Table Presentation)	การใช้ตารางทางเดียว- สองทาง-สามทาง	2	ม.1-2 การสรุปและ เปรียบเทียบข้อมูลเบื้องต้น	ฝึกสร้างตารางนำเสนอ ข้อมูลด้วย GPT และ Colab
2. กราฟเส้น (Line Graph)	การนำเสนอข้อมูลอนุกรม เวลา (Time-series)	2	ม.2-3 การแสดงแนวโน้ม เช่น รายรับ-รายจ่าย	ใช้โค้ด ด้วย GPT และ Colab สร้างกราฟเส้น เพื่อแสดงการ เปลี่ยนแปลง
3. แผนภูมิ (Charts: Bar, Pie, Pictograph, Map)	การเปรียบเทียบและการ สื่อสารข้อมูล	3	ม.1-3 การแสดงข้อมูลหลาย รูปแบบ	ฝึกสร้างแผนภูมิ หลากหลายชนิดเพื่อ เปรียบเทียบข้อมูล ด้วย GPT และ Colab
4. ตารางแจกแจง ความถี่ (Frequency Table)	การแจกแจงแบบรายตัว/ ไม่จัดกลุ่ม/จัดกลุ่ม	3	ม.2-3 การแจกแจงข้อมูล เช่น คะแนนสอบของนักเรียน จำนวนการขาดเรียนของ นักเรียน	ฝึกการสรุปข้อมูลจำนวน มากด้วยตาราง ด้วย GPT และ Colab
5. กราฟการแจกแจง ความถี่ (Frequency Graphs)	ฮิสโทแกรม, Frequency Polygon, Frequency Curve	3	ม.3 ฮิสโทแกรม เช่น การ วิเคราะห์ผลการเรียนหรือการ ประเมิน	สร้างกราฟเพื่อแสดงการ กระจายตัวของข้อมูล ด้วย GPT และ Colab

4.2 เครื่องมือในการวัดและประเมิน

เครื่องมือในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย (1) แบบทดสอบก่อน-หลังเรียน เป็นแบบปรนัยจำนวน 20 ข้อ ครอบคลุมหัวข้อสถิติ ได้แก่ การใช้ตาราง กราฟ และการแจกแจงความถี่ ตัวอย่างคำถาม “ข้อใดแสดงการแจกแจงความถี่แบบจัดกลุ่มได้ถูกต้อง” และ (2) แบบสอบถามการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) เป็นแบบมาตราส่วนลิเคิร์ต 5 ระดับ จำนวน 10 ข้อ ตัวอย่างคำถาม “ข้าพเจ้าสามารถอธิบายผลลัพธ์จากตารางแจกแจงความถี่ได้” และ “ข้าพเจ้านับใจว่าสามารถออกแบบชุดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GPT และ Colab ได้”

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

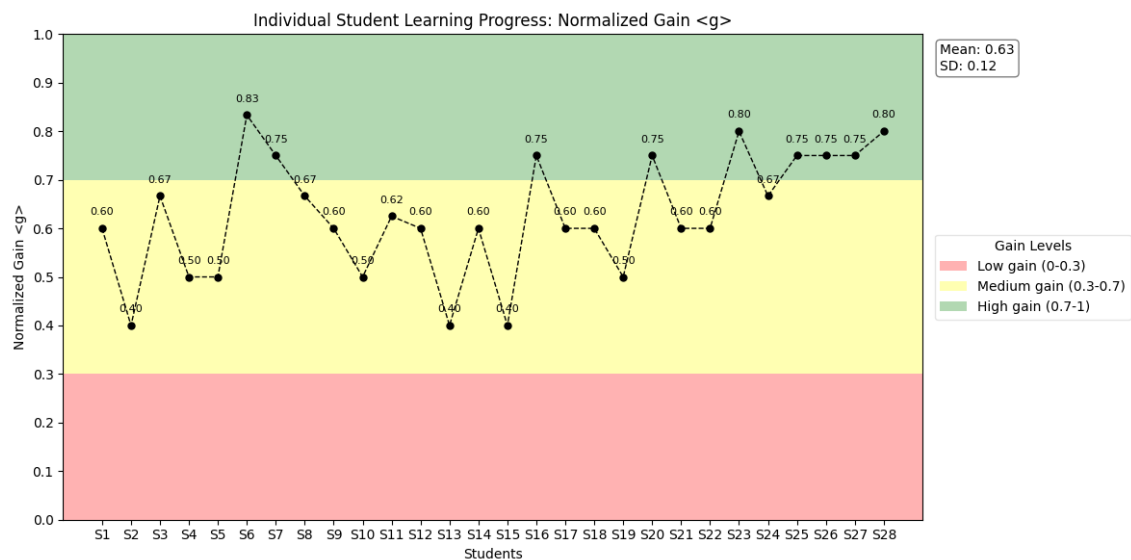
ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะนำมาวิเคราะห์ดังนี้ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (ค่าเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) และการคำนวณอัตราความก้าวหน้าปกติ (Normalized Gain; n-gain) ตามสูตรของ Bao (2006): $g = \frac{\text{ร้อยละคะแนนหลังเรียน} - \text{ร้อยละคะแนนก่อนเรียน}}{100 - \text{ร้อยละคะแนนก่อนเรียน}}$ เกณฑ์การแปลผล: ต่ำ (<0.3), ปานกลาง (0.3-0.7), สูง (>0.7) ส่วนการรับรู้ความสามารถของตนเอง วิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยและนำเสนอผลในรูปแบบ แผนภูมิลิเคิร์ต (Likert Chart) เพื่อสะท้อนระดับการรับรู้ความสามารถในแต่ละประเด็น

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิผลของชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ประยุกต์ใช้ GPT ร่วมกับ Google Colab ในการลดอุปสรรคและส่งเสริมความสามารถด้านการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติสำหรับนักศึกษาครุคณิตศาสตร์ โดยทำการประเมิน

ในสองมิติหลัก ได้แก่ ความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของผู้เรียน และการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) หลังสิ้นสุดกิจกรรม

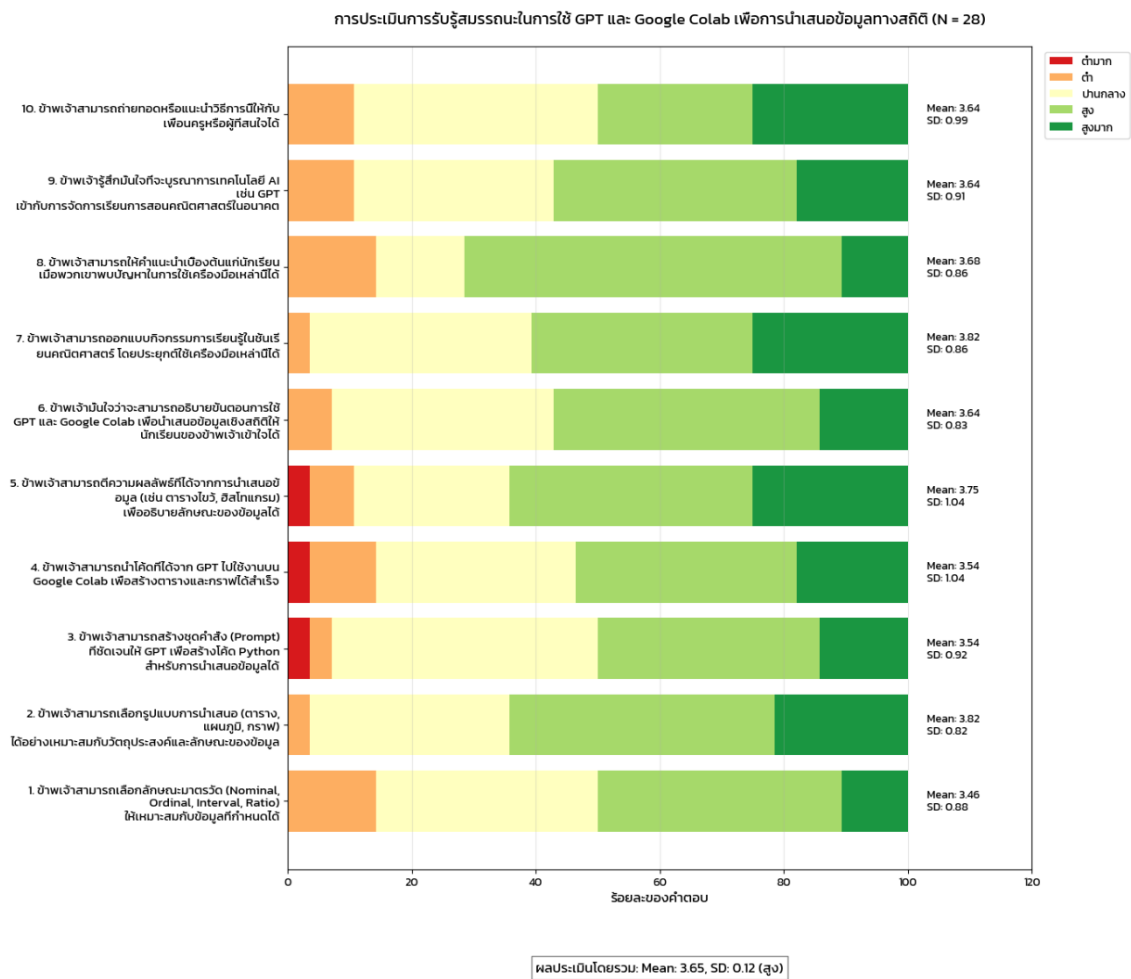
เพื่อประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ ได้มีการเปรียบเทียบคะแนนความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนก่อนและหลังการเข้าร่วมกิจกรรมทั้ง 5 กิจกรรม และนำมาวิเคราะห์ด้วยค่าอัตราความก้าวหน้าปกติ (Normalized Gain หรือ n-gain) ผลการวิเคราะห์รายบุคคลของนักศึกษาทั้ง 28 คน แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความก้าวหน้าทางการเรียนรู้รายบุคคล (Normalized Gain)

จากภาพที่ 6 พบว่าค่าเฉลี่ยอัตราความก้าวหน้าปกติ (Mean) 0.63 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.12 ซึ่งตามเกณฑ์การประเมินที่กำหนดไว้ ถือว่าความก้าวหน้าทางการเรียนรู้โดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (Medium gain) เมื่อพิจารณารายบุคคล พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีค่าความก้าวหน้าในระดับปานกลาง ไม่มีนักศึกษาคนใดที่มีค่าความก้าวหน้าในระดับต่ำ (Low gain) เลย ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่ออกแบบขึ้นมีประสิทธิภาพในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของกิจกรรมทั้ง 5 ที่ใช้ GPT และ Google Colab เป็นเครื่องมือช่วยลดอุปสรรคด้านเทคนิค ทำให้ผู้เรียนสามารถมุ่งเน้นไปที่การตีความข้อมูลและการนำเสนอเชิงสถิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวคิดหลักของงานวิจัยที่มุ่งลดอุปสรรคจากความซับซ้อนของซอฟต์แวร์ ซึ่งมักเป็นกำแพงสำคัญในการเรียนรู้ (Abbasnasab Sardareh, Brown and Denny; 2025) การใช้ GPT เป็นผู้ช่วยสร้างโค้ด Python ช่วยให้นักศึกษาสามารถข้ามผ่านความท้าทายทางเทคนิค และมุ่งเน้นไปที่การทำความเข้าใจหลักการทางสถิติและการตีความผลลัพธ์ได้โดยตรง ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Yanar and Ergene, 2025) ผลการวิจัยนี้จึงสนับสนุนว่าการบูรณาการ AI Assistant เข้ากับแพลตฟอร์มอย่าง Google Colab เป็นเครื่องมือที่ทรงพลังในการทำให้การเรียนรู้ด้านการนำเสนอข้อมูลเข้าถึงได้ง่ายขึ้น และส่งเสริมการเรียนรู้แบบโต้ตอบตามที่คาดหวังไว้ (Chen and Chang, 2024; Seebut, Wongsason and Kim, 2024) ผลลัพธ์นี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งรายงานการใช้ดัชนี n-gain ในการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง และสามารถสะท้อนการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Meltzer, 2002)

นอกเหนือจากความรู้ความเข้าใจเชิงทฤษฎีแล้ว งานวิจัยยังได้สำรวจการรับรู้ความสามารถของตนเองของนักศึกษาครูทั้งในมิติของความสามารถส่วนบุคคลและความสามารถในการนำไปถ่ายทอดต่อ ผลการประเมินด้วยแบบสำรวจ (N=28) แสดงในรูปแบบแผนภูมิเคิร์ตดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการประเมินการรับรู้สมรรถนะในการใช้ GPT และ Google Colab

จากภาพที่ 7 ผลการประเมินโดยรวมพบว่า นักศึกษามีการรับรู้ความสามารถของตนเองในระดับสูง โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 3.65 (SD=0.12) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่า นักศึกษามีความเชื่อมั่นในระดับสูงในหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเด็นต่อไปนี้

การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้: นักศึกษามีความเชื่อมั่นสูงสุดในหัวข้อ "ข้าพเจ้าสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือเหล่านี้ได้" (Mean 3.82, SD 0.86)

การตีความผลลัพธ์: มีความเชื่อมั่นในระดับสูงในการ "อธิบายความหมายที่สกัดได้จากการนำเสนอข้อมูล (แผนภูมิตาราง ฮิสโทแกรม) เพื่ออธิบายลักษณะของข้อมูลได้" (Mean 3.75, SD 1.04)

ความพร้อมในการบูรณาการและถ่ายทอด: นักศึกษามีความมั่นใจว่าจะสามารถสอนขั้นตอนการใช้งานเครื่องมือให้นักเรียน และถ่ายทอดวิธีการให้เพื่อนครูได้ รวมถึงรู้สึกกระตือรือร้นที่จะบูรณาการเทคโนโลยี AI เข้ากับการสอนในอนาคต (Mean 3.64, SD 0.83)

ผลการประเมินนี้สะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ไม่เพียงแต่เพิ่มพูนความรู้ แต่ยังสร้างความเชื่อมั่นให้กับนักศึกษาครูได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งต่อการเตรียมความพร้อมในการเป็นบุคลากรทางการศึกษาในอนาคต (Aleksieva, 2025) ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ว่าการใช้ AI assistant สามารถส่งเสริมประสบการณ์การเรียนรู้และสร้างความเชื่อมั่นให้ผู้เรียนได้ (Hanshaw, Vance and Brewer, 2024) นอกจากนี้ ชิ้นงานของนักศึกษา เช่น ตารางแจกแจงความถี่ กราฟเส้น และแผนภูมิที่สร้างจาก GPT และ Colab ยังสะท้อนถึงความสามารถเชิงปฏิบัติในการนำเสนอข้อมูลได้อย่างถูกต้องและชัดเจน ซึ่งช่วยยืนยันผลการประเมินเชิงปริมาณ การที่นักศึกษามีความเชื่อมั่นสูงในการนำเครื่องมือไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการสอนจริง ถือเป็นการบรรลุเป้าหมายสำคัญของโปรแกรมการผลิตครูที่มุ่งเน้นให้บัณฑิตสามารถบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Fitrah et al., 2025; Yildiz and Arpaci, 2024) และพร้อมรับมือกับความท้าทายในโลกการศึกษาแห่งอนาคต

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการลดอุปสรรคในการเรียนรู้การนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติผ่านการประยุกต์ใช้ GPT ร่วมกับ Google Colab สำหรับนักศึกษาครุศาสตร มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรู้และการรับรู้ความสามารถของตนเองของผู้เรียน กลุ่มเป้าหมายคือนักศึกษาคณะครุศาสตร ชั้นปีที่ 3 จำนวน 28 คน จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

ด้านความก้าวหน้าทางการเรียนรู้

ผลการวิเคราะห์คะแนนสอบก่อนและหลังเรียนพบว่า ผู้เรียนมีอัตราความก้าวหน้าปกติ (Normalized Gain) เฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (Medium Gain) โดยไม่มีผู้เรียนคนใดมีผลความก้าวหน้าในระดับต่ำ ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ GPT ช่วยสร้างโค้ด Python สามารถลดอุปสรรคด้านเทคนิคและส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า ความซับซ้อนของซอฟต์แวร์เป็นอุปสรรคหลัก เมื่อมีการใช้ GPT และ Colab ร่วมกัน ผู้เรียนจึงสามารถข้ามข้อจำกัดทางเทคนิคและมุ่งเน้นการตีความผลลัพธ์ได้

ด้านการรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy)

ผลการประเมินโดยรวมพบว่านักศึกษา มีการรับรู้ความสามารถของตนเองในการใช้เครื่องมือเพื่อนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติอยู่ในระดับสูง โดยนักศึกษามีความเชื่อมั่นในระดับสูงอย่างยิ่งในด้านการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ เช่น การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน การตีความผลลัพธ์จากข้อมูล และความพร้อมในการถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้อื่น ซึ่งบ่งชี้ว่ากิจกรรมดังกล่าวไม่เพียงแต่ให้ความรู้ แต่ยังสร้างความเชื่อมั่นให้กับนักศึกษาคณะครุในการนำเทคโนโลยีไปใช้จัดการเรียนการสอนจริงในอนาคต อันเป็นผลจากการผสานกันของ GPT ในการสร้างโค้ดอัตโนมัติและ Google Colab ในการประมวลผลที่รวดเร็ว ส่งผลให้นักศึกษามีประสบการณ์เรียนรู้ที่ต่อเนื่องและมีปฏิสัมพันธ์สูง

การบูรณาการระหว่างผู้ช่วยปัญญาประดิษฐ์ (GPT) และแพลตฟอร์มสำหรับการเขียนโปรแกรม (Google Colab) เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการทลายกำแพงการเรียนรู้ที่เกิดจากความซับซ้อนของเครื่องมือ ช่วยให้นักศึกษาคณะครุศาสตรสามารถมุ่งเน้นการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการสื่อสารด้วยข้อมูล ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการนำเสนอข้อมูลเชิงสถิติ ผลลัพธ์ที่ได้จึงมิได้เกิดจากการเรียนรู้เนื้อหาเพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลโดยตรงจากการออกแบบกิจกรรมที่เน้นการแก้ปัญหาอุปสรรคด้านเทคนิคและการประสานกันของ GPT กับ Colab ที่ทำให้ผู้เรียนเข้าถึงการเรียนรู้อย่างลึกซึ้ง

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

สถาบันผลิตครูสามารถนำรูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับสถิติ วิทยาการข้อมูล หรือการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลทางการศึกษา เพื่อเตรียมความพร้อมให้นักศึกษาคณะครุมีทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21

อาจารย์ผู้สอนสามารถส่งเสริมให้นักเรียนหรือนักศึกษาใช้เครื่องมือลักษณะเดียวกันนี้ในการทำโครงการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อลดภาระด้านการเขียนโค้ดที่ซับซ้อน และมุ่งเน้นไปที่การตั้งคำถาม การสำรวจ และการตีความข้อมูลมากขึ้น ทั้งนี้ เพื่อให้การนำผลวิจัยไปใช้เกิดประโยชน์สูงสุด ควรอธิบายภาพรวมกระบวนการใช้งานโปรแกรมทั้งสอง เริ่มตั้งแต่การเตรียมข้อมูลและกำหนดวัตถุประสงค์การวิเคราะห์ จากนั้นเขียนคำสั่งหรือ Prompt ให้ GPT สร้างโค้ด Python ที่เหมาะสม แล้วนำโค้ดดังกล่าวไปประมวลผลบน Google Colab เพื่อสร้างตารางหรือกราฟตามต้องการ ผู้เรียนสามารถตรวจสอบและปรับแก้โค้ดเล็กน้อยหากจำเป็น ก่อนจะตีความผลลัพธ์และนำเสนอในเชิงสถิติและการสื่อสารด้วยข้อมูล กระบวนการลักษณะนี้ช่วยให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเป็นระบบ ลดอุปสรรคด้านเทคนิค และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมุ่งเน้นไปที่การคิดวิเคราะห์และการตีความข้อมูลมากขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการขยายกลุ่มตัวอย่างให้ใหญ่ขึ้นและมีความหลากหลายมากขึ้น เช่น การศึกษากับนักศึกษาจากสถาบันอื่น หรือนักเรียนในระดับมัธยมศึกษา เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ว่าผลลัพธ์ที่พบจะยังคงสอดคล้องกันในบริบทที่ต่างออกไป นอกจากนี้ ควรมีการวิจัยเชิงคุณภาพเพิ่มเติม เช่น การสัมภาษณ์เชิงลึกหรือการสังเกตการณ์ในชั้นเรียน เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการคิดและกลยุทธ์ที่ผู้เรียนใช้ในการสร้างชุดคำสั่ง (Prompt) สำหรับ GPT ให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ อีกทั้ง ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้ AI เพื่อช่วยสร้างโค้ดกับการเรียนรู้การเขียนโค้ดโดยตรง เพื่อให้เห็นข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละแนวทางได้อย่างชัดเจนในบริบทการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยในชั้นเรียน ได้คำนึงถึงหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มีการปิดบังรายชื่อของผู้ร่วมวิจัยทุกคน ยึดหลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย และหลักความยุติธรรม

References

- Abbasnasab Sardareh, S., Brown, G. T. L. and Denny, P. (2025). Statistical Software Usability for Novice Research Students in the Social Sciences: An Eye-Tracking Study. **Journal of Statistics and Data Science Education**, 1–25.
- Aleksieva, L. (2025). Preparing Pre-Service Teachers for the Digital Transformation of Education: Exploring University Teacher Educators' Views and Practical Strategies. **Education Sciences**, 15(4), 404.
- Bao, L. (2006). Theoretical comparisons of average normalized gain calculations. **American Journal of Physics**, 74(10), 917–922.
- Chang, HY., Chang, YJ. and Tsai, MJ. (2024). Strategies and difficulties during students' construction of data visualizations. **International Journal of STEM Education**, 11(1), 11.
- Chen, C. H. and Chang, C. L. (2024). Effectiveness of AI-assisted game-based learning on science learning outcomes, intrinsic motivation, cognitive load, and learning behavior. **Education and Information Technologies**, 29(14), 18621–18642.
- Fitrah, M., Setiawan, C., Widiastuti, W., Sofroniou, A., Rahmawati, N. A., Arina, A., Sari, S. R. and Iskandar, I. (2025). Impact of learning management systems and digital skills on TPACK development among pre-service mathematics teachers. **Qubahan Academic Journal**, 5(1), 504–518.
- Gurl, T. J., Markinson, M. P. and Artzt, A. F. (2025). Using ChatGPT as a lesson planning assistant with preservice secondary mathematics teachers. **Digital Experiences in Mathematics Education**, 11(1), 114–139.
- Hanshaw, G., Vance, J. and Brewer, C. (2024). Exploring the effectiveness of AI course assistants on the student learning experience. **Open Praxis**, 16(4), 627–644.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. **American Journal of Physics**, 70(12), 1259–1268.
- Schorcht, S., Peters, F. and Kriegel, J. (2025). Communicative AI agents in mathematical task design: A qualitative study of GPT network acting as a multi-professional team. **Digital Experiences in Mathematics Education**, 11(1), 77–113.
- Schreiter, S., Friedrich, A., Fuhr, H., Malone, S., Brünken, R., Kuhn, J. and Vogel, M. (2024). Teaching for statistical and data literacy in K-12 STEM education: a systematic review on teacher variables, teacher education, and impacts on classroom practice. **ZDM-Mathematics Education**, 56(1), 31–45.
- Seebut, S., Wongsason, P. and Kim, D. (2024). Combining GPT and Colab as learning tools for students to explore the numerical solutions of difference equations. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 20(1), em2377.
- Uras, M. C., Şata, M. and Soylu, Y. (2024). Investigation of pre-service teachers' statistical literacy levels. **International Journal of Educational Studies and Policy**, 5(2), 174–185.
- Yanar, A. N. and Ergene, Ö. (2025). Integrating artificial intelligence in education: How pre-service mathematics teachers use ChatGPT for 5E lesson plan design. **Journal of Pedagogical Research**, 9(2), 158–176.
- Yildiz, E. and Arpaci, I. (2024). Understanding pre-service mathematics teachers' intentions to use GeoGebra: The role of technological pedagogical content knowledge. **Education and Information Technologies**, 29(14), 18817–18838.



Development of Data Management and Scientific Interpretation Skills of Tenth Grade Students in Chemistry Subject through 5D Active Learning Management by Professional Learning Community

Pornpun Sakonthawat¹ and Suwat Pabchanda^{2*}

¹*Department of Science and Technology, Huay Luek Phadung Wittaya School, Sikhiu District, Nakhon Ratchasima Province*

²*Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University*

**Email: suwat.p@nrru.ac.th*

Received <7 July 2025>; Revised <3 October 2025>; Accepted <3 October 2025>

Abstract

This research aimed to develop data management and scientific interpretation skills of tenth grade students in Chemistry through the 5D active learning management (Data search, Data analysis, Data synthesis, Data reflection and Data application) using the professional learning community process. The one group posttest only design was employed in this research. The sample was purposively selected from tenth grade students in the second semester of the 2024 academic year at a secondary school in Nakhon Ratchasima Province. The research instruments consisted of 17 5D active learning plans, worksheets and posttest of data management and scientific interpretation skills. The score data of worksheets and exit-tickets were analyzed by calculating the mean, standard deviation and percentage. The results of the research found that students had group and individual data management skills at an average score of 95.49 and 95.29 percent of the full score, respectively, while scientific interpretation skills had an average score of 94.52 and 90.53 percent of the full score, respectively, which were at a very good level. Learning through the 5D active process in 5 steps effectively promoted students' analytical thinking and scientific reasoning processes. In particular, group activities and participatory assessments facilitated meaningful learning and enabled students to apply their knowledge.

Keywords: Data Management; Scientific Interpretation; Chemistry; Professional Learning Community

การพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน มัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาเคมีผ่านการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D โดยชุมชนแห่งการเรียนรู้ทาง วิชาชีพ

พรพรรณ สกนธวัฒน์¹ และ สุวัฒน์ ผาบัจันดา^{2*}

¹กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

*Email: suwat.p@nrru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 รายวิชาเคมี ผ่านการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D (การสืบค้นข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การสังเคราะห์ข้อมูล การสะท้อนข้อมูล และการประยุกต์ใช้ข้อมูล) โดยใช้กระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ วิจัยนี้ใช้แบบแผนกลุ่มเดียวทดสอบหลัง กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเจาะจง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D 17 แผน ใบงาน และแบบทดสอบหลังเรียนด้านทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ ข้อมูลคะแนนใบงานและตัวออกวิเคราะห์โดยการคำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละ ผลการวิจัย พบว่า นักเรียนมีทักษะการจัดการข้อมูลงานกลุ่มและงานรายบุคคลมีค่าเฉลี่ยคะแนนร้อยละ 95.49 และ 95.29 ของคะแนนเต็ม ขณะที่ทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์มีค่าเฉลี่ยคะแนนร้อยละ 94.52 และ 90.53 ของคะแนนเต็ม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก การเรียนรู้ผ่านกระบวนการเชิงรุก 5D ใน 5 ขั้นตอนมีส่วนส่งเสริมกระบวนการคิดวิเคราะห์และการใช้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะกิจกรรมกลุ่มและการประเมินแบบมีส่วนร่วม มีส่วนช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายและสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้จริง

คำสำคัญ: การจัดการข้อมูล; การแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์; เคมี; ชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ

บทนำ

ในยุคปัจจุบันและอนาคตที่ข้อมูลมีความสำคัญและเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ทักษะการจัดการข้อมูล (Data Management Skill) และทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Interpretation Skill) เป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับนักเรียนในการทำงานและใช้ชีวิตในอนาคต นักเรียนควรมีความสามารถในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และแปลความหมายของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจและแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ รวมถึงการเรียนรู้ในสาขาวิชาอื่น ไม่ว่าจะเป็นวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ หรือคณิตศาสตร์ (STEM) อย่างไรก็ตาม จากรายงานฉบับเต็มผลประเมินการทดสอบ PISA 2022 ของประเทศไทย (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2025) พบว่า นักเรียนไทยมีคะแนนเฉลี่ยด้านคณิตศาสตร์ 394 คะแนน วิทยาศาสตร์ 409 คะแนน และการอ่าน 379 คะแนน ซึ่งเมื่อเทียบกับผลประเมินการทดสอบ PISA 2018 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของประเทศไทยทั้งสามด้านลดลง โดยด้านคณิตศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยลดลง 25 คะแนน ส่วนด้านวิทยาศาสตร์และการอ่าน มีคะแนนเฉลี่ยลดลง 17 คะแนน และ 14 คะแนน ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลการประเมินการทดสอบ PISA ของประเทศไทยตั้งแต่ PISA 2000 จนถึง PISA 2022 พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านคณิตศาสตร์และการอ่านมีแนวโน้มลดลง ส่วนด้านวิทยาศาสตร์ถือว่าไม่เปลี่ยนแปลงทางสถิติ จากผลดังกล่าวแสดงว่านักเรียนในหลายระดับยังขาดทักษะที่เพียงพอในการจัดการข้อมูลและแปลความหมาย โดยเฉพาะในบริบทของสถานการณ์ปัญหาทั้งในชีวิตประจำวันและการทดลองในห้องเรียน ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ส่วนหนึ่งไม่มีคุณภาพและไม่เน้นการปฏิบัติจริงที่เชื่อมโยงการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน การพัฒนากระบวนการเรียนรู้ที่สามารถช่วยให้นักเรียนพัฒนาทักษะเหล่านี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้การฝึกฝนให้นักเรียนได้ใช้ข้อมูลจริงในการแปลความหมายยังสามารถเสริมสร้างความเข้าใจเชิงลึกในด้านวิทยาศาสตร์และเพิ่มทักษะในการวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูล (Data Management Skill) และทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Interpretation Skill) ของนักเรียนกำลังเป็นที่สนใจในวงการศึกษามากขึ้น เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและความสำคัญของสะเต็มศึกษา (STEM education) ที่มีบทบาทสำคัญในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต ในด้านการพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูล พบว่าหลายงานวิจัยระบุว่าการจัดการข้อมูลเป็นทักษะที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ วิธีการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับการจัดการข้อมูล เช่น การใช้ตาราง แผนภูมิ และแผนผังเพื่อจัดระเบียบข้อมูลจากการทดลอง การเรียนรู้ผ่านการใช้เทคโนโลยีช่วยเพิ่มความสามารถในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของนักเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ และการฝึกฝนวิธีการตั้งคำถามและการจัดหมวดหมู่ข้อมูลทำให้นักเรียนสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและทฤษฎีได้อย่างเป็นระบบ (Hogan and Maglienti, 2001) การแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์เป็นทักษะที่ช่วยให้นักเรียนสามารถประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการทดลองและนำไปใช้ในการแก้ปัญหา การให้โอกาสนักเรียนได้ฝึกทักษะนี้ผ่านกิจกรรมเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry-Based Learning) ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์อย่างลึกซึ้งและสามารถแปลความหมายของข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดีขึ้น การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในกระบวนการเรียนรู้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ (Furtak and Ruiz-Primo, 2008) การใช้เครื่องมือดิจิทัลในการเรียนการสอน เช่น โปรแกรมสถิติและซอฟต์แวร์จัดการข้อมูล ช่วยให้นักเรียนมีโอกาสดูแลเรียนรู้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อนและพัฒนาทักษะการแปลความหมายจากข้อมูลดิบเป็นข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ เครื่องมือเหล่านี้สามารถปรับใช้ในห้องเรียนเพื่อให้นักเรียนได้ประสบการณ์ตรงในการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นปัจจุบัน (Songer and Linn, 1991) ส่วนบทบาทของครูในกระบวนการพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายของผู้เรียนโดยการสร้างสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้จัดการข้อมูลจริงและนำเสนอบทวิเคราะห์จากการเรียนรู้ของตนเอง ครูควรมีความพร้อมในการออกแบบกิจกรรมที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ (Hands-On Learning) และการเรียนรู้แบบบูรณาการกับเทคโนโลยี (Roth and Roychoudhury, 1993) งานวิจัยหลายชิ้นเกี่ยวกับการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์โดยนักเรียนแสดงข้อมูลผ่านกราฟและการเลือกใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติมีผลสำคัญต่อความแม่นยำในการแปลความหมาย การแปลความหมายของกราฟเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ในวิทยาศาสตร์ การใช้กราฟแท่งช่วยให้นักเรียนแปลความหมายมีความแม่นยำและความเชื่อมั่นสูง (Penny, 2023) ในทางกลับกัน การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เช่น SPSS และ Excel พบข้อผิดพลาดจากปัญหาหลักมาจากขนาดตัวอย่างที่เล็กเกินไปและการใช้การทดสอบทางสถิติที่ไม่เหมาะสม (Masic, Jankovic and Begic, 2019) นอกจากนี้ค่ายวิทยาศาสตร์แบบไม่เป็นทางการสามารถช่วยเพิ่มความสามารถแปลความหมายและพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ (Sawangmek, 2019) ขณะเดียวกันการวิเคราะห์เนื้อหาโดยใช้ข้อกล่าวอ้าง (Claim) หลักฐาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning) ช่วยให้นักเรียนพัฒนาการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Xing, Lee and Shiban, 2020)

ในรายวิชาเคมี นักเรียนจำเป็นต้องจัดการข้อมูลที่ซับซ้อนและแปลความหมายที่ถูกต้องทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ ทักษะการจัดการข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญในการรวบรวม วิเคราะห์ และสรุปผลข้อมูลเพื่อให้เข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

อย่างลึกซึ้ง รวมถึงการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างข้อสรุปจากการทดลองและแก้ไขปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาทักษะเหล่านี้เป็นการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนในการเผชิญกับปัญหาในอนาคตทั้งในระดับการศึกษาขั้นสูงและในชีวิตประจำวัน จากข้อมูลผลการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา จำนวน 10 คน เป็นนักเรียนหญิง 7 คนและชาย 3 คน ในรายวิชาเคมี ยังขาดทักษะที่เพียงพอในการจัดการข้อมูลและแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้การเรียนรู้ในรายวิชาเคมีไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร โดยเฉพาะปัญหาของนักเรียนด้านการสืบค้นข้อมูลที่ยังได้ข้อมูลไม่ครบถ้วนและไม่ถูกต้อง การจัดการข้อมูลที่สืบค้นยังไม่เป็นระบบ และไม่สามารถแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์เพื่อสรุปความรู้จากข้อมูลที่สืบค้นได้

ชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (Professional Learning Community: PLC) คือ กลุ่มของครู ผู้บริหาร หรือบุคลากรทางการศึกษาที่ทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่องเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ และแนวทางการจัดการเรียนรู้ สำหรับพัฒนาคุณภาพการจัดการเรียนรู้และผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนอย่างเป็นระบบและยั่งยืน (Pabchanda, 2024) ผู้วิจัยได้สร้างทีม PLC (Sriwanna and Pabchanda, 2021) และร่วมกันกับสมาชิกในทีมพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้ 5D ซึ่งขั้นตอนจัดการเรียนรู้มี 5 ขั้นตอน แต่ละขั้นส่งผลต่อทักษะของนักเรียน นักเรียนพัฒนาทักษะจัดการข้อมูลเบื้องต้นที่สืบค้นได้ในขั้นสืบค้นข้อมูล และขั้นวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนขั้นสังเคราะห์ข้อมูลและขั้นสะท้อนข้อมูลช่วยพัฒนาทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน และขั้นสุดท้ายคือ ขั้นประยุกต์ใช้ข้อมูลเป็นการประเมินทักษะการจัดการข้อมูลและทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรายบุคคล ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนผ่านกระบวนการเรียนรู้เชิงรุก 5D ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกฝนการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ผ่านกิจกรรมที่ใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาเคมี รวมถึงการใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยพัฒนาทักษะดังกล่าวของนักเรียน

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 รายวิชาเคมี โดยการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D

สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานการวิจัยนี้คือ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D จะช่วยให้นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถจัดการข้อมูลและแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาเคมี ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบเชิงทดลอง (Experimental research) โดยใช้แผนการวิจัยแบบศึกษากลุ่มเดียว วัตถุประสงค์หลังการทดลอง (One group posttest only design)

ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยนี้คือ นักเรียนระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา ตำบลบ้านหัน อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดนครราชสีมา

กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 10 คน เป็นนักเรียนหญิง 7 คนและชาย 3 คน ที่เรียนรายวิชาเคมี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 การแบ่งกลุ่มนักเรียน กลุ่มละ 3 ถึง 4 คน โดยคละเก้ง กลางและอ่อน ตามผลการเรียนของนักเรียนที่ผ่านมา

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อเสริมสร้างทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 รายวิชาเคมี ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D ใบงานฝึกทักษะ และแบบทดสอบหลังเรียนแบบตัวออก (Exit-ticket) เครื่องมือทั้ง 3 ประเภทได้ริเริ่มพัฒนาโดยใช้กิจกรรมประชุมวิพากษ์แผนจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) (Sriwanna and Pabchanda, 2021) รายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ ดังนี้

1) แผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D เพื่อเสริมสร้างทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาเคมี หน่วยการเรียนรู้ 2 หน่วย ได้แก่ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องโมลและสูตรเคมี (แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 10 แผน: แผนที่ 1 มวลอะตอม แผนที่ 2 มวลอะตอมเฉลี่ย แผนที่ 3 โมลต่ออนุภาค แผนที่ 4 มวลต่อโมล แผนที่ 5 โมลต่อมวล แผน

ที่ 6 โมลต่อปริมาตรแก๊ส แผนที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างโมล แผนที่ 8 กฎสัดส่วนคงที่ แผนที่ 9 ร้อยละโดยมวลของธาตุ และแผนที่ 10 สูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุล) และหน่วยการเรียนรู้ที่ 2 เรื่องสารละลาย (แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 7 แผน: แผนที่ 11 ร้อยละโดยมวล แผนที่ 12 ร้อยละโดยปริมาตร แผนที่ 13 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร แผนที่ 14 ส่วนในล้านส่วน แผนที่ 15 โมลาร์ (Molar) แผนที่ 16 โมลาล (Molal) และแผนที่ 17 เศษส่วนโมล) รวมแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้พัฒนาผู้เรียน 17 แผน เวลาจัดการเรียนรู้แผนละ 50 นาที ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D เรื่องโมลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างขั้นการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D เรื่องความเข้มข้นสารละลายในหน่วยโมลาร์

ขั้นการจัดการเรียนรู้ เชิงรุก 5D	สิ่งที่ผู้เรียนปฏิบัติ
1. ขั้นสืบค้นข้อมูล (Data search) (10 นาที)	1.1 ผู้เรียนแต่ละคนสืบค้นข้อมูลความเข้มข้นสารละลายในหน่วยโมลาร์ จากแหล่งสืบค้นข้อมูล www.google.com ตามประเด็นคำถามที่กำหนดไว้ในใบสืบค้นข้อมูล (5 นาที) 1.2 ผู้เรียนแต่ละคนเขียนสรุปข้อมูลที่สืบค้นเบื้องต้นลงในใบงานการสืบค้นข้อมูลและส่งในกลุ่ม Facebook ชื่อ Chemistry by kruann (5 นาที)
2. ขั้นวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) (10 นาที)	2.1 ผู้เรียนแบ่งกลุ่มละ 4 คน และแบ่งหน้าที่หลักที่รับผิดชอบภายในกลุ่ม ดังนี้ คนที่ 1 ผู้รับส่ง (รับส่งสื่อ) คนที่ 2 ผู้กำกับ (อ่านใบงาน) คนที่ 3 ผู้บันทึก (เขียนใบงาน) และคนที่ 4 ผู้นำเสนอ (พูดนำเสนอ) กรณีกลุ่มมีสมาชิก 3 คน ให้ผู้บันทึกทำหน้าที่ผู้นำเสนอ (1 นาที) 2.2 ผู้เรียนทำหน้าที่เป็นผู้รับส่งรับใบงานกลุ่มวิเคราะห์ข้อมูลกับครู (1 นาที) 2.3 ให้แต่ละกลุ่มระดมความคิดวิเคราะห์ข้อมูลที่สืบค้นได้โดยเขียนตอบคำถามตามประเด็นที่กำหนดไว้ในใบงานกลุ่มวิเคราะห์ข้อมูล เสร็จภายใน 8 นาที
3. ขั้นสังเคราะห์ข้อมูล (Data synthesis) (10 นาที)	3.1 ผู้เรียนทำหน้าที่เป็นผู้รับส่งรับใบงานกลุ่มเขียนแผนภาพสรุปความรู้แบบผังงาน (Flowchart) กับครูเพื่อใช้ทำกิจกรรมกลุ่ม (1 นาที) 3.2 ผู้เรียนทำกิจกรรมกลุ่มระดมความคิดสังเคราะห์ข้อมูลจากใบงานกลุ่มวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเขียนแผนภาพสรุปความรู้แบบผังงานการเตรียมความเข้มข้นสารละลายในหน่วยโมลาร์ (9 นาที)
4. ขั้นสะท้อนข้อมูล (Data reflection) (10 นาที)	4.1 ผู้เรียนประเมินชิ้นงานแผนภาพสรุปความรู้ของกลุ่มอื่นโดยใช้การเดินชมผลงาน (Gallery walk) แต่ละกลุ่มมีปากกาสีต่างกันและประเมินเพื่อนในกรณีข้อมูลตรงกับกลุ่มตนเองด้วยการเขียนรูปดาว หรือ กรณีข้อมูลไม่ตรงกันให้เขียนรูปหัวใจ เวลาเดินชมผลงาน 2 กลุ่มๆ ละ 3 นาที (6 นาที) 4.2 แต่ละกลุ่มปรับปรุงชิ้นงานแผนภาพสรุปความรู้ของกลุ่มตนเองจากข้อมูลที่ได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับกลุ่มอื่น (4 นาที)
5. ขั้นประยุกต์ใช้ข้อมูล (Data application) (10 นาที)	5.1 ผู้เรียนแต่ละคนทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยเขียนตอบคำถามในตัวอย่างตามประเด็นที่ครูกำหนดให้ลงในตัวออก (5 นาที) 5.2 ผู้เรียนจับคู่และสลับกันตรวจคำตอบของตัวอย่าง ตามเกณฑ์ให้คะแนนที่ครูกำหนดให้ (5 นาที)

2) ใบงานสืบค้นข้อมูลใช้ในขั้นที่ 1 สืบค้นข้อมูล เพื่อประเมินระหว่างเรียนด้านทักษะการจัดการข้อมูลผ่านการสืบค้นข้อมูลของนักเรียนรายบุคคล

3) ใบงานกลุ่มวิเคราะห์ข้อมูลใช้ในขั้นที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อประเมินระหว่างเรียนด้านทักษะการจัดการข้อมูลผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล

4) ใบงานกลุ่มเขียนแผนภาพสรุปความรู้ใช้ในขั้นที่ 3 สังเคราะห์ข้อมูลและขั้นที่ 4 สะท้อนข้อมูล เพื่อประเมินระหว่างเรียนด้านทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์

5) ตัวอย่าง (Exit-ticket) ใช้ในขั้นที่ 5 ประยุกต์ใช้ข้อมูล เพื่อทดสอบหลังเรียน (Post-test) ประเมินทักษะการจัดการข้อมูลและทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์

แผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D ใบงาน และแบบทดสอบ พัฒนาโดยประชุมวิพากษ์แผนการจัดการเรียนรู้ก่อนนำไปใช้จัดการเรียนรู้ในกิจกรรมการเปิดชั้นเรียน และปรับปรุงพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้โดยประชุมสะท้อนคิดผลการเปิดชั้นเรียนของสมาชิกในทีม PLC (Sriwana and Pabchanda, 2021) ซึ่งครูต้นแบบทำหน้าที่จัดทำร่างแผนการจัดการเรียนรู้และปฏิบัติการจัดการเรียนรู้ ครูผู้ร่วมเรียนรู้ ผู้บริหารสถานศึกษา และผู้เชี่ยวชาญ (อาจารย์มหาวิทยาลัย) ให้ข้อคิดเห็นในการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ เก็บข้อมูลผ่านการร่วมสังเกตการเปิดชั้นเรียนและประชุมสะท้อนผลข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการชั้นเรียนเพื่อปรับปรุงพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ ใบงานและแบบทดสอบสำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ครั้งต่อไป (Pabchanda, 2024) ใบงานและแบบทดสอบของทุกแผนมีค่าเฉลี่ย IOC ตั้งแต่ 0.80 ถึง 1.00 และระดับความง่ายอยู่ในช่วง 0.60 ถึง 0.80 จากผลการประเมินของสมาชิกในทีมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ 5 คน (ครูผู้ร่วมเรียนรู้ 3 คน ผู้อำนวยการสถานศึกษา 1 คน และอาจารย์มหาวิทยาลัย 1 คน)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก 5D มุ่งเน้นพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหาทางเคมี ได้เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment) (Chanchusakun, 2018) ของกิจกรรมกลุ่มในงานกลุ่มสืบค้นข้อมูล และใบงานกลุ่มแผนภาพสรุปความรู้ หลังจากสิ้นสุดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ดำเนินการประเมินผลสรุป (Summative Assessment) ด้านทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยให้นักเรียนแต่ละคนทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยเขียนตอบคำถาม 1 ข้อ ในตัวออก (Sakonhawatt and Pabchanda, 2021) การเก็บรวบรวมข้อมูลผลการประเมินด้านการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์โดยใช้เกณฑ์ให้คะแนนชิ้นงานใบงานกลุ่มและแบบทดสอบหลังเรียน ตัวอย่างเกณฑ์ให้คะแนนของแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องโมลาร์ (Molar) ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินด้านการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ สำหรับการให้คะแนนใบงานกลุ่มการสืบค้นข้อมูลและแผนภาพสรุปความรู้เรื่องโมลาร์

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ (คะแนน)			
	ดีมาก (4)	ดี (3)	พอใช้ (2)	ปรับปรุง (1)
1. การสืบค้นชุดข้อมูล	สืบค้นข้อมูลได้ถูกต้องทุกประเด็น	สืบค้นข้อมูลได้ถูกต้องแต่ผิด 1 ประเด็น	สืบค้นข้อมูลได้ถูกต้องแต่ผิด 2 ประเด็น	สืบค้นข้อมูลได้ถูกต้องแต่ผิด > 2 ประเด็น
2. แผนภาพสรุปการเตรียมสารละลายในหน่วยโมลาร์	แผนภาพสรุปถูกต้อง 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ลำดับขั้นเตรียมสาร 2) ระบุตัวละลาย 3) ระบุความเข้มข้น 4) วิธีคำนวณ	แผนภาพสรุปถูกต้อง 3 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ลำดับขั้นเตรียมสาร 2) ระบุตัวละลาย 3) ระบุความเข้มข้น 4) วิธีคำนวณ	แผนภาพสรุปถูกต้อง 2 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ลำดับขั้นเตรียมสาร 2) ระบุตัวละลาย 3) ระบุความเข้มข้น 4) วิธีคำนวณ	แผนภาพสรุปถูกต้อง 1 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ลำดับขั้นเตรียมสาร 2) ระบุตัวละลาย 3) ระบุความเข้มข้น 4) วิธีคำนวณ

ตารางที่ 3 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินด้านการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ สำหรับการให้คะแนนแบบทดสอบรายบุคคลแบบเขียนคำตอบในตัวออกเรื่องโมลาร์

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ (คะแนน)			
	ดีมาก (4 คะแนน)	ดี (3 คะแนน)	พอใช้ (2 คะแนน)	ปรับปรุง (1 คะแนน)
1. การจัดการข้อมูล	คำตอบถูกต้อง 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ตัวแปรที่กำหนดให้ 2) ตัวแปรคำตอบ 3) ค่าและหน่วยของตัวแปรที่กำหนดให้ 4) ค่าและหน่วยของตัวแปรคำตอบ	คำตอบถูกต้อง 3 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ตัวแปรที่กำหนดให้ 2) ตัวแปรคำตอบ 3) ค่าและหน่วยของตัวแปรที่กำหนดให้ 4) ค่าและหน่วยของตัวแปรคำตอบ	คำตอบถูกต้อง 2 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ตัวแปรที่กำหนดให้ 2) ตัวแปรคำตอบ 3) ค่าและหน่วยของตัวแปรที่กำหนดให้ 4) ค่าและหน่วยของตัวแปรคำตอบ	คำตอบถูกต้อง 1 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) ตัวแปรที่กำหนดให้ 2) ตัวแปรคำตอบ 3) ค่าและหน่วยของตัวแปรที่กำหนดให้ 4) ค่าและหน่วยของตัวแปรคำตอบ
2. การแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์	วิธีหาคำตอบถูกต้อง 4 ประเด็น ดังนี้ 1) โมลตัวละลาย 2) เปลี่ยนหน่วยปริมาตรสารละลาย 3) โมลตัวละลายในสารละลาย 1 ลิตร 4) ค่าและหน่วยของตัวแปร	วิธีหาคำตอบถูกต้อง 3 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) โมลตัวละลาย 2) เปลี่ยนหน่วยปริมาตรสารละลาย 3) โมลตัวละลายในสารละลาย 1 ลิตร 4) ค่าและหน่วยของตัวแปร	วิธีหาคำตอบถูกต้อง 2 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) โมลตัวละลาย 2) เปลี่ยนหน่วยปริมาตรสารละลาย 3) โมลตัวละลายในสารละลาย 1 ลิตร 4) ค่าและหน่วยของตัวแปร	วิธีหาคำตอบถูกต้อง 1 ใน 4 ประเด็น ดังนี้ 1) โมลตัวละลาย 2) เปลี่ยนหน่วยปริมาตรสารละลาย 3) โมลตัวละลายในสารละลาย 1 ลิตร 4) ค่าและหน่วยของตัวแปร

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลผลประเมินให้คะแนนชิ้นงานระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนโดยใช้เกณฑ์ให้คะแนนแบบรูปรีดิก 4 ระดับ ได้แก่ 1, 2, 3 และ 4 คะแนน (ตัวอย่างเกณฑ์ให้คะแนน ดังตารางที่ 2 และ 3) คะแนนที่ประเมินได้ใช้คำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและร้อยละของคะแนนใบงานสืบค้นข้อมูล (ทดสอบระหว่างเรียนด้านการจัดการ

ข้อมูล) ใบงานกลุ่มแผนภาพสรุปความรู้ (ทดสอบระหว่างเรียนด้านการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์) แบบทดสอบตัวออก (ทดสอบหลังเรียนด้านการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์) การแปลผลคะแนนใช้เกณฑ์ร้อยละคะแนน จัดระดับความสามารถด้านทักษะด้านการจัดการข้อมูลและแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีมาก (90-100%) ดี (70-90%) พอใช้ (50-70%) และปรับปรุง ($\leq 50\%$) (Jeong, Songer and Lee, 2007)

คำจำกัดความที่ใช้วิจัย

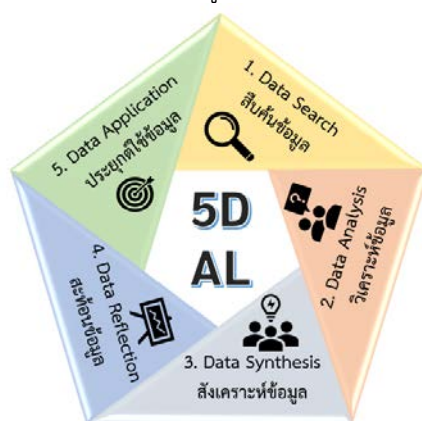
ทักษะการจัดการข้อมูล (Data Management Skills) หมายถึง ความสามารถในการรวบรวม วิเคราะห์ และใช้ข้อมูล อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อตอบสนองต่อปัญหาหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้ ทักษะนี้ครอบคลุมกระบวนการตั้งแต่การเก็บข้อมูล การคัดกรองข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและมีประโยชน์สำหรับการตัดสินใจหรือการ แก้ไขปัญหา (Lai and Hsiao, 2014)

ทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Interpretation Skills) หมายถึง ความสามารถในการ วิเคราะห์และตีความข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือแหล่งข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เข้าใจถึงความหมายและ ความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านั้นในบริบททางวิทยาศาสตร์ ทักษะนี้ช่วยให้บุคคลสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับหลักการทาง วิทยาศาสตร์ กฎธรรมชาติ และทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อสรุปผลลัพธ์หรือตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์อย่างมีเหตุผล (Kanari and Millar, 2004)

การจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D (5D Active Learning Management) หมายถึง การจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่พัฒนาขึ้นจาก งานวิจัยนี้โดยมีกระบวนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นสืบค้นข้อมูล (Data search) 2) ขั้นวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) 3) ขั้นสังเคราะห์ข้อมูล (Data synthesis) 4) ขั้นสะท้อนข้อมูล (Data reflection) และ 5) ขั้นประยุกต์ใช้ข้อมูล (Data application)

กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D

ทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Interpretation Skill) หรือการตีความหมายข้อมูลเป็น กระบวนการที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยวิธีการที่เป็นระบบ โดยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนสำคัญ ดังนี้ 1) การรวบรวม ข้อมูล (Data Collection) เป็นขั้นตอนแรกของการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ต้องรวบรวมข้อมูลจากการทดลองหรือการ สืบค้นโดยใช้เครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือและเป็นปัจจุบัน (Kampetch, Sriharan and Hirunsathaporn, 2021) 2) การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล (Data Validation) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองต้องผ่านการ ตรวจสอบเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีข้อผิดพลาด เช่น ข้อผิดพลาดจากการเก็บข้อมูลผิดพลาดหรืออคติของผู้วิจัยเอง (Ramalli *et al.*, 2023) 3) การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ข้อมูลที่ได้มาจะต้องถูกวิเคราะห์ด้วยการตั้งคำถามและเครื่องมือที่เหมาะสม เช่น การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์แนวโน้ม ความสัมพันธ์ และรูปแบบที่เกิดขึ้นจากการจัดการข้อมูล (Hu and Chiu, 2024) 4) และการแปลความหมายข้อมูล (Data Interpretation) (Matzen *et al.*, 2020) การแปลความหมาย ดำเนินการบนพื้นฐานของสมมติฐานทางวิทยาศาสตร์ และทฤษฎีที่มีอยู่ โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับผลการวิจัยก่อนหน้า นี้ เพื่อให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้รับสอดคล้องกับความรู้เดิมหรือมีความใหม่อย่างไร (Bowen and Roth, 2005) 5) การ นำเสนอผล (Presentation of Results) หลังจากการตีความแล้ว จะนำเสนอผลการวิจัยโดยเขียนรายงานที่ชัดเจน ครบถ้วน และให้รายละเอียดที่เพียงพอสำหรับการประเมินโดยท่านอื่น เช่น การเผยแพร่ผ่านงานประชุมวิชาการ หรือตีพิมพ์ใน วารสารวิชาการ 6) การทบทวนและวิจารณ์ (Peer Review and Critique) ผลการตีความต้องผ่านการวิจารณ์จาก นักวิทยาศาสตร์ท่านอื่น เพื่อมั่นใจว่าขั้นตอนและผลการวิจัยมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ผ่านกระบวนการ Peer Review



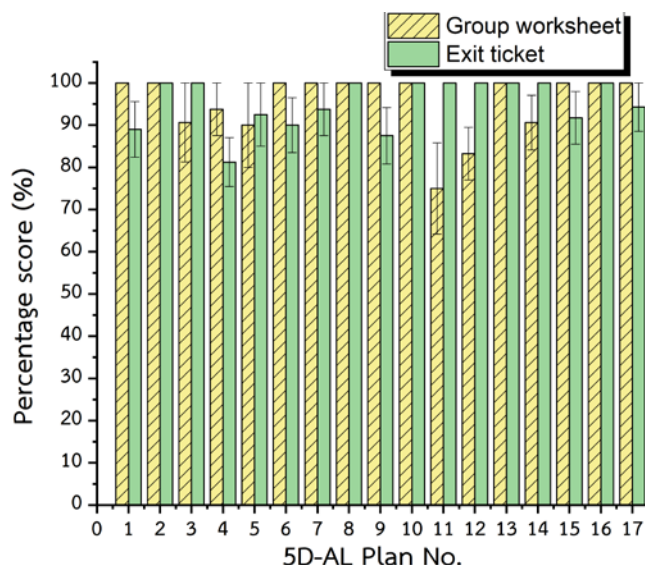
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D

จากแนวคิดการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้นำมาใช้ออกแบบและพัฒนาการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D สำหรับส่งเสริมทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นสืบค้นข้อมูล (Data search) (Becker, 2003) 2) ขั้นวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) (Hu and Chiu, 2024) 3) ขั้นสังเคราะห์ข้อมูล (Data synthesis) (Pangandaman *et al.*, 2025) 4) ขั้นสะท้อนข้อมูล (Data reflection) (Makmun, Khoo and Zakariya, 2020) และ 5) ขั้นประยุกต์ใช้ข้อมูล (Data application) (Lim, 2025) กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D แสดงดังภาพที่ 1 ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ 5D AL ได้พัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลของนักเรียนในขั้นที่ 1 สืบค้นข้อมูล และขั้นที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูล ส่วนทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ได้รับการพัฒนาในขั้นที่ 3 สังเคราะห์ข้อมูล และขั้นที่ 4 สะท้อนข้อมูล สุดท้ายในขั้นที่ 5 ประยุกต์ใช้ข้อมูลเป็นการทดสอบหลังเรียนเพื่อประเมินทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรายบุคคล

จากกรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D ดังแสดงในภาพที่ 1 เริ่มต้นจัดกิจกรรมโดยให้ผู้เรียนแต่ละคนได้สืบค้นข้อมูลตามชุดคำถามที่ครูผู้สอนออกแบบไว้ให้สอดคล้องกับตัวชี้วัดระหว่างทางและปลายทางของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในคาบเรียนนั้น ครูผู้สอนสามารถกำหนดแหล่งสืบค้นข้อมูลโดยใช้หนังสือเรียน ใบความรู้ หรือ โปรแกรมค้นหา (search engine) ในขั้นสืบค้นชุดข้อมูลนี้ควรกำหนดเวลาให้เหมาะสมกับชุดคำถามสำหรับการสืบค้นไม่เกิน 5 ประเด็นคำถาม (เวลาสืบค้นที่เหมาะสม 10 - 15 นาที) เมื่อผู้เรียนแต่ละคนสืบค้นคำตอบของแต่ละคำถามได้ครบแล้ว ครูผู้สอนแบ่งกลุ่มผู้เรียนกลุ่มละ 3 ถึง 4 คน (คละตามเก่ง กลาง อ่อน) และแบ่งหน้าที่หลักนักเรียนแต่ละคน ดังนี้ หน้าที่ 1 รับส่งใบงานและอุปกรณ์การเรียน หน้าที่ 2 อ่านใบงาน หน้าที่ 3 เขียนใบงาน และหน้าที่ 4 พุดนำเสนอข้อมูลใบงาน (กรณีกลุ่มมี 3 คน ให้คนหนึ่งในกลุ่มรับผิดชอบหน้าที่หลักที่ 3 และ 4) เมื่อแบ่งกลุ่มและหน้าที่หลักภายในกลุ่มเสร็จแล้ว ในขั้นที่ 2 วิเคราะห์ข้อมูล กิจกรรมกลุ่มระดมความคิดวิเคราะห์ข้อมูลที่แต่ละคนสืบค้นได้โดยเขียนสรุปคำตอบของกลุ่มลงในใบงานตามชุดคำถามที่ให้สืบค้น คนที่มีหน้าที่อ่านใบงานวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการสอบถามคำตอบของสมาชิกในกลุ่มและคนที่ทำหน้าที่เขียนใบงานช่วยเขียนสรุปคำตอบของกลุ่มตามลำดับคำถามในชุดคำถาม ในขั้นที่ 3 สังเคราะห์ข้อมูล การใช้ข้อสรุปของคำตอบแต่ละคำถามให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มระดมความคิดสังเคราะห์ข้อมูลจากคำตอบโดยใช้ใบงานสรุปความรู้ในรูปแบบที่กำหนดให้ เช่น ผังงาน (Flowchart) แผนที่ความคิด (Mind map) แผนภาพเวนน์-ออยเลอร์ (venn euler diagram) ในขั้นที่ 4 การสะท้อนข้อมูล เป็นการประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment) เพื่อผู้เรียนตรวจสอบและปรับปรุงผลการเรียนรู้ของตนเอง (Chanchusakun, 2018) โดยครูสุ่มลำดับกลุ่มผู้เรียนออกมานำเสนอข้อมูลใบงานสรุปความรู้โดยใช้สื่อประกอบการนำเสนอในรูปแบบที่กำหนดให้ และให้เพื่อนกลุ่มอื่นสะท้อนคิดประเมินผลข้อมูลที่ได้รับรู้ ในกรณีจำนวนกลุ่มผู้เรียนมากกว่า 3 กลุ่ม ควรใช้กิจกรรมเดินชมผลงาน (Gallery walk) กลุ่มอื่น 2 กลุ่ม แทนการให้ทุกกลุ่มนำเสนอหน้าชั้นเรียน ขั้นสุดท้าย ขั้นที่ 5 ประยุกต์ใช้ความรู้โดยการประเมินผลสรุป (Summative Assessment) ด้านพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ด้วยการทำแบบประเมินเขียนตอบคำถาม 1 คำถามในตัวออกที่สอดคล้องกับตัวชี้วัดปลายทางตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้จัดการเรียนรู้ในครั้งนั้น ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D เรื่องโมลาร์ แสดงในตารางที่ 1

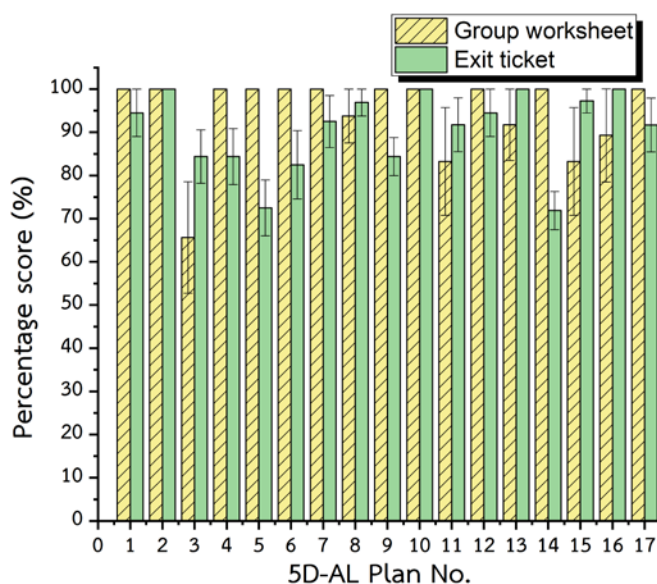
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การประเมินประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D จำนวน 17 แผนจัดการเรียนรู้ ต่อการพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้ข้อมูลคะแนนประเมินชิ้นงานใบงานกลุ่มวิเคราะห์ข้อมูลที่สืบค้นได้ ใบงานกลุ่มแผนภาพสรุปความรู้ และแบบทดสอบรายบุคคลแบบเขียนตอบคำถามในรูปตัวออก เกณฑ์การประเมินให้คะแนนใบงานกลุ่มการสืบค้นชุดข้อมูล (การจัดการข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์) และใบงานกลุ่มแผนภาพสรุปความรู้ (การแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์) ตัวอย่างเกณฑ์ประเมินให้คะแนนแสดงดังตารางที่ 2 ส่วนเกณฑ์การประเมินให้คะแนนการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนของตัวออก ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินให้คะแนนแบบทดสอบเขียนคำตอบในตัวออกเรื่องโมลาร์ แสดงดังตารางที่ 3 ร้อยละคะแนนของใบงานกลุ่มสืบค้นข้อมูล และแบบทดสอบรายบุคคลตัวออก เพื่อประเมินความสามารถจัดการข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ดังแสดงในภาพที่ 2 ส่วนร้อยละคะแนนของใบงานกลุ่มแผนภาพสรุปความรู้ และแบบทดสอบรายบุคคลตัวออก เพื่อประเมินความสามารถการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 2 กราฟแท่งแสดงร้อยละคะแนนของใบงานกลุ่มสืบค้นข้อมูล (Group worksheet) และแบบทดสอบรายบุคคลตัวออก (Exit ticket) เพื่อประเมินความสามารถจัดการข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนผ่านจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D จำนวน 17 แผน

จากข้อมูลภาพที่ 2 พบว่า แผนที่ 2 8 10 13 และ 16 คะแนนระหว่างเรียนและหลังเรียนได้คะแนนเต็มจากสาเหตุดังต่อไปนี้ แผนที่ 2 มวลอะตอมเฉลี่ย ซึ่งนักเรียนเข้าใจมวลอะตอมที่ได้เรียนมาก่อนในแผนที่ 1 ส่วนแผนที่ 8 กฎสัดส่วนคงที่ได้คะแนนเต็มเนื่องจากนักเรียนได้ฝึกการคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างโมลในแผนที่ 7 ซึ่งมีวิธีการคำนวณใกล้เคียงกัน ส่วนแผนที่ 13 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรได้คะแนนเต็มเพราะนักเรียนมีพื้นฐานแนวคิดการคำนวณความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยมวล และร้อยละโดยปริมาตรในแผนที่ 11 และ 12 ตามลำดับ ในกรณีแผนที่ 16 เรื่องโมเลกุล นักเรียนได้เรียนความเข้มข้นโมลาร์ในแผนที่ 15 ทำให้เข้าใจความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อลิตรต่อปริมาตรของสารละลาย 1 ลิตร ซึ่งโมเลกุลคำนวณต่างกันเล็กน้อยโดยคิดโมลต่อลิตรต่อมวลต่อลิตรทำละลาย 1 กิโลกรัม ในขณะที่แผนที่ 4 มวลต่อโมล มีคะแนนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแผนอื่น ๆ เนื่องจากนักเรียนคำนวณหามวลโมเลกุลไม่ถูกต้อง



ภาพที่ 3 กราฟแท่งแสดงร้อยละคะแนนของใบงานกลุ่มแผนภาพสรุปความรู้ (Group worksheet) และแบบทดสอบรายบุคคลตัวออก (Exit ticket) เพื่อประเมินความสามารถการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนผ่านจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D จำนวน 17 แผน

จากข้อมูลภาพที่ 3 พบว่า แผนที่ 2 มวลอะตอมเฉลี่ย ได้คะแนนระหว่างเรียนและหลังเรียนได้คะแนนเต็มเพราะใบงาน และตัวออกกำหนดสูตรหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุจากไอโซโทปช่วยให้นักเรียนเขียนแผนผังความคิดได้ง่ายและตอบคำถาม แบบทดสอบหลังเรียนแบบตัวออกที่ให้ตารางข้อมูลมวลอะตอมและร้อยละที่พบในธรรมชาติของแต่ละไอโซโทปช่วยให้นักเรียน คำนวณหาคำตอบมวลอะตอมเฉลี่ยได้ถูกต้อง ส่วนแผนที่ 10 สูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลได้คะแนนเต็มเพราะนักเรียนได้ แนวคิดการคำนวณในแผนที่ 9 ร้อยละโดยมวลของธาตุ ส่วนแผนที่ 14 ส่วนในล้านส่วน ได้คะแนนหลังเรียนน้อยทั้งที่คะแนน ระหว่างเรียนได้คะแนนเต็มเพราะเงื่อนไขของใบงานกลุ่ม (คะแนนระหว่างเรียน) กับแบบทดสอบตัวออก (คะแนนหลังเรียน) มีการเปลี่ยนแปลงหน่วยตัวเลขและสารละลายที่แตกต่างกันจากมิลลิกรัมต่อลิตรเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร แผนที่ 3 โมลต่ออนุภาค การแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีคะแนนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแผนอื่น ๆ เพราะชิ้นงานกลุ่มของหลายกลุ่มยัง ติดปัญหาการคำนวณเลขยกกำลังฐานสิบเพื่อหาจำนวนอนุภาคจากเลขอาโวกาโดร

การประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment) เพื่อให้ข้อมูลป้อนกลับที่ช่วยให้ผู้เรียนทราบผลการเรียนรู้ และนำไปปรับปรุงตนเองด้านความสามารถจัดการข้อมูลวิทยาศาสตร์โดยใช้ใบงานกลุ่มการสืบค้นข้อมูล ผลคะแนนประเมิน ชิ้นงานกลุ่มการสืบค้นข้อมูลของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (ดังภาพที่ 2) พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละคะแนนของทั้ง 17 แผนจัดการ เรียนรู้เท่ากับร้อยละ 95.49 ± 4.97 ของคะแนนเต็ม ซึ่งค่าร้อยละคะแนนสูงกว่าร้อยละ 90 แสดงว่าความสามารถจัดการข้อมูล ของงานกลุ่มอยู่ในระดับดีมาก ส่วนการประเมินผลสรุปการเรียนรู้ (Summative Assessment) หลังเรียนของนักเรียนด้าน ความสามารถในการจัดการข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบประเภทเขียนตอบคำถามในตัวออก (Sakonthawat and Pabchanda, 2021) จัดการข้อมูลตามโจทย์สถานการณ์ที่กำหนดให้ พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละคะแนน 17 แผนเท่ากับร้อยละ 95.29 ± 6.39 ของคะแนน เต็ม (แสดงดังภาพที่ 3) ซึ่งค่าร้อยละคะแนนสูงกว่า 90 แสดงว่าความสามารถจัดการข้อมูลรายบุคคลเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก

การประเมินผลระหว่างเรียนรู้เพื่อให้ข้อมูลป้อนกลับที่ช่วยให้ผู้เรียนทราบผลการเรียนรู้และนำไปปรับปรุงตนเอง ด้านทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ใบงานกลุ่มเขียนแผนภาพสรุปความรู้ ผลคะแนนประเมินชิ้นงานกลุ่มภาพ สรุปความรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 แสดงดังภาพที่ 3 พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละคะแนน 17 แผนจัดการเรียนรู้เท่ากับร้อยละ 94.52 ± 4.43 ของคะแนนเต็ม ซึ่งค่าร้อยละคะแนนสูงกว่าร้อยละ 90 แสดงว่า ทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของ งานกลุ่มอยู่ในระดับดีมาก ส่วนการประเมินสรุปผลการเรียนรู้หลังเรียนของนักเรียนรายบุคคลด้านทักษะการแปลความหมาย ทางวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบทดสอบประเภทเขียนตอบคำถามในตัวออกผ่านการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ด้วยแสดง วิธีการคำนวณหาคำตอบตามโจทย์ที่กำหนดให้ พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละคะแนนของ 17 แผนเท่ากับร้อยละ 90.53 ± 9.10 ของ คะแนนเต็ม (แสดงดังภาพที่ 3) ซึ่งค่าร้อยละคะแนนสูงกว่า 90 แสดงว่าทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์รายบุคคล เฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก

จากข้อมูลผลการประเมินคะแนนของใบงานกลุ่มและแบบทดสอบตัวออกจากภาพที่ 2 และ 3 สรุปเป็นข้อมูลดังตาราง ที่ 4 คะแนนเฉลี่ยด้านการจัดการข้อมูลของใบงานกลุ่มและตัวออก (งานรายบุคคล) เท่ากับร้อยละ 95.49 ± 4.97 และ 95.29 ± 6.39 ของคะแนนเต็ม ตามลำดับ ส่วนด้านทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของงานกลุ่มและตัวออก (งานรายบุคคล) เท่ากับร้อยละ 94.52 ± 4.43 และ 90.53 ± 9.10 ตามลำดับ ค่าผลต่างของร้อยละคะแนนใบงานกลุ่มและร้อยละคะแนนตัวออก ไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งให้เห็นว่ากิจกรรมในแต่ละขั้นตอนจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D ได้แก่ การสืบค้นข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การ สังเคราะห์ข้อมูล การสะท้อนข้อมูล และการประยุกต์ใช้ข้อมูล มีความเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบและเปิดโอกาสให้นักเรียนมี บทบาทอย่างแท้จริงในกำกับการเรียนรู้และนำตนเอง ในขั้นสะท้อนข้อมูลช่วยให้ผู้เรียนสามารถได้รับข้อมูลป้อนกลับ (Feedback) และการประเมินโดยเพื่อนร่วมชั้นเรียนเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้ของตนเองผ่านการแลกเปลี่ยนเรียนรู้โดยใช้กิจกรรม เดินชมผลงาน (Gallery Walk) ดังนั้นกระบวนการเรียนรู้เชิงรุก 5D ช่วยพัฒนาด้านการจัดการข้อมูลและการแปลความหมาย ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างดี

ตารางที่ 4 ร้อยละคะแนนการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของใบงานกลุ่ม (N = 3) และตัวออกแบบ เขียนตอบคำถาม (N = 10)

รายการประเมินผล	ร้อยละของคะแนน		
	ใบงานกลุ่ม	ตัวออก	ผลต่าง
การจัดการข้อมูล	95.49 ± 4.97	95.29 ± 6.39	0.20
การแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์	94.52 ± 4.43	90.53 ± 9.10	3.99

หมายเหตุ: ผลต่างคำนวณได้จากค่าสัมบูรณ์ของผลต่างร้อยละของคะแนนตัวออกและร้อยละของคะแนนใบงานกลุ่ม

จากข้อมูลผลการวิจัยในภาพที่ 2 ภาพที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่า การจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D มีประสิทธิภาพสูงในการพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาเคมี ทั้งในระดับรายกลุ่มและรายบุคคล โดยมีคะแนนเฉลี่ยของใบงานกลุ่มและแบบทดสอบตัวออกหลังเรียนอยู่ในระดับดีมาก (เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 90) (Jeong, Songer and Lee, 2007) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ระบุว่านักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เกี่ยวกับการจัดการข้อมูลจะมีความสามารถรวบรวมและจัดระเบียบข้อมูลอย่างเป็นระบบมากขึ้น ส่วนกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์จะช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างข้อสรุปจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ (Xing, Lee and Shibani, 2020) จากกระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D แต่ละขั้นตอนส่งผลต่อทักษะของนักเรียนด้านทักษะจัดการข้อมูลเบื้องต้นที่สืบค้นได้ในขั้นสืบค้นข้อมูล และขั้นวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนขั้นสังเคราะห์ข้อมูลและขั้นสะท้อนข้อมูลช่วยพัฒนาทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน และขั้นสุดท้ายคือ ขั้นประยุกต์ใช้ข้อมูลเป็นการประเมินทักษะการจัดการข้อมูลและทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนรายบุคคล

นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อดิจิทัล เช่น การสืบค้นออนไลน์ การส่งงานในกลุ่ม Facebook และการสร้างคลิปวิดีโอที่นักเรียนทำ ยังมีส่วนสนับสนุนให้กระบวนการเรียนรู้มีความทันสมัยและสอดคล้องกับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดด้านขนาดกลุ่มตัวอย่างน้อย (จำนวนนักเรียน 10 คน) เพราะเป็นโรงเรียนขนาดเล็กพิเศษ (Masic, Jankovic and Begic, 2019) ซึ่งอาจส่งผลต่อการประยุกต์ใช้กับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนในโรงเรียนขนาดกลางและใหญ่ เพราะในห้องเรียนที่มีนักเรียนจำนวนมากอาจทำให้ครูผู้สอนทำหน้าที่ผู้อำนวยความสะดวกการเรียนรู้ (Facilitator) ในการให้ข้อมูลป้อนกลับ (Feedback) เพื่อให้นักเรียนปรับปรุงการเรียนรู้ได้ไม่ทั่วถึง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 รายวิชาเคมี โดยการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D ที่ผ่านการพัฒนาด้วยกระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) จากผลประเมินการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ทั้งในระดับรายกลุ่มและรายบุคคลผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด รวมทั้งทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในระดับดีมาก สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D ช่วยพัฒนาทักษะการจัดการข้อมูลและการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์มี 3 ประเด็นสำคัญ ดังนี้ 1) การสืบค้นข้อมูลจากใบความรู้ควรใช้ใบความรู้ที่มีปริมาณเนื้อหาที่เหมาะสม (1 ถึง 2 หน้ากระดาษ A4) เพื่อให้ให้นักเรียนสามารถอ่านและเก็บประเด็นได้ภายในเวลาที่กำหนด 2) กรณีให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลผ่านระบบสารสนเทศ ครูผู้สอนควรระบุคำสำคัญ (Keyword) หรือ แหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ เพื่อให้นักเรียนมีโอกาสได้ข้อมูลที่สืบค้นถูกต้อง และ 3) ในกรณีให้นักเรียนบันทึกคลิปวิดีโอที่สังเคราะห์ได้ในรูปแบบรายงานข่าว ควรจัดบริเวณในห้องเรียนที่แยกส่วนเฉพาะเพื่อไม่ให้เกิดเสียงรบกวนระหว่างการบันทึกคลิปวิดีโอของแต่ละกลุ่ม หรือ ให้นักเรียนหาสถานที่ภายนอกห้องเรียนบริเวณที่ไม่มีเสียงรบกวนและไม่กระทบกับห้องเรียนอื่น

ส่วนข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไปมี 3 แนวทาง ดังนี้ 1) การออกแบบและสร้างสื่อการเรียนรู้ที่ทันสมัยและน่าสนใจเหมาะสมกับวัยผู้เรียน และ 2) การขยายผลจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก 5D ในรายวิชาอื่น ๆ เช่น วิชาชีววิทยา วิชาฟิสิกส์ เพื่อส่งเสริมทักษะการจัดการข้อมูลและทักษะการแปลความหมายทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชานั้น ๆ 3) การจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก 5D กับกลุ่มตัวอย่างนักเรียนที่มีจำนวนต่อห้องมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (10 คน)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในชั้นเรียนเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของการขยายผลจากการอบรมโครงการเพิ่มศักยภาพครูให้มีสมรรถนะของครูยุคใหม่สำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ ภายใต้ความร่วมมือกับคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และโครงการส่งเสริมสนับสนุนวิจัยในชั้นเรียนของโรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา สังกัดองค์การบริหารส่วนจังหวัดนครราชสีมา ผู้วิจัยขอขอบคุณที่ชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) ได้แก่ ครูผู้ร่วมเรียนรู้ (นายสุพจน์ โตจะโปะ นางสิริพร เพียรปรุ และนางสาวสมควร ฝ่ายสระน้อย) ผู้อำนวยการสถานศึกษาโรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา (นายวีระศักดิ์ คำแก้ว) และผู้เชี่ยวชาญ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวัฒน์ ผาบัจันดา) ที่ร่วมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในกิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพเพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก 5D ครูผู้สอนขอขอบคุณนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา ที่ให้ความร่วมมือในการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมที่ใช้พัฒนาผู้เรียน ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ให้ความกรุณานอเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญแนะนำองค์ความรู้ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้วิจัยและ

เสนอแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยในชั้นเรียนครั้งนี้ สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการวิจัยในชั้นเรียนฉบับนี้

จริยธรรมการวิจัย

งานวิจัยในชั้นเรียนนี้ได้ดำเนินการขอความยินยอมโดยใช้เอกสารของผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในบุคคล (Respect for person) หลักคุณประโยชน์ ไม่ก่ออันตราย (Beneficence) และหลักความยุติธรรม (Justice) โดยให้นักเรียนและผู้ปกครองนักเรียนรับทราบข้อมูลก่อนการวิจัยในชั้นเรียนและพิจารณาลงนามยินยอมให้นักเรียนเข้าร่วมและเผยแพร่ข้อมูลผลวิจัยในชั้นเรียนเรื่องนี้ตามมาตรฐานการรักษาความลับของงานวิจัย งานวิจัยนี้ไม่มีการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยของสถาบัน แต่ยังคงถือปฏิบัติตามมาตรฐานจริยธรรมอย่างครบถ้วน

References

- Becker, N. J. (2003). Google in perspective: Understanding and enhancing student search skills. **New Review of Academic Librarianship**, 9(1), 84-99.
- Bowen, G. M. and Roth, W. M. (2005). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers. **Journal of Research in Science Teaching**, 42(10), 1063-1088.
- Chanchusakun, S. (2018). Concepts, principles and strategies of assessment for learning (in Thai). **Journal of Educational Measurement Mahasarakham University**, 24(1), 14-18.
- Furtak, E. and Ruiz-Primo, M. (2008). Making students' thinking explicit in writing and discussion: An analysis of formative assessment prompts. **Science Education**, 92, 799-824.
- Hogan, K. and Maglienti, M. (2001). Comparing epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. **Journal of Research in Science Teaching**, 38, 663-687.
- Hu, H. W. and Chiu, C. H. (2024). The effect of using questioning strategies in scientific inquiry videos on elementary Students. **Journal of Science Education and Technology**, 33(6), 835-850.
- Jeong, H., Songer, N. and Lee, S. Y. (2007). Evidentiary competence: Sixth graders' understanding for gathering and interpreting evidence in scientific investigations. **Research in Science Education**, 37(1), 75-97.
- Kampetch, P., Sriharan, P. and Hirunsathaporn, W. (2021). The importance and techniques of data collection for 21st century researches (in Thai). **Journal of Education Burapha University**, 32(2). 1-12.
- Kanari, Z. and Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. **Journal of Research in Science Teaching**, 41(7), 748-769.
- Lai, M. K. and Hsiao, S. (2014). Developing data collection and management systems for decision-making: What professional development is required?. **Studies in Educational Evaluation**, 42, 63-70.
- Lim, R. R. (2025). Impact of exit tickets on student achievement and learning experience in science. **International Journal for Multidisciplinary Research** 7(1), 1-8.
- Makmun, M., Khoo, Y. Y. and Zakariya, Z. (2020). The gallery walk teaching and learning and its potential impact on students' interest and performance. **International Business Education Journal**, 13(1), 17-22.
- Masic, I., Jankovic, S. and Begic, E. (2019). PhD students and the most frequent mistakes during data interpretation by statistical analysis software. **Studies in health technology and informatics**, 262, 105-109.
- Matzen, L., Divis, K., Haass, M. and Cronin, D. (2020). **Variable Biases: A Study of Scientists' Interpretation of Plot Types Commonly Used in Scientific Communication**. United States: Sandia National Laboratories, University of California, Davis.
- Pabchanda, S. (2024). **Best practices of professional learning communities**. Nakhon Ratchasima: Nakhon Ratchasima Rajabhat University.

- Pangandaman, H., Datumanong, N., Mukattil, N., Hayudini, M. A., Abdulhan, M., Jilah, A. and Mercado, C. (2025). Effectiveness of mind mapping in the improvement of students academic performance: A systematic. **Review. Cuestiones de Filosofia**, 53, 1363-1375.
- Penny, C. (2023). Students' Interpretation of Plot Types Commonly Used in Scientific Communication. **Master's Thesis**, Glasgow: University of Glasgow, Scotland.
- Ramalli, E., Dinelli, T., Nobili, A., Stagni, A., Pernici, B. and Faravelli, T. (2023). Automatic validation and analysis of predictive models by means of big data and data science. **Chemical Engineering Journal**, 454, 140-149.
- Roth, W. M. and Roychoudhury, A. (1993). The development of science process skills in authentic contexts. **Journal of Research in Science Teaching**, 30(2), 127-152.
- Sakonhawatt, P. and Pabchanda, P. (2021). The development of punctuality for eleventh grade students in chemistry with blended learning based on inquiry, social media, exit ticket and scorecard through lesson design by using professional learning community activity (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 204-216.
- Sawangmek, S. (2019). Promoting interpret data and evidence scientifically competency and attitude toward science through informal science camp. **Proceedings of American Institute of Physics Conference** (pp. 30-37). Maryland: American Institute of Physics.
- Songer, N. B. and Linn, M. C. (1991). How do students' views of science influence knowledge integration? **Journal of Research in Science Teaching**, 28(9), 761-784.
- Sriwanna, K. and Pabchanda, S. (2021). The development of analytical thinking skill and scientific minds in chemistry of tenth grade student by constructivism and collaborative learning (in Thai). **Journal of Education Khon Kaen University**, 44(2), 97-109.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2025). PISA 2022 full report. Retrieved May 8, 2025, from **Pisathailand**: <https://pisathailand.ipst.ac.th/pisa2022-fullreport>
- Xing, W., Lee, H. S. and Shibani, A. (2020). Identifying patterns in students' scientific argumentation: content analysis through text mining using Latent Dirichlet Allocation. **Educational Technology Research and Development**, 68(5), 2185–2214.



A Study of Mathematical Project Skills through Mathematics Camp Activities for Upper Primary School Students

Wipa Chaisawat^{1,*}, Supannika Chananil¹, Phuntipa Julakarn¹ and Piyatida Chanapan²

¹Mathematical Education Program, Faculty of Education and Development, Roi Et Rajabhat University

²Mathematical and English Education Program, Faculty of Education and Development, Roi Et Rajabhat University

*Email: wipa@reru.ac.th

Received <16 June 2025>; Revised <29 September 2025>; Accepted <7 October 2025>

Abstract

This research aimed to 1) to investigate the mathematical project work abilities of upper primary school students, and 2) to examine their satisfaction with mathematics camp activities. The target group consisted of 43 upper primary school students from BanLaoKhaemDongKlang School, selected proportionally from those who registered to participate in the camp. The research instruments included 1) mathematics camp activities, 2) an evaluation form for assessing students' mathematical project work abilities, and 3) a satisfaction questionnaire regarding the camp activities. Data were analyzed using descriptive statistics, mean, and standard deviation. The findings revealed that 1) the overall mathematical project work ability of the students was at a high level ($\bar{X} = 4.43$, S.D. = 0.67), with a total of 15 projects produced, and 2) the students' satisfaction with the mathematics camp activities was at a high level ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.76).

Keywords: Mathematical Project Skills; Mathematics Camp Activities; Project-Based Learning

การศึกษาความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย

วิภา ชัยสวัสดิ์^{1,*} สุพรรณิการ์ ชนะนิล¹ พันธุ์ทิพา จุฬากาญจน์¹ และ ปิยะธิดา ชนะพันธ์²

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์และการพัฒนามนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์และภาษาอังกฤษ คณะครุศาสตร์และการพัฒนามนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

*Email: wipa@reru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย และ 2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยคือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบ้านเหล่าเขมตกลาง จำนวน 43 คน โดยการเลือกจากจำนวนสัดส่วนของนักเรียนที่ลงทะเบียนตอบรับการเข้าร่วมกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ 2) แบบประเมินความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่เข้าร่วมกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) ความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย โดยภาพรวมอยู่ในระดับสูง ($\bar{X} = 4.43$, S. D. = 0.67) โดยมีโครงการรวมทั้งหมดจำนวน 15 โครงการ และ 2) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S. D. = 0.76)

คำสำคัญ: ความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์; กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์; โครงการเป็นฐาน

บทนำ

สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการการอุดมศึกษา พ.ศ. 2561-2580 กล่าวถึงประเด็นยุทธศาสตร์ ด้านการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพทรัพยากรมนุษย์ ได้กำหนดประเด็นยุทธศาสตร์ที่เน้นทั้งการแก้ปัญหาและการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ในปัจจุบัน และการเสริมสร้างและยกระดับการพัฒนาที่ให้ความสำคัญที่ครอบคลุมทั้งในส่วนของพัฒนาทุนมนุษย์ และปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างระบบนิเวศที่เอื้อต่อการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์อย่างครอบคลุม ประกอบด้วย การพัฒนาศักยภาพคนตลอดช่วงชีวิต ควบคู่กับการปฏิรูปที่สำคัญทั้งในส่วนของปรับเปลี่ยนค่านิยมและวัฒนธรรม เพื่อให้คนมีความดีอยู่ใน “วิถี” การดำเนินชีวิตและมีจิตสำนึกในการสร้างสังคมที่น่าอยู่ และมีการปฏิรูปการเรียนรู้แบบพลิกโฉมในทุก ระดับตั้งแต่ระดับปฐมวัยจนถึงการเรียนรู้ตลอดชีวิต โดยการพัฒนาระบบการเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในศตวรรษที่ 21 มีการออกแบบการเรียนรู้ใหม่ การเปลี่ยนบทบาทครู การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบริหารจัดการศึกษา และการพัฒนาระบบการเรียนรู้ตลอดชีวิตเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้สามารถก้าวทันการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับตนเองได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการออกแบบกระบวนการเรียนรู้ในทุกระดับชั้นต้องมุ่งเน้นการใช้ฐานความรู้และระบบคิดในลักษณะสหวิทยาการ อาทิ ความรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้กระบวนการตั้งคำถาม ความเข้าใจและความสามารถในการใช้เทคโนโลยี ความรู้ทางวิศวกรรมศาสตร์และการคิดเพื่อหาทางแก้ปัญหา ความรู้และทักษะทางศิลปะ ความรู้ด้านคณิตศาสตร์ ระบบคิดของเหตุผลและการหาความสัมพันธ์ การพัฒนาระบบการเรียนรู้เชิงบูรณาการที่เน้นการลงมือปฏิบัติ มีการสะท้อนความคิด/ทบทวนไตร่ตรอง การสร้างผู้เรียนให้สามารถก้าวทันการเรียนรู้ของตนเองได้ รวมทั้งการเรียนรู้ด้านวิชาชีพและทักษะชีวิต โดยมีครูผู้สอนเป็น “โค้ช” หรือ “ผู้อำนวยความสะดวกการเรียนรู้” ทำหน้าที่กระตุ้น สร้างแรงบันดาลใจ แนะนำวิธีเรียนรู้และวิธีจัดการสร้างความรู้ ออกแบบกิจกรรมและสร้างนวัตกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนมีบทบาทเป็นนักวิจัยพัฒนาระบบการเรียนรู้เพื่อผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน (National Strategy Secretariat Office, 2018)

กระบวนการจัดการเรียนรู้เป็นกระบวนการที่สำคัญ ผู้สอนต้องพยายามคัดสรรกระบวนการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพ รวมทั้งปลูกฝัง เสริมสร้างคุณลักษณะอันพึงประสงค์ พัฒนาทักษะต่าง ๆ อันเป็นสมรรถนะที่สำคัญที่ต้องทำให้เกิดกับผู้เรียน ซึ่งแนวทางในการจัดการเรียนรู้ต้องเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยยึดหลักว่าผู้เรียนสำคัญที่สุด เชื่อว่าทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ ยึดประโยชน์ที่เกิดขึ้นกับผู้เรียน กระบวนการจัดการเรียนรู้ต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มศักยภาพ คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลและพัฒนาการทางสมอง โดยมีกระบวนการเรียนรู้ที่ผู้เรียนจะต้องอาศัยกระบวนการเรียนรู้ที่หลากหลายเป็นเครื่องมือที่จะนำพาตนเองไปสู่เป้าหมายของหลักสูตร กระบวนการเรียนรู้ที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน อาทิ กระบวนการเรียนรู้แบบบูรณาการ กระบวนการเรียนรู้แบบประสบการณ์จริง กระบวนการปฏิบัติ ลงมือทำจริง กระบวนการจัดการ กระบวนการวิจัย (Ministry of Education, 2008) การจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์จึงมิใช่เพียงการสอนให้นักเรียนสามารถบวก ลบ คูณ หารและทำโจทย์ได้เท่านั้น เราจะต้องมีกระบวนการฝึกทักษะ กระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์ และการประยุกต์ความรู้มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหา จัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ฝึกปฏิบัติให้คิดเป็น ทำเป็น รักการคิด และเกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแนวคิดในการจัดการเรียนรู้อิงคณิตศาสตร์จึงเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญและจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการ นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยมีเป้าหมายเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้รับการพัฒนาแบบองค์รวมทั้งความรู้ ความคิด และทักษะทางสังคม ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ที่หลากหลายตามลักษณะของเนื้อหาคณิตศาสตร์และความสามารถที่ต้องการพัฒนา การจัดการเรียนรู้เป็นการสร้างประสบการณ์ให้นักเรียนได้เรียนรู้และพัฒนาผ่านปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ตามบริบทโลกจริง (Jabthaisong, Yamrung and Langka, 2023)

กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เป็นการจัดการเรียนรู้ กระบวนการและประสบการณ์ตรงทางคณิตศาสตร์ ใช้การเรียนรู้เป็นกลุ่มในห้องเรียน ในห้องเรียนหรือนอกห้องเรียน โดยจัดให้นักเรียนได้เข้าร่วมกิจกรรม ณ ที่ใดที่หนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดให้ พร้อมทั้งมีการเข้าร่วมกิจกรรมด้านวิชาการและด้านนันทนาการ เพื่อเพิ่มพูนความรู้ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งค่ายคณิตศาสตร์เป็นกิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้ที่สำคัญในการช่วยเสริมสร้างความสามารถในด้านต่าง ๆ ให้กับนักเรียน ช่วยให้นักเรียนเห็นคุณค่าและประโยชน์ของคณิตศาสตร์ นอกจากนี้การจัดการค่ายคณิตศาสตร์ยังสามารถจัดกิจกรรมที่ช่วยส่งเสริมทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ให้กับนักเรียนได้เป็นอย่างดี เช่น ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะการให้เหตุผล หรือความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยสอดแทรกอยู่ในกิจกรรมต่าง ๆ อีกทั้งการจัดค่ายคณิตศาสตร์โดยแบ่งนักเรียนปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ เป็นกลุ่ม จะทำให้นักเรียนฝึกการทำงานเป็นทีม ยอมรับฟังเหตุผลของคนอื่น ๆ มีการวางแผนการทำงานและรับผิดชอบในหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย เป็นการปลูกฝังลักษณะอันพึงประสงค์ จะเห็นว่าค่ายคณิตศาสตร์มีประโยชน์ทั้งในด้านความรู้และด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ จึงควรให้ความสำคัญและจัดให้มีค่ายคณิตศาสตร์แก่นักเรียนอยู่เสมอ (Pansuwannaporn, Thaneepoon and Poopra, 2016) ประกอบกับการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-Based Learning, PBL) เป็นรูปแบบหนึ่งของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนค้นคว้าหาความรู้ สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้ที่ยึดผู้เรียนเป็นสำคัญ เป็นการ

เรียนรู้เกิดจากการปฏิบัติจริง จากการหาความรู้และการลงมือกระทำ มีความสามารถในการใช้ความรู้ นั้น ๆ เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด การเรียนรู้โดยใช้โครงงานนั้น ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมหรือประสบการณ์เดิมกับความรู้ใหม่แล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม (Thongame, 2018) การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานมีขั้นตอนการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ดังนี้ 1) สำรวจและกำหนดปัญหา 2) วางแผนปฏิบัติงาน 3) ดำเนินงานตามแผนปฏิบัติการและเรียนรู้การปฏิบัติงาน 4) ประเมินผลงานและบทเรียน และ 5) นำเสนอผลงาน บทเรียนและการพัฒนาต่อไป (Chaisawat and Phomipan, 2024) โดยทุกขั้นตอนมีการทำงานแบบร่วมมือ ร่วมกันคิดร่วมกันทำงานเพื่อเป้าหมายของความสำเร็จ ฝึกการเป็นผู้นำและผู้ตามที่ดี รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น โดยผู้สอนมีบทบาทในการเป็นผู้นำและสนับสนุนการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยการตั้งคำถามที่ กระตุ้นการคิด การให้ข้อมูลย้อนกลับที่สร้างสรรค์ และการจัดหาทรัพยากรที่จำเป็น คอยให้คำแนะนำ ปรับปรุงความรู้ให้ สมบูรณ์ จนทำให้เกิดผลผลิตหรือผลงาน

จากที่กล่าวมาข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมค่าย คณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านการ จัด กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง เรียนรู้กระบวนการต่าง ๆ ได้ ด้วยตนเอง โดยผู้เรียนสามารถเลือกเรื่องที่สนใจศึกษาได้ด้วยตนเอง ตามความสนใจหรือความถนัด มีการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา ได้อย่างเป็นระบบ เป็นขั้นตอน สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์จริงได้ และยังทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชา คณิตศาสตร์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ผ่านการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้น ประถมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบ้านเหล่าแถมดงกลาง จำนวน 43 คน ซึ่งเลือกจาก จำนวนสัดส่วนของนักเรียนที่ลงทะเบียนตอบรับการเข้าร่วมโครงการค่ายคณิตศาสตร์ เป็นกลุ่มเป้าหมายสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นวางแผน 2) ขั้นดำเนินการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ และ 3) ขั้นประเมินผลการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ โดยมีลักษณะของกิจกรรม 2 ลักษณะ คือ กิจกรรมวิชาการและกิจกรรมนันทนาการ เสนอผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาความเหมาะสมของกิจกรรม ค่ายคณิตศาสตร์ ผลปรากฏว่ากิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ในครั้งนี้มีความเหมาะสมมาก

2) แบบประเมินความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่เข้าร่วมกิจกรรม ค่ายคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนที่ต้องการประเมิน 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสำรวจค้นหาปัญหา 2) การวางแผนการ ทำงาน 3) การลงมือปฏิบัติโครงงาน 4) การวิเคราะห์ข้อมูล และ 5) การนำเสนอผลงาน โดยใช้รูปแบบการประเมิน แบบรูบริก (Rubric score) ระดับคุณภาพ 5 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 คะแนน ตามลำดับความสามารถจากระดับต่ำสุด ไปสู่ระดับสูงสุด โดยพิจารณาจากผลการปฏิบัติโครงงาน เสนอผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาประเมินความสอดคล้องของ ข้อคำถามกับความสามารถในการทำโครงงานทั้ง 5 ขั้นตอน ผลการประเมินพบว่า แบบประเมินมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ ระหว่าง 0.67–1.00 และมีค่าความเชื่อมั่นตามวิธีของครอนบาค (Cronbach's alpha) เท่ากับ 0.95

3) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านการจัดกิจกรรม 2) ด้านบรรยากาศการจัดกิจกรรม และ 3) ด้านประโยชน์ รวมทั้งสิ้น 15 ข้อ โดยลักษณะของแบบสอบถาม เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) มี 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert's scale) แล้วนำไปเทียบเกณฑ์การแปล ความหมาย 4.50 - 5.00 หมายถึง ความเหมาะสมมากที่สุด 3.50 - 4.49 หมายถึง ความเหมาะสมมาก 2.50 - 3.49 หมายถึง ความเหมาะสมปานกลาง 1.50 - 2.49 หมายถึง ความเหมาะสมน้อย 1.00 - 1.49 หมายถึง ความเหมาะสมน้อยที่สุด เสนอ ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามกับความพึงพอใจทั้ง 3 ด้าน ผลการประเมินพบว่า แบบ ประเมินมีค่าดัชนีความสอดคล้อง อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 และมีค่าความเชื่อมั่นตามวิธีของ ครอนบาค (Cronbach's alpha) เท่ากับ 0.91

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ออกแบบกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ โดยมีขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพของกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงงานของนักเรียน ดังนี้

1.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน เอกสารเกี่ยวกับกรอบแนวคิดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียนและเนื้อหาสาระรายวิชาคณิตศาสตร์

1.2 สร้างกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียน ผู้วิจัยออกแบบค่ายให้มีกิจกรรมที่หลากหลายและต่อเนื่องเป็นลำดับขั้นตอน โดยวันแรกของการจัดกิจกรรมค่ายจะมีกิจกรรมละลายพฤติกรรม เพื่อสร้างบรรยากาศที่เป็นกันเองและกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความกระตือรือร้น มีกิจกรรมฐานการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ โดยมีหัวข้อที่แตกต่างกัน ได้แก่ ฐานการแก้ปัญหาเชิงตรรกะ ฐานเกมคณิตคิดสนุก ฐานรูปทรง ฐานการหาพื้นที่ ฐานความน่าจะเป็น ฐานทายวันเกิด หลังจากผ่านฐานกิจกรรมแล้วจะมีกิจกรรมกลุ่มเพื่อให้นักเรียนทำโครงงานคณิตศาสตร์ร่วมกัน โดยมีขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การสำรวจค้นหาปัญหา 2) การวางแผนการทำงาน 3) การลงมือปฏิบัติโครงงาน 4) การวิเคราะห์ข้อมูล และ 5) การนำเสนอผลงาน ในวันที่สองจะมีการนำเสนอผลงานโครงงานคณิตศาสตร์ โดยการเขียนสรุปและนำเสนออธิบายแนวคิด วิธีการ และสิ่งที่ได้เรียนรู้ พร้อมรับฟังข้อเสนอแนะจากกรรมการ จากนั้นปิดท้ายด้วยกิจกรรมสรุปและสะท้อนผลการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้ทบทวนสิ่งที่ตนเองได้รับและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

1.3 นำกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ เสนอผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสม ดังนี้ 1) ชื่อกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ 2) วัตถุประสงค์ 3) วัสดุและอุปกรณ์ 4) การดำเนินกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ และ 5) การวัดและประเมินผล

1.4 ปรับปรุงแก้ไขกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ที่ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

2. ดำเนินการจัดทำหนังสือขอความอนุเคราะห์จัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ไปยังโรงเรียนบ้านเหล่าเขมดงกลาง

3. ดำเนินการจัดค่ายคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียนให้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบ้านเหล่าเขมดงกลาง จำนวน 43 คน ในวันที่ 15-16 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2567 โดยใช้กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4. ประเมินความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียน โดยมีรายละเอียดการประเมินดังนี้

4.1 ผู้ประเมินได้รับการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับเกณฑ์การประเมิน ขั้นตอน และวัตถุประสงค์ของการประเมินอย่างชัดเจน เพื่อให้การเก็บข้อมูลมีความน่าเชื่อถือและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีคุณครูและพี่ฐาน รวมทั้งหมดจำนวน 28 คน เป็นผู้ประเมิน

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินเป็นแบบประเมินความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ครอบคลุมองค์ประกอบสำคัญของการทำโครงงาน ได้แก่ 1) การสำรวจและค้นหาปัญหา 2) การวางแผนการทำงาน 3) การลงมือปฏิบัติโครงงาน 4) การวิเคราะห์ข้อมูล และ 5) การนำเสนอผลงาน โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) เพื่อสะท้อนระดับความสามารถของผู้เรียนในแต่ละด้าน

4.3 ผู้ประเมินแต่ละคนได้สังเกตพฤติกรรมการทำโครงงานของนักเรียนตลอดกิจกรรมค่าย พร้อมทั้งใช้แบบประเมินเป็นแนวทางบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบ จากนั้นผู้วิจัยได้รวบรวมแบบประเมินจากผู้ประเมินทั้งหมดเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าคะแนนเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ในภาพรวมและรายด้าน

5. ให้นักเรียนตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์โดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น แล้วนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 1 ภาพกิจกรรมนันทนาการ (ก) และ การเข้าร่วมกิจกรรมฐานของนักเรียน (ข)



ภาพที่ 2 ภาพการปฏิบัติโครงการ (ค) และ ผลงานของนักเรียน (ง)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่เข้าร่วมกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ และความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

การศึกษาความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ผ่านการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย

ผลการศึกษาความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย

ชื่อโครงการ	ความสามารถในการทำโครงการ										ค่าเฉลี่ยรวม		ลำดับ ที่
	การสำรวจ ค้นหาปัญหา		การวางแผน การทำงาน		การลงมือปฏิบัติ โครงการ		การวิเคราะห์ ข้อมูล		การนำเสนอ ผลงาน				
	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	
มหัศจรรย์สามเหลี่ยม	4.21 (0.65)	สูง	4.68 (0.53)	สูงมาก	4.11 (1.83)	สูง	4.43 (0.67)	สูง	3.64 (2.49)	สูง	4.43 (0.63)	สูง	5
กล่องมหัศจรรย์	4.18 (0.66)	สูง	4.50 (0.68)	สูงมาก	4.43 (0.56)	สูง	4.29 (0.70)	สูง	4.46 (0.73)	สูง	4.37 (0.68)	สูง	7
ทอยลูกเต๋าสู่สมรรถ	4.43 (0.78)	สูง	4.39 (0.72)	สูง	4.54 (0.63)	สูงมาก	4.36 (0.72)	สูง	4.75 (0.51)	สูงมาก	4.49 (0.69)	สูง	3
สำรวจถึงขยะ	4.39 (0.67)	สูง	4.25 (0.83)	สูง	4.46 (0.68)	สูง	4.32 (0.76)	สูง	3.96 (0.91)	สูง	4.28 (0.79)	สูง	11
รถไฟไม่ช้า	4.46 (0.68)	สูง	4.50 (0.68)	สูงมาก	4.43 (0.68)	สูง	4.54 (0.63)	สูงมาก	4.50 (0.63)	สูงมาก	4.49 (0.66)	สูง	3
ซูโดกุ	4.00 (0.93)	สูง	4.29 (0.88)	สูง	4.43 (0.73)	สูง	4.21 (0.77)	สูง	4.39 (0.72)	สูง	4.26 (0.82)	สูง	12
กระเป๋ามีมิตรย่อม พร้อมคู่โลก	4.54 (0.68)	สูงมาก	4.61 (0.62)	สูงมาก	4.71 (0.70)	สูงมาก	4.36 (0.77)	สูง	4.71 (0.52)	สูงมาก	4.59 (0.68)	สูงมาก	2
โอริกามีहरษา	4.07 (0.88)	สูง	4.57 (0.82)	สูงมาก	4.54 (0.63)	สูงมาก	4.21 (0.77)	สูง	3.82 (0.76)	สูง	4.24 (0.83)	สูง	13
เสื้อวาดลาย เรขาคณิต	4.32 (0.66)	สูง	4.39 (0.62)	สูง	4.46 (0.73)	สูง	4.32 (0.76)	สูง	4.32 (0.66)	สูง	4.36 (0.69)	สูง	8

ชื่อโครงการ	ความสามารถในการทำโครงการ										ค่าเฉลี่ยรวม		ลำดับ ที่
	การสำรวจ ค้นหาปัญหา		การวางแผน การทำงาน		การลงมือปฏิบัติ โครงการ		การวิเคราะห์ ข้อมูล		การนำเสนอ ผลงาน				
	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	$\bar{X}$ (S.D)	แปล ผล	
สามเหลี่ยมทศนิยม	4.21 (0.62)	สูง	4.68 (0.43)	สูงมาก	4.11 (0.51)	สูง	4.43 (0.52)	สูง	3.64 (0.38)	สูงมาก	4.74 (0.35)	สูงมาก	1
โรงเรียนของฉัน	4.68 (0.47)	สูงมาก	4.57 (0.49)	สูงมาก	4.71 (0.52)	สูงมาก	4.46 (0.68)	สูง	4.54 (0.57)	สูงมาก	4.59 (0.56)	สูงมาก	2
บิงโกคิดเลข	4.29 (0.65)	สูง	4.43 (0.68)	สูง	4.50 (0.63)	สูงมาก	4.21 (0.67)	สูง	4.32 (0.66)	สูง	4.35 (0.66)	สูง	9
เทียนไขไต่สูง	4.36 (0.77)	สูง	4.46 (0.68)	สูง	4.61 (0.62)	สูงมาก	4.50 (0.57)	สูงมาก	4.46 (0.50)	สูง	4.48 (0.64)	สูง	4
กระปุกออมสิน हरषा	4.36 (0.61)	สูง	4.18 (0.71)	สูง	4.64 (0.55)	สูงมาก	4.25 (0.83)	สูง	4.29 (0.75)	สูง	4.34 (0.71)	สูง	10
บันไดงูขวนคิด	4.43 (0.73)	สูง	4.46 (0.57)	สูง	4.39 (0.62)	สูง	4.25 (0.74)	สูง	4.39 (0.62)	สูง	4.39 (0.66)	สูง	6
ค่าเฉลี่ย	4.33 (0.70)	สูง	4.46 (0.66)	สูง	4.47 (0.71)	สูง	4.34 (0.70)	สูง	4.28 (0.76)	สูง	4.43 (0.67)	สูง	

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย โดยภาพรวมอยู่ในระดับสูง ($\bar{X} = 4.43$, S. D. = 0.67) เมื่อพิจารณาขั้นตอนการทำโครงการ พบว่า การลงมือปฏิบัติโครงการ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง ($\bar{X} = 4.47$, S. D. = 0.71) รองลงมาคือ การวางแผนการทำงาน ($\bar{X} = 4.46$, S. D. = 0.66) การวิเคราะห์ข้อมูล ($\bar{X} = 4.34$, S. D. = 0.70) การสำรวจค้นหาปัญหา ($\bar{X} = 4.33$, S. D. = 0.70) และการนำเสนอผลงาน ($\bar{X} = 4.28$, S. D. = 0.76) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารายชื่อโครงการคณิตศาสตร์ พบว่า มีโครงการคณิตศาสตร์รวมทั้งหมด 15 โครงการ โดยโครงการสามเหลี่ยมทศนิยม มีคะแนนสูงเป็นลำดับที่ 1 ($\bar{X} = 4.74$, S. D. = 0.35) รองลงมาลำดับที่ 2 มีจำนวน 2 โครงการที่ค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ กระเป๋ามัดย้อมพร้อมกุ๊โลก ($\bar{X} = 4.59$, S. D. = 0.68) และโรงเรียนของฉัน ($\bar{X} = 4.59$, S. D. = 0.56) ลำดับที่ 3 มีจำนวน 2 โครงการที่ค่าเฉลี่ยเท่ากัน คือ หอยลูกเต๋าสุ่มรด ($\bar{X} = 4.49$, S. D. = 0.69) และรถไฟไม่ช้า ($\bar{X} = 4.49$, S. D. = 0.66) ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์

ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์

ลำดับ	รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
		$\bar{X}$	S. D.	แปลผล
ด้านการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์		4.28	0.80	มาก
1	นักเรียนได้เรียนรู้จากสื่อและแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย	4.58	0.66	มากที่สุด
2	นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองอย่างกระตือรือร้น	3.91	0.86	มาก
3	นักเรียนได้รับการส่งเสริมทักษะการสื่อสาร	4.16	0.89	มาก
4	นักเรียนสามารถนำกิจกรรมประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.30	0.76	มาก
5	กิจกรรมส่งเสริมทักษะการทำงานกลุ่มร่วมกัน	4.47	0.90	มาก
6	นักเรียนได้ทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามความสนใจ	4.33	0.77	มาก
7	กิจกรรมส่งเสริมทักษะการวางแผนและการทำงานอย่างเป็นระบบ	4.23	0.77	มาก

ลำดับ		รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
			$\bar{X}$	S. D.	แปลผล
ด้านบรรยากาศค่ายคณิตศาสตร์			4.39	0.74	มาก
8	มีบรรยากาศที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้		4.44	0.73	มาก
9	การค้นหาคำตอบจากแหล่งเรียนรู้ทำให้เกิดความท้าทาย		4.30	0.67	มาก
10	มีบรรยากาศการเรียนรู้ที่มีความร่วมมือกันระหว่างสมาชิกในกลุ่มและครู		4.44	0.79	มาก
11	มีโอกาสแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อน		4.37	0.78	มาก
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ			4.44	0.74	มาก
12	นักเรียนได้รับการตอบสนองความสนใจใฝ่รู้ของตนเอง		4.37	0.86	มาก
13	นักเรียนได้แนวทางในการศึกษาค้นคว้าและเรียนรู้อย่างเป็นระบบ		4.40	0.75	มาก
14	นักเรียนได้รับการฝึกหัดกระบวนการแก้ปัญหาและการเรียนรู้ของตนเอง		4.53	0.66	มากที่สุด
15	นักเรียนได้รับการสนับสนุนเพื่อการบรรลุจุดมุ่งหมายการเรียนรู้		4.44	0.69	มาก
รวม			4.37	0.76	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า นักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S. D. = 0.76) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจด้านประโยชน์ที่ได้รับอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, S. D. = 0.74) รองลงมาคือ ด้านบรรยากาศค่ายคณิตศาสตร์ ($\bar{X} = 4.39$, S. D. = 0.74) และ ด้านการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ ($\bar{X} = 4.28$, S. D. = 0.80) ตามลำดับ

อภิปรายผล

1. ในการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ใช้แนวคิดและหลักการเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียน พบว่าความสามารถในการทำโครงงานคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย โดยภาพรวมอยู่ในระดับสูง ($\bar{X} = 4.43$, S. D. = 0.67) ที่ผลการวิจัยเป็นเช่นนี้เนื่องจากการทำโครงงานคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์มุ่งพัฒนานักเรียนให้ใช้องค์ความรู้ ทักษะ จากการเรียนรู้และประสบการณ์มาปฏิบัติกิจกรรม มีแนวทางการจัดกิจกรรมที่ยึดหลักการมีส่วนร่วม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ นักเรียนได้ปฏิบัติกิจกรรมผ่านประสบการณ์ที่หลากหลาย ฝึกการทำงานที่สอดคล้องกับชีวิตจริง เน้นการคิดวิเคราะห์ และใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการดำเนินกิจกรรม กระบวนการนี้จึงก่อให้เกิดการพัฒนาความสามารถที่สัมพันธ์กับการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) ที่มุ่งให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้จากประสบการณ์จริง มากกว่าการเรียนรู้เชิงรับฟังจากครูผู้สอนอย่างเดียว โดยเริ่มจากผู้เรียนได้ฝึกทักษะการสำรวจและค้นหาปัญหา จากการตั้งคำถามและค้นหาประเด็นที่ผู้เรียนสนใจ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสะท้อนแนวทางการเรียนรู้เชิงสืบเสาะ (Inquiry-Based Learning) ที่มุ่งเน้นการคิดวิเคราะห์และการค้นคว้าอย่างมีเหตุผล ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะการมองเห็นปัญหาและโอกาสในสถานการณ์รอบตัวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น (Hmelo-Silver, 2004) ต่อมา ผู้เรียนได้เรียนรู้การวางแผนการทำงานร่วมกับเพื่อนในกลุ่ม กำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน การแบ่งหน้าที่ และการจัดการเวลา เป็นการเสริมสร้างทักษะการทำงานร่วมกัน (collaborative learning) ที่สำคัญต่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 จากนั้น ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติโครงงานจริง การปฏิบัติในลักษณะนี้สะท้อนแนวคิดของ Dewey (1938) ที่มองว่าการเรียนรู้เกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อผู้เรียนได้ลงมือทำ เพราะการปฏิบัติจริงช่วยให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายและเชื่อมโยงกับชีวิตจริง เมื่อได้ข้อมูลจากการทำโครงงาน ผู้เรียนยังต้องใช้ทักษะการวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งการตีความ การสังเคราะห์ และการสรุปผลอย่างเป็นระบบ การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการฝึกการคิดเชิงวิพากษ์ (Critical Thinking) ซึ่งมีความสำคัญต่อการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและการตัดสินใจอย่างมีเหตุผล สุดท้ายผู้เรียนได้พัฒนาทักษะการนำเสนอผลงาน ทั้งในรูปแบบการพูด การเขียน และการใช้สื่อประกอบการอธิบาย การนำเสนอเช่นนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Vygotsky (1978) ในทฤษฎี Social Constructivism ที่เน้นบทบาทของการสื่อสารและการเรียนรู้ร่วมกันในสังคม การนำเสนอจึงไม่ใช่เพียงการแสดงผลสำเร็จของโครงงาน แต่ยังเป็นเวทีที่ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความรู้และเสริมสร้างความเข้าใจเชิงลึกจากการปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น ประกอบกับผู้วิจัยออกแบบการจัดกิจกรรมเป็นฐานการเรียนรู้ ซึ่งเป็นฐานที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาความสามารถในการทำโครงงาน โดยเริ่มจากการตั้งคำถามหรือปัญหาแล้วให้ผู้เรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมฐานร่วมกันวางแผน ออกแบบและดำเนินการโครงงานคณิตศาสตร์จนเกิดผลสรุป เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางการ

เรียนรู้ มีโจทย์หรือปัญหาที่เชื่อมโยงกับสถานการณ์จริง ใช้ทักษะในการคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา สร้างสรรค์ และได้ฝึกทักษะการทำงานร่วมกัน นอกจากนี้ยังเกิดผลลัพธ์เป็นชิ้นงาน (Project Output) ที่จับต้องได้ เช่น รายงาน โมเดล นิทรรศการ คลิป เป็นต้น ผู้เรียนจึงสามารถทำโครงการคณิตศาสตร์ได้เสร็จสมบูรณ์และทันเวลา ดังนั้นการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์โดยใช้โครงงานเป็นฐาน มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาความสามารถในการทำโครงงานของผู้เรียนทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ การสำรวจและค้นหาปัญหา การวางแผนการทำงาน การลงมือปฏิบัติ การวิเคราะห์ข้อมูล และการนำเสนอผลงาน เนื่องจากการเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้มีบทบาทในการคิด การวางแผน การลงมือปฏิบัติ ไปจนถึงการนำเสนอผลงาน ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถใช้ความรู้คณิตศาสตร์แก้ปัญหาได้จริง และพร้อมต่อการเรียนรู้ตลอดชีวิตในโลกยุคใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับ Phurngkuson, Kongarun and Onsri (2023) กล่าวว่า การจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เป็นกิจกรรมเสริมหลักสูตรนอกห้องเรียน โดยจัดให้นักเรียนเข้าร่วมกิจกรรม ณ สถานที่หนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนดให้ มีการจัดกิจกรรมทางวิชาการและนันทนาการ เพื่อเพิ่มพูนความรู้ ประสบการณ์ ทักษะ กระบวนการและความสามารถทางคณิตศาสตร์ในสภาพแวดล้อมที่จัดให้ สอดคล้องกับ Kongarun and Phungkuson (2022) กล่าวว่า กิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เป็นกิจกรรมกลุ่มที่ทำให้ผู้เรียนได้ใช้ความสามารถในการสื่อสารเพื่อถ่ายทอดความรู้ความเข้าใจของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์จากการรับข้อมูลอย่างมีเหตุผลและเหมาะสม ผู้เรียนได้ใช้ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ได้อย่างเป็นระบบ สร้างสรรค์และมีวิจารณญาณ ใช้ความสามารถในการตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม นอกจากนี้ผู้เรียนยังได้นำความสามารถในการใช้ทักษะชีวิตมาใช้ในการทำงานกลุ่ม ปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ที่เผชิญ และผู้เรียนยังได้นำความสามารถในการเลือกและใช้เทคโนโลยีมาพัฒนาตนเองและสังคมได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องกับ Panarach (2015) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนากิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะความเป็นครู สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนากิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ สามารถดำเนินการใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวางแผน เป็นการเตรียมการและออกแบบการจัดค่ายคณิตศาสตร์ 2) การดำเนินการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ เป็นการนำกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย และ 3) การประเมินผลการดำเนินงาน เป็นการพิจารณาด้านปฏิกิริยาตอบสนอง ด้านการเรียนรู้ ด้านพฤติกรรม และด้านผลลัพธ์จากการจัดกิจกรรม ซึ่งกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์สามารถพัฒนาทั้งนักศึกษาวิชาชีพครูและผู้เรียนให้มีสมรรถนะทางคณิตศาสตร์และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ได้ และสอดคล้องกับ Thongkam *et al.* (2022) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาหลักสูตรพัฒนาความสามารถในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานผ่านการจัดค่ายวิชาการแบบบูรณาการ: กรณีศึกษาโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านเขาจ้าว อำเภอปรามบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน และการจัดค่ายวิชาการแบบบูรณาการหลังการเข้าร่วมกิจกรรมของครูผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ร้อยละ 100

2. ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.37$, S.D. = 0.76) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจด้านประโยชน์ที่ได้รับอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.44$, (S.D.) = 0.74) รองลงมา คือ ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ ($\bar{X} = 4.39$, S.D. = 0.76) และ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.28$, S.D. = 0.80) ตามลำดับ ที่ผลการวิจัยเป็นเช่นนี้เนื่องจาก ผู้วิจัยออกแบบการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นวางแผน 2) ขั้นตอนการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ และ 3) ขั้นประเมินผลการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ โดยมีลักษณะของกิจกรรม 2 ลักษณะ คือ กิจกรรมวิชาการเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมให้เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้เรียนที่มาเข้าค่าย และกิจกรรมนันทนาการเน้นให้ผู้เรียนผ่อนคลายความเครียด เกิดความสนุกสนานในการเรียนรู้ เป็นการสร้างความรู้และเสริมทัศนคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ ประกอบกับแนวคิดที่ต้องการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์เพื่อส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจ และความสนใจในวิชาคณิตศาสตร์ให้กับผู้เรียนผ่านการเรียนรู้ที่ไม่จำกัดอยู่ในห้องเรียน ใช้กิจกรรมที่สนุกสนาน ทำง่าย และเน้นการมีส่วนร่วม ออกแบบกิจกรรมเป็นฐานการเรียนรู้ ซึ่งเป็นฐานที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาความสามารถในการทำโครงงาน โดยนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับเกมส์ โจทย์ปัญหา การละเล่น หรือกิจกรรมนันทนาการ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้อย่างสนุก ทำให้รู้สึกเหมือนเล่นมากกว่าเรียนแต่ได้ความรู้ไปพร้อมกับการเล่น บรรยากาศในค่ายเป็นกันเอง ไม่มีการสอบทำให้ผู้เรียนผ่อนคลายและกล้าแสดงออกมากขึ้น ได้เรียนรู้ผ่านการลงมือทำ จึงส่งผลให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ ดังนั้นผู้ที่เข้าร่วมกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์จะได้รับการพัฒนาทั้งความรู้ทางคณิตศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ทักษะทางวิทยาศาสตร์และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ที่สำคัญ ได้แก่ การทำงานเป็นทีม เรียนรู้การอยู่ร่วมกัน การเป็นผู้นำและผู้ตามที่ดีการปรับตัวการให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ฝึกความมีวินัย อดทน เสียสละ ตรงต่อเวลา และเกิดเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนและในชีวิตประจำวันได้ต่อไป (Panarach, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับ Dureh (2021) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานกับการพัฒนาการเรียนรู้ในรายวิชาตัวแบบสถิติ ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษามีความพึงพอใจในประเด็นการประเมินเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้เกม กิจกรรม และโครงงานเป็นฐานอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ Wimoolchart and Nillapun (2016) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงาน โดยใช้ข้อมูลท้องถิ่นเพื่อส่งเสริมความสามารถในการทำ

โครงการคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนทำโครงการตามความถนัดและความสนใจโดยการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม นักเรียนมีความสุขในการเรียนและคิดว่าการเรียนเรื่องเรขาคณิตเป็นเรื่องที่ตนเองพบเห็นอยู่ในชีวิตประจำวันทำให้สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้เรียนเข้ากับชีวิตประจำวันของตนเองได้ และความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนในภาพรวมอยู่ในระดับดี และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงการโดยใช้ข้อมูลท้องถิ่นเพื่อส่งเสริมความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์อยู่ในระดับพึงพอใจมาก สอดคล้องกับ Junsong (2018) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาและการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ด้วยค่ายคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมัธยมตระการพืชผล ผลการวิจัยพบว่า เจตคติของนักเรียนที่มีต่อวิชาคณิตศาสตร์หลังเข้าค่ายคณิตศาสตร์โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก และสอดคล้องกับ Chuaytane and Sinprachim (2020) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐานร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นเพื่อส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐานร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นในภาพรวมอยู่ในระดับมาก

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ผ่านการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการทำโครงการคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่เข้าร่วมกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์อยู่ในระดับสูง สะท้อนว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถพัฒนาความสามารถในการทำโครงการได้อย่างมีคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าการทำโครงการคณิตศาสตร์ผ่านการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างความสามารถในการทำโครงการของนักเรียนได้อย่างชัดเจน เมื่อตรวจสอบเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการลงมือปฏิบัติโครงการมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือการวางแผนการทำงาน การวิเคราะห์ข้อมูล การสำรวจค้นหาปัญหา และการนำเสนอผลงานตามลำดับ ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่ากิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์มีส่วนสำคัญในการส่งเสริมความสามารถในการทำโครงการของนักเรียน โดยเฉพาะความสามารถที่เกี่ยวข้องกับการลงมือปฏิบัติจริงและการวางแผนการทำงาน ซึ่งเป็นทักษะพื้นฐานที่สอดคล้องกับลักษณะของกิจกรรมที่มุ่งเน้นการเรียนรู้เชิงปฏิบัติและการทำงานร่วมกันเป็นทีม

2. ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่านักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนปลาย มีความพึงพอใจต่อการทำโครงการคณิตศาสตร์ผ่านการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์โดยรวมอยู่ในระดับมาก ซึ่งสะท้อนว่าผู้เรียนส่วนใหญ่มีทัศนคติที่เอื้อต่อการเรียนรู้จากกิจกรรมดังกล่าวและเห็นว่าการจัดค่ายตอบสนองความต้องการด้านการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากลักษณะของกิจกรรมที่เน้นการปฏิบัติจริง การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และการได้รับคำชี้แนะจากผู้สอน ทำให้ผู้เรียนรู้สึกมีส่วนร่วมและได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ที่เป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

1.1 การจัดกิจกรรมต่าง ๆ ควรมีความยืดหยุ่นและปรับให้มีความเหมาะสมตามความสามารถของนักเรียน
1.2 กิจกรรมที่ต้องใช้อุปกรณ์ วิทยากรควรเตรียมให้เพียงพอกับจำนวนนักเรียนและทดลองใช้ให้คล่องแคล่ว เพื่อจะได้ไม่ทำให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้หยุดชะงัก

1.3 การจัดกลุ่มนักเรียนให้ดำเนินการจัดกลุ่มโดยให้คล่องกัน โดยการพิจารณาด้านต่าง ๆ เช่น ความสามารถ เพศ ระดับชั้น สุขภาพ เป็นต้น เพื่อให้การดำเนินการจัดกิจกรรมเป็นไปอย่างราบรื่น ทุกคนมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมตามศักยภาพของตนเองได้อย่างเต็มที่

1.4 ควรออกแบบกิจกรรมที่เชื่อมโยงกับสถานการณ์จริงหรือปัญหาในชีวิตประจำวัน เพื่อเพิ่มแรงจูงใจและสร้างเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ เช่น การแก้ปัญหการวัดพื้นที่ในชุมชน การคำนวณต้นทุนกำไรของการทำอาหารพื้นบ้าน เป็นต้น

1.5 ควรพิจารณารายละเอียดด้านการออกแบบกิจกรรม เวลาในการทำกิจกรรม หรือการปรับระดับความยากง่ายของเนื้อหาให้เหมาะสมกับความหลากหลายของผู้เรียน เพื่อยกระดับความพึงพอใจให้ครอบคลุมผู้เรียนทุกกลุ่ม

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาผลการจัดกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์

2.2 ควรทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนากิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ที่ส่งเสริมความสามารถด้านอื่นๆ เช่น การคิดแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น

2.3 ควรทดลองวิจัยกิจกรรมค่ายที่เน้นทักษะศตวรรษที่ 21 เพิ่มเติม เช่น การคิดเชิงวิพากษ์ การคิดสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาเชิงซับซ้อน โดยออกแบบโจทย์ที่เปิดกว้างให้ผู้เรียนได้ฝึกการคิดอย่างลึกซึ้ง

2.4 ควรมีการเปรียบเทียบผลของกิจกรรมค่ายคณิตศาสตร์ที่ใช้โครงงานเป็นฐานกับรูปแบบการเรียนรู้อื่น ๆ เช่น Problem-Based Learning (PBL) หรือ STEM Education เพื่อหาจุดเด่นและข้อจำกัดของแต่ละวิธีในการพัฒนาผู้เรียน

จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

ผู้วิจัยได้เข้ารับการอบรมจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักสูตร Social Sciences Research ในวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด และผู้วิจัยได้ทำหนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลจากโรงเรียน ขออนุญาตผู้ปกครองในการเก็บข้อมูลนักเรียน ขอความยินยอมด้วยวาจาจากนักเรียน และได้ทำการแจ้งหัวข้อวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนวิธีที่จะปฏิบัติต่อนักเรียน ประโยชน์ที่จะได้รับการทำวิจัย ระยะเวลาที่ต้องใช้ทำวิจัย และผู้วิจัยได้ทำการปกปิด ชื่อ-นามสกุล และคะแนนของนักเรียนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การถ่ายภาพหรือการบันทึกบันทึกวิดีโอขณะจัดกิจกรรมได้ขอความยินยอมจากนักเรียนแล้ว

References

- Chaisawat, W. and Phomipan, T. W. (2024). A Development of Innovation and Building Learning Skills in the 21st Century Using Project-based Learning Management Integrated with Local Learning Sources in the Community of Roi-Ed Province (in Thai). **Research Community and Social Development Journal**, 18(1), 128-146.
- Chuytanee, N. and Sinprachim, T. (2020). The Development of Learning Activities through Project based Learning on Local Wisdom to Enhance Undergrad's Collaboration Skills (in Thai). **Research report**. Rajamangala University of Technology Srivijaya.
- Dewey, J. (1938). **Experience and education**. New York: Macmillan.
- Dureh, N. (2021). The Project-Based Learning and Growth Score of Statistical Modeling Subject. **Journal of Education Khon Kaen University**, 44(1), 65-76.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn?. **Educational Psychology Review**, 16(3), 235-266.
- Jabthaisong, J., Yamrung, R. and Langka, W. (2023). The scenario of learning management for promoting mathematical competencies of students in compulsory education level in the next decade (2022-2032) (in Thai). **Journal of Social Science and Cultural**, 7(12), 151-162.
- Junsong, S. (2018). Developing skills in problem solving and mathematical reasoning with math camp. For student high school in Matthayomtrakarnphutphon School (in Thai). **Master's Thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani Rajabhat University.
- Kongarun, K. and Phuengkuson, N. (2022). Development of Math Camp Activities to Enhance Learners' Key Competency for Junior High School (in Thai). **Academic Journal of Phetchaburi Rajabhat University**, 12(2), 30-38.
- Ministry of Education, (2008). Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008) (in Thai). Retrieved 9 June 2025, from **Website Name**: http://academic.obec.go.th/images/document/1559878925_d_1.pdf
- National Strategy Secretariat Office, (2018). National Strategy 2018 – 2037 (in Thai). Retrieved 9 June 2025, from **Website Name**: https://www.nesdc.go.th/download/document/SAC/NS_PlanOct2018.pdf
- Panarach, Y. (2015). Development of Mathematics Camp to Enhance Pre-Service Teacher' Competency in Mathematics Program (in Thai). **Suratthani Rajabhat Journal**, 2(2), 41-63.
- Pansuwannaporn, W., Thaneepoon, N. and Poopra, S. (2016). Maths Camp Activities to Develop Mathematical Reasoning Skills for Mathayom 1 Students of Singburi School (in Thai). **Social Sciences Research and Academic Journal**, 11(Special issue), 25-42.
- Phurungkun, N., Kongarun, K. and Onsri, P. (2023). Math Camp activity to Promote Mathematical Problem-Solving Skill (in Thai). **Phetchabun Rajabhat Journal**, 25(1), 25-32.

- Thongaim, A. (2018). Project Based Learning for Developing student in the 21st century (in Thai). **Valaya Alongkorn Review (Humanities and Social Science)**, 8(3), 185-199.
- Thongkam, S., Prapasanobol, V., Wattana, W., Sresakorn, C. and Keawborisut, A. (2022). The Development of a Project-Based Learning Management Curriculum through an Integrated Academic Camp: A Case Study of Ban Khao Chao Border Patrol Police School, Pranburi District Prachuap Khiri Khan Province (in Thai). **Journal of Kasetsart Educational Review**, 37(2), 91-102.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wimoolchart, N. and Nillapun, M. (2016). The Development of Learning Activities by Using Project Approach And Local Information to Enhance Mathematic Project Ability for Fifth Grade Students (in Thai). **Veridian E-Journal Silpakorn University**, 9(2), 787-800.



Promoting Electricity Usage Behaviors among Secondary School Dormitory Students to Reduce the School's Carbon Footprint

Kittikhun Seawsakul^{1,*}, Sawarin Nilauthai¹ and Thammik Khanthong¹

¹*Educational Research Development and Demonstration Institute, Srinakharinwirot University*

**Email: kittikhuns@g.swu.ac.th*

Received <15 Jul. 2025>; Revised <5 Nov. 2025>; Accepted <6 Nov. 2025>

Abstract

This research implemented a learning activity aimed at promoting efficient electricity usage behavior among secondary school dormitory students (Grades 7–12), with the goal of reducing electricity consumption that indirectly contributes to the school's carbon footprint. The findings revealed that students demonstrated significant improvements in both understanding and attitudes toward electricity use and its impact on global warming and greenhouse gas emissions. The average understanding score increased from 11.86 to 23.82 ($t = 39.89$, $p = .000$). Students' attitudes after participating in the learning activity also improved, rising from an average score of 4.29 to 4.46. In particular, students expressed stronger agreement with the idea that addressing global warming should begin with individual actions, with the average score increasing from 3.98 to 4.60. Students also changed their electricity usage behaviors, reducing the average daily usage of electrical appliances from 4.18 to 3.87 hours per day ($t = -4.82$, $p = .000$). Key behavior changes included reducing phone charging and computer usage time, unplugging devices, and turning off lights during the day. Electricity usage data collected from the dormitory students showed a reduction of 1,307 units compared to the previous year, which translates to a decrease in carbon footprint by 783 kgCO₂. After the learning activity, it was found that students' electricity usage behaviors were influenced by multiple factors, including personal habits, the environment, and social motivation. Therefore, promoting energy-saving behaviors should be approached holistically, focusing on three key aspects: providing knowledge, fostering motivation, and improving the residential environment. These strategies aim to instill long-term sustainable electricity usage behaviors in students.

Keywords: Electricity; Carbon Footprint; Dormitory Students

การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนหอพักระดับมัธยมศึกษาที่ส่งผลต่อการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงเรียน

กิตติคุณ เชี่ยวสกุล^{1*} สวรินทร์ นิลอุทัย¹ และ ธรรมิก ชันทอง¹

¹สถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

*Email: kittikhuns@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในกลุ่มนักเรียนหอพักระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมของโรงเรียน ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มนักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงด้านความเข้าใจและทัศนคติที่ดีต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จะส่งผลต่อภาวะโลกร้อนและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีนัยสำคัญ โดยคะแนนความเข้าใจเพิ่มจาก 11.86 เป็น 23.82 คะแนน ($t = 39.89, p = .000$) ทัศนคติหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.29 เป็น 4.46 นักเรียนมองว่าการแก้ไขปัญหาสภาวะโลกร้อนควรเริ่มต้นจากตัวเราเองโดยมีค่าเฉลี่ยขึ้นเป็น 4.60 จากก่อนหน้า 3.98 นักเรียนมีการเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยลดเวลาใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยจาก 4.18 เป็น 3.87 ชั่วโมงต่อวัน ($t = -4.82, p = .000$) พฤติกรรมที่ปรับเปลี่ยน ได้แก่ ลดเวลาชาร์จโทรศัพท์และการใช้คอมพิวเตอร์ การถอดปลั๊กและการปิดหลอดไฟในตอนกลางวัน ผลจากการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักเปรียบเทียบกับปีที่แล้วมีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงไป 1,307 หน่วย คิดเป็นการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็น 783 kgCO₂ หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้พบว่าพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น พฤติกรรมส่วนตัว สภาพแวดล้อม และการสร้างแรงจูงใจทางสังคม ดังนั้นการส่งเสริมพฤติกรรมประหยัดพลังงานควรดำเนินการควบคู่กัน 3 ด้าน ได้แก่ การให้ความรู้ การสร้างแรงจูงใจ และการปรับปรุงสภาพแวดล้อมที่พวกอาศัย เพื่อปลูกฝังพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนในอนาคต

คำสำคัญ: พลังงานไฟฟ้า; คาร์บอนฟุตพริ้นท์; นักเรียนหอพัก

บทนำ

ในปัจจุบัน กิจกรรมของมนุษย์ล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การใช้พลังงาน การขนส่ง และการบริโภค ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อปัญหาภาวะโลกร้อน โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่มีปริมาณมากและคงอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานถึง 200 ปี (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC, 1995) รายงานจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) ระบุว่า ประเทศไทยปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ 263 ล้านตันในปี 2559 โดยมีแหล่งสำคัญจากภาคพลังงานถึง 74% (Sawangarom *et al.*, 2023) เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หลายหน่วยงานจึงใช้ “คาร์บอนฟุตพริ้นท์” เป็นตัวชี้วัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยหน่วยงานของผู้อยู่อาศัยได้ตั้งเป้าหมายสู่ Carbon Neutral ภายในปี 2050 และ Net Zero Emission ภายในปี 2065 (SWU Zero Carbon) ซึ่งประเทศไทยได้ประกาศเจตนารมณ์ในการประชุม COP26 (Conference of the Parties) ที่เมืองกลาสโกว์ ว่าจะบรรลุเป้าหมาย Carbon Neutrality ภายในปี 2050 และ Net Zero Greenhouse Gas Emission ภายในปี 2065 ซึ่งเป็นเป้าหมายเดียวกับที่ SWU ได้ตั้งไว้ ด้วยมาตรการลดการใช้พลังงาน เช่น การเปลี่ยนหลอดไฟ LED การใช้เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 และส่งเสริมพลังงานทางเลือก เช่น solar cell การศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะในระดับสถานศึกษาที่สามารถส่งเสริมพฤติกรรมการลดการใช้พลังงานของนักเรียน อันจะนำไปสู่การลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงเรียนอนาคต การผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าในบริบทของโรงเรียนถือเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่โรงเรียนใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การเปิดเครื่องปรับอากาศ พัดลม ไฟส่องสว่าง คอมพิวเตอร์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องเรียน หอพัก และสำนักงาน ล้วนแต่มีส่วนในการใช้พลังงานที่มีแหล่งกำเนิดจากการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น การวัดผลและรายงานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามมาตรฐานสากลที่ยอมรับทั่วโลก คือ GHG Protocol (The Greenhouse Gas Protocol) โดยในด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 Scopes (World Resources Institute and WBCSD, 2013) ได้แก่

Scope 1 (Direct Emission) หมายถึง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่โรงเรียนเป็นเจ้าของหรือควบคุมโดยตรง เช่น การใช้เชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ในยานพาหนะของโรงเรียนอย่างรถโรงเรียนหรือรถยนต์เพื่อการบริหารงาน หรือการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (generators) ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว รวมถึงการรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศและตู้แช่ต่าง ๆ ซึ่งในบริบทของโรงเรียนโดยทั่วไปแล้ว การปล่อยก๊าซในขอบเขตนี้มักจะมีปริมาณไม่มากนักเมื่อเทียบกับขอบเขตอื่น

Scope 2 (Indirect Emission) หมายถึง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่เกิดจากการใช้พลังงานที่ซื้อจากภายนอก ซึ่งในบริบทของโรงเรียนจะหมายถึง การใช้ไฟฟ้า เป็นหลัก แม้ว่าโรงเรียนจะไม่ได้เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง แต่การใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้โรงไฟฟ้าต้องผลิตไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ยังคงใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในโรงเรียน เช่น การใช้แสงสว่าง การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในห้องเรียนและห้องปฏิบัติการ และการทำงานของระบบปรับอากาศ

Scope 3 (Other Indirect Emission) หมายถึง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ เป็นขอบเขตที่ครอบคลุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของโรงเรียน แต่เป็นแหล่งกำเนิดที่ไม่ได้ถูกควบคุมโดยโรงเรียน ตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับโรงเรียน ได้แก่ การเดินทางของนักเรียนและบุคลากรเป็นการเดินทางมาโรงเรียนด้วยรถยนต์ส่วนตัวหรือรถสาธารณะ การเดินทางเพื่อติดต่อธุรกิจเป็นการเดินทางของบุคลากรเพื่อไปอบรมหรือประชุมภายนอก การจัดซื้อจัดจ้างเป็นการผลิตและขนส่งอุปกรณ์การเรียน การจัดการขยะเป็นการบำบัดและกำจัดขยะที่เกิดขึ้นในโรงเรียน ซึ่งก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซมีเทน เป็นต้น

การใช้งานไฟฟ้าภายในโรงเรียนและในชีวิตประจำวันนั้นมีส่วนอย่างมากในการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อม นอกจากจะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้วยังช่วยส่งเสริมความตระหนักรู้และพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในโรงเรียน การสอนให้นักเรียนเข้าใจว่าการใช้ไฟฟ้าทุกยูนิตมีที่มาจากการผลิตที่ยังคงต้องพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก และกระบวนการผลิตนี้เองที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อโลก จะช่วยให้นักเรียนมองเห็นความเชื่อมโยงที่ชัดเจนระหว่างพฤติกรรมของตนเองกับปัญหาระดับโลก เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจในหลักการนี้แล้ว พฤติกรรมการประหยัดพลังงานที่เคยเป็นเพียงแค่ภาระเบียดเบียนของโรงเรียน จะกลายเป็นความรับผิดชอบส่วนบุคคลที่มาจากความตระหนักรู้ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญในการช่วยลดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ในอนาคต (Sanguanrat, 2020) ในระดับโรงเรียนของผู้อยู่อาศัยได้มีการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักซึ่งตรงกับ Scope 2 โดยตรวจสอบข้อมูลกับงานวิจัย (Udompornphibul and Thonghopit, 2015) พบว่ามีปัจจัยหลายด้านที่ส่งผลต่อพฤติกรรม คือ องค์ความรู้และระดับการศึกษา ซึ่งพบว่านักเรียนที่อยู่ในระดับสูงกว่ามัธยมแนวโน้มที่จะเข้าใจและมีพฤติกรรมการประหยัดพลังงานที่ดีกว่า นอกจากนี้ สภาพเศรษฐกิจและค่านิยมของ

ครอบครัว ก็มีบทบาทสำคัญเช่นกัน เนื่องจากความสามารถในการชำระค่าไฟฟ้าและวัฒนธรรมการประหยัดของครอบครัวส่งผลโดยตรงต่อการเรียนรู้ของนักเรียน อย่างไรก็ตามการสร้างความรู้ความตระหนักรู้ ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในระยะยาว การให้การศึกษาที่เข้าถึงง่ายและกระตุ้นให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จะช่วยให้นักเรียนมีแรงจูงใจที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

การสร้างความรู้ความตระหนักรู้ไม่ได้จำกัดอยู่แค่การให้ข้อมูลเชิงทฤษฎีเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการออกแบบกิจกรรมที่น่าสนใจและสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้ชีวิตประจำวันของนักเรียน เช่น การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น เพื่อให้นักเรียนเข้าใจและตระหนักถึงการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการจัดกิจกรรมเช่นนี้ช่วยสร้างทัศนคติเชิงบวกต่อการอนุรักษ์พลังงานในกลุ่มเยาวชนได้เพิ่มขึ้น (Suebsumran and Saowiang, 2019) การสร้างความรู้ความตระหนักผ่านกิจกรรมเชิงพฤติกรรมเกี่ยวกับการประเมินและลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อส่งเสริมความเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว โดยผ่านการจัดกิจกรรม อบรมและการสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้และการใช้ชีวิตร่วมกัน มีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงาน (Hayiwangoh, 2023) เป็นต้น

ดังนั้น การสร้างความรู้ความตระหนักรู้และการเปลี่ยนแปลงด้านพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียน จึงมีความสำคัญต่อการวางแผนพัฒนาด้านพลังงานของสถานศึกษา เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าจำนวนมากย่อมส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยซึ่งเป็นเรื่ององค์ประกอบหลักของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Matrasongkram and Khunthong, 2020) การสร้างความรู้ความตระหนักรู้ในหมู่นักเรียนและการส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างรู้คุณค่าจึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยให้โรงเรียนสามารถกำหนดแนวทางลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมนั้นไม่ได้มาจากการบังคับ แต่มาจากการที่นักเรียนมีความเข้าใจในคุณค่าของการประหยัดพลังงานและการใช้ทรัพยากรอย่างมีสติ เมื่อนักเรียนตระหนักว่าทุกการเปิด-ปิด สวิตช์มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก นักเรียนจะถูกเปลี่ยนจากผู้ใช้งานไปสู่การเป็นผู้ดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม และเมื่อนักเรียนเติบโตขึ้น ความรู้และพฤติกรรมเหล่านี้จะติดตัวไปและเป็นส่วนหนึ่งในการขับเคลื่อนสังคมให้เดินหน้าไปสู่เป้าหมาย Net Zero ในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการรู้พลังงานไฟฟ้าที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ส่งผลกระทบต่อปล่อยก๊าซเรือนกระจก
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักโรงเรียน
3. เพื่อศึกษาแนวทางในการส่งเสริมพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างคุ้มค่าของนักเรียนในหอพักโรงเรียน
4. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักที่ส่งผลกระทบต่อปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่เป็นสาเหตุปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมาย คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1–6 ที่พักอาศัยในหอพักของโรงเรียนในหน่วยงานของผู้วิจัย ปีการศึกษา 2567 จำนวน 115 คน โดยกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมวิจัยมีจำนวน 90 คน และจากกลุ่มตัวอย่างนี้มีนักเรียนที่พักอาศัยในหอพักต่อเนื่องกันอย่างน้อย 2 ปี จำนวน 56 เพื่อเก็บข้อมูลสถิติเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในปีก่อนหน้า คัดเลือกด้วยวิธีเจาะจงตามเกณฑ์ ได้แก่ เป็นนักเรียนที่พักในหอพักโรงเรียนมาแล้วไม่น้อยกว่า 3 เดือน และไม่รวมผู้ที่ไม่ประสงค์ให้ข้อมูลหรือไม่ได้พักในหอพัก การเข้าถึงกลุ่มตัวอย่างดำเนินการผ่านอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของหอพักโรงเรียน โดยมีการขออนุญาตก่อนเข้าร่วมวิจัย

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวิจัย 3 ประเภทเพื่อเก็บข้อมูล ได้แก่

2.1 แบบทดสอบวัดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าและคาร์บอนฟุตพริ้นท์แบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ คะแนนเต็ม 30 คะแนน ใช้ทั้งก่อนและหลังการเรียนรู้ เพื่อประเมินความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องผลกระทบจากการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หัวข้อการเรียนรู้เกี่ยวข้องกับเรื่อง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสาเหตุและผลกระทบของก๊าซเรือนกระจก แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยและทั่วโลก แนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระดับบุคคลและองค์กร การใช้พลังงานไฟฟ้าและพฤติกรรมประหยัดพลังงาน การออกแบบเนื้อหาอิงตามแนวคิด GreenComp – The European sustainability competence framework (Bianchi, Pisiotis and Cabrera, 2022) เพื่อให้สอดคล้องกับแนวคิดการรับมือกับปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

2.2 แบบสอบถามวัดทัศนคติต่อภาวะโลกร้อนและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยใช้แบบทดสอบที่มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนลิเคิร์ต (Likert Scale) ซึ่งเป็นรูปแบบคำถามที่ให้นักเรียนเลือกคำตอบตามระดับความคิดเห็นที่มีต่อประเด็นคำถามจำนวน 14 ข้อ ครอบคลุมความตระหนักรู้ ความเชื่อ และทัศนคติต่อการมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงคำถามเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดลำดับความสำคัญของบุคคลหรือหน่วยงานในการเริ่มแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม และเหตุผลของการประหยัดพลังงานในชีวิตประจำวัน การออกแบบอิงตามแนวคิด The theory of planned behavior: Frequently asked questions (Ajzen, 2020)

2.3 แบบสำรวจพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในหอพัก เพื่อสำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานของนักเรียนในชีวิตประจำวัน โดยให้นักเรียนระบุข้อมูล ระยะเวลาใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด (หน่วยชั่วโมง/วัน) และความถี่ของพฤติกรรม (ทำเป็นประจำ ถึง ไม่เคยทำเลย) ครอบคลุมเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ พัดลม เครื่องปรับอากาศ โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ ฯลฯ พร้อมใช้ข้อมูลจากมิเตอร์ไฟฟ้าในหอพัก โดยเป็นมิเตอร์ไฟฟ้าแบบแยกห้อง เพื่อคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามฐานข้อมูลการใช้พลังงานจริงรายเดือน แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบอ้างอิงจาก Energy Behavior Models (Frederiks, Stenner and Hobman, 2015) เน้นเกี่ยวกับความเข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนและกลุ่มเยาวชน

ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ เครื่องมือวิจัยถูกตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา และคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) โดยเกณฑ์การยอมรับคือ ≥ 0.5 ขึ้นไป จากนั้นปรับปรุงเครื่องมือก่อนใช้งานจริงปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปทดลองเก็บข้อมูลจริงในกลุ่มตัวอย่าง

3. การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

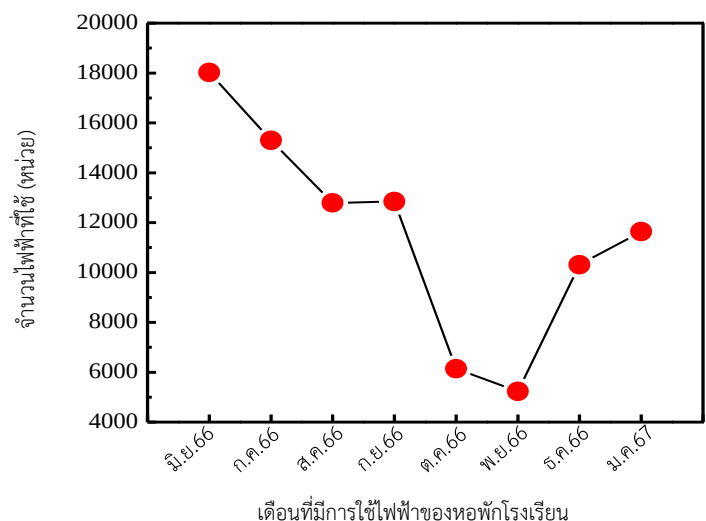
งานวิจัยนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 6 เดือน เพื่อประเมินผลของกิจกรรมส่งเสริมความรู้เกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์และการประหยัดพลังงานที่มีต่อพฤติกรรมของนักเรียนในหอพัก โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 การคัดเลือกและชี้แจงผู้เข้าร่วม เริ่มจากการเปิดรับสมัครนักเรียนผ่านแบบฟอร์มใบสมัคร พร้อมชี้แจงวัตถุประสงค์และกระบวนการดำเนินกิจกรรม จากนั้นให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) เพื่อประเมินความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์และพฤติกรรมการใช้พลังงาน

3.2 การดำเนินกิจกรรมและเก็บข้อมูลระหว่างกิจกรรม กิจกรรมตลอด 6 เดือนประกอบด้วย

- การประชาสัมพันธ์กิจกรรม นักสืบพลังงาน โดยผู้วิจัยจะทำการติดโปสเตอร์ให้ความรู้ตามจุดต่าง ๆ ทั่วบริเวณหอพักและโรงอาหารหอพัก เนื้อหาในโปสเตอร์จะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบของการใช้ไฟฟ้าต่อสิ่งแวดล้อม และเทคนิคการประหยัดพลังงานในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างดังภาพที่ 1 เพื่อให้นักเรียนสามารถค้นหาความรู้ได้ด้วยตนเองในพื้นที่ของหอพัก โดยในทุก ๆ สองเดือน จะมีการจัดกิจกรรมตอบคำถามชิงรางวัล โดยอิงจากเนื้อหาในโปสเตอร์ที่นักเรียนได้ไปสำรวจมา การตอบคำถามผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้ชนะที่ตอบคำถามได้ถูกต้องมากที่สุดและเป็นสามลำดับแรกเพื่อรับของรางวัล ซึ่งช่วยสร้างแรงจูงใจให้นักเรียนอยากค้นหาข้อมูลด้วยตนเองมากขึ้น
- การอบรมเชิงปฏิบัติการโดยวิทยากรภายนอก เพื่อเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์และการอนุรักษ์พลังงาน เนื้อหาในการเรียนรู้ ได้แก่ 1. พลังงานไฟฟ้าและแหล่งกำเนิด 2. ผลกระทบของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อสิ่งแวดล้อม 3. ความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 4. วิธีลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยขั้นตอนการจัดกิจกรรม ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 กระตุ้นความสนใจ ขั้นตอนที่ 2 สำรวจ ขั้นตอนที่ 3 อธิบาย ขั้นตอนที่ 4 ขยายความรู้ และขั้นตอนที่ 5 ประเมินผล
- การติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงาน โดยให้นักเรียนทดลองลดการใช้ไฟฟ้าตามคำแนะนำ พร้อมติดตามข้อมูลการใช้พลังงานจากระบบมิเตอร์ของโรงเรียน

3.3 การประเมินผลหลังจบกิจกรรม หลังจบกิจกรรม นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) แบบสอบถามวัดทัศนคติ และแบบประเมินพฤติกรรมการใช้พลังงาน ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในหอพักจะถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบก่อน-หลังเข้าร่วมกิจกรรม เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในเชิงสถิติ



ภาพที่ 2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักโรงเรียน

ในการวิจัยนี้เป็นนักเรียนระดับมัธยมศึกษาจำนวน 90 คน จากทั้งหมดของนักเรียนในหอพักโรงเรียน 115 คน (คิดเป็น 78.26%) ที่เข้าร่วมในงานวิจัยนี้ โดยระดับชั้นการศึกษาของนักเรียนที่เข้าร่วมแบ่งเป็น ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 คิดเป็น 12.22 % ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 คิดเป็น 12.22 % ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 คิดเป็น 4.44 % ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 คิดเป็น 43.33 % ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 คิดเป็น 26.67 % และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 คิดเป็น 1.11 % ความรู้เบื้องต้นด้านสิ่งแวดล้อม โดยนักเรียนส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับคำว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (คิดเป็น 95.56%), ภาวะโลกร้อนและก๊าซเรือนกระจก (คิดเป็น 98.89%) อย่างไรก็ตาม มีนักเรียน 22 คน (คิดเป็น 24.44%) ที่ไม่รู้จักคำว่า คาร์บอนฟุตพริ้นท์

2. ผลจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

การจัดกิจกรรมดำเนินการเป็นระยะเวลา 6 เดือน โดยมีการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนและหลังเข้าร่วมกิจกรรมด้วยแบบทดสอบ ผลของข้อมูลพบว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 11.86 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 23.82 คะแนน การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบ t-test พบค่า t มีค่า 39.89 และ p มีค่า .000 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมส่งผลต่อการพัฒนาความรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลกระทบของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อย่างมีนัยสำคัญ และสะท้อนถึงผลของกิจกรรมในการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจในด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ผลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	n	$\bar{x}$	SD	t	p
ก่อนเรียน	90	11.86	3.80	39.89	.000*
หลังเรียน	90	23.82	3.47		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลจากการเปรียบเทียบทัศนคติก่อนและหลังการจัดกิจกรรม พบว่านักเรียนมีทัศนคติที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะความเข้าใจว่าพฤติกรรมรายบุคคล เช่น การใช้ไฟฟ้า การเผาขยะ หรือการกินอาหารเหลือ สามารถส่งผลต่อภาวะโลกร้อน ก่อนการจัดกิจกรรม นักเรียนอาจจะรับรู้ปัญหาโลกร้อนเป็นเรื่องใหญ่และไกลตัว โดยไม่เชื่อมโยงกับการกระทำในชีวิตประจำวันของตนเอง หลังจัดกิจกรรมมีการนำเสนอข้อมูลที่เชื่อมโยงพฤติกรรมเล็ก ๆ น้อย ๆ เช่น การเปิดไฟทิ้งไว้ หรือการกินอาหารเหลือ เข้ากับปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทำให้นักเรียนมองเห็นภาพรวมได้ชัดเจนขึ้น ว่าทุกการกระทำของตนเองล้วนมีส่วนในการสร้างคาร์บอนฟุตพริ้นท์ นอกจากนี้ นักเรียนยังมีมุมมองที่เปลี่ยนไปเกี่ยวกับความสำคัญของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อการวางแผนในระดับองค์กร และเห็นถึงความจำเป็นในการบูรณาการประเด็นภาวะโลกร้อนเข้าสู่กระบวนการเรียนการสอนในโรงเรียน โดยผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบค่า t มีค่า 5.35 และ p มีค่า .000 ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่จัดขึ้นสามารถส่งเสริมทัศนคติที่ดีขึ้นของนักเรียนต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยนักเรียนมีความเข้าใจ ตระหนักรู้ และเห็นถึงบทบาทของตนในการมีส่วนร่วมลดผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจก

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบทัศนคติก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ประเด็นคำถาม	ก่อน $\bar{x}_1$	หลัง $\bar{x}_2$	ผลต่าง $\bar{x}_2 - \bar{x}_1$
1. ปัญหาสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่มีความใกล้ตัวเรามากที่สุด	4.61	4.69	0.08
2. อุณหภูมิที่สูงขึ้นในแต่ละปีเกิดจากปัญหาสภาวะโลกร้อนเป็นหลัก	4.42	4.51	0.09
3. ปัญหาสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ง่าย	4.30	4.39	0.09
4. การใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดสามารถช่วยลดปัญหาสภาวะโลกร้อนได้	4.37	4.47	0.10
5. การคำนวณปริมาณก๊าซของแหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจก ของแต่ละหน่วยงานในแต่ละประเทศเป็นข้อมูลที่ช่วยส่งเสริมให้คนตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมได้	4.33	4.42	0.09
6. การมีปริมาณเศษอาหารเหลือทิ้งจำนวนมากส่งผลต่อปัญหาสภาวะโลกร้อน	4.39	4.48	0.09
7. การจัดการเรียนการสอนเรื่องปัญหาสภาวะโลกร้อนและก๊าซเรือนกระจก มี ความจำเป็นในการจัดการเรียนการสอนในสถานศึกษาและโรงเรียน	4.09	4.33	0.24
8. การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ชีวิตของคนให้ตระหนักถึงปัญหาสภาวะโลกร้อนเป็นไปได้ยาก	4.30	4.43	0.13
9. ตัวเราเองใช้ไฟฟ้า น้ำมัน กินอาหารเหลือ และเผาขยะเพียงคนเดียวอาจจะส่งผล ต่อปัญหาสภาวะโลกร้อน	3.77	4.27	0.50
10. การเปิดเครื่องปรับอากาศควรเปิดใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า	4.37	4.53	0.17
11. การเปิดเครื่องปรับอากาศถึงแม้ว่าจะส่งผลต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกแต่ก็ยังมี ความจำเป็นที่ต้องเปิด	4.27	4.39	0.12
12. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นเรื่องที่ควรให้ความรู้แก่ทุกคน	4.32	4.44	0.12
13. คาร์บอนฟุตพริ้นท์ เป็นเรื่องที่มีความสำคัญต่อองค์กรในการวางแผนเพื่อพัฒนา	4.20	4.47	0.27
14. ถ้าไม่มีการจัดการเรื่อง คาร์บอนฟุตพริ้นท์ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใน ระยะยาว	4.37	4.66	0.29
ค่าเฉลี่ยรวม	4.29	4.46	0.17
T	5.35		
P	.000*		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการเปรียบเทียบทัศนคติก่อนและหลังการจัดกิจกรรมในตารางที่ 3 ในเรื่องบทบาทของผู้มีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาสภาวะโลกร้อนพบว่า ก่อนเข้าร่วมกิจกรรม นักเรียนมองว่าการแก้ไขปัญหาคควรเริ่มต้นจาก ตัวเราเอง เป็นอันดับแรก ตามด้วย ครอบครัว ซึ่งเป็นหน่วยที่ใกล้ชิดที่สุด และอันดับสามคือ สถานศึกษา โดยให้ความสำคัญกับบทบาทของการให้ความรู้และจัดการศึกษาเพื่อแก้ปัญหา อย่างไรก็ตาม หลังจากเข้าร่วมกิจกรรม ลำดับความสำคัญของ สถานศึกษา ได้เปลี่ยนมาอยู่ในอันดับที่สี่ และถูกแทนที่ด้วย ชุมชน ที่เลื่อนขึ้นมาอยู่อันดับที่สาม สิ่งนี้สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมและความคิดของบุคคลได้รับอิทธิพลจากการสังเกตและการเลียนแบบผู้อื่น การที่นักเรียนได้ทำกิจกรรมร่วมกัน ได้เห็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของเพื่อน ๆ และได้เห็นพลังของการทำงานเป็นทีม ทำให้นักเรียนมองว่าการเปลี่ยนแปลงในระดับกลุ่มหรือชุมชนเป็นสิ่งสำคัญและสามารถสร้างผลกระทบในวงกว้างได้ ในด้านพฤติกรรมการใช้พลังงานในหอพัก พบว่า ก่อนกิจกรรม นักเรียนให้ความสำคัญกับการประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นอันดับแรก รองลงมาคือความเคยชิน และการอนุรักษ์พลังงานตามลำดับ หลังการเรียนรู้ ลำดับความสำคัญเปลี่ยนไป โดยการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมขยับขึ้นมาเป็นอันดับสอง แสดงถึงพัฒนาการเชิงทัศนคติที่ดีขึ้นต่อการใช้พลังงานอย่างมีความรับผิดชอบ การที่ลำดับความสำคัญของ หน่วยงานภาครัฐ ยังคงอยู่ในอันดับสุดท้ายทั้งก่อนและหลังการจัดกิจกรรมนั้น สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนยังคงมองว่าหน่วยงานเหล่านี้เป็นปลายทางหรือเป็นเรื่องที่อยู่ไกลตัวสำหรับการแก้ไขปัญหาสภาวะโลกร้อน ซึ่งอาจเป็นเพราะนโยบายต่าง ๆ เป็นภาพรวมระดับประเทศ ไม่ใช่การปฏิบัติที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับพฤติกรรมส่วนบุคคลในแต่ละวัน และการปลูกฝังจากครอบครัวและสถานศึกษา ยังคงมีลำดับที่คงเดิม (อันดับ 4) แสดงให้เห็นว่านักเรียนมองว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นสิ่งที่อยู่ภายนอกตัวบุคคล ซึ่งแม้จะมีบทบาทในการปลูกฝังและให้ความรู้ แต่พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดในหอพักนั้น นักเรียนมองว่าควรเกิดจากบทบาทของ ตัวเราเอง เป็นหลัก

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบทัศนคติในรูปแบบการเรียงลำดับความสำคัญ

ประเด็นคำถาม	ก่อน		หลัง	
	สำคัญลำดับที่	$\bar{x}_1$	สำคัญลำดับที่	$\bar{x}_2$
ปัญหาสภาวะโลกร้อนสามารถแก้ไขได้โดยไม่ต้องเริ่มจากใครก่อนตามลำดับ				
ตัวเราเอง	1	3.98	1	4.60
ครอบครัว	2	3.29	2	3.44
ชุมชน	4	2.63	3	2.97
สถานศึกษาและโรงเรียน	3	2.68	4	2.40
หน่วยงานภาครัฐ	5	2.42	5	1.59
การใช้ไฟฟ้าในห้องพักของนักเรียนมีการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดเนื่องจากเรื่องใดตามลำดับ				
การประหยัดค่าใช้จ่าย	1	4.54	1	4.37
การรักษารักษาพลังงานและสิ่งแวดล้อม	3	2.78	2	3.64
ความเคยชินของตัวเอง	2	3.39	3	3.04
ทำตามนโยบายด้านพลังงาน	5	1.82	5	1.97
การปลูกฝังจากครอบครัวและสถานศึกษา	4	2.47	4	1.98

ข้อมูลผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังเข้าร่วมกิจกรรม พบว่า นักเรียนมีแนวโน้มลดระยะเวลาในการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าลง หลังผ่านกระบวนการเรียนรู้เกี่ยวกับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จากการอบรมเชิงปฏิบัติการโดยวิทยากรภายนอก การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่า t เท่ากับ -4.82 และค่า p เท่ากับ $.000$ ซึ่งมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.05$ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่อวันจากพฤติกรรมนักเรียน

รายการเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งาน	จำนวนเวลาที่ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า (ชั่วโมง ต่อ วัน)		
	ก่อน ($\bar{x}_1$)	หลัง ($\bar{x}_2$)	ผลต่าง ($\bar{x}_2 - \bar{x}_1$)
1. การเปิดหลอดไฟให้แสงสว่าง	4.84	4.57	-0.28
2. การเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อความบันเทิง เช่น โทรทัศน์ มือถือ ทีวี	5.16	4.84	-0.31
3. การเปิดใช้คอมพิวเตอร์ ไอแพด หรือ แท็บเล็ต	5.29	4.74	-0.54
4. ระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ	4.69	4.08	-0.62
5. การเปิดพัดลม	3.79	3.52	-0.27
6. การเปิดแอร์	5.06	4.88	-0.18
7. การเปิดใช้เครื่องทำน้ำอุ่น	2.00	1.89	-0.11
8. การเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่น	2.59	2.42	-0.17
ค่าเฉลี่ยรวม	4.18	3.87	-0.31
T	-4.82		
p	$.000^*$		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $.05$

ผลการเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังเข้าร่วมกิจกรรม (ตารางที่ 5) พบว่านักเรียนมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t = 5.11$, $p = .000$, $\alpha = .05$) หลังจากได้รับการส่งเสริมความรู้และความตระหนักด้านพลังงาน โดยพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด ได้แก่ การปิดไฟเมื่อออกไปทานข้าว (เฉลี่ยเพิ่มจาก 3.64 เป็น 3.82), การปิดคอมพิวเตอร์นอน (3.03 เป็น 3.19), การถอดปลั๊กหลังใช้งาน (3.06 เป็น 3.32) และการปิดไฟในอาคารเมื่อมีแสงสว่างเพียงพอ (2.91 เป็น 3.23) นอกจากนี้ ยังพบว่าการเปิดเครื่องทำน้ำอุ่นขณะอาบน้ำมีการใช้อย่างพอเหมาะมากขึ้น

(เฉลี่ยเพิ่มจาก 1.78 เป็น 2.33) สะท้อนถึงความพยายามของนักเรียนในการลดการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันอย่างมีจิตสำนึกมากขึ้น

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบความถี่ของพฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า

รายการเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งาน	แปลผลคะแนนจากความถี่ของการใช้ไฟฟ้า		
	ก่อน ($\bar{x}_1$)	หลัง ($\bar{x}_2$)	ผลต่าง ($\bar{x}_2 - \bar{x}_1$)
1. นักเรียนออกไปทานข้าว จะ ปิด หลอดไฟทุกครั้ง	3.64	3.82	0.18
2. นักเรียนออกไปทานข้าว จะ ชาร์จ แบตเตอรี่อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าไว้ทุกครั้ง	2.54	2.66	0.11
3. นักเรียนจะ เปิด โคมไฟไว้ตอนนอน	3.03	3.19	0.16
4. นักเรียน ถอดปลั๊ก เครื่องใช้ไฟฟ้าออกทุกครั้งหลังใช้งาน	3.06	3.32	0.27
5. นักเรียน เปิด ม่านบังแดดเพื่อใช้แสงสว่างจากภายนอก	3.02	3.13	0.11
6. นักเรียน เปิด แอร์ หรือพัดลม ทุกครั้งเมื่อถึงห้อง	1.96	2.08	0.12
7. เมื่อนักเรียน ปิด แอร์แล้วรู้สึกหนาว จะทำการ ปิด แอร์	3.08	3.27	0.19
8. นักเรียน เปิด เครื่องทำน้ำอุ่นขณะอาบน้ำ	1.78	2.33	0.56
9. นักเรียน เปิด หน้าต่างแทนการเปิดแอร์	2.41	2.60	0.19
10. ตอนกลางวันที่มีแสงสว่าง วันนักเรียนเห็นไฟภายในอาคารเปิด อยู่นักเรียนจะช่วยปิดไฟ	2.91	3.23	0.32
ค่าเฉลี่ยรวม	2.96	2.74	0.22
T	5.11		
p	.000*		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สถิติการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนในช่วงเดือน 6 ของการเก็บข้อมูล ข้อมูลสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนที่พักอาศัยในหอพัก จำนวน 56 คนซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่พักอาศัยอย่างต่อเนื่องจากปีการศึกษา 2566 ถึง ปีการศึกษา 2567 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าระหว่างปีการศึกษา 2566 กับปีการศึกษา 2567 โดยทำการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันคือระหว่างเดือนกันยายน ถึง กุมภาพันธ์ ของแต่ละปีการศึกษา การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนและตารางวันหยุดของโรงเรียนประจำปี 2566 และ 2567 มีความสอดคล้องกัน ทำให้พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนในแต่ละช่วงเวลา เช่น ช่วงวันหยุดหรือช่วงปิดภาคเรียน ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่จากข้อมูลในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายนของปี 2567 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปี 2566 โดยมีสาเหตุมาจากการที่นักเรียนนำเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนตัว เช่น พัดลม โน้ตบุ๊ก iPad ทีวีเปาผม และกระติกน้ำร้อนเข้ามาใช้ในหอพักเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า ซึ่งเป็นผลมาจากการที่นักเรียนกลุ่มนี้ได้พักอาศัยในหอพักอย่างต่อเนื่องจากปีที่แล้วทำให้มีการสะสมจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับในระยะแรกของการจัดกิจกรรม นักเรียนบางส่วนอาจยังไม่ให้ความสนใจหรือยังไม่สามารถเข้าร่วมกิจกรรมได้อย่างเต็มที่ ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้ายังคงอยู่ในระดับสูง อย่างไรก็ตาม เมื่อกิจกรรมดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง และนักเรียนเริ่มมีการพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้และแรงบันดาลใจในการประหยัดพลังงานร่วมกันในกลุ่ม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการประหยัดไฟฟ้าไปในทางที่ดีขึ้น จากการสอบถามนักเรียนในหอพักได้มีนักเรียนกล่าวว่า “นักเรียนมีการรวมกลุ่มกันไปทำงานในห้องเพื่อนสลับกันไปแทนที่จะแยกทำในห้องของตนเอง” “นักเรียนมีการปิดไฟและโคมไฟก่อนเข้านอน ซึ่งต่างจากเดิมที่เคยเปิดไฟนอน” และ “นักเรียนลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มองว่าไม่จำเป็นลง” ในภาพรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปีการศึกษา 2567 พบว่า นักเรียนกลุ่มดังกล่าวมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปีการศึกษา 2566 (โดยข้อมูลอ้างอิงจากการเก็บหน่วยไฟฟ้าที่นักเรียนใช้จริงของหอพักโรงเรียน) การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปจะใช้ Emission Factor หรือ ปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าในแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทย ค่า Emission Factor อย่างเป็นทางการที่ใช้ในการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้ไฟฟ้า โดยอ้างอิงจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2021) คือ 0.5986 kgCO₂/kWh สูตรการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้ไฟฟ้า คือ

$$\text{Carbon Footprint (kgCO}_2\text{)} = \text{หน่วยการใช้ไฟฟ้า (kWh)} \times \text{Emission Factor (kgCO}_2\text{/kWh)}$$

ตารางที่ 6 แสดงผลค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนในหอพัก

เดือน	ปีการศึกษา 2566		ปีการศึกษา 2567		t
	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการใช้ไฟฟ้า (kgCO ₂)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ จากการใช้ไฟฟ้า (kgCO ₂)	
กันยายน	6,162	3,689	6,360	3,807	0.65
ตุลาคม	3,053	1,828	6,225	3,726	6.51
พฤศจิกายน	2,627	1,573	6,465	3,870	8.88
ธันวาคม	5,543	3,318	2,638	1,579	-8.55
มกราคม	6,112	3,659	2,809	1,681	-10.74
กุมภาพันธ์	7,141	4,275	4,834	2,894	-4.89
รวม	30,638	18,341	29,331	17,558	-0.96

เมื่อเปรียบเทียบภาพรวมทั้งสองปีการศึกษาในตารางที่ 6 พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนในปีการศึกษา 2567 ลดลงจากปีการศึกษา 2566 โดยมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในปี 2566 รวม 18,341 kgCO₂ ลดลงเหลือ 17,558 kgCO₂ ในปี 2567 คิดเป็นการลดลงประมาณ 783 kgCO₂ จากการวิเคราะห์ค่า t พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (CFO) ในบางช่วงเดือนระหว่างปีการศึกษา 2566 และ 2567 การที่ค่า t ในช่วงเดือนตุลาคม และพฤศจิกายนมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าในบางช่วงเวลา ปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่ได้ลดลงแต่กลับเพิ่มขึ้น ซึ่งมาจากการที่นักเรียนได้นำอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้ามาใช้งานในหอพักเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าและนักเรียนอยู่ในช่วงของการเริ่มปรับตัวในการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะในช่วงครึ่งหลังของปีการศึกษา 2567 เมื่อเทียบกับปี 2566 (ธันวาคม-กุมภาพันธ์) และในภาพรวมของทั้งสองปีนี้ ที่มีค่า t เป็นลบแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงาน ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการประหยัดพลังงานของนักเรียนที่เริ่มเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้นหลังจากที่มีการรณรงค์และจัดกิจกรรม

การวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่จัดขึ้นสามารถส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนักเรียนหอพักได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยที่พบว่าคะแนนความรู้และความเข้าใจของนักเรียนเพิ่มขึ้นจาก 11.86 เป็น 23.82 คะแนน และทัศนคติที่ดีขึ้นต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า สอดคล้องกับงานวิจัยของการศึกษาเปรียบเทียบความรู้ความเข้าใจและทัศนคติ ด้านพลังงาน (Udompornphibul and Thonghopit, 2015) ซึ่งระบุว่า การสร้างความตระหนักรู้และการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักเรียน โดยรางวัลทำหน้าที่เป็นแรงจูงใจภายนอก ที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็นและเปลี่ยนจากการรับข้อมูลเพียงอย่างเดียว มาเป็นการเรียนรู้เชิงรุกผ่านกิจกรรม นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของนักเรียนได้รับอิทธิพลจากการสังเกตและการเลียนแบบผู้อื่นในสังคม ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพฤติกรรมการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงานของนักเรียน (Sanguanrat, 2020) การที่นักเรียนเริ่มให้ความสำคัญกับการประหยัดพลังงานเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากขึ้น จากเดิมที่ให้ความสำคัญกับการประหยัดค่าใช้จ่ายเป็นหลัก แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทัศนคติเชิงบวกที่เกิดจากการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมในกิจกรรมนี้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักโรงเรียนได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลัก 3 ด้าน ได้แก่ พฤติกรรมส่วนบุคคล สภาพแวดล้อมทางกายภาพ และปัจจัยทางจิตวิทยาและสังคม

1.1 ปัจจัยด้านพฤติกรรมและนิสัยส่วนบุคคล ประกอบด้วยความรู้ ความเข้าใจ ทัศนคติ และการปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้า นักเรียนที่ตระหนักถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงานมักมีพฤติกรรมที่ส่งผลต่อการลดการใช้ไฟฟ้า เช่น การปิดไฟเมื่อออกจากห้อง และการถอดปลั๊กเครื่องใช้ไฟฟ้าหลังใช้งาน

1.2 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและสิ่งอำนวยความสะดวก สิ่งแวดล้อมภายในห้องพักและประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้มีผลต่อพฤติกรรมการใช้พลังงานอย่างมาก หอพักที่ออกแบบให้มีแสงธรรมชาติเพียงพอ หรือใช้วัสดุที่ช่วยระบายอากาศได้ดี จะลดความจำเป็นในการเปิดไฟและเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งการกำหนดระเบียบชัดเจนเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ส่วนกลาง เช่น การปิดไฟเมื่อไม่มีผู้ใช้งานก็สามารถส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนได้

1.3 ปัจจัยด้านจิตวิทยาและสังคม นักเรียนที่เข้าใจว่าการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพช่วยลดค่าใช้จ่ายและรักษาสิ่งแวดล้อมจะมีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้ แรงผลักดันทางสังคม เช่น การปฏิบัติตามกลุ่มเพื่อนที่มีแนวคิดด้านการอนุรักษ์พลังงานและกิจกรรมประหยัดพลังงานไฟฟ้า เช่น การแข่งขันประหยัดพลังงานระหว่างหอพัก หรือการรณรงค์ภายในโรงเรียน ถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่สนับสนุนการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของนักเรียนไปในทางที่ดี

2. แนวทางในการส่งเสริมพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักโรงเรียนควรดำเนินการแบบองค์รวม ครอบคลุมทั้ง 3 ด้านหลัก ได้แก่ การให้ความรู้ การสร้างแรงจูงใจ และการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยในด้านการให้ความรู้และปลูกฝังจิตสำนึก พบว่ากิจกรรมการเรียนรู้ เช่น การให้ข้อมูลผ่านโปสเตอร์และการอบรมเชิงปฏิบัติการ สามารถเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจาก 11.86 เป็น 23.82 คะแนน ความรู้ที่ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงทัศนคติที่ดีขึ้น ซึ่งสนับสนุนแนวทางของ Suebsurman and Saowiang (2019) ที่ชี้ว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยสร้างทัศนคติเชิงบวกต่อการอนุรักษ์พลังงานได้ ในส่วนด้านการสร้างแรงจูงใจ การจัดกิจกรรมเชิงสร้างสรรค์ เช่น นักสืบพลังงาน ที่มีการให้รางวัล ถือเป็นแรงจูงใจภายนอกที่กระตุ้นให้นักเรียนสนใจเรียนรู้เชิงรุก นอกจากนี้ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของแรงจูงใจทางสังคม โดยหลังเข้าร่วมกิจกรรม นักเรียนให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เพิ่มขึ้นมาเป็นอันดับสองรองจากการประหยัดค่าใช้จ่าย และเกิดพฤติกรรมเลียนแบบเชิงบวก เช่น การรวมกลุ่มทำงานในห้องเดียวกันเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sanguanrat (2020) ที่พบว่า การสังเกตและเลียนแบบพฤติกรรมในกลุ่มสังคมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการอนุรักษ์พลังงาน ในท้ายที่สุดคือด้านการปรับปรุงสภาพแวดล้อมและสิ่งอำนวยความสะดวก แม้การวิจัยนี้จะเน้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม แต่ผลการศึกษาชี้ว่าสภาพแวดล้อมเป็นหนึ่งในสามปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรม การมีอุปกรณ์ประหยัดพลังงานและการออกแบบอาคารที่เอื้อต่อการรับแสงธรรมชาติ จะช่วยส่งเสริมให้พฤติกรรมการประหยัดพลังงานที่ถูกปลูกฝังขึ้นใหม่นั้นเกิดขึ้นได้ง่ายและมีความยั่งยืน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Hayiwangoh (2023) ที่เน้นการสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้และการใช้ชีวิตเพื่อส่งเสริมความเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว ดังนั้น การผสมผสานทั้งสามแนวทางนี้เข้าด้วยกันจึงเป็นกลยุทธ์ที่ช่วยส่งเสริมในการปลูกฝังพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตของกลุ่มนักเรียนได้

3. การใช้พลังงานไฟฟ้าของนักเรียนในหอพักโรงเรียนเป็นกิจกรรมที่ส่งผลโดยตรงต่อการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อม (Scope 2) ของโรงเรียน ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Matrasongkram and Khunthong (2020) ที่ระบุว่าการใช้ไฟฟ้าจำนวนมากย่อมส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงดังกล่าว โดยภายหลังจากจัดกิจกรรมส่งเสริมพฤติกรรมเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยรวมของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างลดลง 1,307 หน่วย เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อนหน้า การลดลงนี้สามารถคำนวณเป็นการลดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ถึง 783 kgCO₂ โดยใช้วิธีคำนวณตามค่า Emission Factor ของประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของนักเรียนโดยตรง ซึ่งเห็นได้จากข้อมูลเชิงปริมาณที่ชี้ว่า ระยะเวลาการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันลดลงจาก 4.18 ชั่วโมง เหลือ 3.87 ชั่วโมง ($t = -4.82, p = .000$) พฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดคือ การลดเวลาชาร์จโทรศัพท์มือถือและการใช้คอมพิวเตอร์ ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่า การให้ความรู้และการสร้างความตระหนักรู้ให้แก่ นักเรียนไม่เพียงแต่เปลี่ยนทัศนคติ แต่ยังนำไปสู่การลงมือปฏิบัติที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในกลุ่มนักเรียนจึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสถานศึกษาได้

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1. การส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด ควรจัดกิจกรรมให้ความรู้เกี่ยวกับผลกระทบของการใช้ไฟฟ้าเกินความจำเป็น โดยเน้นเรื่องการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและภาวะโลกร้อน รวมถึงกิจกรรมส่งเสริม เช่น การแข่งขัน “หอพักต้นแบบประหยัดพลังงาน” และการแต่งตั้งผู้นำนักเรียน (Energy Leaders) เพื่อเป็นต้นแบบพฤติกรรมที่ดี

2. ปรับปรุงอุปกรณ์และสภาพแวดล้อมในหอพัก แนะนำให้เปลี่ยนมาใช้หลอด LED ติดตั้งเซ็นเซอร์เปิด-ปิดไฟในพื้นที่ส่วนกลาง และปรับปรุงอาคารให้มีการระบายอากาศและรับแสงธรรมชาติได้ดี เพื่อลดการใช้พลังงาน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การเปรียบเทียบเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน วิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หลอดไฟ LED และแอร์อินเวอร์เตอร์ และศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ประเมินต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนในอุปกรณ์หรือระบบพลังงานทดแทน เพื่อวางแผนใช้งบประมาณอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมภายในโรงเรียน
2. การติดตามพฤติกรรมในระยะยาว ศึกษาความต่อเนื่องของพฤติกรรมการใช้พลังงาน เพื่อประเมินความต่อเนื่องของมาตรการหรือกิจกรรมที่ดำเนินการไปแล้ว และการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันหรือที่บ้านของนักเรียนเอง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากสถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี พ.ศ. 2567 สัญญาเลขที่ 569/2567

จริยธรรมการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หมายเลขรับรองโครงการวิจัย SWUEC-672424 จากหน่วยจริยธรรมและมาตรฐานการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

References

- Ajzen, I. (2020). The theory of planned behavior: Frequently asked questions. **Human Behavior and Emerging Technologies**, 2(4), 314-324.
- Bianchi, G., Pisiotis, U. and Cabrera, M. (2022). **GreenComp – The European sustainability competence framework**. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Frederiks, E. R., Stenner, K. and Hobman, E. V. (2015). Household energy use: Applying behavioural economics to understand consumer decision-making and behaviour. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 41(1), 1385-1394.
- Hayiwangoh, N. (2023). Carbon footprint assessment and greenhouse gas emission reduction guideline to promote green universities of Rajabhat University southern area group in Thailand (in Thai). **Doctoral Dissertation**. Yala: Yala Rajabhat University.
- Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC. (1995). **Climate change**. Geneva: World Meteorological Organization and United Nations Environment Programme.
- Matrasongkram, N. and Khunthong, S. (2020). Assessment of carbon footprint and water footprint from electricity consumption of activities in educational buildings (in Thai). **Proceedings of the 4th Academic Conference, Kasetsart University Sriracha Campus** (pp. 52-60). Chonburi: Kasetsart University Sriracha Campus.
- Sanguanrat, S. (2020). Factors affecting the participation behavior in energy conservation of students at Rattanakosin Sompoch Bangkhen School (in Thai). **Master's Thesis**. Phayao: University of Phayao.
- Sawangarom, L., Boonprom, P., Suttimas, S. and Phetphan, P. (2023). Carbon footprint assessment from waste disposal in Saladan Sub-district Municipality, Krabi Province (in Thai). **Journal of Energy and Environmental Technology**, 10(1), 57-65.
- Suebsurman, D. and Saowiang, T. (2019). The development for instructional learning packages on home electrical appliances for Mathayomsuksa 3 students, Banlinphapittayakom School, Sisaket Province (in Thai). **Journal of Academic and Research, Northeastern University**, 9(2), 1-10.
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization. (2021). **Calculation of greenhouse gas emissions from electricity production and consumption** (in Thai). Bangkok: Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization).

- Udompornphibul, C. and Thonghopit, S. (2015). A comparative study of energy literacy among secondary school students: A case study of 3 districts in Lopburi Province (in Thai). **Journal of Energy Research**, 12(2), 20-34.
- World Resources Institute and WBCSD. (2013). Technical guidance for calculating Scope 3 emissions (version 1.0). Retrieved 20 June 2024, from **Greenhouse Gas Protocol**: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf



Utilizing GeoGebra Classroom in Digital Learning: Enhancing Mathematical Reasoning Ability and Achievement on the Topic of Geometric Transformations for Grade 8 students

Wuttichai Phoodee^{1,*} Pornthip Khempanya¹, Tussanee Nakham¹, Nuttaporn Dettason¹,
Suttichai Nakain¹ and Attaporn Wannathong²

¹Uthen Pattana School, The Secondary Education Service Area Office, Nakhon Phanom, Thailand.

²Major Computer Education, Faculty of Education, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, Thailand.

*Email: w.phoodee@gmail.com

Received <6 Oct. 2025>; Revised <7 Nov. 2025>; Accepted <8 Nov. 2025>

Abstract

This study aimed to (1) study the level of mathematical reasoning ability of Grade 8 students, (2) compare students' learning achievement in geometric transformations before and after digital learning using GeoGebra Classroom, and (3) examine students' attitudes toward the learning activities. The research employed a design for classroom action research. The participants were 34 of Grade 8 students enrolled in the first semester of the 2025 academic year. The research instruments included: (1) seven GeoGebra Classroom-based digital learning innovations on geometric transformations topic, conducted over 13 hours; (2) a 30-item multiple-choice achievement test; (3) a holistic rubric for assessing mathematical reasoning ability; (4) an open-ended interview form; and (5) a student attitude questionnaire. The data were analyzed using percentage, mean, standard deviation, criterion-referenced comparison, and dependent t-test. The findings revealed that (1) integrating GeoGebra Classroom into digital learning effectively enhanced students' mathematical reasoning ability, enabling them to construct knowledge and explain geometric concepts more logically; (2) students' post-test achievement scores in geometric transformations were significantly higher than their pre-test scores at the 0.01 level; and (3) students exhibited a positive attitude toward digital learning through GeoGebra Classroom, Agree level ($\bar{X}$ =4.13, SD= 0.61) for positive items and a disagree level ($\bar{X}$ =1.54, SD= 0.52) for negative items. Furthermore, students demonstrated greater enthusiasm, confidence in expressing ideas, and deeper conceptual understanding. The use of GeoGebra Classroom also fostered real-time teacher-student interaction, making the learning process more meaningful and connected to real-life experiences.

Keywords: GeoGebra Classroom; Digital learning; Mathematical reasoning ability; Learning achievement; Attitude.

การใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล: การส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 2

วุฒิชัย ภูติ^{1*} พรทิพย์ เข้มปัญญา¹ ทศนีย์ นาคำ¹ ณัฐพร เดชทะสอน¹ สุทธิชัย นาคะอินทร์¹ และ อรรถพร วรรณทอง²

¹โรงเรียนอุเทนพัฒนา สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษานครพนม จังหวัดนครพนม

²สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

*Email: w.phoodee@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาระดับความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต ของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล และ (3) ศึกษาเจตคติของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าว การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยในชั้นเรียน โดยกลุ่มเป้าหมายคือ ผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จำนวน 34 คน เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย (1) นวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต จำนวน 10 นวัตกรรม จำนวน 13 ชั่วโมง (2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นข้อสอบแบบปรนัยจำนวน 30 ข้อ 30 คะแนน (3) แบบประเมินความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์เป็นแบบองค์รวม (Holistic rubrics) (4) แบบการสัมภาษณ์ผู้เรียนโดยใช้คำถามปลายเปิด และ (5) แบบสอบถามเจตคติของผู้เรียน สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การเทียบกับเกณฑ์คุณภาพ และ Dependent t-test เพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการเรียนรู้ ผลการวิจัย พบว่า (1) การใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัลช่วยส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ให้ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้และอธิบายแนวคิดทางเรขาคณิตได้อย่างมีเหตุผลมากขึ้น (2) ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งค่าเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียน และ (3) ผู้เรียนมีเจตคติเชิงบวกต่อการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล โดยรวมอยู่ในระดับเห็นด้วย ($\bar{X}$ =4.13, SD= 0.61) และเจตคติเชิงลบของผู้เรียนโดยรวมอยู่ในระดับไม่เห็นด้วย ($\bar{X}$ =1.54, SD= 0.52) นอกจากนี้ ผู้เรียนยังมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและมีทัศนคติทางบวกต่อการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัล โดยรู้สึกสนุก กล้าแสดงออกทางความคิด และเข้าใจเนื้อหาได้ลึกซึ้งมากขึ้น และการใช้ GeoGebra Classroom ยังช่วยสร้างปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูและผู้เรียนแบบเรียลไทม์ ทำให้การเรียนรู้มีความหมายและเชื่อมโยงกับชีวิตจริงได้ดียิ่งขึ้น

คำสำคัญ: GeoGebra Classroom; การเรียนรู้แบบดิจิทัล; ความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์; ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน; เจตคติ

บทนำ

หลังจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ส่งผลต่อการปรับตัวของพฤติกรรมในการใช้ชีวิตมนุษย์ (Butngam *et al.*, 2023) รวมทั้งในด้านการศึกษา เทคโนโลยีดิจิทัลได้มีบทบาทเป็นเครื่องมือสนับสนุนการจัดการเรียนการสอนและกลายเป็นกลไกสำคัญที่ขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงของระบบการศึกษาอย่างกว้างขวาง โดยเทคโนโลยีช่วยเสริมสร้างความยืดหยุ่น ขยายโอกาสในการเข้าถึงและเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับความต้องการที่หลากหลายของผู้เรียน อีกทั้งยังเตรียมความพร้อมสำหรับอนาคตที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Nguyen *et al.*, 2023) การเรียนรู้แบบดิจิทัล (Digital Learning) เป็นแนวทางการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนให้ครอบคลุมทุกมิติและมีความหลากหลาย เช่น การเรียนแบบผสมผสาน (Blended Learning) การเรียนแบบไฮบริด (Hybrid Learning) การเรียนออนไลน์ (Online Learning) และการเรียนทางไกล (Distance Learning) (Oregon Department of Education (ODE), 2023; Phoodee, 2025) นอกจากนี้ เทคโนโลยียังมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ของผู้เรียน โดยเฉพาะในวิชาคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นรากฐานในการเสริมสร้างทักษะการคิดวิเคราะห์ การให้เหตุผลเชิงวิพากษ์การแก้ปัญหา (Alkouri and Wardat, 2025) ทักษะเหล่านี้ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาศักยภาพผู้เรียนให้ก้าวทันความเปลี่ยนแปลงของโลกยุคดิจิทัล

เครื่องมือดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ช่วยสร้างแรงจูงใจและความสนใจของผู้เรียนในวิชาคณิตศาสตร์ที่จะนำไปสู่ความเข้าใจในบทเรียนซึ่งส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน โดยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย เช่น สื่อการสอน โปรแกรมคณิตศาสตร์แบบไดนามิก (Dynamic Mathematics Software, DMS) หรือแอปพลิเคชันเพื่อการเรียนรู้ (Zengin and Tatar, 2017) เครื่องมือเหล่านี้เป็นสิ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกต่อการจัดการเรียนรู้โดยครูและผู้เรียนสามารถนำมาใช้ปฏิบัติจริงในห้องเรียนคณิตศาสตร์ เพื่อให้ผู้เรียนได้สำรวจ ตรวจสอบ พิสูจน์ ที่นำไปสู่การอธิบายเชิงเหตุผล (Phoodee, 2020) นอกจากนี้ เครื่องมือดิจิทัลยังมีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงทั้งวิธีการเรียนรู้และเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ที่นำเสนอในชั้นเรียน ซึ่งบทบาทของครูจึงไม่เพียงเป็นผู้ถ่ายทอดความรู้ แต่ยังต้องทำหน้าที่ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ เป็นผู้อำนวยความสะดวก (facilitator) และจัดเตรียมแนวทางการเสริมต่อความรู้ (scaffolding) เพื่อให้ผู้เรียนสามารถบรรลุผลการเรียนรู้ตามเป้าหมาย (Phoodee, 2023) รวมทั้งยังมีส่วนช่วยสนับสนุนการจัดการชั้นเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ (Awaji, Khalil and AL-Zahrani, 2025)

การบูรณาการโปรแกรมคณิตศาสตร์แบบไดนามิกเข้าสู่การเรียนการสอนได้รับการยอมรับว่าเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมความสามารถในการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยเฉพาะ GeoGebra ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เชื่อมโยงเนื้อหาคณิตศาสตร์ทั้ง 4 สาขา ได้แก่ เรขาคณิต พีชคณิต แคลคูลัส และสถิติ ในสภาพแวดล้อมเชิงโต้ตอบ (Interactive environment) (Hohenwarter and Fuchs, 2004) และการใช้ GeoGebra ยังเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สำรวจแนวคิดทางคณิตศาสตร์ผ่านการสร้างภาพ การปรับเปลี่ยน และการจำลองสถานการณ์ ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้เชิงสืบเสาะและการสร้างความเข้าใจเชิงมีนทัศน์อย่างลึกซึ้งจากการศึกษาวิจัยพบว่า การใช้ GeoGebra ในห้องเรียนช่วยเพิ่มพูนทักษะการแก้ปัญหาและการสร้างข้อโต้แย้งเชิงเหตุผลทางคณิตศาสตร์ (Yohannes and Chen, 2023; Horzum and Ünlü, 2017) นอกจากนี้ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ GeoGebra ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการสร้างทางเรขาคณิต แต่ยังช่วยให้ผู้เรียนได้วิเคราะห์รูปแบบ ทดสอบข้อสันนิษฐานและอธิบายเหตุผลของตนเอง (Yunianto, Galic, and Lavicza, 2024) ในลักษณะเชิงสำรวจและการมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้งาน (Interactive) และยังส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์ที่สำคัญโดยการทำให้สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่น่าสนใจ มองเห็นได้เป็นรูปธรรม และช่วยในการหาข้อสรุปผ่านการอุปนัย ตลอดจนการใช้ตรรกะในการสร้างข้อโต้แย้งทางคณิตศาสตร์ (Shute, Sun and Asbell-Clarke, 2017) และทำให้พัฒนาความเข้าใจเชิงมีนทัศน์ (conceptual understanding) เพิ่มแรงจูงใจและทัศนคติที่ดีต่อการเรียนคณิตศาสตร์ อีกทั้งยังส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหาและความสามารถในการทำงานร่วมกันของผู้เรียน ในมิติของครูพบว่า การพัฒนาวิชาชีพที่บูรณาการการใช้ GeoGebra ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการให้เหตุผลและการอธิบายเชิงคณิตศาสตร์ครูสามารถนำ GeoGebra ไปใช้ในการสร้างสถานการณ์การเรียนรู้ที่กระตุ้นให้ผู้เรียนสร้างข้อโต้แย้งตรวจสอบคำตอบ และทำงานร่วมกันอย่างมีเหตุผล (Lotey *et al.*, 2025) ดังนั้น GeoGebra ไม่เพียงแต่เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียน แต่ยังเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยยกระดับการจัดการเรียนการสอนของครูอีกด้วย

แต่อย่างไรก็ตามจากผลการประเมินของโปรแกรมประเมินสมรรถนะผู้เรียนมาตรฐานสากล หรือ PISA (Programme for International Student Assessment) ปี 2022 ของประเทศไทย พบว่า คะแนนเฉลี่ยความฉลาดรู้ (Literacy) ผู้เรียนของประเทศไทยในทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ การอ่าน คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์มีแนวโน้มลดลงจากปีก่อนหน้าซึ่งต่ำสุดในรอบ 20 ปี และต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มประเทศ OECD สาเหตุหลักเกิดจากผลกระทบของสถานการณ์โควิด-19 ที่ทำให้ระบบการศึกษาทั่วโลกประสบปัญหา ดังนั้น จึงควรมีมาตรการในการยกระดับคุณภาพการเรียนรู้ โดยส่งเสริมสมรรถนะครูในการจัดการเรียนรู้

เพื่อเสริมสร้างทักษะที่จำเป็นให้ผู้เรียน และสนับสนุนทรัพยากรและสื่อการเรียนรู้ที่มีคุณภาพให้สถานศึกษา (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2023) ซึ่งจากการสังเกตชั้นเรียนคณิตศาสตร์ ครูผู้วิจัยได้สังเกตเห็นพฤติกรรม พบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถอธิบายหรือให้เหตุผลที่มาของคำตอบที่ผู้เรียนตอบได้ ซึ่งผู้เรียนมีพฤติกรรมที่ลังเลในการตอบคำถามหรือขาดความมั่นใจในการตอบคำถามของครูซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพ โดยปัญหาดังกล่าวบ่งชี้ถึงความสามารถในการใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Reasoning Ability) ของผู้เรียน ซึ่งถือเป็นสมรรถนะหลักในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการคิดอย่างมีเหตุผล การแก้ปัญหา และการสร้างความเข้าใจทางคณิตศาสตร์อย่างลึกซึ้ง ตามที่ Yerizon *et al.* (2023) อธิบายว่าการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการทางความคิดที่ช่วยให้นักเรียนสามารถสรุปผลเชิงตรรกะ ให้คำอธิบายอย่างมีหลักการ และสร้างข้อโต้แย้งทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง และสภาครูคณิตศาสตร์แห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Council of Teachers of Mathematics, 2000) ได้อธิบายว่าการให้เหตุผลเป็นทั้งเครื่องมือและเป้าหมายของการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เพราะผู้เรียนต้องใช้การให้เหตุผลในการสร้างความเข้าใจใหม่ ๆ ตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบ และพัฒนาความคิดเชิงนามธรรมที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น การฝึกให้ผู้เรียนตั้งสมมติฐาน คาดการณ์ และหาหลักฐานมาสนับสนุนแนวคิดของตน ช่วยส่งเสริมทักษะการคิดเชิงวิเคราะห์ และการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ ตลอดจนความมั่นใจในการเรียนรู้ของตนเอง นอกจากนี้ความสามารถในการให้เหตุผลยังเป็นพื้นฐานของการแก้ปัญหา (problem solving) การเชื่อมโยงแนวคิด (connections) และการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ (communication) ซึ่งทั้งหมดล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง (Lotey *et al.*, 2025) และยังมีประเด็นสำคัญคือการติดเกมบนสมาร์ตโฟนของผู้เรียนมีอยู่อย่างแพร่หลายในโรงเรียนซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อพัฒนาการโดยรวมของผู้เรียนในด้านการเรียนรู้และพฤติกรรมต่าง ๆ ของผู้เรียน

จากการสังเกตข้างต้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการแก้ไขในระดับชั้นเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการส่งเสริมการมีส่วนร่วมในห้องเรียน การเสริมสร้างความสามารถในการใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และการใช้เครื่องมือดิจิทัลเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังนั้นครูในฐานะผู้วิจัยจึงหาแนวทางในการส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการแปลงทางเรขาคณิต สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้นำเสนอแนวการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ด้วยภาพ ช่วยเสริมสร้างความเข้าใจและการส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ที่ส่งผลต่อและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ถือเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนให้สอดคล้องกับความต้องการในโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต ของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล
3. เพื่อศึกษาเจตคติของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) ซึ่งมีลักษณะทำงานในรูปแบบวนซ้ำ ซึ่งเป็นแนวคิดที่สนับสนุนให้ครูแก้ปัญหาในชั้นเรียนร่วมกันผ่านการสะท้อนความคิดและปรับเปลี่ยนวิธีการสอนอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อผลลัพธ์ของผู้เรียนและเป็นการพัฒนาการสอนของตนเอง (Barnes, 2015) ในการวิจัยนี้จะใช้วิธีการวิจัยแบบแผนเชิงผสมผสาน (Mixed Method Research) ซึ่งเป็นการวิจัยที่มีการวิจัยย่อยเป็นเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณภายในการวิจัยหลัก (Buason, 2013) ซึ่งแนวทางนี้สอดคล้องกับเป้าหมายของงานวิจัยในการส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล ซึ่งการวิจัยนี้ได้ดำเนินการตลอดภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 โดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์และผ่านการสะท้อนผลร่วมกัน จึงทำให้คณะผู้วิจัยได้ข้อมูลเชิงลึกในการพัฒนาผู้เรียนและในการจัดการเรียนรู้ของครู โดยมีกระบวนการ 4 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นการวางแผน (Plan) ขั้นการปฏิบัติการ (Act) ขั้นการสังเกตการณ์ (Observe) และขั้นการสะท้อนกลับ (Reflect) (Kemmis and McTaggart, 1988)

กลุ่มเป้าหมาย กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้เป็นผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 โรงเรียนมัธยมแห่งหนึ่งใน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครพนม จำนวน 34 คน ซึ่งคัดเลือกจากระดับชั้นที่มีปัญหาเกี่ยวกับพฤติกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้มี 5 ประเภทได้แก่

1. นวัตกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต จำนวน 10 นวัตกรรม จำนวน 13 ชั่วโมง แบ่งออกเป็น ดังนิตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต

เรื่อง	เนื้อหา	นวัตกรรม	ชั่วโมง
การสะท้อน	การสะท้อน	1	1
	การสะท้อนผ่านเส้นสะท้อน	2	1
	การสะท้อนในระบบพิกัดฉาก	3	1
การเลื่อนขนาน	การเลื่อนขนาน	4	1
	การเลื่อนขนานโดยระบุทิศทาง	5	1
	การเลื่อนขนานโดยระบุเวกเตอร์	6	2
การหมุน	การหมุน	7	1
	การหมุนในพิกัดฉาก 1	8	1
	การหมุนในพิกัดฉาก 2	9	2
เทสเซลเลชัน	เทสเซลเลชัน (Tessellation)	10	2
รวม		10	13

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นข้อสอบแบบปรนัยจำนวน 30 ข้อ 30 คะแนน

3. แบบประเมินความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์เป็นแบบองค์รวม (Holistic rubrics) หรือเป็นลักษณะ บังชี้ถึงพฤติกรรมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้สำหรับประเมินความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ มี 5 ระดับดังนี้ ระดับที่ 0 (ต้องปรับปรุง) ระดับที่ 1 (ควรปรับปรุง), ระดับที่ 2 (พอใช้), ระดับที่ 3 (ดี) และ ระดับที่ 4 (ดีมาก) ตามกรอบแนวคิดของ Bragg and Herbert (2018) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์แบบองค์รวม (Holistic rubrics)

ระดับ	คำอธิบายระดับความสามารถ
4 (ดีมาก)	ผู้เรียนสามารถแสดงความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ในทุกด้าน โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสถานการณ์ปัญหาได้อย่างชัดเจน สร้างข้อคาดการณ์และสรุปเป็นกฎเกณฑ์ทั่วไปในรูปแบบสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง รวมถึงอธิบายเหตุผลสนับสนุนคำตอบของตนโดยใช้หลักการหรือทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์
3 (ดี)	ผู้เรียนสามารถแสดงความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ สร้างข้อคาดการณ์และสรุปเป็นกฎเกณฑ์ทั่วไปได้ถูกต้องบางส่วน และอธิบายเหตุผลสนับสนุนคำตอบโดยใช้หลักการหรือทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ได้อย่างเหมาะสม
2 (พอใช้)	ผู้เรียนสามารถให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้ในระดับพื้นฐาน โดยอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ถูกต้องเพียงบางส่วน สร้างข้อคาดการณ์และสรุปกฎเกณฑ์ทั่วไปได้ในระดับเบื้องต้น แต่ยังไม่สามารถแสดงในรูปสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้ครบถ้วน และให้เหตุผลสนับสนุนได้เพียงบางส่วนเท่านั้น
1 (ควรปรับปรุง)	ผู้เรียนสามารถแสดงเหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างจำกัด มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในการอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูล สร้างข้อคาดการณ์หรือสรุปกฎเกณฑ์ทั่วไปได้ไม่ถูกต้องและให้เหตุผลสนับสนุนคำตอบโดยไม่มีหลักการหรือทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม
0 (ต้องปรับปรุง)	ผู้เรียนไม่สามารถแสดงความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างชัดเจน ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือสร้างข้อคาดการณ์และสรุปกฎเกณฑ์ทั่วไปได้ และไม่สามารถให้เหตุผลสนับสนุนคำตอบได้อย่างถูกต้อง

4. แบบการสัมภาษณ์ผู้เรียนโดยใช้คำถามปลายเปิด
5. แบบสอบถามเจตคติของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต จำนวน 20 ข้อ ซึ่งแยกเป็นเจตคติทางบวก 10 ข้อและ เจตคติทางลบ 10 ข้อ โดยใช้การประมาณแบบมาตราส่วน 5 ระดับ ได้แก่ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วยและไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (Preserthlap and Krukpusana, 2015) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์แปลผลระดับเจตคติของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้

คะแนน	ระดับเจตคติ
4.51-5.00	เห็นด้วยอย่างยิ่ง
3.51-4.50	เห็นด้วย
2.51-3.50	ไม่แน่ใจ
1.51-2.50	ไม่เห็นด้วย
1.00-1.50	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการด้วยรูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) โดยแต่ละวงจรปฏิบัติการมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผน (Plan) คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวางแผนดังนี้

- 1) คณะผู้วิจัยร่วมกันศึกษาชั้นเรียนด้วยการสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียน เพื่อให้ทราบถึงสภาพปัญหาในการเรียนรู้ของผู้เรียน ผ่านกระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC)
- 2) คณะผู้วิจัยได้หาแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี หลักการ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ GeoGebra Classroom และการเรียนรู้แบบดิจิทัล รวมทั้งออกแบบสื่อการจัดการเรียนรู้
- 3) คณะผู้วิจัยร่วมกันสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย
 - (1) นวัตกรรมการเรียนรู้การใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต
 - (2) แบบประเมินความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน
 - (3) แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 - (4) แบบสอบถามเจตคติของผู้เรียน
 - (5) คำถามปลายเปิดที่ใช้สัมภาษณ์ผู้เรียน

ขั้นตอนที่ 2 การปฏิบัติการ (Act) ในการวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E

(Bybee et al.,2006) โดยมีขั้นตอนการจัดกิจกรรมดังนี้

- 1) การสร้างความสนใจ (Engage) สร้างความสนใจและกระตุ้นให้ผู้เรียนใช้ความรู้เดิมโดยใช้เครื่องมือดิจิทัล
- 2) ขั้นสำรวจ (Explore) สนับสนุนการสำรวจ โดยให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติจริงผ่านการใช้เครื่องมือดิจิทัล
- 3) ขั้นอธิบาย (Explain) สนับสนุนการอธิบายของผู้เรียนจากข้อค้นพบที่ได้จากขั้นการสำรวจ
- 4) ขยายความรู้ (Elaborate) ผู้เรียนขยายความรู้โดยการนำความรู้ที่ได้ไปใช้กับสถานการณ์ใหม่
- 5) ขั้นประเมินผล (Evaluate) ประเมินการเข้าใจและสะท้อนผลจากการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 3 การสังเกตการณ์ (Observe) คณะผู้วิจัยร่วมกันศึกษาชั้นเรียนผ่านการสังเกตพฤติกรรมผู้เรียนที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอนที่ 4 การสะท้อนกลับ (Reflect) คณะผู้วิจัยได้ร่วมกันสรุปผล วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อปรับปรุงและพัฒนาผู้เรียนและกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับผู้เรียน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคณะผู้วิจัยได้ทดสอบผู้เรียนก่อนเรียนโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัยจำนวน 30 ข้อ และจัดการเรียนรู้ตามนวัตกรรมการเรียนรู้การใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต จำนวน 10 นวัตกรรม จำนวน 13 ชั่วโมง แบ่งออกเป็น ดังตารางที่ 1 โดยระหว่างการจัดกิจกรรมครูจะแบบประเมินความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์เป็นแบบองค์รวม (Holistic rubrics) ดังตาราง

ที่ 2 เมื่อทำการจัดการเรียนการสอนสิ้นสุดลงจึงทำการสอบหลังเรียนโดยใช้ข้อสอบแบบปรนัยจำนวน 30 ข้อ และ ประเมินเจตคติต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยใช้แบบสอบถามเจตคติของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัลโดยใช้ GeoGebra Classroom โดยใช้เทคนิค Thurstone ซึ่งเป็นการประมาณแบบมาตราส่วน 5 ระดับ ได้แก่ เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง (Preserthlap and Krukposana, 2015) จำนวน 20 ข้อ โดยแยกเป็นเจตคติทางบวกจำนวน 10 ข้อและเจตคติทางลบจำนวน 10 ข้อ และสัมภาษณ์ผู้เรียนโดยใช้คำถามปลายเปิด

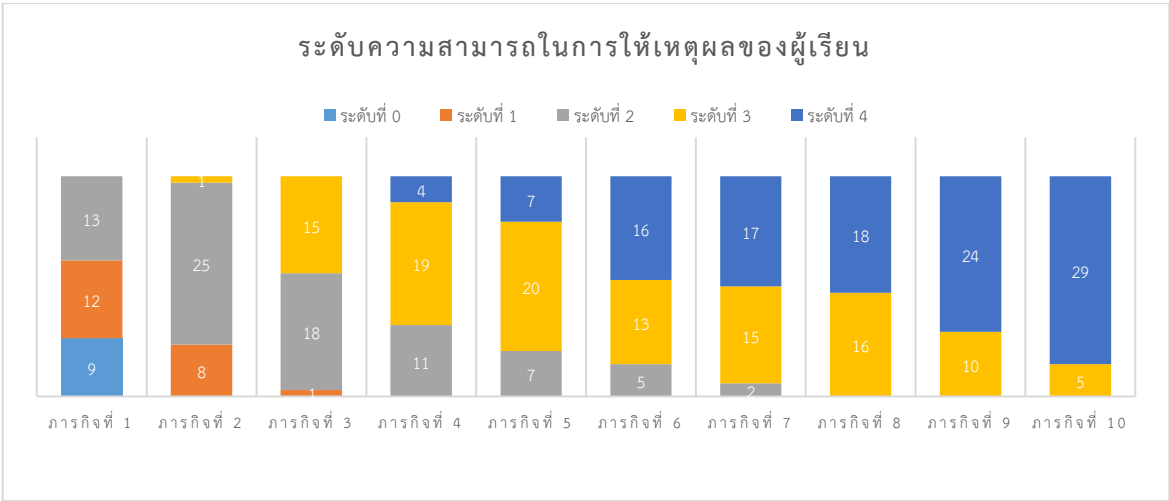
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้สะท้อนผลของการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก แบบประเมินพฤติกรรมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน ผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์และ แบบวัดเจตคติต่อการจัดการเรียนรู้ของผู้เรียน และการสัมภาษณ์ผู้เรียนโดยใช้คำถามปลายเปิด โดยแบ่งเป็น 4 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาระดับความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน

คณะผู้วิจัยทำการศึกษาระดับความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน โดยใช้แบบประเมินพฤติกรรมระหว่างการเรียนรู้ของผู้เรียนจำนวน 34 คน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลการประเมินความสามารถในการให้เหตุผลของผู้เรียน (n=34)

จากภาพที่ 1 ผลการประเมินระดับความสามารถในการให้เหตุผลของผู้เรียนจำนวน 34 คน โดยการสังเกตพฤติกรรมระหว่างการเรียนรู้ 10 นวัตกรรม ดังตารางที่ 1 โดยแบ่งระดับพฤติกรรมออกเป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 2 โดยพบว่า นวัตกรรมที่ 1 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรมระดับที่ 0 จำนวน 9 คน ระดับที่ 1 จำนวน 12 คน และระดับที่ 2 จำนวน 13 คน นวัตกรรมที่ 2 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรมระดับที่ 1 จำนวน 8 คน ระดับที่ 2 จำนวน 25 คนและระดับที่ 3 จำนวน 1 คน นวัตกรรมที่ 3 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรมระดับที่ 1 จำนวน 1 คน ระดับที่ 2 จำนวน 18 คนและระดับที่ 3 จำนวน 15 คน นวัตกรรมที่ 4 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรมระดับที่ 2 จำนวน 11 คน ระดับที่ 3 จำนวน 19 คนและระดับที่ 4 จำนวน 4 คน นวัตกรรมที่ 5 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรมระดับที่ 2 จำนวน 7 คน ระดับที่ 3 จำนวน 20 คนและระดับที่ 4 จำนวน 7 คน นวัตกรรมที่ 6 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรมระดับที่ 2 จำนวน 5 คน ระดับที่ 3 จำนวน 13 คนและระดับที่ 4 จำนวน 16 คน นวัตกรรมที่ 7 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรมระดับที่ 2 จำนวน 2 คน ระดับที่ 3 จำนวน 15 คนและระดับที่ 4 จำนวน 17 คน นวัตกรรมที่ 8 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรม ระดับที่ 3 จำนวน 16 คนและระดับที่ 4 จำนวน 18 คน นวัตกรรมที่ 9 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรม ระดับที่ 3 จำนวน 10 คนและระดับที่ 4 จำนวน 24 คน นวัตกรรมที่ 10 จำนวนผู้เรียนที่มีระดับพฤติกรรม ระดับที่ 3 จำนวน 5 คนและระดับที่ 4 จำนวน 29 คน ซึ่งจะเห็นว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีพัฒนาการความสามารถในการใช้เหตุผล ทั้งเชิงวิเคราะห์ การตีความ และการให้เหตุผลเชิงสรุปที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ด้วย การใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน
คณะผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัยจำนวน 30 ข้อ 30 คะแนน ซึ่งเป็นข้อสอบแบบคู่ขนาน โดยใช้ทดสอบก่อนและหลังเรียน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนระหว่างก่อนและหลังการได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วย การใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล

คะแนน	N	Means	Std Dev	Mean Difference	T	P
หลังเรียน	34	20.59	2.59	4.91	9.3035	0.0000*
ก่อนเรียน		15.68	3.55			

* p < 0.01

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของผู้เรียนจำนวน 34 คน ระหว่างก่อนและหลังการได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วย การใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน ($\bar{X}$ = 20.59, SD = 2.59) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน ($\bar{X}$ = 15.68, SD = 3.55) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (t = 9.3035, p < .01) โดยมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 4.91 คะแนน แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วย GeoGebra Classroom ในรูปแบบการเรียนรู้แบบดิจิทัลมีประสิทธิผลต่อการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตอนที่ 3 การศึกษาเจตคติของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล

คณะผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเจตคติต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล โดยใช้แบบวัดเจตคติจำนวน 20 ข้อ โดยแยกเป็นเจตคติทางบวกจำนวน 10 ข้อและเจตคติทางลบจำนวน 10 ข้อ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์เจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล

รายการ		$\bar{X}$	SD	ผลระดับเจตคติ
เจตคติเชิงบวก (Positive Attitude: 10 ข้อ)				
1	การใช้ GeoGebra ทำให้ฉันสามารถอธิบายวิธีแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ชัดเจนขึ้น	4.16	0.57	เห็นด้วย
2	GeoGebra ช่วยให้เห็นเหตุผลและความสัมพันธ์ของกฎทางเรขาคณิตได้ง่ายขึ้น	3.97	0.64	เห็นด้วย
3	ฉันเข้าใจบทเรียนเรื่องการแปลงทางเรขาคณิตมากขึ้นเมื่อใช้ GeoGebra	4.06	0.66	เห็นด้วย
4	ภาพและการเคลื่อนไหวใน GeoGebra ทำให้ฉันเรียนคณิตศาสตร์อย่างสนุกสนาน	4.28	0.51	เห็นด้วย
5	GeoGebra ช่วยฉันกล้าที่จะทดลองและค้นหาวิธีแก้ปัญหาด้วยตนเอง	4.16	0.57	เห็นด้วย
6	ฉันสามารถใช้ GeoGebra ในการตรวจสอบคำตอบหรือเหตุผลของตนเองได้	4.13	0.70	เห็นด้วย
7	การเรียนรู้ด้วย GeoGebra ทำให้ฉันอยากศึกษาเรื่องคณิตศาสตร์เพิ่มเติมนอกห้องเรียน	4.06	0.61	เห็นด้วย
8	GeoGebra ช่วยฉันสื่อสารและอธิบายแนวคิดทางคณิตศาสตร์กับเพื่อน ๆ ได้ดีขึ้น	4.25	0.56	เห็นด้วย
9	การเรียนรู้ด้วย GeoGebra ทำให้ฉันรู้สึกมั่นใจในความสามารถทางคณิตศาสตร์มากขึ้น	4.09	0.63	เห็นด้วย
10	ฉันอยากให้ครูใช้ GeoGebra ในการสอนบทเรียนคณิตศาสตร์อื่น ๆ ต่อไป	4.16	0.67	เห็นด้วย
โดยรวม		4.13	0.61	เห็นด้วย
เจตคติเชิงลบ (Negative Attitude: 10 ข้อ)				
1	การใช้ GeoGebra ทำให้การเรียนรู้คณิตศาสตร์ซับซ้อนเกินไป	1.63	0.48	ไม่เห็นด้วย
2	ฉันรู้สึกสับสนเมื่อต้องเรียนเรื่องการแปลงทางเรขาคณิตด้วย GeoGebra	1.63	0.54	ไม่เห็นด้วย
3	GeoGebra ไม่ได้ช่วยให้ฉันเข้าใจบทเรียนได้ดีกว่าการเรียนรู้แบบเดิม	1.41	0.49	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
4	ฉันเสียเวลาไปกับการเรียนรู้การใช้โปรแกรมมากกว่าการเรียนรู้คณิตศาสตร์	1.59	0.49	ไม่เห็นด้วย
5	การใช้ GeoGebra ทำให้ฉันไม่สามารถใช้เหตุผลได้ดีกว่าปกติ	1.50	0.56	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

รายการ		$\bar{X}$	SD	ผลระดับเจตคติ
6	ฉันไม่สามารถเรียนรู้คณิตศาสตร์ด้วยตนเองโดยใช้ GeoGebra ได้	1.44	0.50	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
7	GeoGebra ทำให้ฉันเบื่อหน่ายกับการเรียนคณิตศาสตร์	1.56	0.50	ไม่เห็นด้วย
8	การใช้ GeoGebra ไม่ได้ช่วยเพิ่มความมั่นใจในการแก้โจทย์คณิตศาสตร์	1.56	0.50	ไม่เห็นด้วย
9	ฉันไม่อยากให้ครูนำ GeoGebra มาใช้ในการสอนอีก	1.44	0.56	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
10	ฉันคิดว่าการเรียนด้วย GeoGebra เป็นเรื่องยากและไม่คุ้มค่าเวลา	1.63	0.54	ไม่เห็นด้วย
โดยรวม		1.54	0.52	ไม่เห็นด้วย

จากตารางที่ 5 พบว่า ผลการวิเคราะห์เจตคติเชิงบวกของผู้เรียนที่มีต่อการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล โดยรวมอยู่ในระดับเห็นด้วย ($\bar{X}=4.13$, $SD= 0.61$) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ภาพและการเคลื่อนไหวใน GeoGebra ทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนคณิตศาสตร์อย่างสนุกสนาน ($\bar{X}=4.28$, $SD= 0.51$) และช่วยให้ผู้เรียนสื่อสารและอธิบายแนวคิดทางคณิตศาสตร์กับเพื่อน ๆ ได้ดีขึ้น ($\bar{X}=4.25$, $SD= 0.56$) ในขณะเดียวกัน เจตคติเชิงลบมีค่าเฉลี่ยต่ำ โดยรวมอยู่ในระดับไม่เห็นด้วย ($\bar{X}=1.54$, $SD= 0.52$) นั่นคือผู้เรียนไม่เห็นว่าการใช้ GeoGebra ทำให้เกิดความซับซ้อน สับสน หรือเสียเวลาเกินความจำเป็นในการเรียนรู้

ตอนที่ 4 ผลศึกษาผลการสัมภาษณ์ผู้เรียน

ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ผู้เรียนจำนวน 6 คนเป็นชาย 2 คน ได้แก่ นายและภูมิ หญิง 4 คน ได้แก่ ฟ้า, กนก, แพรและอ้อ ซึ่งเป็นนามสมมุติ โดยได้เก็บรวบรวมข้อมูลผ่านสัมภาษณ์หลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ใช้คำถามแบบเปิด ซึ่งในการนำเสนอตามลำดับคำถามของการวิจัยดังนี้

1. การใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัลช่วยส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนหรือไม่

ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจในเนื้อหาจากการเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านการใช้โทรศัพท์มือถือช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกเวลา ช่วยพัฒนาการเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับชีวิตจริง ทักษะการใช้เทคโนโลยีและทักษะการตอบคำถามโดยใช้เหตุผล โดยยกตัวอย่างคำตอบของ ภูมิ กนกและอ้อ

- ภูมิ : “ผมใช้คำตอบจากการใช้เครื่องมือการแปลง การวัดใน GeoGebra ไปตอบคำถามครูและสอนเพื่อน”
- กนก : “GeoGebra ช่วยให้หนูเห็นความเชื่อมโยงคณิตศาสตร์ชัดเจนขึ้นกับภาพจริง ทำให้เข้าใจได้ชัดเจนขึ้น”
- อ้อ : “เข้าใจมากคะจากที่เรียนแบบปกติมาเรียนในโทรศัพท์รู้สึกดีมากคะ”

2. GeoGebra Classroom กับการเรียนรู้แบบดิจิทัลช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์หรือไม่

ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล ว่าศักยภาพสูงในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ ผ่านการเสริมสร้างเจตคติที่ดีและความเข้าใจเชิงลึกในเนื้อหา ทั้งยังสนับสนุนการเรียนรู้เชิงรุก (active learning) โดยยกตัวอย่างคำตอบของ แพรและนาย

- แพร : “หนูคิดว่าการใช้ GeoGebra จะช่วยให้หนูทำวิชาคณิตได้ง่ายขึ้นและจำได้คะแล้วก็ชอบในวิชาคณิตมากขึ้นจากที่ไม่ชอบเลย”
- นาย : “GeoGebraใช้ให้เข้าใจมาก ๆ เนื่องจากได้เห็นรูปทรงต่าง ๆ และการหมุนดั่งเรขาคณิตการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต”

3. เจตคติต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom กับการเรียนรู้แบบดิจิทัลของผู้เรียนหลังการเรียนรู้เป็นอย่างไร

ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับเจตคติต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom กับการเรียนรู้แบบดิจิทัล GeoGebra Classroom ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น แต่ยังมีผลในการปรับเปลี่ยนทัศนคติจากเชิงลบเป็นเชิงบวกต่อวิชาคณิตศาสตร์ และช่วยสร้างบรรยากาศการเรียนที่สนุกสนาน ลดความกดดัน และทำให้ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของการสร้างทัศนคติที่ดีและการมีส่วนร่วมเชิงรุกในกระบวนการเรียนรู้ โดยยกตัวอย่างคำตอบของ ฟ้า อ้อและแพร

- ฟ้า : “หนูคิดว่าการใช้ GeoGebra จะช่วยให้หนูทำวิชาคณิตได้ง่ายขึ้นและจำได้คะแล้วก็ชอบในวิชาคณิตมากขึ้นจากที่ไม่ชอบเลย”

อ้อ : “หลังจากใช้ GeoGebra หนูเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้นและจำได้ดีกว่าเดิม”

แพร : “รู้สึกว่าการใช้ GeoGebra เป็นผลต่อการเรียนและมีความสุขสนุกไปกับมันค่ะ”

อภิปรายผล

การศึกษาค้นคว้าการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล การส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลและผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์ เรื่องการแปลงทางเรขาคณิต สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 คณะผู้วิจัยมีประเด็นในการอภิปรายผลดังต่อไปนี้

1. การศึกษาระดับความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน

การใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล มีส่วนช่วยส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน โดยผู้เรียนสามารถอธิบายขั้นตอนการคิด วิเคราะห์ และสร้างข้อสรุปทางคณิตศาสตร์ได้อย่างมีเหตุผลมากขึ้น เนื่องจากการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัลช่วยให้ผู้เรียนสร้างความเข้าใจแนวคิดทางคณิตศาสตร์ด้วยตนเองผ่านการโต้ตอบกับสื่อดิจิทัลอย่างเป็นระบบ ส่งเสริมให้เกิดกระบวนการให้เหตุผลเชิงตรรกะ การตั้งสมมติฐาน การตรวจสอบ และการสรุปผล ซึ่งเป็นสาระสำคัญของการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ (constructivist learning) ทั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Yerizon *et al.* (2023) พบว่า GeoGebra ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจคุณสมบัติของสมการเชิงเส้นและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นขนานและเส้นตั้งฉากได้ชัดเจนขึ้น ผ่านการสำรวจ การทดลอง และการพิสูจน์เชิงภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการพัฒนาทักษะการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ และยังช่วยในการการเรียนรู้เชิงสังคม ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้เชิงสังคมของ Bandura ที่ระบุว่าผู้เรียนสามารถพัฒนาเหตุผลผ่านการสังเกต การเลียนแบบ และการสะท้อนคิด และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Negara *et al.* (2022) พบว่า ผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วย GeoGebra ร่วมกับแนวทาง Social Cognitive Learning มีการพัฒนาทักษะการให้เหตุผลสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่เรียนรู้ด้วยปัญหาเป็นฐาน (PBL) แสดงให้เห็นว่า GeoGebra ช่วยเป็นสื่อกลางทางปัญญา (cognitive scaffold) ที่ส่งเสริมกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ การสร้างข้อสรุป และการเชื่อมโยงแนวคิดทางคณิตศาสตร์ และงานวิจัยของ Silalahi, Siagian and Mukhtar (2024) ยังยืนยันว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry Learning) ที่บูรณาการ GeoGebra สามารถยกระดับการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนในระดับมัธยมศึกษา ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับกรอบแนวคิดของ PISA 2022 ที่มุ่งเน้นให้การให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์เป็นกระบวนการหลักในการแก้ปัญหาและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

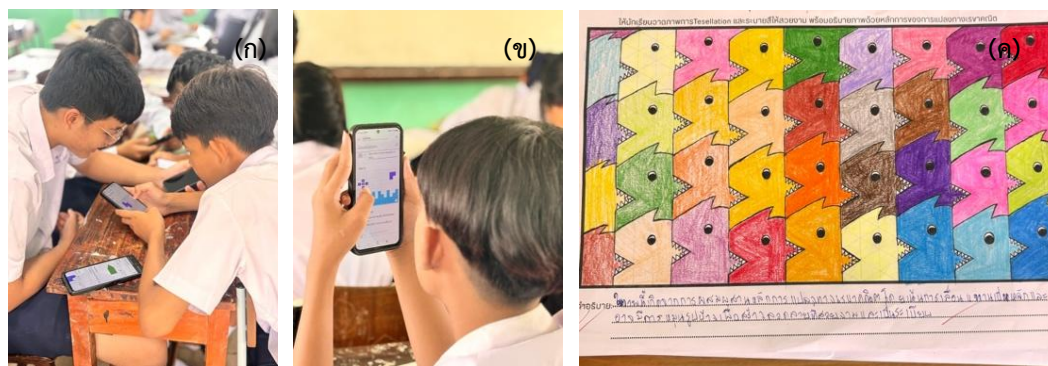
ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การแปลงทางเรขาคณิต หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เนื่องจากการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทั้งด้านความเข้าใจเชิงแนวคิดและความสามารถในการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ใหม่ ๆ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการเรียนรู้เชิงลึกและการเปลี่ยนแปลงแนวคิดทางคณิตศาสตร์อย่างมีความหมาย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zagoto *et al.* (2025) พบว่า การใช้ GeoGebra ในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางการรับรู้ (cognitive participation) และแรงจูงใจของผู้เรียน โดยมีค่าร้อยละประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงถึง 82% อยู่ในระดับมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นว่า GeoGebra ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดนามธรรมของฟังก์ชันและการแปลงเรขาคณิตได้ชัดเจนผ่านการมองเห็นเชิงภาพและการทดลองแบบโต้ตอบและการเรียนรู้ด้วย GeoGebra ยังเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สำรวจและทดลองการแปลงทางเรขาคณิต เช่น การเลื่อน การสะท้อน การหมุน และการขยาย ผ่านการลากจุดและปรับค่าพารามิเตอร์ ทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งสอดคล้องกับ Silalahi, Siagian and Mukhtar (2024) พบว่า การใช้ GeoGebra ในการเรียนรู้แบบ Inquiry ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหา การใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนจากระดับปานกลางไปสู่ระดับสูงเช่นกัน และงานวิจัยของ Negara *et al.* (2022) พบว่า ผู้เรียนในกลุ่มที่ได้รับการสอนด้วย GeoGebra-SCL มีคะแนนการให้เหตุผลและผลสัมฤทธิ์สูงกว่ากลุ่ม GeoGebra-PBL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพของการใช้ GeoGebra ในการเสริมสร้างการเข้าใจเชิงแนวคิด (conceptual understanding) และการเชื่อมโยงระหว่างภาพเชิงเรขาคณิตกับสมการเชิงพีชคณิต

3. การศึกษาเจตคติของผู้เรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล

ผลการวิจัยด้านเจตคติของผู้เรียนสะท้อนให้เห็นว่า ผู้เรียนมีเจตคติเชิงบวกในระดับสูง ($M = 4.13$, $SD = 0.61$) โดยเฉพาะในด้านความสนใจ ความมั่นใจ และความพึงพอใจในการเรียนรู้ เนื่องจากการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดการเรียนรู้แบบดิจิทัล ช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีความหมาย สนุก และมีปฏิสัมพันธ์สูง ทำให้ผู้เรียนมีทัศนคติที่ดี

ต่อคณิตศาสตร์ กล่าวตั้งคำถาม กล่าวแสดงความคิดเห็น และพร้อมเรียนรู้ด้วยตนเอง ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สอดคล้องกับข้อค้นพบของ Zagoto *et al.* (2025) พบว่าการใช้ GeoGebra ช่วยกระตุ้นความกระตือรือร้น ความอยากรู้อยากเห็น และความสนุกในการเรียนรู้ของผู้เรียน ทำให้เกิดการมีส่วนร่วมเชิงอารมณ์ (affective engagement) ในระดับสูง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการสร้างแรงจูงใจภายใน (intrinsic motivation) และความยั่งยืนในการเรียนรู้ นอกจากนี้ Sari, Sumarmo and Supriatna (2025) และ Narpila *et al.* (2025) ได้ชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความเชื่อมั่นในตนเอง (self-efficacy) และความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้เรียนที่มี self-efficacy สูงมักมีความมั่นใจในการแก้ปัญหาและมีทัศนคติที่ดีต่อคณิตศาสตร์ การเรียนรู้ผ่าน GeoGebra Classroom ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสำรวจ ทดลอง และได้รับผลย้อนกลับแบบทันทีช่วยเสริมสร้างความเชื่อมั่นและเจตคติในเชิงบวกต่อการเรียนรู้และงานวิจัยของ Awaji, Khalil and AL-Zahrani (2025) ยังพบว่า การเรียนรู้ด้วยตนเอง การให้เหตุผลทาง การแก้ปัญหา และการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ เป็นแนวโน้มการวิจัยร่วมสมัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ GeoGebra ในช่วงปี 2020–2023 สะท้อนให้เห็นว่าการส่งเสริมเจตคติและความเชื่อมั่นของผู้เรียนเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาแนวทางการสอนคณิตศาสตร์ในยุคดิจิทัล

จากผลการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่คณะผู้วิจัยได้ศึกษาในหลายประเด็น ได้แก่ GeoGebra มีศักยภาพในการส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ การยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และการสร้างเจตคติเชิงบวก แต่ในขณะเดียวกันก็มีจุดเด่นที่แตกต่าง คือ การบูรณาการ GeoGebra Classroom ซึ่งทำให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับเพื่อน และครูมากขึ้น ส่งผลต่อทักษะการคิดสร้างสรรค์ในเชิงความรู้และอารมณ์อย่างรอบด้าน พร้อมทั้งส่งเสริมศักยภาพของการจัดการเรียนรู้ดิจิทัลที่สอดคล้องกับสมรรถนะตาม PISA framework ในศตวรรษที่ 21 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 (ก) ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับเพื่อน (ข) การใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้ (ค) ผลงานของผู้เรียน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผลการใช้ GeoGebra Classroom ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบดิจิทัล การส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผล และผลสัมฤทธิ์ทางคณิตศาสตร์ เรื่องการแปลงทางเรขาคณิต สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีผลดังต่อไปนี้

1. การใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัลช่วยส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน โดยจากผลการประเมินระดับความสามารถในการให้เหตุผลของผู้เรียนจำนวน 34 คน พบว่าหลังจากผู้เรียนทำนวัตกรรม 1-10 ความสามารถในการให้เหตุผลของผู้เรียนมีการเพิ่มขึ้น เมื่อสังเกตจากการประเมินในนวัตกรรมที่ 10 พบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถแสดงความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ในทุกด้าน โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลจากสถานการณ์ปัญหาได้อย่างชัดเจน สร้างข้อคาดการณ์และสรุปเป็นกฎเกณฑ์ทั่วไปในรูปแบบสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง รวมถึงอธิบายเหตุผลสนับสนุนคำตอบของตนโดยใช้หลักการหรือทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์
2. การใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัลช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01
3. เจตคติต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัลของผู้เรียนหลังการเรียนรู้ พบว่าเจตคติเชิงบวกของผู้เรียนโดยรวมอยู่ในระดับเห็นด้วย ($\bar{X}=4.13$, $SD=0.61$) และ เจตคติเชิงลบของผู้เรียนโดยรวมอยู่ในระดับไม่เห็นด้วย ($\bar{X}=1.54$, $SD=0.52$)

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าการใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล ส่งผลทางบวกต่อความสามารถในการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนพร้อมทั้งมีเจตคติที่ดีในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยยังพบปัญหาในระหว่างการทำกรวิจัยจากกลุ่มเป้าหมายซึ่งเป็นผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ซึ่งยังไม่เคยใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้ผ่านทางสมาร์ทโฟนมาก่อนจึงทำให้เวลาการสอนไม่เพียงพอต่อการจัดกิจกรรมดังนั้นครูสามารถทำวิดีโอการสอนให้ผู้เรียนได้ศึกษาและทดลองใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นก่อนที่จะเรียนในชั้นเรียน และเมื่อเข้าชั้นเรียนแล้ว ครูมีความจำเป็นในการสำรวจหาผู้เรียนที่ยังไม่สามารถใช้เครื่องมือได้และต้องให้คำแนะนำกับผู้เรียน

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล ครูควรมีความรู้เบื้องต้นในการใช้งาน GeoGebra Classroom เพื่อใช้ในการออกแบบกิจกรรมและควรใช้สถานการณ์ในบริบทจริงที่ไม่ซับซ้อนและเหมาะสมกับซึ่งในการออกแบบต้องเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการ สำรวจ ตรวจสอบและค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองผ่านนวัตกรรมที่ครูออกแบบไว้โดยใช้ GeoGebra Classroom และครูควรมีการจัดบรรยากาศในชั้นเรียนให้มีการโต้แย้งทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะได้มาร่วมกันวิพากษ์และกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการให้เหตุผล

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในครั้งถัดไป

ผู้ที่สนใจในการทำวิจัยครั้งถัดไปสามารถใช้ GeoGebra Classroom ในการเรียนรู้แบบดิจิทัล ร่วมการเทคนิคการสอน วิธีการสอน หรือรูปแบบการสอนอื่น เพื่อพัฒนาทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ผู้เรียน ได้แก่ การแก้ปัญหา การสื่อสาร ความหมาย การเชื่อมโยง การให้เหตุผลและการพิสูจน์และความคิดสร้างสรรค์ ทักษะเหล่านี้จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ และประยุกต์ใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะครู ผู้บริหาร และคณาจารย์ที่สนับสนุนกำลังใจและสร้างแรงบันดาลใจ และผู้เรียนที่เป็นกลุ่มเป้าหมายพร้อมทั้งผู้ปกครองที่ให้ความร่วมมือในการทำกรวิจัยในครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ได้ขอความยินยอมจากผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในสิทธิส่วนบุคคล หลักคุณประโยชน์และไม่ก่ออันตรายต่อผู้เข้าร่วมวิจัยและหลักความยุติธรรม

การใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์

การใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ ในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นไปในระดับสนับสนุนทางเทคนิคและการเขียนต้นฉบับ เช่น ปรับปรุงความชัดเจน ความถูกต้อง และความเป็นทางการของภาษาในบทความเท่านั้น ซึ่งในส่วนของความถูกต้องของข้อมูล ผลการวิเคราะห์ การตีความ และข้อสรุปทั้งหมดในบทความนี้เป็นการตัดสินใจและอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบโดยตรงของผู้เขียน เพื่อรักษามาตรฐานทางวิชาการและจริยธรรมการวิจัยอย่างเคร่งครัด

References

- Alkouri, Z. and Wardat, Y. (2025). Digital integration in preschool math: Assessing the efficacy of a structured curriculum in classroom settings. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 20(4), em0845.
- Awaji, B. M., Khalil, I. and AL-Zahrani, A. (2025). A Bibliometrics Study of Two Decades of Geogebra Research in Mathematics Education. *Journal of Educational and Social Research*, 15(1), 130-150.
- Barnes, Y. (2015). Action research in education. *Educational Action Research*, 23(2), 306–307.
- Bragg, L. A. and Herbert, S. (2018). What Can Be Learned from Teachers Assessing Mathematical Reasoning: A Case Study. *Proceedings of the 41st Annual Conference of The Mathematics Education Research Group of Australasia* (pp.178-185). Auckland: Massey University.

- Buason, R. (2013). **Mixed Method Research and Evaluation** (in Thai). 2nd ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Butngam, T., Sangsavang, J., Ar-rom, k. and Makmee, S. (2023). Adaptive Behaviors Towards the New Normal after Covid-19 Pandemic of People in Buriram Province (in Thai). **Journal of Boromarajonani College of Nursing, Surin**, 13(1), 1–12.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A. and Landes, N. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness. **Colorado Springs, Co: BSCS**, 5(88-98).
- Hohenwarter, M. and Fuchs, K. (2004). Combination of dynamic geometry, algebra and calculus in the software system GeoGebra. In **Computer algebra systems and dynamic geometry systems in mathematics teaching conference** (pp. 1-6). Salzburg: University of Salzburg.
- Horzum, T. and Ünlü, M. (2017). Pre-Service Mathematics Teachers' Views about GeoGebra and Its Use. **Acta Didactica Napocensia**, 10(3), 77-90.
- Kemmis, S. and McTaggart, R. (1988). **The action research planner**. Deakin University Press.
- Lotey, E. K., Boateng, F. O., Arthur, Y. D., Adu-Obeng, B. and Gordon, J. F. (2025). Exploring GeoGebra acceptance: an implication for pre-service mathematics teachers' professional development. **Cogent Education**, 12(1), 2514980.
- Narpila, S. D., Tarwiyah, T., Purba, O. N., Purba, A. and Lestari, I. (2025). A systematic literature review: Self-efficacy toward mathematical reasoning ability. **Absis Journal**, 8(2), 291–299.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). **Principles and standards for school mathematics**. Reston, VA: Author.
- Negara, H. R. P., Wahyudin, E., Nurlaelah, E. and Herman, T. (2022). Improving students' mathematical reasoning abilities through social cognitive learning using GeoGebra. **International Journal of Emerging Technologies in Learning**, 17(18), 118–132.
- Nguyen, L. T., Kanjug, I., Lowatcharin, G., Manakul, T., Poonpon, K., Sarakorn, W. and Tuamsuk, K. (2023). Digital learning ecosystem for classroom teaching in Thailand high schools. **Sage Open**, 13(1), 21582440231158303.
- Oregon Department of Education (ODE). (2023). Digital Learning Instructional Design and Pedagogical Considerations. Oregon.gov. Retrieved 5 April 2025 from **Oregon Department of Education**: <https://www.oregon.gov/ode/educator-resources/teachingcontent/Documents/Digital%20Learning%resources/teachingcontent/Documents/Digital%20Learning%20Instructional%20Design%20and%20Pedagogical%20Considerations.pdf>
- Phoodee, W. (2020). Mathematics instruction in digital age: Methods and tools (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 190-199.
- Phoodee, W. (2023). Effects of student self-assessment and using GeoGebra™ on students' achievements and self-directed learning in mathematics lessons in a junior high classroom. **Southeast Asian Mathematics Education Journal**, 13(2), 141-160.
- Phoodee, W. (2025). Digital Learning: GeoGebra Digital Tools for Mathematics Education (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 8(1), 180–189.
- Preserthlap, M. and Krukousana, K. (2015). Reliability Comparison of Likert Attitude Test with Different Scales. **Silpakorn Educational Research Journal**, 7(2), 249-258.
- Sari, L. M., Sumarmo, U. and Supriatna, T. (2025). The relationship between mathematical reasoning ability and self-efficacy on junior high school students. **Journal of Innovative Mathematics Learning**, 8(3), 306–314.

- Shute, V. J., Sun, C. and Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. **Educational research review**, 22, 142-158.
- Silalahi, J. P., Siagian, P. and Mukhtar, M. (2024). Development of learning media based on GeoGebra-assisted inquiry learning models to improve students' mathematical reasoning abilities. **Numerical: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika**, 8(1), 461–474.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2023). Press conference announcing the results of the PISA 2022 assessment. Retrieved 3 April 2025 from **PISA Thailand**: <https://pisathailand.ipst.ac.th/news-21/>
- Yerizon, A., Arnellis, F., Tasman, W. and Widjaja, W. (2023). Enhancing junior high school students' reasoning of linear equations using GeoGebra software. **International Journal of Interactive Mobile Technologies**, 17(18), 16–32.
- Yohannes, A. and Chen, H. L. (2023). GeoGebra in mathematics education: a systematic review of journal articles published from 2010 to 2020. **Interactive Learning Environments**, 31(9), 5682-5697.
- Yunianto, W., Galiç, S. and Lavicza, Z. (2024). Exploring Computational Thinking in Mathematics Education: Integrating ChatGPT with GeoGebra for Enhanced Learning Experiences. **International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology**, 12(6), 1451-1470.
- Zagoto, M. M., Musdi, E., Arnawa, I., Fauzan, A., Bentri, A. and Dakhi, O. (2025). Effectiveness of Geogebra-Based Learning on Students' Cognitive and Affective Participation in Mathematics. **Salud, Ciencia y Tecnología**, 5.
- Zengin, Y. and Tatar, E. (2017). Integrating dynamic mathematics software into cooperative learning environments in mathematics. **Journal of Educational Technology & Society**, 20(2), 74-88.



Carbon-based Solid Acid Catalysts for the Reduction of Fatty Acid Content in Waste Cooking Oil

Rungaroon Pimparu¹, Thitima Saiwongsorn² and Jutitorn Laohapornchaiphan^{1,*}

¹*Faculty of Science and Technology, Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University*

²*Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Phranakorn Si Ayutthaya Rajabhat University*

**Email: ljutitorn@aru.ac.th*

Received < 23 April 2025 >; Revised < 12 August 2025 >; Accepted < 14 August 2025 >

Abstract

This research prepared carbon-based solid acid catalysts from sugarcane leaves via hydrothermal carbonization-sulfonation processes in combination with perchloric acid and phosphoric acid. The functional groups were examined by Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy and found similar characteristics of all the three solid acid catalysts, which consisted of hydroxyl groups (–OH), carboxyl groups (–COOH), and sulfonic groups (–SO₃H) showing acidic properties on the catalysts. The prepared solid acids had total acid density between 2.26-3.71 mmol/g and sulfonic groups contents between 0.428-0.768 mmol/g. When the solid acid catalysts were tested for the reduction of free fatty acids in vegetable oils with high free fatty acid content prepared by blending palm oil with oleic acid, via esterification with methanol, it was found that the ratio of methanol to starting oil, reaction temperature, and reaction time affected the reduction of free fatty acids. The catalytic reaction in used vegetable oil was tested by varying parameters such as methanol:oil molar ratio, temperature, reaction time, catalyst types, and amounts of catalyst. It was found that the catalyst prepared with phosphoric and sulfuric acids was the most effective in reducing the amount of free fatty acids in used vegetable oil, having the percentage of free fatty acids of 0.95 after 5 hours when using the carbon-based solid acid catalyst (SLPPS) 3% by weight of the starting oil.

Keywords: Carbon-based solid acid catalyst; Hydrothermal carbonization; Esterification; Biodiesel

ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนสำหรับการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ในน้ำมันพืชใช้แล้ว

รุ่งอรุณ พิมพ์ปฐ¹ ฐิติมา สายวงศ์สอน² และ จุติธรณ์ เลาหพรชัยพันธ์^{1,*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

²สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

*Email: ljutitorn@aru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนจากไบอ้อยผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชัน-ซัลโฟเนชันร่วมกับการใช้กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริก การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) สเปกโทรสโกปีพบลักษณะที่คล้ายคลึงกันของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งทั้งสามชนิดซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) และหมู่ซัลโฟนิก (-SO₃H) ที่แสดงความเป็นกรดบนตัวเร่งปฏิกิริยา กรดของแข็งที่เตรียมได้มีปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ระหว่าง 2.26-3.71 มิลลิโมลต่อกรัม และมีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิกอยู่ระหว่าง 0.428-0.768 มิลลิโมลต่อกรัม เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งไปทดสอบการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงซึ่งเตรียมได้จากการผสมน้ำมันปาล์มกับกรดโอเลอิกผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล พบว่าอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีผลต่อการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ การเร่งปฏิกิริยาในน้ำมันพืชใช้แล้วได้รับการทดสอบโดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น อุณหภูมิ เวลาการทำปฏิกิริยา ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมโดยใช้กรดฟอสฟอริกและกรดซัลฟูริกสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วได้มากที่สุด โดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระเหลือเพียงร้อยละ 0.95 หลังทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอน (SLPPS) ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น

คำสำคัญ: ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอน; ไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนไนเซชัน; เอสเทอริฟิเคชัน; ไบโอดีเซล

บทนำ

ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดหนึ่งที่มีการวิจัยเพื่อนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลที่ได้จากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม ทั้งนี้เพราะไบโอดีเซลมีคุณสมบัติการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงน้ำมันดีเซลทั่วไปจึงสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง และยังมีผลกระทบต่อมลพิษ เช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประเภทพอลิไซคลิกเอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ออกสู่สิ่งแวดล้อมที่น้อยกว่า (Bajpai and Tyagi, 2006; McCarthy, Rasul and Moazzem, 2011; Mishra and Goswami, 2018) เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม

การผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันทำโดยการนำน้ำมันพืชวัตถุดิบ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันเรพซิด (คาโนลา) เป็นต้น ซึ่งประกอบด้วยสารประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) กับแอลกอฮอล์สายสั้น (short-chain alcohols) เช่น เมทานอลหรือเอทานอล โดยใช้เบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เป็นสารประเภทอัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (fatty acid alkyl esters, FAEs) หลาย ๆ ชนิด ซึ่งผสมกันเป็นน้ำมันไบโอดีเซล และมีกลีเซอรอลเป็นผลผลิตพลอยได้ของปฏิกิริยา (Wan Osman *et al.*, 2024) การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานี้มีข้อจำกัดที่ทำให้การผลิตไบโอดีเซลมีต้นทุนสูง (Atabani *et al.*, 2012) คือจะต้องใช้น้ำมันวัตถุดิบที่มีปริมาณของกรดไขมันอิสระ (free fatty acids, FFAs) ต่ำกว่าร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาเกิดปฏิกิริยาสะaponification) กับกรดไขมันอิสระ (Leung, Wu and Leung, 2010) ซึ่งจะทำให้เกิดสบู่และเป็นปัญหาในการแยกผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล และทำให้ร้อยละผลผลิตของสารประเภทอัลคิลเอสเทอร์ลดลง

วิธีการหนึ่งในการลดต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลคือการเลือกใช้แหล่งวัตถุดิบที่มีราคาถูกและไม่เป็นน้ำมันสำหรับบริโภค เช่น ไขมันสัตว์ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว น้ำมันจากสาหร่าย และน้ำมันจากสบู่ดำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้วัตถุดิบน้ำมันที่มีราคาถูกเหล่านี้จำเป็นต้องมีการปรับสภาพของน้ำมัน (pretreatment) เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในปริมาณมากเสียก่อน (Leung, Wu and Leung, 2010; Meher, Vidya Sagar and Naik, 2006) ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) ของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันตั้งต้นกับแอลกอฮอล์โดยใช้กรด เช่น กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Changmai *et al.*, 2020) เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากน้ำมันวัตถุดิบก่อนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป และยังทำให้ได้อัลคิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระเป็นผลิตภัณฑ์

แม้ว่ากรดซัลฟูริกซึ่งเป็นกรดของเหลวที่นิยมใช้ในการเร่งปฏิกิริยาจะมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูงและมีราคาถูก แต่ยังมีข้อเสียทั้งเรื่องความยุ่งยากในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกมาและการทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ ซึ่งทำให้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลทั้งหมดนั้นไม่คุ้มค่า (Parangi and Mishra, 2020) ที่ผ่านมานักวิจัยจึงได้ให้ความสนใจในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็ง (solid acid catalysts) ซึ่งมีข้อได้เปรียบในการแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์และการนำกลับมาใช้ใหม่ อีกทั้งยังสามารถปรับคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ประสิทธิภาพและความแรง และจำนวนของหมู่ฟังก์ชันที่แสดงความเป็นกรด รวมทั้งการปรับลักษณะพื้นผิวให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย (Guo *et al.*, 2023; Parangi and Mishra, 2020)

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอน (carbon-based catalysts) สามารถสังเคราะห์ให้มีคุณลักษณะได้หลากหลาย และมีความเสถียรต่ออุณหภูมิและปฏิกิริยาสูงเมื่อเทียบกับกรดของแข็งชนิดอื่น ๆ (Mahajan and Gupta, 2020; Nakajima and Hara, 2012) นอกจากนี้ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนยังสามารถเตรียมได้ง่ายจากแหล่งคาร์บอนที่หลากหลาย เช่น น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส รวมถึงวัสดุชีวมวล (biomass) ที่เหลือทิ้งจากการเกษตรซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศไทย โดยมีการวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมโดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชัน-ซัลโฟเนชันในขั้นตอนเดียวจากขานอ้อยสามารถเร่งปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับเมทานอลได้ดี โดยให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดโอเลอิกที่สูงกว่า 97 ภายในเวลา 3 ชั่วโมง (Laohapornchaiphan, 2021)

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนจากไบอ้อยผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชัน-ซัลโฟเนชัน (hydrothermal carbonization-sulfonation) โดยการใช้กรดเปอร์คลอริกในการปรับสภาพไบอ้อย และการใช้กรดฟอสฟอริกร่วมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อลดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชัน-ซัลโฟเนชัน รวมทั้งเพื่อศึกษาผลของสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการลดปริมาณ

กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน นอกจากนี้ยังศึกษาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งที่เตรียมขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ใบอ้อยเก็บรวบรวมจากพื้นที่เกษตรกรรมใน อ.หันคา จ.ชัยนาท น้ำมันพืชที่ใช้ศึกษาเป็นน้ำมันปาล์มสำหรับประกอบอาหารที่มีขายทั่วไป น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นน้ำมันปาล์มที่ผ่านการใช้งานทอดอาหารในครัวเรือนซึ่งมีค่ากรดเท่ากับ 4.47 มิลลิกรัม KOH ต่อกรัมของน้ำมัน สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยเป็นเกรดวิเคราะห์ ได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4 , 98% QReC) กรดเปอร์คลอริก (HClO_4 , 70% QReC) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4 , 85% QReC) กรดโอเลอิก ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$, Extra Pure, Loba) เมทานอล (CH_3OH , 99.5% RCI Labscan) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, 85% QReC) และน้ำกลั่น (ค่าความต้านทานไฟฟ้า $\geq 18.2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ รีแอกเตอร์ออตโตเคลป (DT100) ตู้บลมร้อน (Memmert, UM300) เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Onilab, MS-H380-Pro) และเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (PerkinElmer Spectrum Two)

การเตรียมวัสดุชีวมวลตั้งต้น (Sugarcane Leaves, SL)

นำใบอ้อยมาล้างให้สะอาดด้วยน้ำประปาและน้ำกลั่น จากนั้นนำไปตากแดดจนแห้ง แล้วนำมาอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำใบอ้อยแห้งไปบดด้วยเครื่องบดแล้วร่อนด้วยตะแกรงขนาดประมาณ 40 mesh

การเตรียมถ่านไฮโดรคาร์บอนจากใบอ้อย (Sugarcane Leaves-Carbonization, SLC)

นำผงใบอ้อยไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนิเซชัน โดยเติมผงใบอ้อยจำนวน 3 กรัม และน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในรีแอกเตอร์ออตโตเคลป ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปให้ความร้อนในตู้บลมร้อน ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้และล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 600 มิลลิลิตร (3 ครั้ง) แล้วนำของแข็งที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนจากใบอ้อยโดยใช้กรดซัลฟูริก (Sugarcane Leaves-Sulfuric, SLS)

นำผงใบอ้อยไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนิเซชัน-ซัลโฟเนชันในขั้นตอนเดียว โดยเติมผงใบอ้อยจำนวน 3 กรัม น้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในรีแอกเตอร์ออตโตเคลป ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปให้ความร้อนในตู้บลมร้อนที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้และล้างด้วยน้ำร้อนจนปราศจากซัลเฟตไอออน (ทดสอบโดยหยดสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ลงในสารละลายที่ผ่านการกรอง จนไม่เกิดการตกตะกอนของแบเรียมซัลเฟต) แล้วนำของแข็งที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนจากใบอ้อยโดยใช้กรดเปอร์คลอริกและกรดซัลฟูริก (Sugarcane Leaves-Perchloric-Sulfuric, SLPCS)

ปรับสภาพผงใบอ้อยด้วยกรดเปอร์คลอริกก่อนนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนิเซชัน-ซัลโฟเนชัน โดยแช่ผงใบอ้อยจำนวน 3 กรัม ในกรดเปอร์คลอริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมารองและล้างด้วยน้ำร้อนจนสารละลายที่ผ่านการกรองมี pH เป็นกลาง จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้วจึงนำมาใส่ลงในรีแอกเตอร์ออตโตเคลป และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนในตู้บลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้และล้างด้วยน้ำร้อนจนปราศจากซัลเฟตไอออน (ทดสอบโดยหยดสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ลงในสารละลายที่ผ่านการกรอง จนไม่เกิดการตกตะกอนของแบเรียมซัลเฟต) แล้วนำของแข็งที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนจากใบอ้อยโดยใช้กรดฟอสฟอริกและกรดซัลฟูริก (Sugarcane Leaves-Phosphoric-Sulfuric, SLPPS)

นำผงใบอ้อยมาผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนิเซชันในสภาวะที่มีกรดฟอสฟอริกอยู่ด้วยก่อน แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนิเซชัน-ซัลโฟเนชัน โดยเติมผงใบอ้อยจำนวน 3 กรัม และเติมกรดฟอสฟอริกปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในรีแอกเตอร์ออตโตเคลป ปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปให้ความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง กรองและล้างด้วยน้ำร้อนจนสารละลายที่ผ่านการกรองมี pH เป็นกลาง จากนั้นนำไปอบแห้ง แล้วจึงนำมาใส่ในรีแอกเตอร์ออตโตเคลป และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนในตู้บลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ได้และล้างด้วยน้ำร้อนจนปราศจากซิลเฟตไอออน (ทดสอบโดยหยดสารละลายแบรียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร ลงในสารละลายที่ผ่านการกรอง จนไม่เกิดการตกตะกอนของแบรียมซิลเฟต) แล้วนำของแข็งที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy)

นำตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมได้ รวมทั้งวัสดุชีวมวลตั้งต้นและถ่านไฮโดรคาร์จากไบโอยล์ไปเตรียมตัวอย่างโดยผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) แล้วนำไปวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ในช่วงเลขคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมด (total acid density) และปริมาณของหมู่ซัลโฟนิค ($-\text{SO}_3\text{H}$ content) บนตัวเร่งปฏิกิริยา

การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมดทำได้โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอน จำนวน 0.05 กรัม ผสมลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.02 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองส่วนสารละลายไปทำการไทเทรตหาปริมาณของเบสที่เหลือกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

การวิเคราะห์หาปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคทำได้โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอน จำนวน 0.05 กรัม ผสมลงในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.02 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปเขย่าในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองส่วนสารละลายไปทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์

การศึกษาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่มีค่ากรดสูงผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

เพื่อให้มีความสม่ำเสมอของน้ำมันตั้งต้นตลอดการศึกษาลดปริมาณของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ จึงมีการเตรียมน้ำมันตั้งต้นที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงโดยการผสมกรดโอเลอิกลงในน้ำมันปาล์มในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (ค่ากรดเริ่มต้น 6.85 มิลลิกรัม KOH ต่อกรัมของน้ำมัน)

ในแต่ละการทดลองใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมได้จำนวน 0.1 กรัม (ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น) ลงในหลอดแก้วทนความดัน จากนั้นเติมน้ำมันตั้งต้นจำนวน 10 กรัม และอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น 8:1 10:1 12:1 และ 15:1 โดยโมล (จำนวนโมลของน้ำมันคำนวณโดยใช้ค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ย (Hsiao *et al.*, 2021)) แล้วปิดฝาหลอดแก้วให้สนิท นำไปให้ความร้อนพร้อมคนด้วยแม่เหล็กตลอดเวลาในอ่างน้ำมันที่อุณหภูมิ 30 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 5 7 และ 9 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำหลอดแก้วออกจากอ่างน้ำมัน ปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วถ่ายของผสมทั้งหมดลงในหลอดพลาสติกแล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 4000 รอบต่อนาที เพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็ง จากนั้นแบ่งส่วนใสในชั้นน้ำมันไปชั่งให้ได้มวลที่แน่นอน แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณร้อยละของกรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิก (%FFA) หลังสิ้นสุดปฏิกิริยา ดังสมการที่ 1

$$\%FFA = \frac{(V - B) \times 282 \times M}{1000 \times W} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตน้ำมันตัวอย่างจนถึงจุดยุติ (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต Blank จนถึงจุดยุติ (มิลลิลิตร)

282 คือ มวลต่อโมลของกรดโอเลอิก (กรัม)

M คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลิตร)

W คือ มวลของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

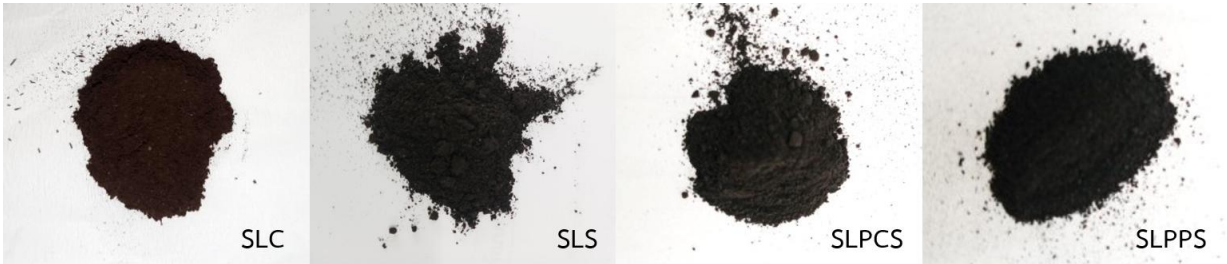
การศึกษาการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว

การศึกษาความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วใช้วิธีการเดียวกันกับการศึกษาในน้ำมันพืชที่มีค่ากรดสูง แต่เปลี่ยนน้ำมันตั้งต้นเป็นน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งมีค่ากรดเริ่มต้น 4.47 มิลลิกรัม KOH ต่อกรัมของน้ำมัน ที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนและถ่านไฮโดรคาร์จากไบโอยล์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น และใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น 12:1 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

การศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว
ทำการทดลองโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็ง SLPPS ในปริมาณร้อยละ 0.5-3 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น และ
เมทานอลในอัตราส่วน 12:1 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยา
ลักษณะทางกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนทั้ง 3 ชนิดที่เตรียมจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล
คาร์บอนในเซชัน-ซิลโฟเนชันต่างสภาวะ (SLS, SLPCS, SLPPS) มีลักษณะเป็นของแข็งร่วนสีดำ โดยที่ SLPCS และ SLPPS มี
ลักษณะเป็นผงละเอียดและมีการกระจายตัวดีกว่า SLS ในขณะที่ถ่านไฮโดรคาร์จากไบอ้อย (SLC) มีลักษณะเป็นของแข็งสี
น้ำตาลเข้ม ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของถ่านไฮโดรคาร์จากไบอ้อยและตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอน

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 1 การปรับสภาพไบ
อ้อยด้วยกรดเปอร์คลอริกก่อนนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชัน-ซิลโฟเนชัน (SLPCS) พบว่าร้อยละโดยมวล
ของผลิตภัณฑ์ของแข็งมีปริมาณน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจมีสาเหตุสองประการ ประการแรกคือการปรับสภาพวัสดุชีวมวลหรือผงไบ
อ้อยอาจเกิดการสูญเสียสารบางส่วนไปก่อนกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชัน เนื่องจากกรดเปอร์คลอริกทำให้เกิดการ
สลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและโครงสร้างบางส่วนของลิกนินซึ่งเป็นองค์ประกอบในวัสดุชีวมวล (He *et al.*, 2015;
Woiciechowski *et al.*, 2020) อีกประการหนึ่งคือในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชันใช้เวลานานกว่าการเตรียมตัวเร่ง
ปฏิกิริยากรดของแข็งชนิดอื่น อาจทำให้กระบวนการควบแน่นและพอลิเมอไรเซชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้สารที่เกิดขึ้น
ระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชันเกิดการรวมตัวเป็นถ่านไฮโดรคาร์ (Sevilla and Fuertes, 2009; Sharma,
Sarmah and Dubey, 2020) เกิดขึ้นได้น้อยกว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 1 ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็งที่เตรียมได้

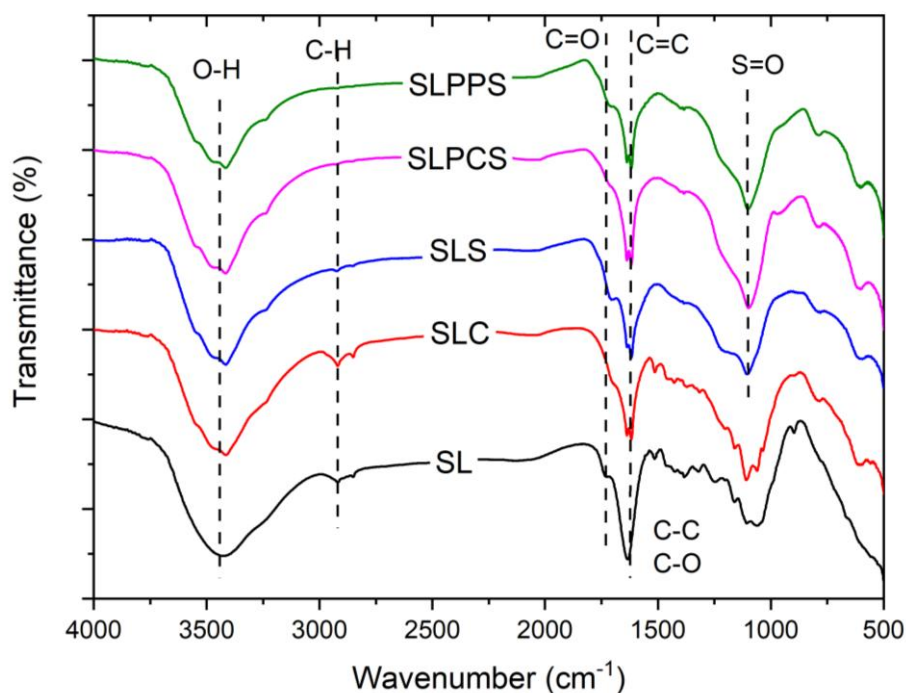
ตัวเร่งปฏิกิริยา	ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของแข็ง (%w/w)
SLC	53.67±0.47
SLS	55.84±1.18
SLPCS	28.17±0.23
SLPPS	54.00±0.47

n = 4 ครั้ง

เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) สเปกโตรสโกปีใช้ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและชนิดของพันธะต่าง ๆ
จากภาพที่ 2 วัสดุชีวมวลหรือผงไบอ้อย (SL) ถ่านไฮโดรคาร์จากไบอ้อย (SLC) และตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่
เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิด (SLS, SLPCS, SLPPS) ปรากฏแถบการสั่นแบบยืดของพันธะใน O-H (3430 cm^{-1}) C-H (2920 cm^{-1})
และ C=O (1730 cm^{-1}) (Peng *et al.*, 2010) แสดงว่ากระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซชัน-ซิลโฟเนชันที่ใช้ในการเตรียม
ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ยังคงมีหมู่ฟังก์ชันที่ประกอบด้วยออกซิเจนที่หลากหลาย รวมถึงหมู่
ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) แต่จะเห็นการลดลงเล็กน้อยของหมู่ไฮดรอกซิล และการเปลี่ยนแปลงของ

แถบการสั่นที่เกี่ยวข้องกับพันธะ C-O และ C-C ในช่วงเลขคลื่น $\sim 1400-1000\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้กรดร่วมในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชันทำให้โครงสร้างลิกโนเซลลูโลสของไบ้อย่อยเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงการพันธะ C=C ในโครงสร้างลิกนินที่เลขคลื่น $\sim 1650\text{ cm}^{-1}$ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดกระบวนการแอโรมาไทเซชันและกระบวนการพอลิเมอไรเซชันในระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชันเกิดเป็นแผ่นคาร์บอนโพลีแอโรแมติก (Sevilla and Fuertes, 2009; Toda *et al.*, 2005) ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งจากสารที่เกิดขึ้นหลากหลายระหว่างกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชันของวัสดุชีวมวล

การใช้กรดซัลฟูริกในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งทั้ง 3 ชนิด ทำให้เกิดการปรากฏขึ้นของแถบการสั่นที่เกี่ยวข้องกับพันธะ S=O ในหมู่ซัลโฟนิค ($-\text{SO}_3\text{H}$) ที่ช่วงเลขคลื่น $1200-1000\text{ cm}^{-1}$ (Erdem and Azko, 2017; Kang *et al.*, 2017; Li and Zeng, 2017) แสดงให้เห็นว่าการใช้กรดซัลฟูริกทำให้เกิดกระบวนการซัลโฟเนชันควบคู่ไปกับการเกิดกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชัน สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอน SLPCS และ SLPPS ซึ่งเตรียมจากการใช้กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริกพร้อมด้วย พบว่าไม่ปรากฏชนิดของหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนบนสเปกตรัมของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนทั้ง 2 ชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็ง SLS ที่เตรียมโดยใช้กรดซัลฟูริกในขั้นตอนเดียว แต่จะพบว่ามีลักษณะและความเข้มของแถบการสั่นที่เกี่ยวข้องกับหมู่ซัลโฟนิคในสัดส่วนที่ต่างกันไป ซึ่งอาจแสดงว่าปริมาณ ความแรง รวมถึงตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องนี้มีความแตกต่างกันระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 2 FT-IR สเปกตรัมของวัสดุชีวมวลหรือผงไบ้อย่อย (SL) ผ่านไฮโดรคาร์จากไบ้อย่อย (SLC) และตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนทั้ง 3 ชนิด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนแสดงดังในตารางที่ 2 พบว่าการใช้กรดเปอร์คลอริกในการปรับสภาพวัสดุชีวมวลก่อนนำมาเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา SLPCS และการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา SLPPS ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชันในสองขั้นตอนโดยใช้กรดฟอสฟอริกในขั้นแรกก่อนการซัลโฟเนชันในขั้นตอนที่สอง ช่วยเพิ่มปริมาณกรดทั้งหมดของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา SLS โดยใช้กรดซัลฟูริกในขั้นตอนเดียว นอกจากนี้การใช้กรดเปอร์คลอริกและกรดฟอสฟอริกยังส่งผลต่อปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีความแรงของกรดสูงบนตัวเร่งปฏิกิริยา โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา SLPCS มีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา SLS อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา SLPPS มีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา SLS เล็กน้อย ทั้งนี้ตัวเร่งปฏิกิริยา SLPPS ยังสามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา SLS ที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 220 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเป็นผลมาจากการที่

กรดฟอสฟอริกที่ใช้ในขั้นตอนแรกช่วยในการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและโครงสร้างของลิกนินบางส่วน (Chen *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2014) และอาจช่วยให้กระบวนการซัลโฟเนชันในขั้นตอนที่สองเกิดขึ้นได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการทำให้โครงสร้างลิกโนเซลลูโลสสลายตัวเช่นเดียวกับการกรดซัลฟูริกในขั้นตอนเดียว สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา SLPCS แม้ว่าจะสามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และมีปริมาณกรดทั้งหมดสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา SLS แต่พบว่ามีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอีก 2 ชนิด จึงอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชันเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดหมู่ซัลโฟนิกบนตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะแม้ว่ากรดเปอร์คลอริกจะมีความแรงที่สูงกว่ากรดฟอสฟอริกและอาจทำให้เกิดการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและโครงสร้างบางส่วนของลิกนินได้มากกว่า แต่การใช้กรดฟอสฟอริกในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชันของไบอ้อยทำให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยา SLPPS ที่มีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิกสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา SLPCS นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้กรดฟอสฟอริกช่วยให้สามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนจากวัสดุชีวมวลได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 180 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเริ่มเกิดการสลายตัวภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มัล (Ighalo *et al.*, 2025)

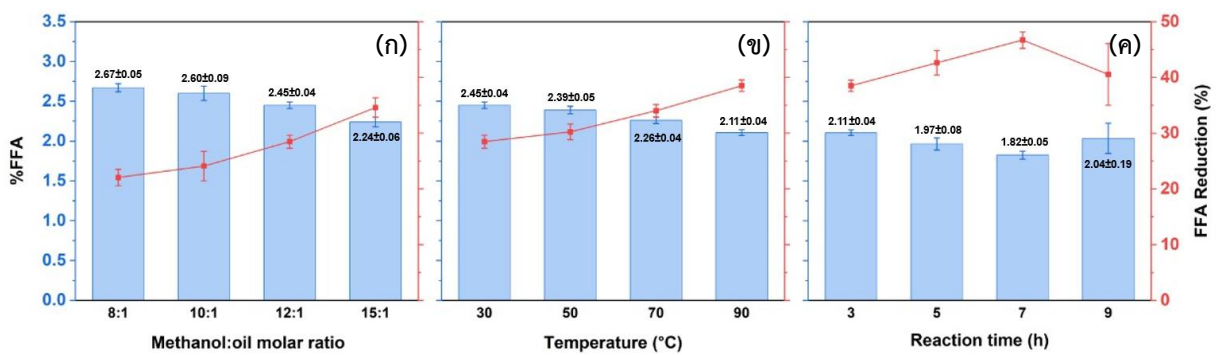
ตารางที่ 2 ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของหมู่ซัลโฟนิกบนตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณกรดทั้งหมด (mmol/g)	ปริมาณของหมู่ซัลโฟนิก (mmol/g)
SLC	0.98±0.01	-
SLS	2.26±0.03	0.761±0.001
SLPCS	2.76±0.01	0.429±0.071
SLPPS	3.71±0.04	0.768±0.003

n = 4 ครั้ง

การลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่มีค่ากรดสูงผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน

การเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดโอเลอิกที่ผสมในน้ำมันพืช (ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนเซชันในขั้นตอนเดียวโดยใช้กรดซัลฟูริก (SLS) พบว่าทั้งอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา มีผลต่อการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ (%FFA) และร้อยละการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA Reduction) ในน้ำมันพืชที่มีค่ากรดสูง โดยการปรับเปลี่ยน (ก) อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้นอุณหภูมิ (ข) อุณหภูมิ และ (ค) เวลาในการทำปฏิกิริยา

ผลของอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น

จากภาพที่ 3ก เมื่อทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา SLS ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น 8:1 10:1 12:1 และ 15:1 โดยโมล พบว่าปริมาณเมทานอลเพิ่มขึ้นทำให้ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระลดลงได้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณที่เพิ่มขึ้นของแอลกอฮอล์ช่วยลดความหนืดของน้ำมัน และช่วยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้มากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอ

รีฟิเคชันสามารถผันกลับได้ (Ding, He and Li, 2011) โดยจะเห็นว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งแต่ 12:1 ขึ้นไป จะทำให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระลดลงต่ำกว่าร้อยละ 2.5 โดยมวล ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น 12:1 โดยโมล ในการศึกษาผลอุณหภูมิต่อไป เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้นจาก 10:1 เป็น 12:1 โดยโมล พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และแม้ว่าการใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้นเพิ่มขึ้นเป็น 15:1 จะทำให้ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระลดลงได้มากขึ้น แต่ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองเมทานอลและจะต้องใช้เวลามากขึ้นในการแยกเมทานอลออกจากผลิตภัณฑ์

ผลของอุณหภูมิ

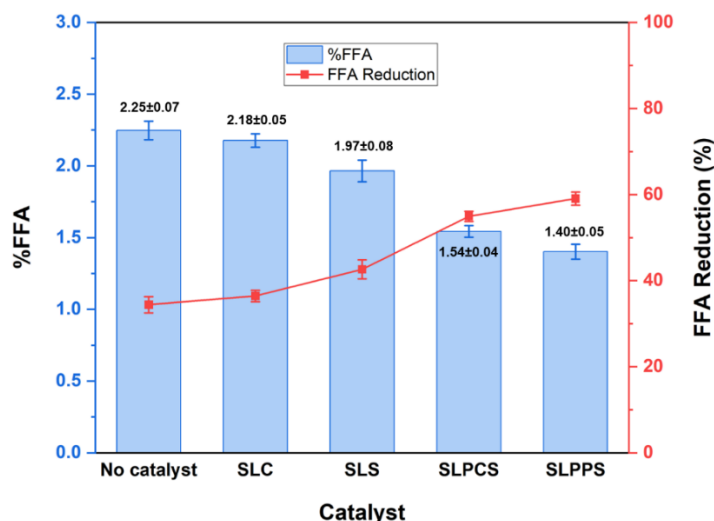
จากภาพที่ 3 ข เมื่อทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา SLS ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น และใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น 12:1 โดยโมล เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Zavarize *et al.*, 2023) ทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงร้อยละ 38.5 เมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำปฏิกิริยาของกรดไขมันอิสระ (Marchetti and Errazu, 2008; Trubiano, Borio and Errazu, 2007)

ผลของเวลาการทำปฏิกิริยา

จากภาพที่ 3 ค เมื่อทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา SLS ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น และใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น 12:1 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 5 7 และ 9 ชั่วโมง พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระในน้ำมันลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น โดยปริมาณของกรดไขมันอิสระจะลดลงถึงร้อยละ 1.82 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น หรือคิดเป็นร้อยละการลดลงของกรดไขมันอิสระเท่ากับ 46.7 หลังทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 7 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม เมื่อทำปฏิกิริยานานถึง 9 ชั่วโมง พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระที่คำนวณได้มีค่ามากขึ้น ซึ่งอาจเป็นได้ว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น อาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเมทิลเอสเทอร์แล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นกรดไขมันอิสระอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากมีน้ำเป็นอีกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระจะมีเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม เนื่องจากเมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานานกว่าเวลาที่เหมาะสมจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม (Saha and Goud, 2015) ส่งผลให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันอิสระเป็นเมทิลเอสเทอร์ลดลง

การลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว

เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิดไปทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้น และใช้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น 12:1 โดยโมล ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4

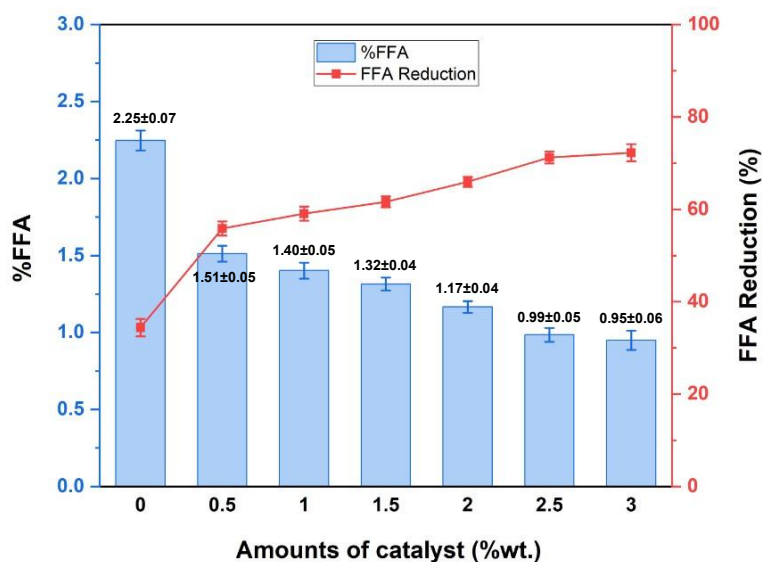


ภาพที่ 4 ร้อยละโดยน้ำหนักของกรดไขมันอิสระ (%FFA) และร้อยละการลดลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA Reduction) ในน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการปรับเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยา

จากภาพที่ 4 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมขึ้นมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วแตกต่างกัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียมโดยใช้กรดสองชนิด (SLPCS และ SLPPS) สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมโดยใช้กรดซัลฟูริกในขั้นตอนเดียว (SLS) ซึ่งเมื่อพิจารณาลำดับความสามารถในการเร่งปฏิกิริยากับปริมาณกรดทั้งหมดบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยา (ตารางที่ 2) พบว่ามีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่มีปริมาณกรดทั้งหมดมากกว่าจะมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาสูงกว่า อย่างไรก็ตามการมีปริมาณกรดทั้งหมดสูงอาจไม่ได้แสดงว่าสามารถเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้ดีเสมอไป เนื่องจากตำแหน่งของหมู่กรดที่จะสามารถเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันได้จะต้องมีความแรงของกรดที่สูงพอ (Laohapornchaiphan, Smith and Smith, 2017; Pi *et al.*, 2022) ดังจะเห็นได้จากกรณีของถ่านไฮโดรคาร์ที่มีเฉพาะหมู่ฟังก์ชันที่มีความแรงของกรดต่ำ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) และหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้เพียงเล็กน้อย และจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า ถ่านไฮโดรคาร์ที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีความแรงของกรดสูง เช่น หมู่ซัลโฟนิค ($-SO_3H$) ไม่มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดโอเลอิกกับเมทานอล (Laohapornchaiphan, 2021) แสดงว่าการลดลงเล็กน้อยของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วในกรณีของถ่านไฮโดรคาร์จากไบออยล์ (SLC) อาจเป็นผลมาจากกระบวนการอื่น ๆ เช่น การดูดซับของกรดไขมันอิสระบนพื้นผิวของวัสดุคาร์บอน (Schneider *et al.*, 2019; Wong, Tze and Chin, 2023)

เมื่อพิจารณาปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคบนตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา SLPPS ซึ่งมีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคมากที่สุดแสดงประสิทธิภาพในการลดปริมาณของไขมันอิสระได้สูงที่สุด โดยทำให้กรดไขมันอิสระลดลงร้อยละ 59.1 เมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตัวเร่งปฏิกิริยา SLPCS ซึ่งมีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคน้อยที่สุดในระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งที่เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิด พบว่าสามารถลดปริมาณของกรดไขมันอิสระได้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา SLS กล่าวคือ ตัวเร่งปฏิกิริยา SLPCS ซึ่งมีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคเท่ากับ 0.429 มิลลิโมลต่อกรัม มีร้อยละการลดลงของกรดไขมันอิสระเท่ากับ 54.9 ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา SLS ซึ่งมีปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคเท่ากับ 0.761 มิลลิโมลต่อกรัม สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ร้อยละ 42.6 แสดงว่านอกจากปริมาณของหมู่ซัลโฟนิคแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ช่วยในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา และการมีอยู่ของหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ที่อาจมีส่วนช่วยในการเข้าทำปฏิกิริยาบนบริเวณเร่ง (active sites) ของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งควรมีการศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาและกลไกในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มเติมต่อไป

นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าปริมาณของตัวเร่งของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งก็มีผลในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระ จากภาพที่ 5 สรุปได้ว่าเมื่อใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจะทำให้สามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วได้มากขึ้น โดยเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็ง SLPPS ในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของน้ำมันตั้งต้นสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้เหลือเพียงร้อยละ 0.95 หลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 5 ชั่วโมง



ภาพที่ 5 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา SLPPS ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เตรียมจากไบอ้อยผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนใน เซลล์-โซลโฟเนชัน ในสภาวะที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า การปรับสภาพวัสดุชีวมวลด้วยกรดเปอร์คลอริกก่อนกระบวนการ ไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซลล์ และการใช้กรดฟอสฟอริกในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนในเซลล์ในขั้นตอนแรกก่อนนำไป เซลล์-โซลโฟเนชันโดยใช้กรดซัลฟูริกในขั้นตอนที่สอง นอกจากจะช่วยลดอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลคาร์บอนใน เซลล์-โซลโฟเนชันแล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว ซึ่งเป็นผลมาจาก ปริมาณกรดทั้งหมดที่แตกต่างกันบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้อัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำมันตั้งต้น อุณหภูมิ เวลาใน การทำปฏิกิริยา และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็ง ยังมีผลต่อการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่มีค่ากรดสูง ผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอล ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งฐานคาร์บอนที่เตรียม ขึ้นสามารถใช้ในการลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้วได้ ซึ่งจะช่วยให้ น้ำมันพืชที่ใช้แล้วนี้มีความ เหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล และยังทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของ กรดไขมันอิสระอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจผลของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะต่าง ๆ มากขึ้น ควรมีการศึกษาคุณลักษณะ ทางกายภาพและทางเคมีของตัวเร่งปฏิกิริยากรดของแข็งด้วยเทคนิคอื่น ๆ เพิ่มเติม นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเสถียรภาพของ ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเป็นแนวทางในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูงโดยใช้สภาวะที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากแหล่งน้ำมันวัตถุดิบที่มีราคาถูกลดลงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่สนับสนุนสถานที่และ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

References

- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H. and Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(4), 2070-2093.
- Bajpai, D. and Tyagi, V. K. (2006). Biodiesel: Source, Production, Composition, Properties and Its Benefits. **Journal of Oleo Science**, 55(10), 487-502.
- Changmai, B., Vanlalveni, C., Ingle, A. P., Bhagat, R. and Rokhum, S. L. (2020). Widely used catalysts in biodiesel production: a review. **RSC Advances**, 10(68), 41625-41679.
- Chen, D., Tang, W., Wang, H., Sheng, Y., Tan, X., Shi, Y., Fan, W. and Ge, S. (2023). Phosphoric acid pretreatment of poplar to optimize fermentable sugars production based on orthogonal experimental design. **Frontiers in Chemistry**, 11, 1119215.
- Ding, J., He, B. and Li, J. (2011). Biodiesel Production from Acidified Oils via Supercritical Methanol. **Energies**, 4(12), 2212-2223.
- Erdem, B. and Azko, Ç. (2017). B-SBA-15-SO₃H: a versatile mesoporous catalyst. **Journal of Porous Materials**, 24(5), 1237-1246.
- Guo, Y., Delbari, S. A., Sabahi Namini, A., Le, Q. V., Park, J. Y., Kim, D., Varma, R. S., Jang, H. W., T-Raissi, A., Shokouhimehr, M. and Li, C. (2023). Recent developments in solid acid catalysts for biodiesel production. **Molecular Catalysis**, 547, 113362.
- He, Y.-C., Liu, F., Gong, L., Lu, T., Ding, Y., Zhang, D.-P., Qing, Q. and Zhang, Y. (2015). Improving Enzymatic Hydrolysis of Corn Stover Pretreated by Ethylene Glycol-Perchloric Acid-Water Mixture. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 175(3), 1306-1317.
- Hsiao, M.-C., Liao, P.-H., Lan, N. V. and Hou, S.-S. (2021). Enhancement of Biodiesel Production from High-Acid-Value Waste Cooking Oil via a Microwave Reactor Using a Homogeneous Alkaline Catalyst. **Energies**, 14(2), 437.

- Ighalo, J. O., Akaeme, F. C., Georgin, J., de Oliveira, J. S. and Franco, D. S. P. (2025). Biomass Hydrochar: A Critical Review of Process Chemistry, Synthesis Methodology, and Applications. **Sustainability**, 17(4), 1660.
- Kang, S., Zhang, G., Yang, X., Yin, H., Fu, X., Liao, J., Tu, J., Huang, X., Qin, F. G. F. and Xu, Y. (2017). Effects of p-Toluenesulfonic Acid in the Conversion of Glucose for Levulinic Acid and Sulfonated Carbon Production. **Energy & Fuels**, 31(3), 2847-2854.
- Laohapornchaiphan, J. (2021). Preparation of carbon-based solid acid catalysts for esterification of oleic acid (in Thai). **Proceedings of the 12th Rajamangala Surin National Conference** (pp. A104-A115). September 16-17, 2021. Surin: Rajamangala University of Technology Isan SURIN Campus.
- Laohapornchaiphan, J., Smith, C. B. and Smith, S. M. (2017). One-step Preparation of Carbon-based Solid Acid Catalyst from Water Hyacinth Leaves for Esterification of Oleic Acid and Dehydration of Xylose. **Chemistry – An Asian Journal**, 12(24), 3178-3186.
- Leung, D. Y. C., Wu, X. and Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. **Applied Energy**, 87(4), 1083-1095.
- Li, Y. and Zeng, D. (2017). Synthesis and characterization of flower-like carbon spheres solid acid from glucose for esterification. **Materials Letters**, 193, 172-175.
- Mahajan, A. and Gupta, P. (2020). Carbon-based solid acids: a review. **Environmental Chemistry Letters**, 18(2), 299-314.
- Marchetti, J. M. and Errazu, A. F. (2008). Esterification of free fatty acids using sulfuric acid as catalyst in the presence of triglycerides. **Biomass and Bioenergy**, 32(9), 892-895.
- McCarthy, P., Rasul, M. G. and Moazzem, S. (2011). Comparison of the performance and emissions of different biodiesel blends against petroleum diesel. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, 6(4), 255-260.
- Meher, L. C., Vidya Sagar, D. and Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 10(3), 248-268.
- Mishra, V. K. and Goswami, R. (2018). A review of production, properties and advantages of biodiesel. **Biofuels**, 9(2), 273-289.
- Nakajima, K. and Hara, M. (2012). Amorphous Carbon with SO₃H Groups as a Solid Brønsted Acid Catalyst. **ACS Catalysis**, 2(7), 1296-1304.
- Parangi, T. and Mishra, M. K. (2020). Solid Acid Catalysts for Biodiesel Production. **Comments on Inorganic Chemistry**, 40(4), 176-216.
- Peng, L., Philippaerts, A., Ke, X., Van Noyen, J., De Clippel, F., Van Tendeloo, G., Jacobs, P. A. and Sels, B. F. (2010). Preparation of sulfonated ordered mesoporous carbon and its use for the esterification of fatty acids. **Catalysis Today**, 150(1), 140-146.
- Pi, Y., Liu, W., Wang, J., Peng, G., Jiang, D., Guo, R. and Yin, D. (2022). Preparation of Activated Carbon-Based Solid Sulfonic Acid and Its Catalytic Performance in Biodiesel Preparation. **Frontiers in Chemistry**, 10, 1-10.
- Saha, R. and Goud, V. V. (2015). Ultrasound assisted transesterification of high free fatty acids karanja oil using heterogeneous base catalysts. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 5(2), 195-207.
- Schneider, L. T., Bonassa, G., Alves, H. J., Meier, T. R. W., Frigo, E. P. and Teleken, J. G. (2019). Use of rice husk in waste cooking oil pretreatment. **Environmental Technology**, 40(5), 594-604.
- Sevilla, M. and Fuertes, A. B. (2009). The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. **Carbon**, 47(9), 2281-2289.
- Sharma, H. B., Sarmah, A. K. and Dubey, B. (2020). Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process

- parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 123, 109761.
- Toda, M., Takagaki, A., Okamura, M., Kondo, J. N., Hayashi, S., Domen, K. and Hara, M. (2005). Biodiesel made with sugar catalyst. **Nature**, 438(7065), 178-178.
- Trubiano, G., Borio, D. and Errazu, A. (2007). Influence of the operating conditions and the external mass transfer limitations on the synthesis of fatty acid esters using a *Candida antarctica* lipase. **Enzyme and Microbial Technology**, 40(4), 716-722.
- Wan Osman, W. N. A., Rosli, M. H., Mazli, W. N. A. and Samsuri, S. (2024). Comparative review of biodiesel production and purification. **Carbon Capture Science & Technology**, 13, 100264.
- Wang, Q., Wang, Z., Shen, F., Hu, J., Sun, F., Lin, L., Yang, G., Zhang, Y. and Deng, S. (2014). Pretreating lignocellulosic biomass by the concentrated phosphoric acid plus hydrogen peroxide (PHP) for enzymatic hydrolysis: Evaluating the pretreatment flexibility on feedstocks and particle sizes. **Bioresource Technology**, 166, 420-428.
- Woiciechowski, A. L., Neto, C. J. D., de Souza Vandenberghe, L. P., de Carvalho Neto, D. P., Sydney, A. C. N., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Torres, L. A. Z. and Soccol C. R. (2020). Lignocellulosic biomass: Acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance–Conventional processing and recent advances. **Bioresource Technology**, 304, 122848.
- Wong, S. F., Tze, T. A. N. and Chin, Y. H. (2023). Pre-treatment of waste cooking oil by combined activated carbon adsorption and acid esterification for biodiesel synthesis via two-stage transesterification. **Biofuels**, 14(9), 967-977.
- Zavarize, D. G., Vieira, G. E. G. and de Oliveira, J. D. (2023). Kinetics of free fatty acids esterification in waste frying oil using novel carbon-based acid heterogeneous catalyst derived from Amazonian Açaí seeds – Role of experimental conditions on a simpler pseudo first-order reaction mechanism. **Catalysis Communications**, 180, 106716.



Constructed a Low-Vacuum chamber with a food container: A wireless sensor Gas Law Experiment

Sarawut Kongthong^{1,2} and Chittra Kedkaew^{2,*}

¹*Benchamatheputhit Phetchaburi School, Phetchaburi, 76000*

²*Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140*

**Email: chittra.ked@kmutt.ac.th*

Received <23 September 2025>; Revised <4 November 2025>; Accepted <9 November 2025>

Abstract

This research aimed to develop a user-friendly experimental set for studying gas laws and to investigate the relationship between volume and pressure inside a vacuum food container. The prototype consisted of a 1-litre polypropylene food vacuum container with a four-sided locking lid, modified to connect to a small air pump as vacuum pump. A wireless pressure sensor was integrated, capable of measuring pressures in the range of 300–1100 hPa. The developed apparatus demonstrated that the selected vacuum container maintained its shape without deformation under low-pressure conditions and was able to sustain reduced pressure throughout the experiments. Within a 30-second period, the small air pump successfully achieved a minimum pressure of approximately 474 hPa, which does not deform the shape of the food container. In the experiment, a balloon was placed inside the food container, and then the volume changes of the balloon were investigated. When the pressure decreased, the balloon expanded. The Tracker program was used to measure changes in the balloon's diameter, from which its volume was calculated. The measured pressures from the wireless sensor showed an error margin of 6.06% compared to the calculated. The results indicated that the relationship between the balloon's volume and the reciprocal of pressure ($1/P$) exhibited a linear trend with range 1003.15 – 474.90 hPa pressure, confirming an inverse relationship between volume and pressure, consistent with Boyle's Law. This study demonstrates that an easy-to-construct experimental set can effectively study the gas laws, especially in contexts where access to specialized laboratory equipment is limited.

Keywords: Gas laws; Wireless pressure sensor; Vacuum food container

การสร้างกล่องสุญญากาศความดันต่ำจากกล่องอาหาร :
การทดลองกฎของแก๊สด้วยเซนเซอร์ไร้สาย

สรารุท คงทอง^{1,2} และ จิตรา เกตุแก้ว^{2*}

¹โรงเรียนเบญจมเทวฤทธิศ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี 76000

²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

*Email: chittra.ked@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาชุดการทดลองกฎของแก๊สที่ใช้งานง่าย เพื่อใช้ในการศึกษากฎของแก๊สและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันภายในภาชนะสุญญากาศที่ได้จากกล่องอาหาร สำหรับชุดทดลองต้นแบบประกอบด้วยภาชนะสุญญากาศสำหรับใส่อาหาร ผลิตด้วยวัสดุโพลีโพรพิลีน ขนาดความจุ 1 ลิตร มีฝาล็อก 4 ด้าน ดัดแปลงให้ต่อท่ออากาศเข้ากับปั๊มลม (air pump) ขนาดเล็ก ซึ่งทำหน้าที่เป็นปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) และเครื่องวัดความดันแบบไร้สาย ซึ่งสามารถวัดความดันในช่วง 300 – 1100 hPa ซึ่งชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น แสดงให้เห็นว่าภาชนะสุญญากาศที่เลือกใช้สามารถคงรูปได้โดยไม่เกิดการเสียรูปภายใต้สภาวะความดันต่ำ และสามารถรักษาความดันที่ลดลงไว้ได้ตลอดระยะเวลาการทดลอง และขณะเปิดปั๊มลมเป็นเวลา 30 s สามารถลดความดันภายในภาชนะลงมาถึงประมาณ 474 hPa โดยภาชนะยังไม่มี การเสียรูปร่างไป และจากการทดลองวางลูกโป่งไว้ในภาชนะสุญญากาศ เพื่อศึกษาปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกโป่ง พบว่า เมื่อความดันภายในภาชนะลดลง ลูกโป่งจะขยายใหญ่ขึ้น เมื่อใช้โปรแกรม Tracker วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่ง และนำไปคำนวณหาปริมาตรของลูกโป่ง และค่าความดันที่วัดได้จากเซนเซอร์ไร้สายมีค่าความคลาดเคลื่อน 6.06% เมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณได้ ผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของลูกโป่งและส่วนกลับของความดัน (1/P) มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ในช่วงความดัน 103.15 – 474.90 hPa ซึ่งยืนยันความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างปริมาตรและความดัน โดยมีความสอดคล้องกับกฎของบอยล์ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่สร้างขึ้น สามารถศึกษาใช้ศึกษา กฎของก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริบทที่การเข้าถึงอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการเฉพาะทางมีจำกัด

คำสำคัญ: กฎของแก๊ส; เครื่องวัดความดันแบบไร้สาย; ภาชนะสุญญากาศสำหรับใส่อาหาร

บทนำ

การจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนส่วนใหญ่ ยังคงประสบปัญหาเรื่องการเข้าถึงอุปกรณ์การทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีราคาสูงและต้องใช้ทักษะเฉพาะทางในการใช้งาน อุปสรรคนี้ทำให้โรงเรียนจำนวนมากจำกัดการเรียนการสอนให้อยู่ในรูปแบบการบรรยายหรือการสาธิตโดยครูผู้สอนเพียงอย่างเดียว (Erol and Oğur, 2023) ส่งผลให้ผู้เรียนขาดโอกาสลงมือปฏิบัติจริงและไม่สามารถพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific thinking) และการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ได้อย่างเต็มที่ การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และการทดลองที่ทำให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์ทำจริงจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการยกระดับคุณภาพการเรียนการสอนฟิสิกส์ในศตวรรษที่ 21 ทำให้การจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและปรับเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว สืบเนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและแนวคิดทางการศึกษาแบบใหม่ที่เข้ามาตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้เปิดโอกาสใหม่ให้มีการพัฒนาเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลองที่มีราคาต่ำลง เมื่อเทียบกับในอดีตที่ผ่านมา ยกตัวอย่างเช่น การใช้สมาร์ตโฟน เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้สำหรับเก็บผลการทดลอง โดยใช้แท่นกล้องถ่ายภาพ แท่นเซนเซอร์ ซึ่งมีอยู่หลายแบบ สามารถใช้ร่วมกับแอปพลิเคชัน เพื่อบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล เช่น แอปพลิเคชัน Phyphox เพื่อเก็บข้อมูลจากการทดลองแบบเรียลไทม์ (Kaewsri, Kaewurai and Meesuwat, 2023) ขณะเดียวกัน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อย่าง Arduino (Jaewijarn, 2020) ได้รับความนิยมสูงในการสร้างนำมาใช้ควบคุม และเก็บข้อมูลการทดลองทางฟิสิกส์ เนื่องจากสามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ได้หลายชนิด เช่น BME280 สำหรับวัดความดัน อุณหภูมิ และความชื้น (Schnider and Hömöstrei, 2024) ทำให้ครูและนักเรียนสามารถออกแบบการทดลองที่มีความหลากหลายยืดหยุ่น ใช้งานง่าย และมีต้นทุนต่ำ Khamprawat *et.al* (2025) ได้แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองราคาถูกที่นักเรียนสามารถสร้างได้เอง ไม่เพียงแต่ช่วยลดค่าใช้จ่าย แต่ยังเสริมสร้างการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Inquiry-Based Learning) ให้เกิดขึ้นอย่างแท้จริง ผลการประเมินพบว่าชุดการทดลองมีความตรงและความเชื่อมั่นสูง สอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎี อีกทั้งยังผู้เชี่ยวชาญ ครู และนักเรียนประเมินคุณภาพในระดับดีมากในด้านลักษณะทางกายภาพ ความสะดวกในการใช้งาน การบำรุงรักษา และความเหมาะสมต่อการสอน การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้วัสดุพื้นฐานและความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างเครื่องมือการเรียนรู้ที่เข้าถึงได้ง่ายและตอบโจทย์การเรียนรู้เชิงรุก (active learning) ในการบูรณาการสื่อการทดลองที่ลงมือปฏิบัติจริงและสื่อการทดลองเสมือนจริง (Ramos *et.al.*, 2020; Boonrangsri, 2025) ได้พัฒนาและทดสอบสื่อการทดลองเสมือนจริงร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบสอบ 5E พบว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงเพิ่มขึ้นกว่า 77% ของผู้เรียนทั้งหมด อีกทั้งผู้เรียนยังมีความพึงพอใจในระดับสูง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงสามารถแก้ข้อจำกัดของการทดลองที่ลงมือปฏิบัติจริงได้ ซึ่งช่วยลดข้อจำกัดด้านทรัพยากร เวลา และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้เรียน เมื่อนำมาผสมผสานกับการทดลองจริง จะช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่ครอบคลุมทั้งการสังเกต การคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหา

สำหรับองค์ประกอบสำคัญในการสร้างชุดทดลองในวิชาฟิสิกส์โดยเฉพาะการศึกษาภาวของแก๊ส คือ ภาชนะสุญญากาศ ซึ่งวัสดุและคุณสมบัติของภาชนะมีผลโดยตรงต่อความแม่นยำและเสถียรภาพของการรักษาความดันที่วัดได้ Holovko, Kryzhanovskiy and Matsyuk (2025) แสดงให้เห็นว่าแก้วมีความสามารถในการรักษาสภาพสุญญากาศได้นาน ความดันภายในมีค่าคงที่ ประกอบกับแก้วมีลักษณะโปร่งใส เหมาะสำหรับการสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น Bartholomew and Zürcher (2023) ได้ศึกษาการสังเกตการเปลี่ยนแปลงความดันภายในของลูกโป่ง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันตามกฎของบอยล์ ซึ่งทำให้ผู้เรียนเข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่ได้จากการสังเกต จากความนิยมที่มีการใช้วัสดุแก้วเป็นภาชนะสุญญากาศที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป เนื่องจากภาชนะไม่มีการเสียรูปเมื่อมีการดึงอากาศออกจากภาชนะโดยการใช้ปั๊ม ประกอบกับภาชนะมีความใส ทำให้สามารถสังเกตเห็นปรากฏการณ์ได้ง่าย แต่การใช้งานยังมีข้อจำกัดในเรื่องของน้ำหนัก เนื่องจากแก้วต้องมีความหนาพอระดับหนึ่งที่จะสามารถรับแรงดันที่พ้นหนึ่งได้ และการเจาะรู หรือการประกอบฝาปิดภาชนะเพื่อใส่สายยางหรือท่ออย่างคงทำได้ไม่สะดวก นอกจากการใช้แก้วเป็นภาชนะสุญญากาศแล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้ภาชนะสุญญากาศที่ทำจากพลาสติกชนิดต่าง ๆ เช่น พลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) และโพลีสไตรีน (PS) ซึ่งวัสดุประเภทพลาสติกนี้ สามารถรักษาความดันให้คงที่ได้ในระดับที่น้อยกว่ากระจก แต่มีข้อดีเรื่องน้ำหนักเบา มีหลากหลายปริมาตร และง่ายต่อการเจาะรูเพื่อประกอบเป็นชุดการทดลอง สามารถทนการแตกหัก แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถรับแรงดันในระดับต่ำ เนื่องจากอาจมีการเสียสภาพของวัสดุเนื่องจากแรงดัน ซึ่งได้มีงานวิจัยหลาย ๆ งานที่มีการใช้ภาชนะที่ทำจากพลาสติกมาเป็นภาชนะสุญญากาศ เช่น Ogawara (2020) ได้ประยุกต์ใช้ภาชนะสุญญากาศจากกล่องอาหารพลาสติกพร้อมกับสมาร์ตโฟนและบาร์โอมิเตอร์ดิจิทัล เพื่อสาธิตแนวคิดทางเทอร์โมไดนามิกส์และกฎแก๊สรวม การศึกษาเหล่านี้ไม่เพียงชี้ให้เห็นถึงความสามารถของอุปกรณ์ที่ราคาถูกสำหรับการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ แต่ยังนำเสนอวิธีการเก็บข้อมูลที่แม่นยำและสามารถวิเคราะห์ผลเชิงลึกได้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมทดลองที่ดึงดูดความสนใจผู้เรียน เช่น การดัดแปลงเครื่องชั่งสุญญากาศอาหารให้เป็นปั๊มสุญญากาศราคาถูก (McClymer, 2010) ช่วยให้ผู้เรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงของวัตถุที่มีอากาศภายในเมื่อลดความดันได้ชัดเจน หรือการศึกษา

การหดตัวของมาร์ชเมลโลเมื่อเพิ่มความดัน (Murray, 2022) ซึ่งสร้างความตื่นเต้นและสามารถเชื่อมโยงกับหลักการของกฎบอยล์และแก๊สอุดมคติได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาชุดทดลอง เพื่อใช้ศึกษากฎของแก๊ส โดยใช้เซนเซอร์วัดความดันไร้สายที่สร้างขึ้น และใช้กล่องอาหารเป็นภาชนะสุญญากาศ เพื่อใช้ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงความดันที่สัมพันธ์กับปริมาตรตามกฎของแก๊ส ซึ่งชุดทดลองนี้ถูกออกแบบให้เหมาะสมต่อการใช้งานในห้องเรียนฟิสิกส์ทั้งระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา และมีศักยภาพในการขยายผลสู่การพัฒนาวัตรกรรมการเรียนการสอนฟิสิกส์ที่มีการใช้เทคโนโลยีและทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวัตรกรรมชุดทดลองในรายวิชาฟิสิกส์ สำหรับศึกษากฎของแก๊ส
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊ส และความดัน ภายในภาชนะสุญญากาศที่ได้สร้างขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) เพื่อออกแบบและประเมินคุณภาพของชุดทดลองกฎของแก๊สที่ความดันต่ำ โดยส่วนประกอบที่สำคัญของชุดทดลอง ได้แก่ ภาชนะที่ใช้ในการทำโถสุญญากาศที่ความดันต่ำ ระบบตรวจวัดความดัน และปั๊มลม

การเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์สำหรับใช้ในชุดทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีเกณฑ์ในการเลือกภาชนะที่จะนำมาใช้เป็นภาชนะสุญญากาศ โดยจะเลือกวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย สามารถดัดแปลงและเจาะรูในการเชื่อมต่ออากาศ ที่สามารถรับแรงดันต่ำ เมื่อมีการดูดอากาศออก ไม่มีการเสียรูปทรงของภาชนะ รวมถึงสามารถรักษาความดันภายในภาชนะให้คงที่ได้ในระดับหนึ่ง มีขนาดปริมาตรไม่เกิน 2 L ซึ่งในงานนี้ได้เลือกใช้วัสดุประเภท ขวดแก้ว และพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาชนะที่ใช้ในห้องครัว ดังแสดงในรูปที่ 1

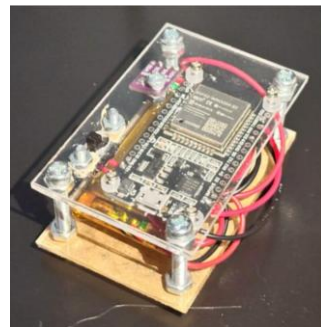


รูปที่ 1 รูปแบบภาชนะต่างๆที่นำมาใช้ในการทดสอบ (ก) พลาสติกโพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 1 ลิตร (ข) ขวดแก้วขนาดเล็ก (ค) ขวดแก้วขนาดใหญ่ (ง) พลาสติกประเภทพอลิสไตรีน (PS) (จ) พลาสติกโพลิโพรพิลีน ขนาด 2.1 ลิตร

จากรูปแสดงภาชนะที่นำมาทดสอบทั้ง 5 แบบ เรียงลำดับจาก (ก) - (จ) ได้แก่ (ก) กล่องอาหารที่ทำจากพลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน (PP) ฝาปิดมีซีลยางปิดล็อกสี่ด้าน ขนาด 1 L (ข) ขวดโหลแก้วแบบฝาเกลียว (ค) ขวดแก้วมีซีลยางปิดล็อก (ง) กล่องพลาสติกประเภทพอลิสไตรีน (PS) มีซีลยางปิดล็อก และ (จ) ขวดโหลพลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน (PP) เป็นฝาแบบเกลียว ขนาด 2.1 L นำภาชนะทั้ง 5 แบบ มาทดสอบการรักษาความดันภายในภาชนะ โดยทำการเจาะรูที่ด้านบน หรือบริเวณของฝากล่อง เพื่อติดตั้งวาล์วสำหรับต่อท่อสูดอากาศ ดังรูปที่ 2(ก) นำเซนเซอร์วัดความดันแบบไร้สายวางไว้ด้านในของภาชนะ สำหรับเซนเซอร์วัดความดันผู้วิจัยได้ประกอบขึ้นโดยใช้ เซนเซอร์ BME280 และบอร์ด ESP32 ซึ่งสามารถส่งข้อมูลความดันแบบทันทีผ่านระบบการเชื่อมต่อไร้สาย ตัวเซนเซอร์มีขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2(ข) นำท่อมาต่อเชื่อมภาชนะเข้ากับปั๊มลมขนาดเล็กใช้ไฟ DC ขนาด 12 V มีอัตราการปั๊มอยู่ที่ 2.5 LPM ซึ่งปั๊มลมนี้จะทำหน้าที่เป็นปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump)

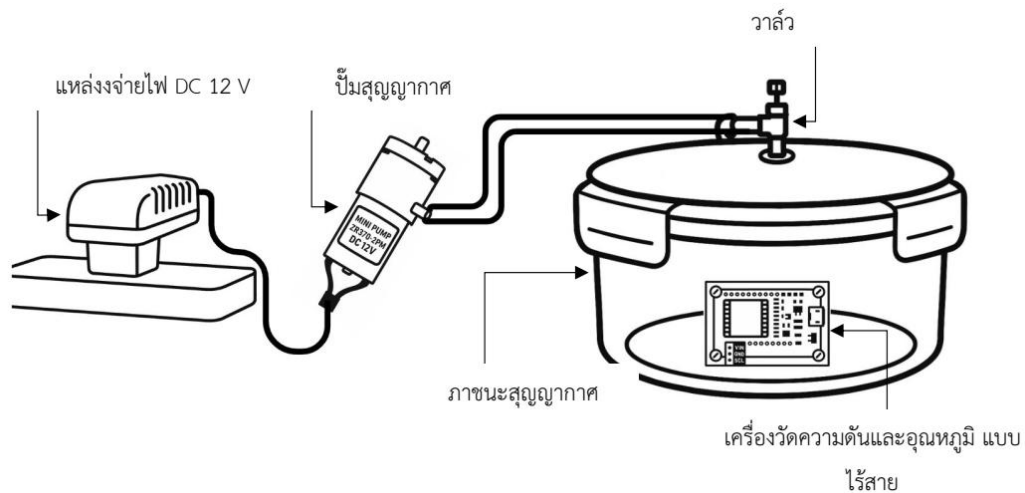


(ก)

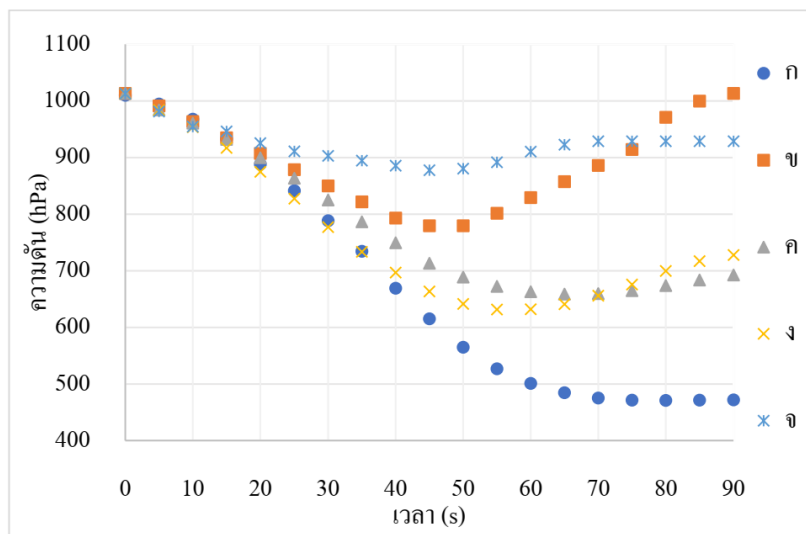


(ข)

รูปที่ 2 (ก) ภาชนะสุญญากาศที่ถูกเจาะรูและใส่วาล์ว และ (ข) อุปกรณ์วัดค่าความดันและอุณหภูมิแบบไร้สาย



รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทดลอง

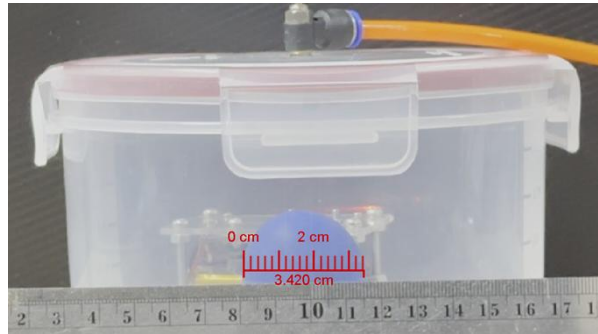


รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (s) กับความดันในภาชนะรูปร่างต่าง ๆ

เมื่อนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบและติดตั้งได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3 จะได้ชุดทดลองไปทดสอบการรักษาความดันของภาชนะ หลังจากนั้นจะทดสอบภาชนะที่เหมาะสม โดยการเปิดปั๊มเพื่อดูดอากาศออกเป็นเวลา 30 s หลังจากนั้นปิดวาล์ว และเริ่มบันทึกค่าความดัน ตั้งแต่เริ่มเปิดปั๊มสุญญากาศ ปิดปั๊มที่เวลา 30 s และบันทึกข้อมูลความดันจนถึงวินาทีที่ 90 นำข้อมูลเวลานับตั้งแต่เปิดปั๊มเพื่อดูดอากาศ จนถึงวินาทีที่ 90 และความดันที่วัดได้ภายในภาชนะทั้ง 5 แบบ มาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4 จากรูปจะเห็นว่า ค่าความดันเริ่มต้นที่ เซนเซอร์วัดได้จะอยู่ที่ประมาณ 1000 hPa ซึ่งเป็นความดันบรรยากาศ และเมื่อเปิดปั๊มเพื่อดูดอากาศออกจากภาชนะเป็นเวลา 30 s ในช่วงนี้ทุก ๆ ภาชนะมีแนวโน้มที่ความดันจะมีค่าลดลงใกล้เคียงกันมาก โดยมีอัตราการลดลงของความดันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.51 hPa/s ในช่วงเวลา 30 s หลังจากนั้น ในบางภาชนะมีค่าความดันที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการรั่วของอากาศเข้าไปภายใน ดังเช่นในภาชนะ (ข) และ (จ) ที่ทำจากขวดแก้ว และขวดพลาสติกโพลิโพรพิลีนตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่าภาชนะทั้งสองมีฝาปิดด้านบนที่เป็นฝาเกลียว ทำให้ง่ายต่อการรั่วไหลของอากาศ นอกจากนี้ยังพบการบิดตัวของภาชนะ (จ) เพิ่มเติมอีกด้วย ในขณะที่ ภาชนะในรูป (ค) ขวดแก้วขนาดใหญ่ และ (ง) พลาสติกพอลิไธรีน มีการรั่วของอากาศบ้างแต่น้อยกว่าภาชนะในข้างต้น ในขณะที่ข้อมูลความดันภายในภาชนะ (ก) (ดูรูปที่ 4 จุดสีน้ำเงิน) ค่าความดันเริ่มต้นที่วัดได้จะอยู่ที่ประมาณ 1000 hPa ขณะเปิดปั๊มลม ค่าความดันค่อย ๆ ลดลงเช่นเดียวกับภาชนะอื่น และเมื่อปิดปั๊มลมที่เวลา 30 s พบว่าค่าความดันที่ถูกส่งออกจากจากเซนเซอร์มายังคอมพิวเตอร์จะยังคงมีค่าลดลงต่อเนื่องไปจนถึงที่เวลาประมาณ 65 s จากนั้นค่าความดันจึงมีค่าคงที่ ที่ประมาณ 405 hPa สาเหตุที่ค่าความดันมีค่าลดลงถึงแม้ว่าจะปิดปั๊มลมแล้ว มีสาเหตุมาจากตำแหน่งการวางของเซนเซอร์ และความเร็วในการส่งข้อมูลของบอร์ด ESP32 ซึ่งมีช่วงเวลาส่งข้อมูลประมาณ 30 – 35 s จากผลการทดสอบภาชนะทั้ง 5 แบบ ข้างต้น พบว่าภาชนะ (ก) สามารถรักษาการรักษาความดันให้คงที่ได้ แม้จะปิดปั๊มสุญญากาศแล้ว (Kongthong, 2024) โดยที่ภาชนะยังคงมีรูปร่างไม่บิดเบี้ยว ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้ภาชนะ ที่เป็นกล่องใส่อาหารขนาด 1 L ที่ทำจากพลาสติกโพลิโพรพิลีน ที่มีความเหนียวและโปร่งใส นอกจากนี้ภาชนะประเภทนี้ยังมีซิลที่ทำการยางบริเวณฝาปิดล็อก ด้านบน ทำให้ภาชนะสามารถรักษาความดันภายในไว้ได้นานที่สุด โดยสามารถรักษาความดันให้คงที่อยู่ได้ประมาณ 6-7 hr. (Kongthong, 2024) จึงเลือกภาชนะนี้เพื่อใช้ในการทดลองของแก๊สต่อไป

การทดลองเพื่อศึกษากฎของแก๊ส

สำหรับการทดลองเพื่อศึกษากฎของแก๊ส จะใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยใช้กล่องสำหรับใส่อาหาร ขนาด 1 L ผลิตจากพลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) มีฝาล็อก 4 ด้าน พร้อมซิลยางกันรั่ว ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) และเครื่องวัดความดันแบบไร้สายที่สามารถตรวจวัดความดันในช่วง 300–1100 hPa ได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) ที่ได้ทดสอบความสามารถในการรักษาความดันภายในภาชนะได้แล้ว นำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบดังรูปที่ 3 ชุดทดลองนี้จะใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกโป่ง ตามกฎของบอยล์ รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้ในกฎของแก๊สอื่น ๆ ได้



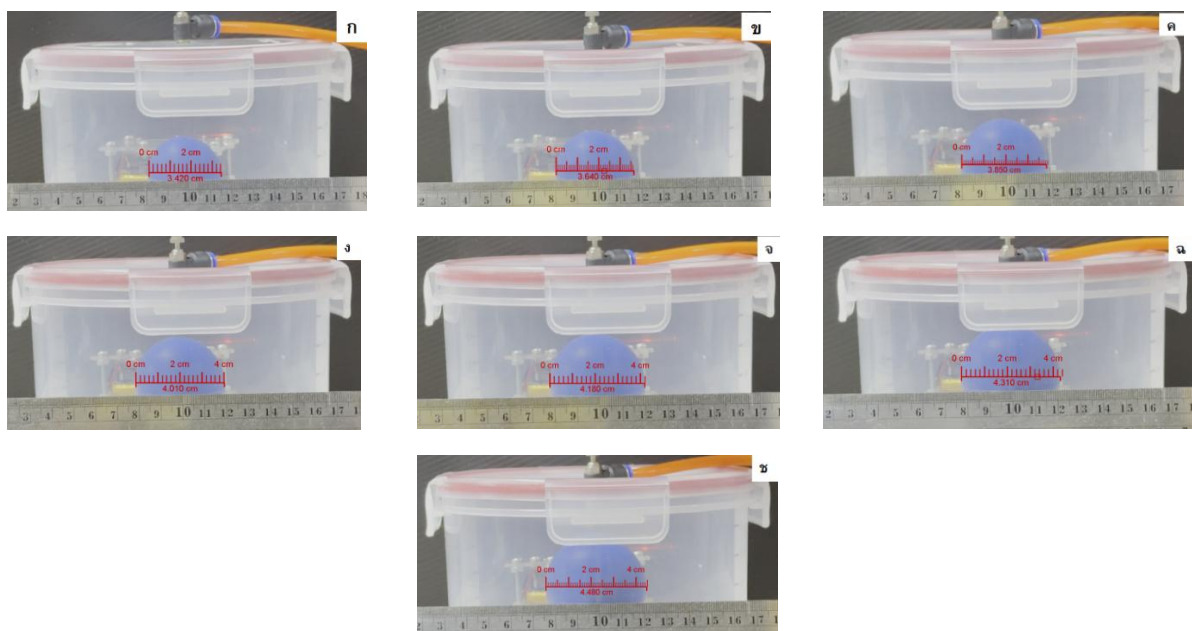
รูปที่ 5 ลูกโป่งที่ถูกใส่ไว้ในภาชนะของชุดทดลอง

ขั้นตอนการทดสอบชุดการทดลอง

- 1) ต่อสายยางเข้ากับปั๊มสุญญากาศขนาดเล็กโดยเชื่อมต่อกับวาล์วด้านล่างบนของฝาปิดภาชนะสุญญากาศที่ได้ทดสอบมาแล้ว นำเครื่องวัดความดันแบบไร้สายใส่ลงในภาชนะสุญญากาศ ดังรูปที่ 3
- 2) ใส่ลูกโป่งที่บรรจุอากาศไว้ลงในภาชนะสุญญากาศและปิดฝาล็อคทั้ง 4 ด้าน (ดังรูปที่ 5)
- 3) บันทึกค่าความดันภายในภาชนะ ที่อุณหภูมิห้องเป็นค่าเริ่มต้น
- 4) เปิดปั๊มเพื่อลดความดันภายในเป็นเวลา 30 s พร้อมบันทึกค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่อง
- 5) บันทึกวิถีการขยายตัวของลูกโป่งในแต่ละระดับความดัน
- 6) ใช้โปรแกรม Tracker วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกโป่งในแต่ละช่วง แล้วคำนวณปริมาตรของลูกโป่งจากสมการทรงกลม ที่เวลา 0 5 10 15 20 25 และ 30 s ตามลำดับ ทำการทดลองเพื่อเก็บผลจำนวน 5 ครั้ง
- 7) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดัน และตรวจสอบความสอดคล้องกับกฎของบอยล์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันภายในภาชนะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้องโดยประมาณ 25°C) โดยการดูดอากาศออกจากภาชนะเป็นเวลา 30 s มีอัตราการลดลงของความดันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.51 hPa/s ทำการบันทึกผลด้วยวิธีโอร่วมกับบันทึกการสังเกตด้วยตากับการเปลี่ยนแปลงของลูกโป่ง พบว่า ขนาดของลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งการพองตัวของลูกโป่งเกิดจากความดันภายในภาชนะที่ลดลง จากการที่ดูดอากาศออก ทำให้ปริมาตรของแก๊สภายในลูกโป่งจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของบอยล์



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงขนาดของลูกโป่งเมื่อปั๊มอากาศออก ที่เวลา (ก) ที่เวลา 0 s, (ข) ที่เวลา 5 s, (ค) ที่เวลา 10 s, (ง) ที่เวลา 15 s, (จ) ที่เวลา 20 s, (ฉ) ที่เวลา 25 s, (ช) ที่เวลา 30 s

ตารางที่ 1 ความดัน ปริมาตร และผลคูณระหว่างความดันกับปริมาตร

t (s)	P _{ave} (hPa)	D _{ave} (cm)	r (cm)	V × 10 ⁻⁶ (m ³)	ΔV × 10 ⁻⁶ (m ³)	PV	1/P
0	1003.15	3.42	1.71	20.95	979.05	0.021	0.000997
5	885.66	3.64	1.82	25.26	974.74	0.022	0.001129
10	769.86	3.85	1.93	29.89	970.11	0.023	0.001299
15	679.08	4.01	2.01	33.78	966.22	0.023	0.001473
20	614.51	4.18	2.09	38.26	961.74	0.024	0.001627
25	548.44	4.36	2.18	43.41	956.59	0.024	0.001823
30	474.90	4.48	2.24	47.10	952.90	0.022	0.002106

นำวิดีโอผลการทดลองเข้าโปรแกรม Tracker ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวเชิงฟิสิกส์ เพื่อวัดขนาดของลูกโป่งที่เปลี่ยนแปลงไปตามการลดลงของความดันภายในภาชนะ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 1 จากตารางผลการทดลองแสดงข้อมูลเวลา เริ่มต้นเมื่อเปิดปั๊มสุญญากาศ ที่เวลา t = 0 จนถึงปิดปั๊มที่เวลา t = 30 s ข้อมูลค่าความดันเฉลี่ย (P_{ave}) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่ง (D_{ave}) สำหรับข้อมูลอื่นๆ ได้แก่ ค่ารัศมี (r), ปริมาตรของลูกโป่ง (V), ผลต่างของปริมาตร (ΔV = V₀-V โดย V₀ ในที่นี้คิดเป็น 1 L) จากข้อมูลในตารางที่ 1 ค่าความดันในตอนเริ่มต้นที่อยู่ที่ประมาณ 1003.15 hPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความดันบรรยากาศ (1 atm = 1013.25 hPa) และความดันจะค่อยๆ ลดลง จนถึง 474.90 hPa ที่เวลา t = 30 s ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งเริ่มต้นที่ 3.42 cm และเมื่อความดันลดลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้นเป็น 4.48 cm เมื่อพิจารณาโดยใช้กฎของบอยล์ (Boyle's Law) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในภาชนะสุญญากาศกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของลูกโป่งในการหาปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงภายในภาชนะสุญญากาศ โดยมีคำอธิบายการดำเนินการต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ปริมาตรภายในภาชนะสุญญากาศ จะอาศัยผลต่างของปริมาตรของภาชนะสุญญากาศ (V₀ มีขนาด 1 L) และปริมาตรลูกโป่ง (V) นั่นคือ $\Delta V = V_0 - V$
- 2) การหาปริมาตรของลูกโป่ง สมมติให้มีรูปร่างเป็นทรงกลม และหาปริมาตรจากสมการ $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ เมื่อ V แทน ปริมาตรของลูกโป่ง และ r แทน รัศมีของลูกโป่ง (cm) (ข้อมูลจากตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 5) โดยอ้างอิงงานวิจัยของ Bartholomew and Zürcher (2023) ที่ได้พิจารณาลักษณะของลูกโป่งเป็นทรงหยดน้ำและศึกษาอัตราส่วนระหว่างความสูงและความกว้างของหยดน้ำ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าประมาณ 1.2 และผลของการขยายขนาดของลูกโป่งจากการเป่าลมเข้าไปภายในลูกโป่ง หรือค่าความตึงผิวของลูกโป่งที่ทำจากยาง พบว่าสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของลูกโป่งจากการเป่าลมเข้าไปโดยตรงจะเป็นไปตามกฎของแก๊ส เมื่อยางที่ใช้ทำลูกโป่งยังมีสภาพยืดหยุ่น และค่าแรงตึงผิวของลูกโป่งมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อมีการเปลี่ยนความดันแก๊สภายในลูกโป่ง

ทดสอบความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์ ตามสมการ $P_1V_1 = P_2V_2$ โดยใช้ข้อมูลการทดลองในตารางที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบความดันภายในภาชนะสุญญากาศ และปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปโดยอาศัยการขยายตัวของลูกโป่ง โดยที่เวลาเริ่มต้น, t = 0 s ความดันภายในภาชนะจะมีค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศเมื่อนำปั๊มลมมาดูดอากาศออกจากภาชนะ ความดันภายในภาชนะจะค่อย ๆ ลดลง อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปภายในระบบปิด จากกฎของบอยล์ (Boyle's Law)

$$P_1V_1 = P_2V_2 \tag{1}$$

เมื่อ P₁ และ P₂ แทน ความดันภายในภาชนะที่เวลา 0 และ 30 s ตามลำดับ
V₁ และ V₂ แทน ปริมาตรของลูกโป่งที่เวลา 0 และ 30 s ตามลำดับ

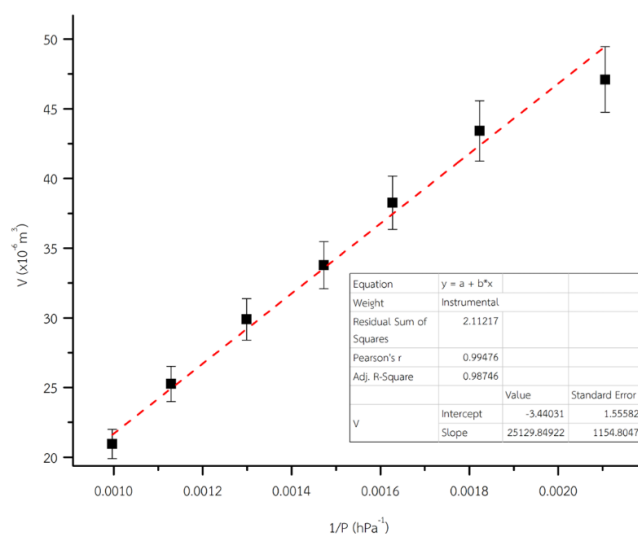
อาศัยข้อมูลในตารางที่ 1 คำนวณหาความดัน P₂ ได้จาก

$$P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{(1.003.15 \text{ hPa})(20.95 \times 10^{-6} \text{ m}^3)}{(47.10 \times 10^{-6} \text{ m}^3)}$$

$$P_2 = 446.12 \text{ hPa}$$

จากค่าความดันที่คำนวณได้ ($P_2 = 446.12$ hPa) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความดันที่วัดได้จากเซนเซอร์ที่เวลา 30 s เป็น 474.90 hPa และมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.06% แสดงให้เห็นว่าค่าที่วัดได้ และค่าที่คำนวณได้จากการแทนปริมาตรของลูกโป่งเป็นทรงกลม ให้ค่าความดันที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของลูกโป่งกับอัตราส่วนของความดัน

การหาจำนวนโมลของอากาศ

พิจารณาที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง การใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออกจากภาชนะที่มีปริมาตรคงที่ จะทำให้ปริมาณของอากาศที่เหลืออยู่ และค่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศมีค่าลดลงไปพร้อมๆ กัน ส่งผลให้ความดันภายในลูกโป่งมากกว่าความดันภายในภาชนะสุญญากาศ และลูกโป่งขยายตัวออกตามค่าความแตกต่างของความดันที่เปลี่ยนแปลง ดังข้อมูลในตารางที่ 1 ถ้าวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกลับของความดัน ($1/P$) กับปริมาตรของลูกโป่ง จะได้ดังรูปที่ 7 ลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรง ที่มีค่าความชันของกราฟเท่ากับ PV เมื่อนำกฎของแก๊สมาพิจารณา ทำให้เราสามารถคำนวณหาจำนวนโมลของอากาศภายในภาชนะ นั่นคือจำนวนโมล ของแก๊สจะมีค่าคงที่ ตามสมการ (2)

$$PV = nRT \quad (2)$$

กำหนดให้ อุณหภูมิห้องคงที่ 25°C หรือ 298.15 K และ R เป็นค่าที่ เป็น 8.314 ($\text{m}^3\text{Pa})(\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1})$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{\text{slope}}{RT} = \frac{25129.84 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ hPa}}{(8.314 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}{\text{mol} \cdot \text{K}})(298.15 \text{ K})}$$

$$n = 101 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

จากตัวอย่างการแสดงวิธีคำนวณหาจำนวนโมลของอากาศที่อยู่ภายในลูกโป่งได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ตามกฎของแก๊ส สามารถนำตัวอย่างดังกล่าวไปปรับและประยุกต์ใช้ในการศึกษาทฤษฎีของแก๊สในเชิงของการเรียนรู้เชิงทดลองได้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาภาชนะแต่ละชนิดพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการรักษาความดันต่ำภายในภาชนะสุญญากาศ ประกอบด้วย ซิลยางที่ฝาและชนิดของวัสดุ โดยซิลยางที่มีความหนาแน่นและยืดหยุ่นดีจะช่วยลดการรั่วไหลของอากาศ ส่วนวัสดุที่แข็งแรงและคงรูป เช่น แก้วหรือโพลีโพรพิลีนที่มีความหนา สามารถคงสภาพความดันต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตรงกันข้าม วัสดุที่บางและยืดหยุ่นสูงจะยุบตัวง่ายและทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน ขณะที่ปริมาตรของภาชนะ และขนาดของปั๊มสุญญากาศจะต้องมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการดูดอากาศออกจากภาชนะ จากการเลือกภาชนะสุญญากาศที่เหมาะสม สามารถออกแบบชุดการทดลองเพื่อนำมาใช้ศึกษาทฤษฎีของแก๊สได้ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนของค่าความดันที่วัดได้จากเซนเซอร์และค่าที่คำนวณได้มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 6.06% นอกจากนี้การศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับส่วน

กลับของความดันสามารถซึ่งสามารถอธิบายถึงความสอดคล้องกับกฎของบอยล์ที่ว่า ความดันแปรผกผันกับปริมาตร และสามารถคำนวณหาจำนวนโมลของอากาศที่อยู่ภายในลูกโป่งได้ประมาณ $101 \times 10^{-3} \text{ mol}$ และเป็นไปตามกฎของแก๊ส

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

เนื่องจากภาชนะที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็ก เพื่อให้การวัดขนาดของลูกโป่งมีความชัดเจนและแม่นยำ ควรบันทึกวิดีโอด้วยกล้องที่มีความละเอียดสูงและจัดให้มีแสงสว่างเพียงพอ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าและการวิเคราะห์ภาพ ในภายหลัง นอกจากนี้ควรเลือกภาชนะที่มีผนังใสเพื่อให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย มีความแข็งแรงและคงรูปเมื่ออยู่ในสภาวะความดันต่ำ รวมถึงต้องมีซีลยางที่มีคุณภาพดีเพื่อลดการรั่วไหลของอากาศ ทั้งนี้การเลือกภาชนะที่เหมาะสมจะช่วยให้เพิ่มความถูกต้องของข้อมูลและความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (KMUTT) ที่ได้สนับสนุนการดำเนินการในงานวิจัย และงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ทุนสนับสนุนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ภายใต้รหัสโครงการ 27752 เลขที่สัญญา FRB670016/0164

References

- Bartholomew, A. and Zürcher, U. (2023). Measuring the pressure inside a party balloon with a ruler. **Physics Education**, 58(3), 035006.
- Boonrangsri, K. (2025). Development of learning achievement, learning progress, and advanced science process skills of grade 9 students through inquiry-based learning with virtual experimental media on the topic of waves and light (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 8(1), 123–139.
- Erol, M. and Oğur, M. (2023). Teaching a large-angle pendulum via Arduino-based STEM education material. **Physics Education**, 58(4), 045001.
- Holovko, M., Kryzhanovskyi, S. and Matsyuk, V. (2025). Studying the pressure in a rubber balloon in a vacuum bell jar using digital technologies. **Physics Education**, 60(3), 035008.
- Jaewijam, C. (2020). Adapting Arduino for low-cost laboratory for developing students' conception on pressure and buoyant force (in Thai). **Doctoral Dissertation**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.
- Kaewsri, T., Kaewurai, R. and Meesuwat, W. (2023). Using digital technology in scientific practices of student (in Thai). **Research and Development Journal Suan Sunandha Rajabhat University**, 15(2), 27-36.
- Khamprawat, B., Thippharat, U., Phiomchitphong, T., Wuttisela, K. and Wutthiprom, S. (2025). Student-constructed low-cost experimental kit for enhancing inquiry-based learning in high school fluid dynamics (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 8(1), 24 – 31.
- Kongthong, S., (2024). Design and construction of low-pressure chamber for gas laws experimental set (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- McClymer, J. (2010). Using vacuum food sealers as a low-cost vacuum pump. **The Physics Teacher**, 48(3), 202-203.
- Murray, J. K. (2022). Exploring to explain the marshmallow phenomenon. **The Physics Teacher**, 60(6), 449–452.
- Ogawara, Y. (2020). Teaching thermodynamics using a vacuum container for food. **The Physics Teacher**, 58(3), 186 – 190.
- Ramos, L. M., Rodrigues, F. B., Reis, C. R. N., Bozano, D. F., Reis, D. D. and Goncalves, A. M. B. (2020). An experiment to observe Stevin's law with an Arduino. **Physics Education**, 55(3), 033004.
- Schnider, D. and Hömöstrei, M. (2024). Classroom experimentation: Arduino projects to teach electromagnetism. **Journal of Physics: Conference Series**, 2693, 012015.



Solutions of a Certain Forms of Systems of PDEs and Representations of A_2

Sarawut Saenkarun¹, Sakda Nongnang¹, Ratee Bojaras¹ and Pairin Suwannasri^{1,*}

¹*Department of Mathematics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University.*

**Email: pairin.s@ubu.ac.th*

Received <1 July 2025>; Revised <21 October 2025>; Accepted <28 October 2025>

Abstract

This paper is concerned with applications of the representations of A_2 to solutions of certain forms of systems of partial differential equations. This is achieved by using representations of A_2 and intertwining operators. Solutions of the systems of partial differential equations can be found by applying products of the related operators to 1.

Keywords: Representations of A_2 ; Lie group of class A_2 ; Lie algebra of class A_2

ผลเฉลยของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยรูปแบบแน่นอนและตัวแทนของ A_2

ศราวุธ แสณการุณ¹ ศักดิ์ดา น้อยนาง¹ รติ โภจรัส¹ และ ไพรินทร์ สุวรรณศรี^{1,*}

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: puirin.s@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เกี่ยวกับการประยุกต์ของตัวแทนของ A_2 ในการหาผลเฉลยของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยรูปแบบแน่นอน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ตัวแทนของ A_2 และตัวดำเนินการอินเตอร์ทไวนิ่ง ผลเฉลยของระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยสามารถหาได้จากผลคูณของตัวดำเนินการที่สัมพันธ์กันกับ 1

คำสำคัญ: ตัวแทนของ A_2 ; ลีกรูปของคลาส A_2 ; พีชคณิตลีของคลาส A_2

Introduction

Various methods are considered for the study of differential equations. One of the methods for studying of differential equations is group analysis (Ovsiannikov, 1978). Many applications of group analysis to partial differential equations are collected in the Handbook of Lie Group Analysis of Differential Equations (Ibragimov, 1996). Saenkarun, Loutsiouk and Chunrungsikul (2009) studied solutions of some systems of PDEs through representations of group G_2 . In this paper, we study solutions of systems of PDEs in certain forms through representations of group A_2 which the systems of PDEs are more general form than the system was studied by Saenkarun (2009). Consider the system of two partial differential equations as follows:

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{h'(x)} \frac{\partial}{\partial x} \right]^{s+1} \varphi &= 0 \\ \left[\frac{\partial}{\partial y} + h(x) \frac{\partial}{\partial z} \right]^{t+1} \varphi &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

where $h(x)$ is an odd degree polynomial and s, t are non-negative integers. We will find all solutions of the system by examining the Lie algebra of differential operators generated by the linear differential operators

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{h'(x)} \frac{\partial}{\partial x}, \\ B &= \frac{\partial}{\partial y} + h(x) \frac{\partial}{\partial z}. \end{aligned}$$

The system can be written as

$$\begin{aligned} A^{s+1} \varphi &= 0, \\ B^{t+1} \varphi &= 0. \end{aligned}$$

The Lie algebra $\mathbb{Z}$ of differential operators generated by A, B and $C = [A, B] = AB - BA$ is the Lie algebra of a three-dimensional nilpotent Lie algebra, which turns out to be isomorphic to a maximal nilpotent subalgebra of the simple Lie algebra of class A_2 . This property of the differential operators A and B is useful for studying the solutions of the system of PDEs (1) through an examination of the representations of the Lie group A_2 . It turns out that the operators A^{s+1} and B^{t+1} are intertwining operators for some pairs of representations of the group A_2 , and so the space of solutions of the system of PDEs (1) has the structure of an irreducible finite-dimensional representation of the group A_2 .

Research Objectives

1. To study Lie group and Lie algebra of class A_2 .
2. To study representations of Lie algebra of class A_2 .
3. To apply representations of Lie algebra A_2 to solutions of a certain forms of systems of PDEs.

Matrix generators for the Lie algebra A_2

We consider the 3×3 matrix generators for Lie algebra A_2 as follows:

$$e_\alpha = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, e_\beta = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, e_{\alpha+\beta} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$e_{-\alpha} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, e_{-\beta} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, e_{-(\alpha+\beta)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$h_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, h_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

We shall denote by $\mathfrak{g}$ the Lie algebra of class A_2 spanned by h_1, h_2 and the root vectors $e_\alpha, e_\beta, e_{\alpha+\beta}, e_{-\alpha}, e_{-\beta}, e_{-(\alpha+\beta)}$, which correspond to the roots $\alpha, \beta, \alpha + \beta, -\alpha, -\beta, -(\alpha + \beta)$, where that positive roots are $\alpha, \beta, \alpha + \beta$ and negative roots are $-\alpha, -\beta, -(\alpha + \beta)$ and a simple system of roots (α, β) . Let Δ be the set of all roots and Δ^+ be the set of all positive roots. Let $\mathfrak{h}$ be a Cartan subalgebra of $\mathfrak{g}$ spanned by h_1, h_2 .

The Cartan matrix is

$$\begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$$

and the corresponding Dynkin diagram is

$$\begin{array}{ccc} 1 & \text{---} & 1 \\ \circ & & \circ \\ \alpha & & \beta \end{array}$$

Constructing representations of A_2 Let G be the Lie group with Lie algebra $\mathfrak{g}$. Then $H_i(t_i) = e^{t_i h_i}$, where $i \in \{1, 2\}$ and $E_i(t_i) = e^{t_i e_i}$, where $i \in \Delta$, are one parameter subgroups of Lie group G . Using these one-parameter subgroups of group G , we shall now construct some of its subgroups that will be utilized for constructing some representations of G . The first of these subgroups is a maximal nilpotent subgroup of group G and is constructed as follows:

$$Z_+ = \left\{ \prod_{i \in \Delta^+} E_i(t_i) \mid t_i \in \mathbb{R} \right\}.$$

For our purpose, we introduce new parameters and we get

$$Z_+ = \begin{pmatrix} 0 & h(x) & z \\ 0 & 0 & y \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

where $h(x)$ is an odd degree polynomial.

We also construct another maximal nilpotent subgroup as follows:

$$Z_- = \left\{ \prod_{i \in \Delta^+} E_{-i}(t_{-i}) \mid t_{-i} \in \mathbb{R} \right\}.$$

The subgroup denoted by H , which is a maximal abelian subgroup of G , is defined as follows:

$$H = \{H_1(t_1)H_2(t_2) \mid t_1, t_2 \in \mathbb{R}\},$$

and the subgroup denoted by B_- , which is a maximal solvable subgroup of G , is defined as

$$B_- = Z_-H = \{z_-h \mid z_- \in Z_-, h \in H\}.$$

For $(p, q) \in \mathbb{C}^2$, we define a mapping $\alpha_{p,q}: H \rightarrow \mathbb{C}$ by

$$H_1(t_1)H_2(t_2) \mapsto e^{pt_1}e^{qt_2}.$$

By the basic property of the exponential function, $\alpha_{p,q}$ is a character of group H . We extend $\alpha_{p,q}$ from H to B_- by the rule: for

$$\begin{aligned} b_- &= z_-h \in B_-, \\ z_- &\in Z_-, \\ h &\in H, \\ \alpha_{p,q}(b_-) &= \alpha_{p,q}(z_-h) = \alpha_{p,q}(h). \end{aligned}$$

For $(p, q) \in \mathbb{C}^2$, we define an induced representation $T^{\alpha_{p,q}} = \text{ind}_{B_-}^G \alpha_{p,q}$. It operates in the space

$$F_{\alpha_{p,q}}(G) = \{f \in C^\infty(G) \mid f(b_-g) = \alpha_{p,q}(b_-)f(g), b_- \in B_-, g \in G\}$$

where $C^\infty(G)$ is the set of all complex-valued smooth functions on G , by

$$S_g^{\alpha_{p,q}} f(h) = f(g^{-1}h), h, g \in G.$$

Because the subset B_-Z_+ is dense in G that is every point of G is a limit point of B_-Z_+ or a point of B_-Z_+ (Saenkarun, 2009), the functions from the space $F_{\alpha_{p,q}}(G)$ are completely determined by their restrictions to the subgroup Z_+ . This allows to realize the representations $S^{\alpha_{p,q}}$ of G in the space $C^\infty(Z_+)$. The respective representation of the Lie algebra $\mathfrak{g}$ in the space $C^\infty(Z_+)$ is realized via the differential operators as follows: It will be convenient to introduce new parameters. Then we obtain

$$S_\alpha = -\frac{1}{h'(x)} \frac{\partial}{\partial x} - y \frac{\partial}{\partial z},$$

$$\begin{aligned}
S_\beta &= -\frac{\partial}{\partial y}, \\
S_{-\alpha} &= \frac{h^2(x)}{h'(x)} \frac{\partial}{\partial x} - z \frac{\partial}{\partial y} - sh(x), \\
S_{-\beta} &= \left(\frac{z - h(x)y}{h'(x)} \right) \frac{\partial}{\partial x} + y^2 \frac{\partial}{\partial y} + yz \frac{\partial}{\partial z} - ty.
\end{aligned}$$

Since Z_+ is a group with 3-dimensional nilpotent Lie algebra over $\mathbb{R}$, we obtain Z_+ is diffeomorphic to $\mathbb{R}^3$, i.e., there is a bijective map $\Phi: Z_+ \rightarrow \mathbb{R}^3$ such that Φ and Φ^{-1} are smooth. Thus we can consider the subspace of V of all complex-valued smooth functions on $\mathbb{R}^3$ for the representation space of this representation of $\mathfrak{g}$.

Denote this representation by $\varphi^{s,t}$. Note that only 1 is annulled by the above positive root vectors, so 1, whose weight is $s\omega_1 + t\omega_2$, where ω_1, ω_2 are fundamental weights, is the only highest weight vector in V . Thus, for $\varphi^{s,t}$, where s, t are non-negative integers, applying products of $S_{-\alpha}, S_{-\beta}$ to 1, we obtain an invariant subspace of the irreducible representation of $\mathfrak{g}$.

For $s = 1, t = 0$, the subspace is spanned by 3 polynomials: $1, h(x), h(x)y - z$ and for $s = 0, t = 1$, the subspace is spanned by 3 polynomials: $1, y, z$.

Irreducible representations of A_2

Let $V^{s,t}$ be the real vector space spanned by

$$h^a(x)(h(x)y - z)^b y^c z^d,$$

where $a, b, c, d \geq 0$ and $a + b \leq s, c + d \leq t$.

By direct computation, we obtain $V^{s,t}$ is invariant under $\varphi^{s,t}$. Thus $\varphi^{s,t}$ is a finite-dimensional representation of $\mathfrak{g}$ in $V^{s,t}$. Since 1, whose weight is $s\omega_1 + t\omega_2$, is the only highest weight vector of $\varphi^{s,t}$ in $V^{s,t}$, and $\varphi^{s,t}$ is completely reducible, so $\varphi^{s,t}$ is an irreducible representation of $\mathfrak{g}$ in $V^{s,t}$ (Zhelobenko, 1973).

Solutions of the PDEs

As proposed by Saenkarun (2009), let us consider the space $C^\infty(G)$ two representations of the group G , $S_g f(h) = f(g^{-1}h)$ and $T_g f(h) = f(hg)$ where $h, g \in G$. Observe that S_g and T_h commute in $C^\infty(G)$ for all $g, h \in G$. Let $\mathfrak{X}$ be the dual space for the space $C^\infty(G)$, that is the space of all distributions with compact support on G . Consider in $\mathfrak{X}$ two representations of the group G conjugate to S_g and T_g that we shall denote by $\tilde{S}_g$ and $\tilde{T}_g$, where $\tilde{S}_g = S_{g^{-1}}^*$ and $\tilde{T}_g = T_{g^{-1}}^*$. Here $*$ denotes the adjoint operator, that is, if $\langle f, F \rangle$ is the canonical bilinear form for the pair $C^\infty(G)$ and $\mathfrak{X}$, then $\langle Af, F \rangle = \langle f, A^*F \rangle$ for any linear operator A in $C^\infty(G)$, $f \in C^\infty(G)$ and $F \in \mathfrak{X}$. Let 1_e be the δ -function on G with support at the identity e of the group G . Then it is easy to see that $\tilde{S}_g 1_e = 1_g$ and $\tilde{T}_g 1_e = 1_{g^{-1}}$, where 1_g is the δ -function with support at the point g of G and $1_{g^{-1}}$ is the same for g^{-1} . This implies that $\tilde{S}_g 1_e = \tilde{T}_{g^{-1}} 1_e$.

Because the representations S and T are C^∞ -differentiable, we may consider their differentials, that is the representations of the universal enveloping algebra $U(\mathfrak{g})$, which we shall also denote by S and T , and the conjugate representations will be again denoted by $\tilde{S}$ and $\tilde{T}$. In algebra $U(\mathfrak{g})$, we consider the

principal anti-automorphism $u \rightarrow u'$ where $u' = -u$ for $u \in \mathfrak{L}$ and $(u_1 u_2 \dots u_k)' = u'_k u'_{k-1} \dots u'_1$. Then we get $\tilde{S}(u)1_e = \tilde{T}(u')1_e$ for all $u \in U(\mathfrak{L})$.

The space $E_\sigma = F_{\alpha_{p,q}}(G) = \{f \in C^\infty(G) | f(gb_-) = \alpha_{p,q}^{-1}(b_-)f(g), b_- \in B, g \in G\}$ can be identified as the space of the solutions to the system of PDE $T(x_\gamma)f = 0$, for all $\gamma \in \Pi_0$ (Π_0 - the set of simple roots). $T(x - \langle \sigma - \rho, x \rangle)f = 0$, for all $x \in \mathfrak{H}$, σ is the signature of the inducing representation and ρ the half-sum of all positive roots (Zhelobenko, 1973).

Denote by I_σ the cyclic submodule in $U(\mathfrak{L})$ -module $\mathfrak{X}$ generated by the elements $\tilde{S}(x_\gamma)1_e$, for all $\gamma \in \Pi_0$, $\tilde{S}(x - \langle \sigma - \rho, x \rangle)1_e$, for all $x \in \mathfrak{H}$.

Proposition 5.1 E_σ is the orthogonal complement for I_σ with respect to the canonical bilinear form $\langle \cdot, \cdot \rangle$.

Proof. Let $f \in E_\sigma$. Then

$$\langle f, \tilde{T}_g \tilde{T}_{x_\beta} 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} f, \tilde{S}_{x'_\beta} 1_e \rangle = \langle S_{x_\beta} T_{g^{-1}} f, 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} S_{x_\beta} f, 1_e \rangle = 0, \text{ for all } \beta \in \Pi_0,$$

$$\text{and } \langle f, \tilde{T}_g \tilde{T}_{x - \langle \sigma - \rho, x \rangle} 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} f, \tilde{S}_{x - \langle \sigma - \rho, x \rangle} 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} S_{x - \langle \sigma - \rho, x \rangle} f, 1_e \rangle = 0, \text{ for all } x \in \mathfrak{h}.$$

So that $E_\sigma \subset (I_\sigma)^\perp$.

Reversely, let $\varphi \in (I_\sigma)^\perp$. Then $T_g \varphi \in (I_\sigma)^\perp$, and

$$0 = \langle T_{g^{-1}} \varphi, \tilde{T}_{x_\beta} 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} S_{x_\beta} \varphi, 1_e \rangle = \langle S_{x_\beta} \varphi, \tilde{T}_g 1_e \rangle = \langle T_{x_\beta} \varphi, 1_g \rangle, \text{ for all } g \in G.$$

But this is equivalent to $S_{x_\beta} \varphi = 0$. Similarly for $\langle \sigma - \rho, x \rangle$, $x \in \mathfrak{h}$. Thus $E_\sigma = (I_\sigma)^\perp$. This is the end of the proof.

Let $\sigma \in \mathfrak{H}^*$ and χ be a positive root such that $\sigma(\chi) = N$, where N is a positive integer, and let M_σ be the Verma module corresponding to σ , and 1_σ is a highest weight vector of weight $\sigma - \rho$ in the module M_σ . Then $M_{\sigma - N\chi}$ is imbeddable into M_σ and so there exists $S_{\sigma, \chi}^N$ in the universal enveloping algebra of a maximal nilpotent subalgebra of $\mathfrak{L}$ spanned by all negative root vectors such that $\tilde{1}_{\sigma - N\chi} = S_{\sigma, \chi}^N 1_\sigma$, where $\tilde{1}_{\sigma - N\chi}$ is the image of $1_{\sigma - N\chi}$ under the imbedding (Loutsouk, 2008).

Proposition 5.2 $T(S_{\sigma, \chi}^N)$ is an intertwining operator for E_σ and $E_{\sigma'}$, $\sigma' = \sigma - N\chi$.

Proof. It is sufficient to show that $S(T_{\sigma, \chi}^N)E_\sigma \subset E_{\sigma'}$. Let $f \in E_\sigma$ and $\gamma \in \Pi_0$. Then

$$\langle S_{T_{\sigma, \chi}^N} f, \tilde{T}_g \tilde{T}_{x_\gamma} 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} f, \tilde{T}_{x_\gamma} \tilde{S}_{(T_{\sigma, \chi}^N)}, 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} f, \tilde{T}_{x_\gamma} \tilde{T}_{T_{\sigma, \chi}^N} 1_e \rangle = \langle T_{g^{-1}} f, \tilde{T}_{x_\gamma T_{\sigma, \chi}^N} 1_e \rangle.$$

But $x_\gamma T_{\sigma, \chi}^N \in I_\sigma$. So $\tilde{T}_{x_\gamma T_{\sigma, \chi}^N} 1_e \in I_\sigma$. Since $T_{g^{-1}} f \in E_\sigma$, the last expression is equal to 0.

Let $x \in \mathfrak{H}$. Then

$$\begin{aligned} \langle S_{T_{\sigma, \chi}^N} f, \tilde{T}_g \tilde{T}_{(x - \langle \sigma - N\chi - \rho, x \rangle)} 1_e \rangle &= \langle T_{g^{-1}} f, \tilde{S}_{(T_{\sigma, \chi}^N)}, \tilde{T}_{(x - \langle \sigma - N\chi - \rho, x \rangle)} 1_e \rangle \\ &= \langle T_{g^{-1}} f, \tilde{T}_{(x - \langle \sigma - N\chi - \rho, x \rangle) T_{\sigma, \chi}^N} 1_e \rangle. \end{aligned}$$

But $(x - \langle \sigma - N\chi - \rho, x \rangle) T_{\sigma, \chi}^N \in I_\sigma$. So $\tilde{T}_{(x - \langle \sigma - N\chi - \rho, x \rangle) T_{\sigma, \chi}^N} 1_e \in I_\sigma$. Therefore the last expression equals 0, because $T_{g^{-1}} f \in E_\sigma \subset I_\sigma^\perp$. This is the end of the proof.

When γ is a simple root, then $S_{\sigma,\gamma}^N = z_{-\gamma}^N$, where for any root λ , z_λ is a root vector for λ . For the simple root α ,

$$\begin{aligned} I_1 f(h) &= \frac{d}{da} T_{E_\alpha^{s+1}(a)} f(h)|_{a=0} \\ &= \left(\frac{1}{h'(x)} \frac{\partial}{\partial x} \right)^{s+1} f(h) \\ &= A^{s+1} f(h) \end{aligned}$$

is an intertwining operator for $E_{s\omega_1+t\omega_2}$ and $E_{(-s-2)\omega_1+(s+t+1)\omega_2}$. So, $V^{s,t} \subseteq \text{Ker } I_1$.

For the simple root β ,

$$\begin{aligned} I_2 f(h) &= \frac{d}{da} T_{E_\beta^{t+1}(a)} f(h)|_{a=0} \\ &= \left(\frac{\partial}{\partial y} + h(x) \frac{\partial}{\partial z} \right)^{t+1} f(h) \\ &= B^{t+1} f(h) \end{aligned}$$

is an intertwining operator for $E_{s\omega_1+t\omega_2}$ and $E_{(s+t+1)\omega_1+(-t-2)\omega_2}$. So $V^{s,t} \subseteq \text{Ker } I_2$.

Then $V^{s,t} = (\text{Ker } I_1) \cap (\text{Ker } I_2)$. That is, $h^a(x)(h(x)y - z)^b y^c z^d$, where $a, b, c, d \geq 0$ and $a + b \leq s, c + d \leq t$, are all solutions of the system (1), and they are the only solutions of this system of partial differential equations.

Conclusion

In this paper, we study a method to find all solutions of a certain systems of PDEs by considering representations of a Lie group A_2 . We found that the space of solutions of the systems of partial differential equations

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{h'(x)} \frac{\partial}{\partial x} \right]^{s+1} \varphi &= 0, \\ \left[\frac{\partial}{\partial y} + h(x) \frac{\partial}{\partial z} \right]^{t+1} \varphi &= 0, \end{aligned}$$

where s and t are non-negative integers, and the operators $\frac{1}{h'(x)} \frac{\partial}{\partial x}$ and $\frac{\partial}{\partial y} + h(x) \frac{\partial}{\partial z}$ generate a Lie algebra of differential operators, that is isomorphic to a maximal nilpotent subalgebra of exceptional Lie algebra of class A_2 , is the space $V^{s,t}$ of an irreducible representation spanned by the vectors $h^a(x)(h(x)y - z)^b y^c z^d$ where $a, b, c, d \geq 0$ and $a + b \leq s, c + d \leq t$.

For example, let $h(x) = x^3$ and $(s, t) = (1, 0)$. Then the space of solutions of PDEs

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{3x^2} \frac{\partial}{\partial x} \right]^2 \varphi &= 0, \\ \left[\frac{\partial}{\partial y} + x^3 \frac{\partial}{\partial z} \right] \varphi &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

is the space $V^{1,0}$ spanned by the vectors $1, x^3, x^3y - z$.

In the example, we may find all vectors that span the space of solutions of PDEs (2) $V^{1,0}$ by applying products of $S_{-\alpha} = \frac{(x^3)^2}{(3x^2)} \frac{\partial}{\partial x} - z \frac{\partial}{\partial y} - (1)(x^3)$, $S_{-\beta} = \left(\frac{z-(x^3)y}{(3x^2)} \right) \frac{\partial}{\partial x} + y^2 \frac{\partial}{\partial y} + yz \frac{\partial}{\partial z} - (0)y$ to 1.

By the same method, we claim that the space of solutions of the systems of partial differential equations

$$\begin{aligned} \left[f(x, y, z) \frac{\partial}{\partial x} \right]^{s+1} \varphi &= 0, \\ \left[h(x, y, z) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + g(x, y, z) \frac{\partial}{\partial z} \right]^{t+1} \varphi &= 0, \end{aligned}$$

where s and t are non-negative integers, $f(x, y, z) = \frac{1}{g_x(x, y, z)}$, and

$h(x, y, z) = -\left(\frac{g(x, y, z)g_z(x, y, z) + g_y(x, y, z)}{g_x(x, y, z)} \right)$, is the space $V^{s,t}$ of an irreducible representation spanned by the vectors $g^a(x, y, z)(yg(x, y, z) - z)^b y^c z^d$ where $a, b, c, d \geq 0$ and $a + b \leq s, c + d \leq t$.

For example, let $g(x, y, z) = xyz$ and $(s, t) = (1, 0)$. Then the space of solutions of PDEs

$$\begin{aligned} \left[\frac{1}{yz} \frac{\partial}{\partial x} \right]^2 \varphi &= 0, \\ \left[-\left(x^2y + \frac{x}{y} \right) \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + xyz \frac{\partial}{\partial z} \right] \varphi &= 0, \end{aligned}$$

is the space $V^{1,0}$ spanned by the vectors $1, xyz, xy^2z - z$.

References

- Ibragimov, N. H. (1996). *CRC Handbook of Lie group analysis of differential equations*. Boca Raton: CRC Press.
- Loutsiouk, A. (2008). On extreme vectors of Verma modules over complex semi-simple Lie algebras. *International Journal of Algebra*, 2(16), 771– 778.
- Ovsianikov, L. V. (1978). *Group analysis of differential equations*. New York: Academic Press.
- Saenkarun, S. (2009). Application of representations of G_2 to solutions of a system of PDE. *Journal of Interdisciplinary Mathematics*, 12(4), 589–606.
- Saenkarun, S., Loutsiouk, A. and Chunrungsikul, S. (2009). Studying solutions of a system of PDE through representations of G_2 . *International Mathematical Forum*, 9(4), 429–439.
- Zhelobenko, D. P. (1973). *Compact Lie groups and their representations*. Providence: American Mathematical Society.



Linear programming for optimal land and water allocation case study: Ubolratana Dam Khon Kaen

Onauma Samanya¹, Ratee Bojaras^{1,*}, Sawitree Tensopa¹, Arisara Foithong¹, Pairin Suwannasri¹ and
Kridsada Narong¹

¹*Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

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

Received <18 April 2025>; Revised <8 October 2025>; Accepted <2 November 2025>

Abstract

This research focuses on the allocation of crop cultivation areas for maximum net profit and the allocation of water resources. The case study is the Ubonratana Dam in Khon Kaen Province from 2021 to 2023, using a linear programming model and the LINGO software. The results found that allocating land for the main economic cultivation of five types of crops, including first-season rice, off-season rice, cassava, rubber, and sugarcane, in three irrigation districts, namely Mueang, Nam Phong, and Kranuan, can increase the average annual profit by 14.54% compared to growing traditional crops. Moreover, it was found that the amount of water released from the dam each month was sufficient to meet the water demand of agriculture without causing a water shortage in the reservoir.

Keywords: Allocation of crop cultivation; Allocation of water resource; Linear programming model; LINGO software

กำหนดการเชิงเส้นเพื่อการจัดสรรที่ดินและน้ำอย่างเหมาะสม กรณีศึกษา: เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น

อรอุมา สมัญญา¹ รติ โบจรัส^{1*} สาทิตรี เทนโสภา¹ อริศรา ฝอยทอง¹ ไพรินทร์ สุวรรณศรี¹ และ กฤษดา นารอง¹

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเพื่อให้ได้กำไรสุทธิมากที่สุดและการจัดสรรทรัพยากรน้ำ กรณีศึกษา : เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 - 2566 โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นและโปรแกรม LINGO ผลการวิจัย พบว่าการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง ยางพารา และอ้อยในเขตชลประทาน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอน้ำพองและอำเภอกระนวนด้วยตัวแบบสามารถเพิ่มผลกำไรเฉลี่ยต่อปีเป็น 14.54% เมื่อเทียบกับการปลูกพืชแบบเดิมและพบว่าปริมาณน้ำจากเขื่อนที่ปล่อยในแต่ละเดือนเหมาะสมเพียงพอกับความ ต้องการน้ำในการเกษตรโดยไม่ทำให้เกิดความขาดแคลนของน้ำในอ่างเก็บน้ำ

คำสำคัญ: การจัดสรรพื้นที่เพาะปลูก; การจัดสรรทรัพยากรน้ำ; ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น; โปรแกรม LINGO

บทนำ

ภาคการเกษตรมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงทางอาหารและเศรษฐกิจทั่วโลกและยังต้องเผชิญกับความท้าทาย เช่น ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรที่ดินและน้ำซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด การบริหารจัดการทรัพยากรเหล่านี้ย่อมมีประสิทธิภาพจึงเป็นหัวใจสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร พร้อมทั้งส่งเสริมการพัฒนาการเกษตรที่ยั่งยืน เพื่อแก้ไขปัญหาต่างกล่าว กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) จึงเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการวางแผนการเกษตร ช่วยสร้างแบบจำลองเพื่อหาแนวทางการจัดสรรทรัพยากรที่ดีที่สุด เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เช่น การเพิ่มผลกำไรสูงสุด หรือการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การจัดสรรทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพต้องใช้ความรู้ด้านการวิจัยดำเนินงานเพื่าคำนวณการจัดสรรที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วกำหนดการเชิงเส้นเป็นเทคนิคการดำเนินการที่ได้รับการยอมรับทั่วโลกและถูกใช้อย่างแพร่หลายในการวางแผนการปลูกพืชและการจัดการทรัพยากรน้ำ เช่น งานวิจัยของ Moradi-Jalal *et al.* (2007) ใช้กำหนดการเชิงเส้นบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยมุ่งเน้นการจัดสรรน้ำในระบบชลประทานอย่างเหมาะสมเพื่อการเพาะปลูกพืชหลายชนิด ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนสูงสุด ปี 2011 Mohamad and Said (2011) แก้ปัญหาการปลูกพืชให้เกิดประสิทธิภาพในพื้นที่เกษตรกรรมและนำแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นไปประยุกต์ใช้กับพืชที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ครั้งเดียวต่อปี โดยใช้โปรแกรม LINDO หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์จากงานวิจัยพบว่าสามารถจัดสรรทรัพยากรสำหรับการเกษตรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยเพิ่มผลกำไรได้เมื่อเทียบกับการวางแผนโดยอาศัยประสบการณ์เพียงอย่างเดียว งานวิจัยของ Rani and Rao (2012) ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective optimization) เพื่อวางแผนการเพาะปลูกพืช โดยมีเป้าหมายหลายอย่างพร้อมกัน ผลลัพธ์ของงานวิจัยทำให้เลือกแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนึงถึงผลตอบแทนทางเศรษฐกิจและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยของ Vadde, Shreedhar and Hiremath (2017) ใช้กำหนดการเชิงเส้นจัดสรรทรัพยากรที่ดินและน้ำในอ่างเก็บน้ำอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มผลตอบแทนสุทธิรายปีสูงสุดในพื้นที่ชลประทาน รัฐคาร์นาตากา ทางตอนเหนือของประเทศอินเดีย งานวิจัยของ Raju, Gowda and Karthika (2020) ใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นเพื่อพิจารณาการปล่อยน้ำรายเดือนในเขื่อน Hemavathy ประเทศอินเดีย พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำได้ดีกว่าเดิมโดยไม่ทำให้เกิดความขาดแคลนของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ในปีเดียวกัน Bhatia and Rana (2020) นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า "Integrated Farm Model" เพื่อปรับการจัดสรรพืชผลและปศุสัตว์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเพิ่มรายได้ทางการเกษตร ในภูมิภาคแห้งแล้งของรัฐราชสถาน ประเทศอินเดีย ในปี 2021 Imron and Murtiningrum (2021) ใช้กำหนดการเชิงเส้นเพื่อหาพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้น้ำจากระบบชลประทานเบลิตัง ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งมักประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง และงานวิจัยของ Glinsukhon *et al.* (2024) นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming Model) เพื่อวางแผนการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งแบบครั้งเดียวและหลายครั้งในช่วงฤดูแล้ง โดยใช้โปรแกรม Python และ Gurobi Optimization Package วิเคราะห์งบประมาณและปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงว่าการจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิตและความมั่นคงทางอาหารของประเทศ การบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ลดความเสี่ยงจากภัยแล้ง ภัยน้ำท่วมและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตาม ปัญหาการขาดแคลนน้ำและการปล่อยน้ำแบบไร้ทิศทาง ทำให้เกิดปัญหามากมาย เช่น ปัญหากล้วยแล้ง ปัญหาอุทกภัย ผลผลิตทางการเกษตรน้อยลง ดังนั้นหากจัดการบริหารน้ำให้ดี มีประสิทธิภาพ จะสามารถแก้ปัญหาต่างกล่าวไม่มากนัก

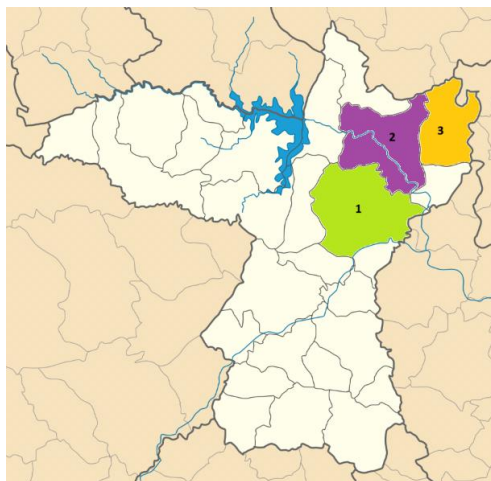
งานวิจัยนี้ใช้กำหนดการเชิงเส้นแก้ปัญหาการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลักจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง ยางพาราและอ้อย ในเขตชลประทาน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอน้ำพองและอำเภอกะนวน จังหวัดขอนแก่น เพื่อให้ได้กำไรสุทธิมากที่สุดและศึกษาปัญหาการจัดสรรทรัพยากรน้ำ เพื่อหาปริมาณการปล่อยน้ำในแต่ละเดือนที่เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564-2566 โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นและโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO พื้นที่ศึกษา

เขื่อนอุบลรัตน์ ชื่อเดิมว่า เขื่อนพองหนีบ เป็นโครงการเขื่อนอนกประสงค์แห่งที่สองของไทยและเป็นเขื่อนผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่แห่งแรกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2507 แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2509 โดยมีลำน้ำหลัก

รับน้ำลงสู่อ่างเก็บน้ำ 3 ลำน้ำคือ ลำน้ำพอง ลำน้ำเชิญ มีต้นน้ำจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ และลำพะเนียง มีต้นน้ำจาก เทือกเขาภูพาน จ.หนองบัวลำภู แผนที่แสดงที่ตั้งเขื่อนอุบลรัตน์แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงที่ตั้งเขื่อนอุบลรัตน์



ภาพที่ 2 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษา

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลักจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง ยางพาราและอ้อย ในเขตชลประทาน 3 อำเภอ ได้แก่ 1) อำเภอเมือง 2) อำเภอน้ำพองและ 3) อำเภอกระนวน จังหวัดขอนแก่น ดังภาพที่ 2 เพื่อให้ผลกำไรสุทธิมากที่สุดและจัดสรรทรัพยากรน้ำเพื่อหาปริมาณการปล่อยน้ำในแต่ละเดือนที่เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564-2566 โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นและโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวแบบคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรพื้นที่

งานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นเพื่อจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลักจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง ยางพาราและอ้อย ในเขตชลประทาน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอน้ำพองและอำเภอกระนวน จังหวัดขอนแก่น เพื่อให้ผลกำไรสุทธิมากที่สุด ดังสมการที่ (1.1)– (1.5)
กำหนดให้ i คือ ดัชนีของพืช เมื่อ $i = 1, 2, \dots, m$

- j คือ ดัชนีของอำเภอ เมื่อ $j = 1, 2, \dots, n$
 NP_i หมายถึง กำไรสุทธิของพืชชนิดที่ i (หน่วย: บาท/ไร่)
 X_{ij} หมายถึง พื้นที่เพาะปลูกของพืชชนิดที่ i ในอำเภอที่ j (หน่วย: ไร่)
 W_i หมายถึง ความต้องการน้ำของพืชชนิดที่ i (หน่วย: ลบ.ม./ไร่)
 AW หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการเกษตรทั้งหมด (หน่วย: ล้าน ลบ.ม.)
 C_i หมายถึง ต้นทุนที่ใช้เพาะปลูกพืชชนิดที่ i (หน่วย: บาท/ไร่)
 AC_j หมายถึง งบประมาณที่ใช้เพาะปลูกพืชทั้งหมดของแต่ละอำเภอ (หน่วย: บาท/ไร่)
 T_j หมายถึง พื้นที่การเกษตรทั้งหมดของอำเภอที่ j (หน่วย: ไร่)
 R_{ij} หมายถึง พื้นที่เพาะปลูกขั้นต่ำของพืชชนิดที่ i ในอำเภอที่ j (หน่วย: ไร่)

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m NP_i X_{ij} \quad (1.1)$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m W_i X_{ij} \leq AW \quad (1.2)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (1.2) หมายถึง ความต้องการน้ำในการปลูกพืช m ชนิด ใน n อำเภอต้องไม่เกินปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่ใช้เพื่อการเกษตรทั้งหมด

$$\sum_{i=1}^m C_i X_{ij} \leq AC_j \quad \text{สำหรับ } j = 1, 2, \dots, n \quad (1.3)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (1.3) หมายถึง ต้นทุนที่ใช้เพาะปลูกพืช m ชนิด ใน n อำเภอต้องไม่เกินงบประมาณที่ใช้เพาะปลูกพืชทั้งหมดของแต่ละอำเภอ

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq T_j \quad \text{สำหรับ } j = 1, 2, \dots, n \quad (1.4)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (1.4) หมายถึง ผลรวมของพื้นที่เพาะปลูกพืช m ชนิด ใน n อำเภอเท่ากับพื้นที่การเกษตรทั้งหมดของแต่ละอำเภอ

$$X_{ij} \geq R_{ij} \quad (1.5)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (1.5) หมายถึง พื้นที่เพาะปลูกของพืชแต่ละชนิดมากกว่าหรือเท่ากับพื้นที่เพาะปลูกขั้นต่ำของพืชแต่ละชนิด

สมมติฐานของงานวิจัยนี้แบ่งแบบจำลองเป็น 2 แบบ โดยแบบแรกจะกำหนดผลรวมของพื้นที่เพาะปลูกพืชให้น้อยกว่าหรือเท่ากับพื้นที่การเกษตรทั้งหมดของแต่ละอำเภอ เรียกว่าแบบ A และแบบที่สองกำหนดผลรวมของพื้นที่เพาะปลูกพืชเท่ากับพื้นที่การเกษตรทั้งหมดของแต่ละอำเภอ เรียกว่าแบบ B เพื่อพิจารณาความแตกต่างของผลลัพธ์จากทั้งสองตัวแบบ นอกจากนี้ในตัวอย่างทั้งสองยังได้กำหนดปริมาณน้ำเพื่อการเกษตรขั้นต่ำในแต่ละปี เพื่อให้ผลกำไรสุทธิมากที่สุด

ตัวอย่างข้อมูลนำเข้า พื้นที่เพาะปลูกขั้นต่ำและข้อมูลพืชผลทางการเกษตร ในปี พ.ศ. 2565 (Department of Land Development Khon Kaen Province, 2024) ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกขั้นต่ำของพืชแต่ละชนิด (หน่วย: ไร่)

พืช	อ.เมือง	อ.น้ำพอง	อ.กระนวน
ข้าวนาปี	83,718	62,154	13,681
ข้าวนาปรัง	79,390	45,087	13,681
มันสำปะหลัง	32,688	35,143	27,907
ยางพารา	1,497	7,461	37,103
อ้อย	54,047	82,198	110,685

ตารางที่ 2 ข้อมูลพืชผลทางการเกษตร ปี พ.ศ. 2565

พืช	ราคาขาย (บาท/ กก.)	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ ไร่)	ความต้องการน้ำ (ลบ.ม./ ไร่)	ต้นทุน (บาท/ ไร่)	กำไร (บาท/ ไร่)
ข้าวนาปี	10.75	460.14	1,172	3,902.25	1,044.26
ข้าวนาปรัง	9.98	719.38	1,172	4,831.02	2,348.37
มันสำปะหลัง	2.94	3,410.38	1,274	6,158.66	3,867.87
ยางพารา	25.13	321.61	15.4	8,586.90	332.74
อ้อย	1.19	8,991.39	1,656	9,150.46	1,519.32

กรณียางพาราที่เป็นพืชยืนต้น ต้องใช้เวลาปลูก 6–7 ปี จึงเริ่มให้ผลผลิตและมีอายุการเก็บเกี่ยว 25–30 ปี ซึ่งงานวิจัยนี้จะพิจารณากำไรของยางพาราที่มีอายุเก็บเกี่ยวแล้วเท่านั้น

การแก้ปัญหาการจัดสรรพื้นที่ด้วยโปรแกรม LINGO

จากข้อมูลนำเข้าปี พ.ศ. 2565 ใช้โปรแกรม LINGO แก้ปัญหาการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูก
กำหนดให้ $i = 1, 2, \dots, 5$
(โดยที่ $i = 1$ คือ ข้าวนาปี/ $i = 2$ คือ ข้าวนาปรัง/ $i = 3$ คือ มันสำปะหลัง/ $i = 4$ คือ ยางพาราและ $i = 5$ คือ อ้อย)
 $j = 1, 2, 3$
(โดยที่ $j = 1$ คือ อำเภอเมือง/ $j = 2$ คือ อำเภอน้ำพอง/ $j = 3$ คือ อำเภอกระนวน)
ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดขอบเขตของตัวแปรด้วยคำสั่ง

```
SETS: CROP/1..5/: W, COST, NP;  
DISTRICT/1..3/: AC, TX;  
CALENDAR(CROP,DISTRICT): RX, X; ENDSETS  
ขั้นตอนที่ 2 : นำเข้าข้อมูลแต่ละตัวแปรในโปรแกรม LINGO ด้วยคำสั่ง  
DATA: W = @OLE("E:\ LINGO20 \ CROP.xlsx", "W");  
TX = @OLE("E: \ LINGO20 \ CROP.xlsx", "TX");  
COST = @OLE("E: \ LINGO20 \ CROP.xlsx", "COST")  
NP = @OLE("E: \ LINGO20 \ CROP.xlsx", "NP");  
AC = @OLE("E: \ LINGO20 \ CROP.xlsx", "AC");  
RX = @OLE("E:\ LINGO20 \ CROP.xlsx", "RX");  
@OLE("E: \ LINGO20 \ CROP.xlsx", "AREA")=X;  
ENDDATA
```

ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ 1.1 ด้วยคำสั่ง $MAX = @SUM(CALENDAR(i,j) : NP(i) * X(i,j));$

ขั้นตอนที่ 4 : กำหนดเงื่อนไขบังคับดังสมการที่ 1.2-1.5 ด้วยคำสั่ง

@FOR(DISTRICT(j): @SUM(CROP(i): W(i) * X(i,j)) <= AW);
 @FOR(DISTRICT(j): @SUM(CROP(i): COST(i) * X(i,j) <= AC(j));
 @FOR(DISTRICT(j): @SUM(CROP(i): X(i,j)) <= TX(j));
 @FOR(CALENDAR(i,j): X(i,j) >= RX(i,j));

ตัวแบบคณิตศาสตร์ของการจัดสรรทรัพยากรน้ำ

งานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นเพื่อพิจารณาการปล่อยน้ำในเขื่อนรายเดือนอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ขั้นต่ำ-ขั้นสูงจากตัวแบบการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกที่ให้กำไรสุทธิมากสุดในแต่ละปี ซึ่งทำให้ทราบปริมาณน้ำขั้นต่ำที่ใช้ปลูกพืชปี 2564-2566 ต้องมากกว่า 300 ล้านลูกบาศก์เมตรและปริมาณน้ำมากสุดใช้ปลูกพืชปี 2564-2566 ไม่เกิน 700 ล้านลูกบาศก์เมตร 600 ล้านลูกบาศก์เมตรและ 500 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เนื่องจากถ้ากำหนดปริมาณน้ำมากกว่านี้จะให้ผลกำไรเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อได้ปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ในแต่ละปี จะนำไปคำนวณความต้องการน้ำรายเดือน โดยพิจารณาควบคู่กับปฏิทินการเพาะปลูกพืชรายปี จากคลังความรู้กรมส่งเสริมการเกษตร ดังตารางที่ 3 ค่าในตารางคือค่าสัมประสิทธิ์ปฏิทินพืชผล โดยที่ 1 หมายถึง มีการปลูกพืชในเดือนนั้นและ 0 หมายถึง ไม่มีการปลูกพืชในเดือนนั้น

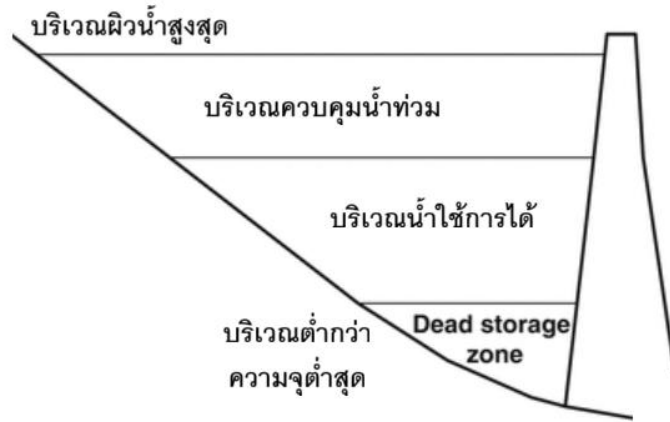
ตารางที่ 3 ปฏิทินการเพาะปลูกพืช

เดือน	ปฏิทินการเพาะปลูกพืช				
	ข้าวนาปี	ข้าวนาปรัง	มันสำปะหลัง	ยางพารา*	อ้อย**
มกราคม	0	1	0	0	1
กุมภาพันธ์	0	1	0	1	1
มีนาคม	0	1	0	1	1
เมษายน	0	1	1	1	1
พฤษภาคม	1	0	1	1	0
มิถุนายน	1	0	1	1	0
กรกฎาคม	1	0	1	1	0
สิงหาคม	1	0	1	1	0
กันยายน	1	0	1	1	1
ตุลาคม	1	0	1	1	1
พฤศจิกายน	0	1	1	1	1
ธันวาคม	0	1	0	0	1

*อายุ 4 ปีขึ้นไป **อ้อยต้นฝน

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้เพาะปลูกในแต่ละเดือนของพืชทั้ง 5 ชนิด จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนในแต่ละปีและใช้ตัวแบบการจัดสรรน้ำเพื่อคำนวณค่าตัวแปรตัดสินใจ คือ ปริมาณการปล่อยน้ำรายเดือนและปริมาณน้ำกักเก็บในเขื่อนในแต่ละเดือน ภายใต้ข้อจำกัดในสมการที่ (2.2) – (2.6) โดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อหาผลรวมปริมาณการปล่อยน้ำรายเดือนน้อยที่สุด หรือวิธีใช้น้ำที่ประหยัดที่สุดแต่ยังคงตอบสนองความต้องการครบถ้วน ดังสมการที่ (2.1)

กรณีศึกษาเป็นการใช้สมมติฐานว่า พื้นที่ปลูกพืชต่างชนิดกันควรปลูกอะไรเพื่อให้ผลตอบแทนสูงสุด ซึ่งในทางปฏิบัติเกษตรกรสามารถใช้พื้นที่ปลูกเดียวกันได้ด้วยการสลับฤดูกาล เช่น ข้าวนาปีและข้าวนาปรังสามารถใช้พื้นที่เพาะปลูกเดียวกันได้เมื่อพิจารณาจากปฏิทินการเพาะปลูกพืช



ภาพที่ 3 บริเวณอ่างเก็บน้ำ

- กำหนดให้ R_t คือ ตัวแปรตัดสินใจคำนวณปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อน ในช่วงเวลา t
 S_t คือ ตัวแปรตัดสินใจคำนวณปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน ในช่วงเวลา t (โดยที่ $S_{13} = S_1$ ของปีถัดไป)
 I_t หมายถึง ปริมาณน้ำไหลเข้าในเขื่อน ในช่วงเวลา t
 E_t หมายถึง ปริมาณน้ำระเหยออกจากเขื่อน ในช่วงเวลา t
 O_t หมายถึง ปริมาณน้ำท่วมล้นจากเขื่อน ในช่วงเวลา t
 D_t หมายถึง ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร ในช่วงเวลา t
 K คือ ความจุของอ่างเก็บน้ำ
 S_{min} คือ ปริมาณน้ำที่กักเก็บต่ำสุด
 t คือ ดัชนีของเดือน เมื่อ $t = 1, 2, 3, \dots, 12$

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Min } R = \sum_{t=1}^{12} R_t \quad (2.1)$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ

$$S_{t+1} = S_t + I_t - E_t - R_t - O_t \quad (2.2)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (2.2) หมายถึง ปริมาณน้ำกักเก็บของเดือนถัดไปเท่ากับปริมาณน้ำกักเก็บในเดือนปัจจุบัน

$$R_t \geq D_t \quad (2.3)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (2.3) หมายถึง ปริมาณการปล่อยน้ำมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร

$$S_t \leq K \quad (2.4)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (2.4) หมายถึง ปริมาณน้ำกักเก็บต้องไม่เกินปริมาณความจุของอ่างเก็บน้ำ เพื่อป้องกันเหตุการณ์น้ำล้นเขื่อน

$$S_t \geq S_{min} \quad (2.5)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (2.5) หมายถึง ปริมาณน้ำกักเก็บต้องไม่ต่ำกว่าปริมาณน้ำกักเก็บต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำ

$$R_t \geq 0 \quad (2.6)$$

เงื่อนไขบังคับที่ (2.6) ตัวแปรตัดสินใจต้องไม่เป็นลบ
ตัวอย่างข้อมูลนำเข้า ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำในเขื่อนอุบลรัตน์ ในปี พ.ศ. 2564

ปริมาณน้ำ						
เดือน (t)	กักเก็บ (St)	ปล่อย (Rt)	ไหลเข้า (It)	ท่วมล้น (Ot)	ระเหย (Et)	การเกษตร (Dt)
มกราคม	1,413.94	102.50	0.50	0.00	0.85	36.92
กุมภาพันธ์	1,270.77	110.27	0.59	0.00	0.82	40.07
มีนาคม	1,102.19	142.89	0.93	0.00	0.85	72.88
เมษายน	929.08	131.87	2.30	0.00	0.80	72.88
พฤษภาคม	916.33	66.11	4.34	0.00	0.76	54.18
มิถุนายน	911.06	196.15	6.66	0.00	0.73	54.18
กรกฎาคม	830.93	171.70	5.58	0.00	0.63	54.18
สิงหาคม	735.92	127.99	1.37	0.00	0.51	54.18
กันยายน	1,026.97	77.73	40.43	0.00	0.59	75.32
ตุลาคม	2,417.96	394.39	56.91	16.53	1.12	75.32
พฤศจิกายน	2,649.64	374.17	9.31	21.25	1.26	72.88
ธันวาคม	2,230.04	306.82	1.54	0.00	1.10	36.92
หน่วย (ล้าน ลบ.ม)						

การแก้ปัญหาการจัดสรรน้ำด้วยโปรแกรม LINGO

จากข้อมูลนำเข้าปริมาณน้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์ในปี พ.ศ. 2564 ดังตารางที่ 4 กำหนดให้ปริมาณน้ำที่กักเก็บต่ำสุด S_{min} เท่ากับ 678.05 ล้านลูกบาศก์เมตรและปริมาณความจุของอ่างเก็บน้ำ K เท่ากับ 2,431 ล้านลูกบาศก์เมตร ใช้โปรแกรม LINGO แก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรน้ำดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดขอบเขตของตัวแปรในโปรแกรม LINGO ด้วยคำสั่ง

```
SETS:
    MONTHS/1..12/ : RELEASES, STORAGE;
    IN/1..12/:INFLOW;
    O/1..12/:SPILL;
    E/1..12/:EVAPORATION;
    D/1..12/:DEMAND;
```

ENDSETS

ขั้นตอนที่ 2 : นำเข้าข้อมูลแต่ละตัวแปรในโปรแกรม LINGO ด้วยคำสั่ง

```
DATA: INFLOW = @OLE("E:\LINGO20\DATAWATER","INFLOW");
    SPILL = @OLE("E:\LINGO20\DATAWATER","SPILL");
    EVAPORATION = @OLE("E:\LINGO20\DATAWATER","EVAPO");
    DEMAND = @OLE("E:\LINGO20\DATAWATER","DEMAND");
    CAPACITY = 2431;
    MINCAPACITY = 678.05;
    @OLE("E:\LINGO20\DATAWATER","RELEASES")=RELEASES;
    @OLE("E:\LINGO20\DATAWATER","STORAGE")=STORAGE;
```

ENDDATA

ขั้นตอนที่ 3 : กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ ดังสมการที่ 2.1 ด้วยคำสั่ง

```
MINRELEASES = @SUM (MONTHS (t) : RELEASES (t)); MIN = MINRELEASES ;
```

ขั้นตอนที่ 4 : กำหนดเงื่อนไขบังคับดังสมการที่ 2.2-2.6 ด้วยคำสั่ง

@FOR(MONTHS (t) | t #NE# 12: STORAGE(t+1) = STORAGE (t) + INFLOW (t) - EVAPORATION (t) - RELEASES (t) - SPILL(t));

@FOR(MONTHS(t): RELEASES(t) >= DEMAND(t));

@FOR(MONTHS(t): STORAGE(t) <= CAPACITY);

@FOR(MONTHS(t): STORAGE(t) >= MINCAPACITY);

@FOR(MONTHS(t): RELEASES(t) >= 0);

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลลัพธ์การจัดสรรพื้นที่ด้วยโปรแกรม LINGO

หัวข้อนี้แสดงผลการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลักจำนวน 5 ชนิด ในเขตชลประทาน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอมือง อำเภอน้ำพองและอำเภอกะนวน จังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 - 2566 โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น แบบ A (ผลรวมของพื้นที่เพาะปลูกพืชน้อยกว่าหรือเท่ากับพื้นที่การเกษตรทั้งหมด) และแบบ B (ผลรวมของพื้นที่เพาะปลูกพืชเท่ากับพื้นที่การเกษตรทั้งหมด) ดังตารางที่ 5.1-5.3

ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์พื้นที่เพาะปลูกจากโปรแกรม ปี พ.ศ. 2564 (หน่วย: ไร่)
(AW คือ ปริมาณน้ำเพื่อการเกษตรทั้งหมด หน่วย: ล้านลูกบาศก์เมตร)

แบบ A (AW = 700)				แบบ B (AW = 400)		
พืช	อ.เมือง	อ.น้ำพอง	อ.กะนวน	อ.เมือง	อ.น้ำพอง	อ.กะนวน
ข้าวนาปี	83,718.00	62,154.00	13,681.00	149,764.22	141,231.15	138,081.89
ข้าวนาปรัง	79,390.00	45,087.00	13,681.00	79,390.00	45,087.00	13,681.00
มันสำปะหลัง	57,293.60	110,564.29	327,533.37	32,688.00	35,143.00	27,907.00
ยางพารา	1,497.00	7,461.00	37,103.00	18,500.53	48,250.35	213,377.86
อ้อย	54,047.00	82,198.00	110,685.00	54,047.00	82,198.00	110,685.00
รวม	275,945.60	307,464.29	502,683.37	334,389.75	351,909.50	503,732.75
กำไรสุทธิ (ล้านบาท)	2,259			กำไรสุทธิ (ล้านบาท)		

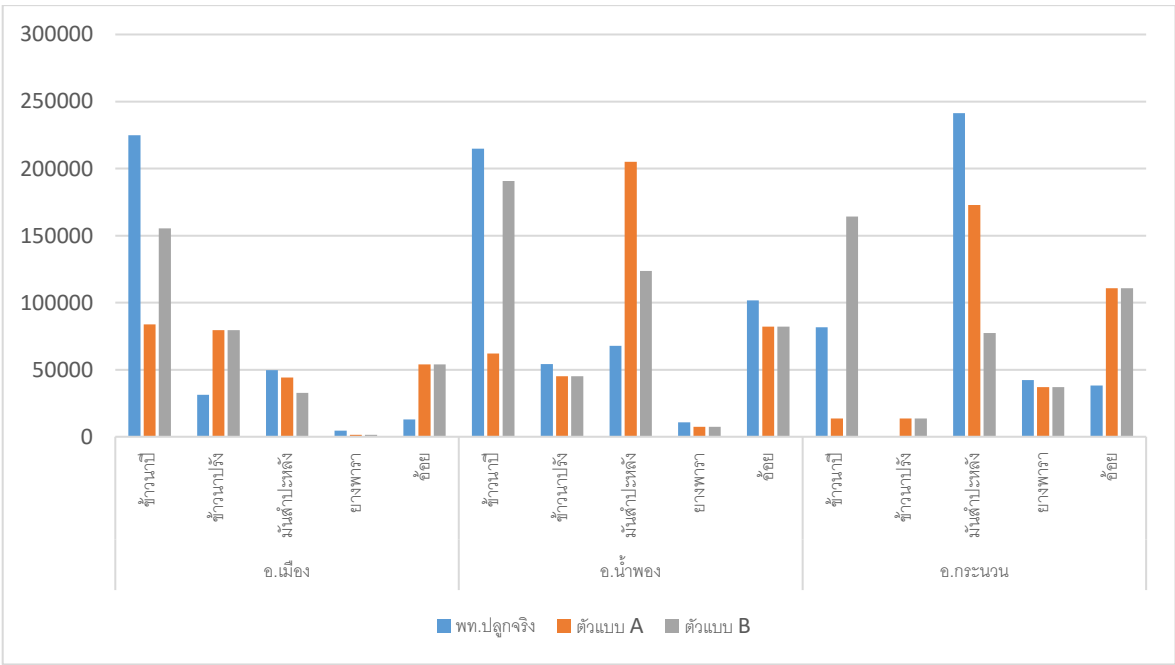
ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์พื้นที่เพาะปลูกจากโปรแกรม ปี พ.ศ. 2565 (หน่วย: ไร่)
กำหนดปริมาณน้ำเพื่อการเกษตรทั้งหมด (AW = 600 ล้านลูกบาศก์เมตร)

แบบ A				แบบ B		
พืช	อ.เมือง	อ.น้ำพอง	อ.กะนวน	อ.เมือง	อ.น้ำพอง	อ.กะนวน
ข้าวนาปี	83,718.00	62,154.00	13,681.00	155,417.75	190,790.10	164,342.70
ข้าวนาปรัง	79,390.00	45,087.00	13,681.00	79,390.00	45,087.00	13,681.00
มันสำปะหลัง	44,225.04	205,156.30	172,817.06	32,688.00	123,649.90	77,354.80
ยางพารา	1,497.00	7,461.00	37,103.00	1,497.00	7,461.00	37,103.00
อ้อย	54,047.00	82,198.00	110,685.00	54,047.00	82,198.00	110,685.00
รวม	262,877.04	402,056.30	347,967.06	323,039.75	449,186.00	403,166.50
กำไรสุทธิ (ล้านบาท)	2,515			กำไรสุทธิ (ล้านบาท)		

ตารางที่ 5.3 ผลลัพธ์พื้นที่เพาะปลูกจากโปรแกรม ปี พ.ศ. 2566 (หน่วย: ไร่)
กำหนดปริมาณน้ำเพื่อการเกษตรทั้งหมด (AW = 500 ล้านลูกบาศก์เมตร)

แบบ A				แบบ B		
พืช	อ.เมือง	อ.น้ำพอง	อ.กระนวน	อ.เมือง	อ.น้ำพอง	อ.กระนวน
ข้าวนาปี	83,718.00	62,154.00	13,681.00	140,635.00	216,657.00	75,397.50
ข้าวนาปรัง	79,390.00	45,087.00	13,681.00	79,390.00	45,087.00	13,681.00
มันสำปะหลัง	34,446.04	130,077.97	33,280.64	32,688.00	35,143.00	27,907.00
ยางพารา	1,497.00	7,461.00	37,103.00	1,497.00	7,461.00	37,103.00
อ้อย	54,047.00	82,198.00	110,685.00	54,047.00	82,198.00	110,685.00
รวม	253,098.04	326,977.97	208,430.64	308,257.00	386,546.00	264,773.50
กำไรสุทธิ (ล้านบาท)	1,882			กำไรสุทธิ (ล้านบาท) 1,617		

ผลลัพธ์จากโปรแกรม พบว่าปริมาณน้ำเพื่อการเกษตรขั้นต่ำต้องมากกว่า 300 ล้านลูกบาศก์เมตรในทุกตัวแบบ ในปี 2564 พบว่าปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการเกษตรในตัวแบบ A ต้องไม่เกิน 700 ล้านลูกบาศก์เมตรเนื่องจากปริมาณน้ำที่มากกว่านี้ จะให้คำตอบไม่เปลี่ยนแปลง ต่างจากผลลัพธ์ในตัวแบบ B จะมีกำไรสุทธิลดลงหากปริมาณน้ำมากกว่า 400 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับปี 2565 และ 2566 ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการเกษตรทั้งสองตัวแบบมีปริมาณเท่ากันคือไม่เกิน 600 ล้านลูกบาศก์เมตรและ 500 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.1-5.3

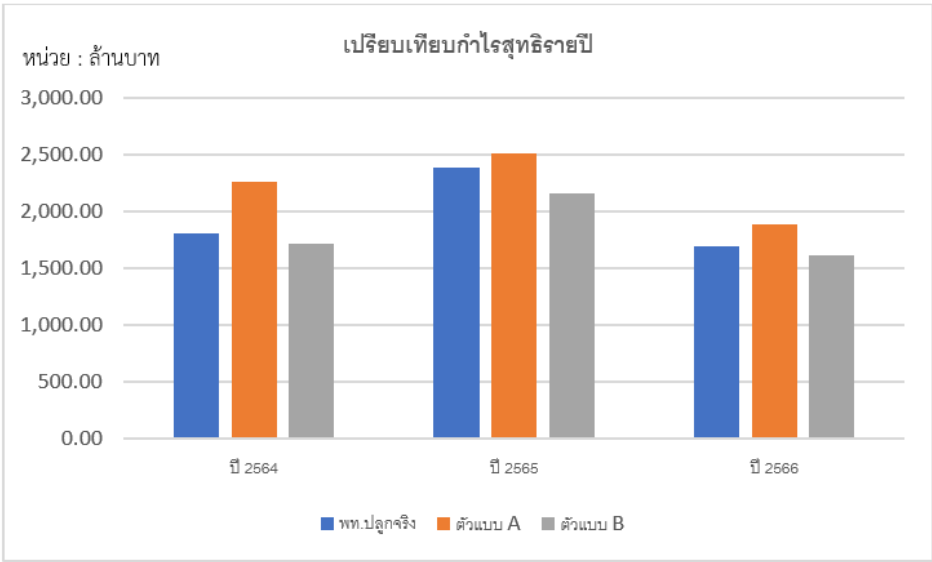


ภาพที่ 4 เปรียบเทียบพื้นที่เพาะปลูกจริง จากตัวแบบ A และตัวแบบ B ปี พ.ศ. 2565 (หน่วย: ไร่)

จากภาพที่ 4 พบว่าพื้นที่เพาะปลูกที่คำนวณจากตัวแบบ A แตกต่างจากพื้นที่เพาะปลูกจริง เนื่องจากตัวแบบ A จะคำนวณพื้นที่เพาะปลูกพืชที่ให้ผลกำไรมากที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด มิได้พิจารณาถึงความต้องการที่แท้จริง จึงพบว่าพื้นที่ที่ปลูกมันสำปะหลังในอำเภอน้ำพองและอำเภอกระนวนมีค่ามากที่สุด ในขณะที่ผลลัพธ์จากตัวแบบ B ให้คำตอบใกล้เคียงกับพื้นที่เพาะปลูกจริงมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกำไรสุทธิจากพื้นที่เพาะปลูกจริงกับพื้นที่จากตัวแบบ พบว่ากำไรสุทธิที่คำนวณจากตัวแบบ A มีค่ามากที่สุด ส่วนกำไรสุทธิจากตัวแบบ B มีค่าน้อยที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2564 ผลลัพธ์การจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกจากตัวแบบ A คำนวณกำไรสุทธิมากกว่าพื้นที่เพาะปลูกจริงประมาณ 480 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากพื้นที่เพาะปลูกจริง 26.96% เช่นเดียวกับปี

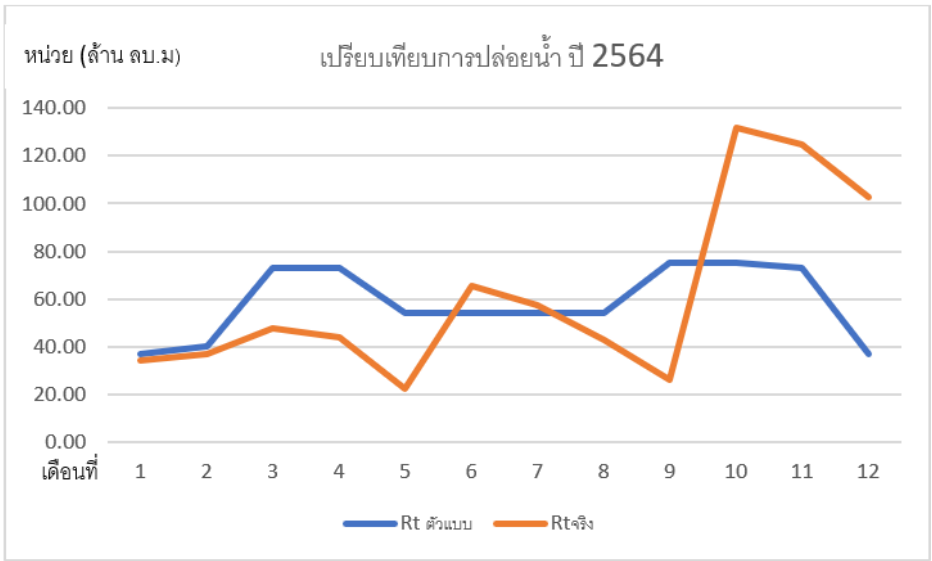
พ.ศ. 2565 และ 2566 กำไรสุทธิคำนวณจากตัวแบบ A เพิ่มขึ้นจากพื้นที่เพาะปลูกจริง ประมาณ 131 ล้านบาท และ 189 ล้านบาท คิดเป็น 5.51% และ 11.14% ตามลำดับ



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบกำไรจากพื้นที่เพาะปลูกจริงกับพื้นที่จากตัวแบบ A และตัวแบบ B

ผลลัพธ์การจัดสรรน้ำด้วยโปรแกรม LINGO

หัวข้อนี้แสดงผลการจัดสรรทรัพยากรน้ำด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม LINGO จากข้อมูลนำเข้า ปี พ.ศ.2564 ได้ผลลัพธ์คือปริมาณการปล่อยน้ำรายเดือน (R_t) และปริมาณน้ำกักเก็บแต่ละเดือน (S_t) ดังตารางที่ 6 นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยน้ำจริงเพื่อการเกษตร (คำนวณจาก 33.42% จากปริมาณการปล่อยน้ำในเขื่อนทั้งหมด) และปริมาณการปล่อยน้ำที่คำนวณจากโปรแกรม ดังภาพที่ 6



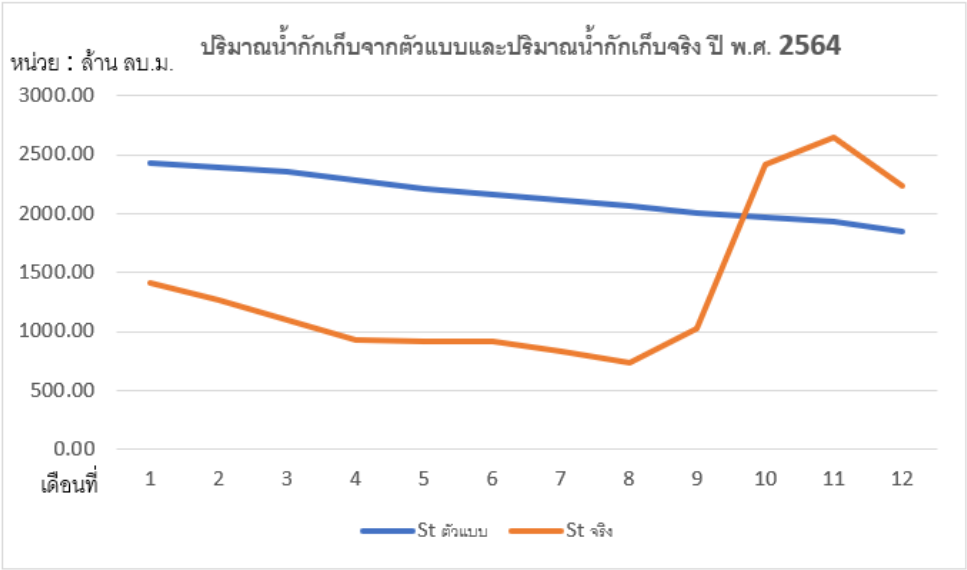
*ข้อมูลจากแผนบริหารจัดการน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ (SWOC6) ฝ่ายบริหารจัดการน้ำ สำนักงานชลประทานที่ 6
ภาพที่ 6 ปริมาณการปล่อยน้ำจากตัวแบบและปริมาณการปล่อยน้ำจริง* ปี พ.ศ. 2564

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อนและปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน ปี พ.ศ.2564

เดือน	Rt	St
มกราคม	36.92	2431.00
กุมภาพันธ์	40.07	2393.73
มีนาคม	72.88	2353.43
เมษายน	72.88	2280.63
พฤษภาคม	54.18	2209.25
มิถุนายน	54.18	2158.65
กรกฎาคม	54.18	2110.40
สิงหาคม	54.18	2061.17
กันยายน	75.32	2007.84
ตุลาคม	75.32	1972.36
พฤศจิกายน	72.88	1936.30
ธันวาคม	36.92	1850.21
ผลรวม	699.23	

หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.2564 ปริมาณการปล่อยน้ำจากตัวแบบเพียงพอกับความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรได้อย่างเหมาะสมในทุกเดือน ขณะที่ปริมาณการปล่อยน้ำจริงไม่เพียงพอกับความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน สำหรับปริมาณน้ำกักเก็บจริงจากตัวแบบมีค่าใกล้เคียงกันในทุกเดือนแต่ปริมาณน้ำกักเก็บจริงจะมีค่าสูงมากตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม



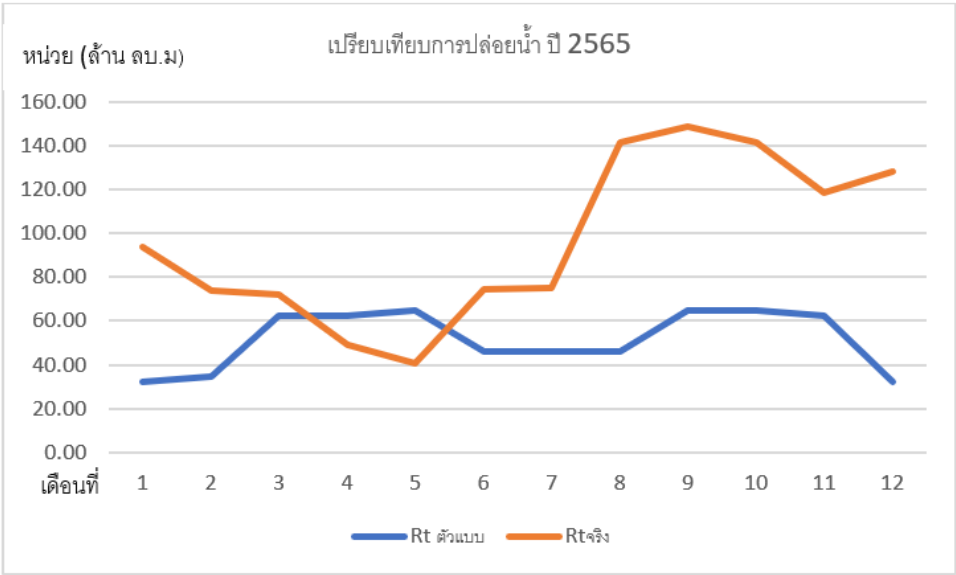
ภาพที่ 7 ปริมาณน้ำกักเก็บจากโปรแกรมและปริมาณน้ำกักเก็บจริงปี พ.ศ. 2564

ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อนและปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน ปี พ.ศ.2565

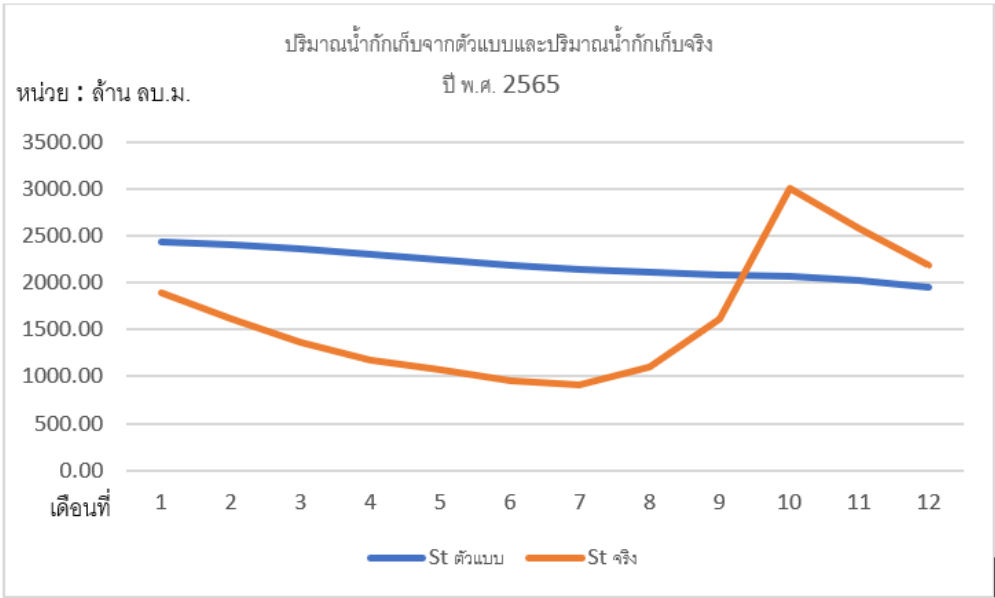
เดือน	Rt	St
มกราคม	31.92	2431.30
กุมภาพันธ์	34.65	2399.48
มีนาคม	62.44	2365.15
เมษายน	62.44	2303.07
พฤษภาคม	64.55	2241.57
มิถุนายน	46.27	2180.27
กรกฎาคม	46.27	2136.72
สิงหาคม	46.27	2104.48
กันยายน	64.55	2078.64
ตุลาคม	64.55	2063.09
พฤศจิกายน	62.44	2023.91
ธันวาคม	31.92	1954.56
ผลรวม	618.28	

หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.2565 ปริมาณการปล่อยน้ำจริงมากกว่าปริมาณน้ำเพื่อการเกษตรเกือบทุกเดือน ยกเว้นเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคมปริมาณการปล่อยน้ำจริงต่ำกว่าปริมาณน้ำเพื่อการเกษตร สำหรับปริมาณน้ำกักเก็บจริงจากตัวแบบมีค่าใกล้เคียงกันในทุกเดือนแต่ปริมาณน้ำกักเก็บจริงจะมีค่าสูงที่สุดในเดือนตุลาคม

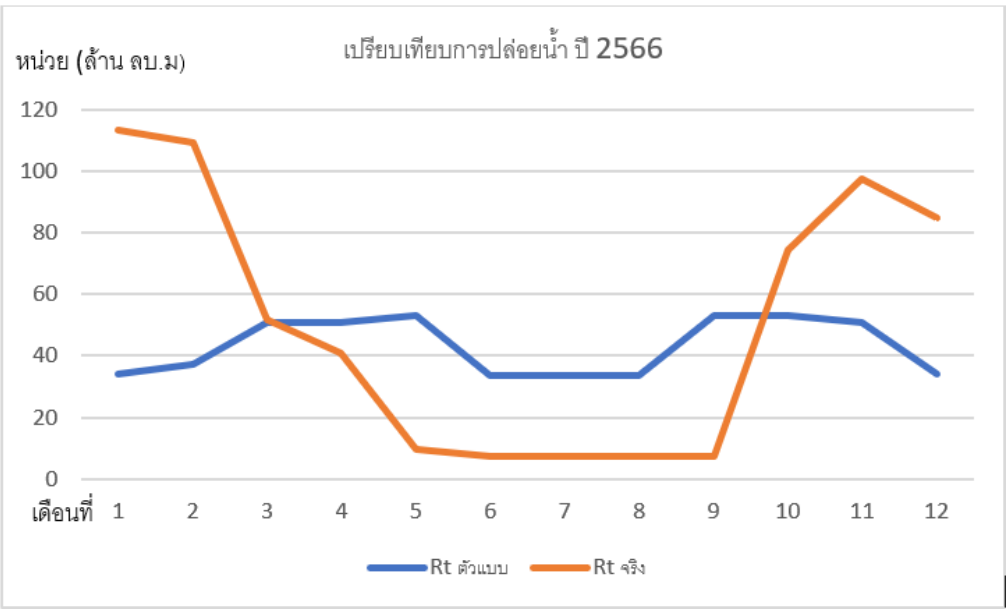


ภาพที่ 8 ปริมาณการปล่อยน้ำจากตัวแบบและปริมาณการปล่อยน้ำจริงปี พ.ศ. 2565



ภาพที่ 9 ปริมาณน้ำกักเก็บจากตัวแบบและปริมาณน้ำกักเก็บจริงปี พ.ศ. 2565

ปี พ.ศ.2566 ปริมาณการปล่อยน้ำจากตัวแบบมากกว่าปริมาณการปล่อยน้ำจริงในเดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน และปริมาณการปล่อยน้ำจริงมีความแตกต่างอย่างมากในช่วงต้นปีและปลายปี บางช่วงไม่เพียงพอกับความต้องการด้านการเกษตร สำหรับปริมาณน้ำกักเก็บจริงและจากตัวแบบมีค่าใกล้เคียงกันเกือบทุกเดือนยกเว้นเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมมีความแตกต่างกันอย่างมาก

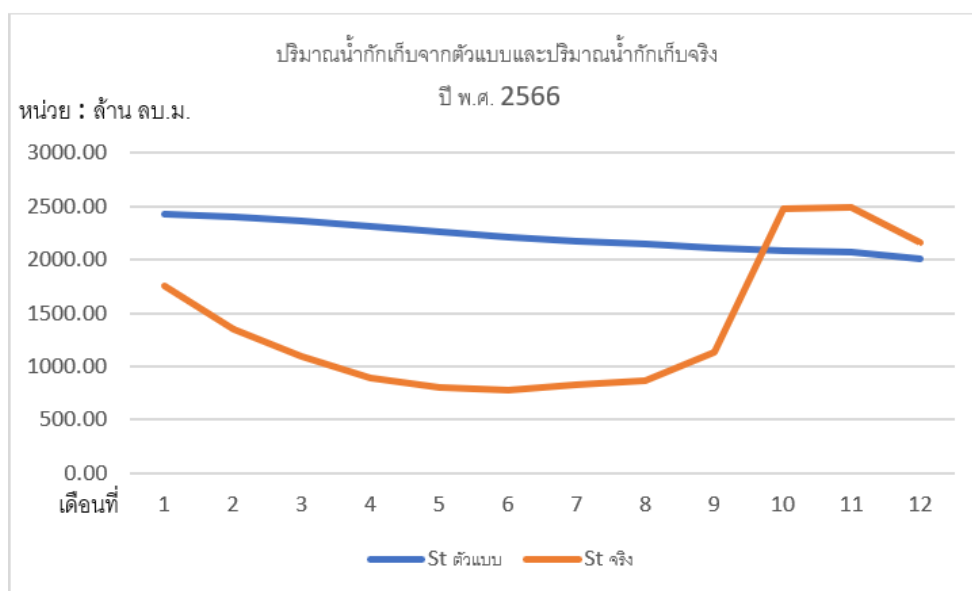


ภาพที่ 10 ปริมาณการปล่อยน้ำจากตัวแบบและปริมาณการปล่อยน้ำจริงปี พ.ศ. 2566

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อนและปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน ปี พ.ศ.2566

เดือน	Rt	St
มกราคม	34.17	2431.00
กุมภาพันธ์	37.09	2397.74
มีนาคม	51.02	2361.71
เมษายน	51.02	2311.42
พฤษภาคม	53.22	2260.91
มิถุนายน	33.65	2208.29
กรกฎาคม	33.65	2176.19
สิงหาคม	33.65	2146.22
กันยายน	53.22	2114.16
ตุลาคม	53.22	2088.76
พฤศจิกายน	51.02	2066.74
ธันวาคม	34.17	2013.27
ผลรวม	519.10	

หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 11 ปริมาณน้ำกักเก็บจากตัวแบบและปริมาณน้ำกักเก็บจริงปี พ.ศ. 2566

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลักจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง ยางพาราและอ้อย ในเขตชลประทาน 3 อำเภอ จังหวัดขอนแก่น เพื่อให้ผลกำไรสุทธิมากที่สุดและจัดสรรทรัพยากรน้ำเพื่อหาปริมาณการปล่อยน้ำในแต่ละเดือนที่เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564-2566 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO

ปัญหาการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูกพืช พิจารณาจากพื้นที่เพาะปลูกขั้นต่ำ ความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดงบประมาณในการเพาะปลูกและพื้นที่การเกษตรทั้งหมด เพื่อหาพื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสมและให้ผลกำไรสุทธิมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์พื้นที่จากตัวแบบกับพื้นที่เพาะปลูกจริง พบว่าพื้นที่จากตัวแบบ A พิจารณาเฉพาะผลกำไรสูงสุดเป็นหลัก

โดยไม่ได้พิจารณาถึงความต้องการที่แท้จริงหรือข้อจำกัดด้านอื่น ๆ ตามความเป็นจริง แบบจำลอง A จึงเลือกจัดสรรพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในอำเภอหนองและอำเภอกระนวนเป็นพื้นที่มากที่สุด (โดยเฉพาะปี 2564 และ 2565) ทำให้ผลกำไรสุทธิจากตัวแบบ A มีค่ามากที่สุดในทุกปีและสูงกว่ากำไรสุทธิจากพื้นที่เพาะปลูกจริงคิดเป็นกำไรเฉลี่ยเพิ่มขึ้นต่อปีเป็น 14.54% ในขณะที่ตัวแบบ B ให้ผลลัพธ์พื้นที่เพาะปลูกใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า แต่ให้กำไรสุทธิที่น้อยที่สุด

ผลลัพธ์จากการจัดสรรทรัพยากรน้ำสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการบริหารจัดการน้ำตามแบบจำลองกับการปฏิบัติจริง โดยเฉพาะการตอบสนองต่อความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปข้อมูลปริมาณการปล่อยน้ำจากแบบจำลองและปริมาณการปล่อยน้ำจริง

ปี พ.ศ.	ปริมาณการปล่อยน้ำจากแบบจำลอง	ปริมาณการปล่อยน้ำจริง (Rt จริง)	ข้อสังเกต
2564	เพียงพอต่อความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรในทุกเดือน	ไม่เพียงพอต่อความต้องการในบางช่วง เช่น มี.ค.-พ.ค. และ ส.ค.-ก.ย.	การปล่อยน้ำจริงไม่สามารถตอบสนองความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรได้ตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ในขณะที่แบบจำลองมีรูปแบบการปล่อยน้ำที่สอดคล้องกับความต้องการเพาะปลูกมากกว่า
2565	มีปริมาณสม่ำเสมอว่าการปล่อยน้ำจริง	สูงกว่าแบบจำลองเกือบทุกเดือน (ยกเว้น เม.ย.-พ.ค.)	การปล่อยน้ำจริงมีความผันผวนสูงมาก และบางช่วง (เม.ย.-พ.ค.) ปริมาณการปล่อยน้ำจริงต่ำกว่าความต้องการ
2566	มีปริมาณสม่ำเสมอว่าการปล่อยน้ำจริง	มีความแตกต่างอย่างมากในช่วงต้นปีและปลายปี และบางช่วงไม่เพียงพอต่อความต้องการด้านการเกษตร	ปริมาณการปล่อยน้ำจริงน้อยกว่าปริมาณการปล่อยน้ำจากตัวแบบ ในช่วงเดือนเมษายนถึงกันยายน และมีความแตกต่างอย่างมากในช่วงต้นปีและปลายปี บางช่วงไม่เพียงพอต่อความต้องการด้านการเกษตร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยน้ำจากตัวแบบและปริมาณการปล่อยน้ำจริง พบว่าปริมาณการปล่อยน้ำที่ใช้ตัวแบบเพียงพอกับความต้องการน้ำเพื่อการเกษตร แต่ปริมาณการปล่อยน้ำจริงจะปล่อยตามปัจจัยสถานการณ์ในขณะนั้นเช่น สภาพอากาศ ปริมาณน้ำฝน ปัญหาภัยแล้ง-อุทกภัย เป็นต้น นอกจากนี้ปริมาณน้ำกักเก็บที่คำนวณจากตัวแบบมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ ในขณะที่ปริมาณน้ำกักเก็บจริงมีความผันผวน ไม่สามารถคาดเดาได้

ผลการวิจัยนี้สรุปได้ว่าการใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในการวางแผนการจัดสรรพื้นที่และทรัพยากรน้ำได้อย่างมีระบบมากขึ้น เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนรูปแบบการเพาะปลูกพืชตามความต้องการได้

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างแบบจำลองและข้อมูลจริง สามารถนำไปสู่ข้อเสนอแนะในการวางแผนการเกษตรและการจัดการทรัพยากรน้ำได้ดังนี้

1. ด้านการจัดสรรพื้นที่เพาะปลูก

แม้ว่าแบบจำลอง A จะให้กำไรสูงสุด แต่จัดสรรพื้นที่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง จึงควรใช้ผลลัพธ์ของแบบจำลอง B ที่ให้คำตอบพื้นที่เพาะปลูกใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายการจัดสรรพื้นที่ และควรเพิ่มข้อจำกัดด้านอื่น ๆ ที่สำคัญนอกเหนือจากกำไร เช่น ข้อจำกัดด้านแรงงาน ความผันผวนของตลาด ช่วงเวลาเพาะปลูก และเก็บเกี่ยวเดียวกันหรือมีรอบการเพาะปลูกพืชใกล้เคียงกัน เพื่อให้ผลลัพธ์จากงานวิจัยมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากขึ้น

2. ด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

ผลลัพธ์จากตัวแบบแสดงให้เห็นว่าสามารถจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการเพื่อการเกษตรได้ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องปรับปรุงแผนการปล่อยน้ำรายเดือนให้สอดคล้องกับความต้องการมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงขาดแคลนน้ำในขณะปริมาณการปล่อยน้ำจริงจะมากกว่าความต้องการในช่วงปลายปีของทุกปี จึงควรสร้างความสมดุลระหว่างการกักเก็บน้ำกับการปล่อยน้ำเพื่อลดความเสี่ยงการขาดแคลนน้ำในช่วงเพาะปลูกและลดปัญหาอุทกภัยในฤดูฝนนอกจากนี้ปริมาณน้ำกักเก็บที่คำนวณจากตัวแบบมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ ในขณะที่ปริมาณน้ำกักเก็บจริงมีความผันผวน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำนักงานเกษตร จังหวัดขอนแก่น นายจิตติพงษ์ ภูผาลัย เจ้าหน้าที่สำนักกรมชลประทานที่ 6 สำหรับข้อมูลการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิสำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยเรื่อง “กำหนดการเชิงเส้นเพื่อการจัดสรรที่ดินและน้ำอย่างเหมาะสม กรณีศึกษา: เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น” ไม่มีการทดลองในมนุษย์หรือสัตว์และไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงหรือผลกระทบทางลบต่อบุคคล สัตว์หรือสิ่งแวดล้อม โดยปฏิบัติตามหลักจริยธรรมการวิจัยอย่างเคร่งครัด ได้แก่ หลักความเคารพในบุคคล (Respect for Person) ผ่านการใช้ข้อมูลจากแหล่งที่อนุญาตและให้เครดิตอย่างถูกต้อง หลักคุณประโยชน์ ไม่ก่ออันตราย (Beneficence) มุ่งเน้นสร้างองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อภาคการเกษตร และหลักความยุติธรรม (Justice) โดยใช้ข้อมูลที่เข้าถึงได้อย่างเท่าเทียมและเหมาะสมตามหลักจริยธรรมการวิจัยสากล

References

- Bhatia, M. and Rana, A. (2020). A Mathematical Approach to Optimize Crop Allocation – A Linear Programming. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 15(2), 245-252.
- Department of Land Development Khon Kaen Province (2024). Retrieved 10 December 2024, from LDD.GO: <https://www.ddd.go.th/Agri-Map/Data/NE/kkn.pdf>.
- Glinsukhon A, Khongpensuk S, Angchuan S and Boonperm A. (2024). An Integer Programming Model for Economic Crop Cultivation Planning with Single and Multiple Harvests in the Dry Season. *Thai Journal of Operations Research*, 12(2), 1-12.
- Imron, F. and Murtiningrum. (2021). Optimization of irrigation water allocation by using linear programming: case study on Belitang irrigation system. *Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (pp. 012023). IOP Publishing.
- Mohamad, N. H. and Said, F. (2011). A mathematical programming approach to crop mix problem. *African Journal of Agricultural Research*, 6(1), 191–197.
- Moradi-Jalal, M., Haddad, O. B., Karney, B. W. and Mariño, M. A. (2007). Reservoir operation in assigning optimal multi-crop irrigation areas. *Agricultural Water Management*, 90(1-2), 149–159.
- Raju, B. C. K., Gowda, C. C. and Karthika, B. S. (2020). Optimization of reservoir operation using linear programming. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(5), 1028–1032.
- Rani, Y. R. and Rao, P.T. (2012). Multi objective crop planning for optimal benefits. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(5), 279–287.
- Vadde, S. G., Shreedhar, R. and Hiremath, C. G. (2017). Linear programming approach for optimal land and water resource allocation under different hydrological scenarios. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(10), 1500–1512.



No Plant (Should Be) Left Behind: Rethinking Science Teaching for Tomorrow's World with Plant Awareness

Witchayada Nawanidbumrung^{1,*} and Somrak Intavimolsri²

¹*Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Chulalongkorn University*

²*Bodindecha (Sing Singhaseni) 2 School*

**Email: wnb.2803@gmail.com*

Received <8 August 2025>; Revised <8 September 2025>; Accepted <11 September 2025>

Abstract

What would life on Earth look like without plants? Plants are fundamental components of ecosystems and play a vital role in sustaining all forms of life on Earth. They act as primary producers in food chains, provide habitats for diverse organisms, generate oxygen essential for respiration, and function as natural buffers against climate change and natural disasters. Despite these crucial roles, plants are often overlooked or insufficiently acknowledged in both public perception and education, leading to a phenomenon known as “plant blindness,” or the lack of “plant awareness”. This phenomenon has garnered increasing attention in research and education communities globally, particularly over the past decade. Classroom instruction has been identified as both a considerable contributing factor to this issue and a promising pathway to addressing it. In response, this academic article aims to deepen understanding of plant blindness situation and emphasize the importance of fostering plant awareness among our Thai students through classroom practices. This academic article provides content covering the definition and background of the phenomenon, its significance, and possible methods for investigation and development processes. It also offers an example of science learning activity aiming to encourage students to develop plant awareness and recognize the value and roles of plants in their daily lives. This academic article is intended to serve as a useful reference for Thai teachers and educators who are interested in creating learning experiences that help their students develop plant awareness, reconnect with the often-overlooked yet indispensable world of plants, and build a more sustainable relationship with nature.

Keywords: Plant awareness; Plant blindness; Botanical education; Biology education

ไม่ควรมีพืชใดใดถูกทิ้งไว้ข้างหลัง: ทบทวนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อโลกในวันพรุ่งนี้ ด้วยการปลูกฝังความตระหนักรู้เรื่องพืช

วิษญาดา นวนิจบำรุง^{1*} และ สมรัก อินทนิลศรี²

¹สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2

*Email: wnb.2803@gmail.com

บทคัดย่อ

ชีวิตบนโลกจะเป็นเช่นไร หากปราศจากพืช? พืชเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญของระบบนิเวศ และมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก พืชทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหาร เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตนานาชนิด เป็นแหล่งผลิตออกซิเจนที่จำเป็นต่อการหายใจ ตลอดจนเป็นกลไกทางธรรมชาติที่ช่วยบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติทางธรรมชาติต่าง ๆ แม้จะมีบทบาทสำคัญเช่นนี้ พืชกลับมักถูกมองข้าม หรืออาจจะไม่ได้รับความสนใจอย่างเพียงพอทั้งในมุมมองของสาธารณชน และทางการศึกษา นำไปสู่ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “ภาวะตาบอดพืช” หรือ “การขาดความตระหนักรู้เรื่องพืช” ซึ่งกำลังเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแวดวงวิจัยและการศึกษาระดับนานาชาติในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนถูกมองว่าเป็นทั้งสาเหตุหนึ่งของปัญหานี้ และเป็นแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว บทความวิชาการฉบับนี้จึงมุ่งเน้นการสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภาวะตาบอดพืช และเน้นย้ำความสำคัญของการปลูกฝังความตระหนักรู้เรื่องพืชให้แก่คนไทยผ่านบริบทของการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน โดยบทความวิชาการนี้จะนำเสนอเนื้อหาครอบคลุมตั้งแต่ความหมาย และความเป็นมาของแนวคิดความสำคัญ ตลอดจนแนวทางการศึกษาและพัฒนา พร้อมทั้งยกตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์ที่มุ่งส่งเสริมให้นักเรียนเห็นคุณค่าและบทบาทของพืชในชีวิตประจำวันอย่างลึกซึ้งมากขึ้น บทความวิชาการนี้มุ่งหวังที่จะเป็นแหล่งข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์สำหรับครู อาจารย์ และนักการศึกษาไทยที่ต้องการออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนไทยมีโอกาสได้พัฒนาความตระหนักรู้เรื่องพืช เชื่อมโยงตนเองกับโลกของพืชที่มีความสำคัญ แต่มักจะถูกมองข้าม และสามารถสร้างความสัมพันธ์ที่ยั่งยืนกับธรรมชาติได้

คำสำคัญ: ความตระหนักรู้เรื่องพืช; ตาบอดพืช; การศึกษาด้านพฤกษศาสตร์; การศึกษาชีววิทยา

บทนำ

“พืช” คิดเป็นร้อยละ 80 ของมวลชีวภาพทั้งหมดบนโลก (Bar-On, Phillips and Milo, 2018) และมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของห่วงโซ่อาหาร แหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ผลิตออกซิเจนผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จำเป็นต่อการหายใจของมนุษย์และสัตว์ รวมถึงช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติธรรมชาติ เช่น การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อลดภาวะโลกร้อน การลดการพังทลายของดิน และการป้องกันน้ำท่วม นอกจากนี้ พืชยังเป็นแหล่งผลิตยารักษาโรค และวัตถุดิบสำคัญในการสร้างสินค้าอุปโภคบริโภค (Fahad *et al.*, 2021; Knapp, 2003; Guerra *et al.*, 2024; Ziska, Epstein and Schlesinger, 2009) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงไม่อาจปฏิเสธได้ว่า พืชมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตนานาชนิดบนโลกใบนี้ ทั้งโดยขณะรู้ตัวและไม่รู้ตัว (Quijas, Schmid and Balvanera, 2010) ดังนั้น การปลูกฝังความตระหนักรู้เรื่องพืช และการใช้ประโยชน์จากพืชอย่างเหมาะสม จึงเป็นภารกิจสำคัญเพื่อรักษาคุณภาพ ความหลากหลายทางชีวภาพ และความสมดุลของระบบนิเวศให้ยั่งยืนต่อไปเพื่อโลกในอนาคต

แม้ว่าวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจะเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวันของพวกเรา แต่ความตระหนักและความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะเรื่องพืชกลับเป็นสิ่งที่ถูกมองข้ามมากขึ้นเรื่อย ๆ บ่อยครั้งพวกเรามักจะมองพืชเป็นเพียงสิ่งที่อยู่เบื้องหลังการดำรงชีวิต และละเลยความสำคัญของ “พืชในฐานะสิ่งมีชีวิตหนึ่ง (Plants as living organisms)” (Pany *et al.*, 2022) ซึ่งสามารถนำไปสู่การปฏิบัติต่อพืชที่ไม่เหมาะสม ทั้งโดยขณะรู้ตัวและไม่รู้ตัว เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การใช้สารเคมีเกินจำเป็น หรือการทำลายพืชโดยไม่ตั้งใจ (Torres-Porras, Ramos-Miras and Alcantara-Manzanares, 2024) ด้วยเหตุนี้ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความตระหนักรู้เรื่องพืชจึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางจากนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย และนักการศึกษาทั่วโลก ซึ่งมีความคิดเห็นตรงกันว่าเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals, SDGs) ไม่ว่าจะเป็นด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ หรือสังคม ล้วนเชื่อมโยงกับการดำรงอยู่และการใช้ประโยชน์จากพืชอย่างเหมาะสมทั้งสิ้น ดังนั้น หากความสำคัญของพืชถูกเพิกเฉย ย่อมทำให้การบรรลุเป้าหมายเหล่านี้กลายเป็นเรื่องที่ทำไม่ได้ หรืออาจเป็นไปได้ยากยิ่ง (Thomas, Ougham and Sanders, 2022; Amprazis and Papadopoulou, 2024; Blue *et al.*, 2023; Borsos, Boric and Patocskai, 2023; Daniel, Russo and Burford, 2023; Kacprzyk *et al.*, 2023; Lawrence and Calvo, 2023; Mendes *et al.*, 2025; Torres-Porras, Ramos-Miras and Alcantara-Manzanares, 2024)

หนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ทำให้พลเมืองขาดความตระหนักรู้เรื่องพืช คือ การละเลยการสนทนาเกี่ยวกับความสำคัญ บทบาท และการดูแลพืชอย่างเหมาะสมในระบบการศึกษา ซึ่งสาเหตุนี้สัมพันธ์กับหลักสูตร หนังสือเรียน และระดับความตระหนักรู้เรื่องพืชของครูผู้สอน งานวิจัยในต่างประเทศชี้ว่า เอกสารทางการศึกษามักเน้นเนื้อหาที่มีความเกี่ยวข้องกับสัตว์มากกว่า สังเกตได้จากปริมาณและความหลากหลายของภาพ ตัวอย่าง และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ ซึ่งมักจะถูกใช้ในการอธิบายแนวคิดทางชีววิทยาในทุกระดับชั้น ถึงแม้จะมีการกล่าวถึงพืชอยู่บ้าง แต่ส่วนใหญ่มักจะเป็นเพียงข้อมูลพื้นฐานหรือเชิงผิวเผิน เช่น โครงสร้างเซลล์พืช หรือประเภทของป่าไม้ เท่านั้น (Schussler *et al.*, 2010; Pedrera, Barrutia and Diez, 2024) อีกทั้งครูผู้สอนเองก็มักขาดความตระหนักรู้เรื่องพืช จึงส่งผลให้การออกแบบแนวทางการจัดการเรียนรู้ และการปฏิบัติการสอนจริงในห้องเรียนจริง อาจจะยังไม่สามารถสร้างความเข้าใจและความตระหนักรู้เรื่องพืชแก่นักเรียนได้เต็มที่ รวมถึงอาจก่อให้เกิดทัศนคติที่ทำให้นักเรียนรู้สึกว้าเหว่มีความสำคัญ และควรจะได้รับ การดูแลอย่างระมัดระวังมากกว่าพืช จนเกิดการละเลยในการคำนึงถึงแนวทาง และพฤติกรรมการใช้ประโยชน์จากพืชอย่างเหมาะสม (Bozniak, 1994; Darley, 1990; Hershey, 1996; Hershey, 2002; Bobo-Pinilla *et al.*, 2023)

ด้วยเหตุนี้ บทความวิชาการนี้จึงมุ่งเน้นการนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับความตระหนักรู้เรื่องพืช ทั้งในแง่ความหมาย ความสำคัญ แนวทางการศึกษา และการพัฒนาในบริบทของการจัดการเรียนรู้ โดยยกตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นการสร้างความรู้เรื่องพืชให้กับนักเรียน พร้อมทั้งเสนอแนวทางการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในบริบทไทย เพื่อกระตุ้นให้พวกเราทุกคนหันกลับมาทบทวน และพิจารณาอย่างจริงจังว่า ระบบการศึกษาไทยกำลังเผชิญกับปัญหาการส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียน และครูผู้สอนหรือไม่ และหากใช่ จะมีแนวทางใดที่ช่วยยกระดับความตระหนักรู้เรื่องพืชในบริบทการศึกษาไทยได้บ้าง บทความวิชาการนี้มุ่งหวังให้ผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยมีครู อาจารย์ นักการศึกษา และนักวิจัยทางการศึกษาเป็นกลุ่มเป้าหมายสำคัญได้ทำความเข้าใจประเด็นความตระหนักรู้เรื่องพืชในเชิงลึกมากขึ้น และสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ทั้งในแง่ของการสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ในห้องเรียน และในแง่ของการวิจัยทางการศึกษาในบริบทของตนเอง เพื่อส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชให้กับนักเรียนในลำดับถัดไป

ทั้งนี้ แม้ว่าการสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืชจะสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) แต่บทความนี้ไม่ได้มีเจตนาที่จะนำเสนอว่าแนวทางดังกล่าวเพียงอย่างเดียวจะเพียงพอที่จะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายนั้น หากแต่การให้ความสำคัญ

กับประเด็นนี้มากขึ้น อาจเป็นหนึ่งในก้าวสำคัญที่ช่วยให้การจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนไทยสามารถเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสนับสนุนให้ (อนาคต) พลเมืองไทยมีความสามารถที่จะตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนเพื่อคนรุ่นต่อไปได้อย่างแท้จริง

ความหมาย และความเป็นมาของความตระหนักรู้เรื่องพืช

ช่วงเริ่มต้นของการกล่าวถึงความตระหนักรู้เรื่องพืช มักใช้คำว่า “ตาบอดพืช (Plant blindness)” เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่มนุษย์มองข้ามการมีอยู่ของพืชในสิ่งแวดล้อม คำนี้ไม่ได้หมายถึงอาการเจ็บป่วยทางร่างกาย อย่างเช่น การมีภาวะตาบอดทางกายแต่อย่างใด แต่สื่อถึงพฤติกรรมที่ไม่รับรู้หรือไม่สังเกตเห็นพืช คำดังกล่าวถูกเสนอครั้งแรกในประมาณปี พ.ศ. 2541–2542 (ค.ศ. 1998–1999) โดย James Wandersee และ Schussler นักการศึกษาชีววิทยาและนักพฤกษศาสตร์ชาวอเมริกัน ซึ่งเล็งเห็นว่า แม้พืชจะมีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์ในหลากหลายด้าน แต่มนุษย์กลับมักให้ความสนใจกับสัตว์และการสูญพันธุ์ของสัตว์มากกว่าพืช อาการ “ตาบอดพืช” จึงหมายถึง ความสามารถในการรับรู้พืชในชีวิตประจำวันและสิ่งแวดล้อมอย่างจำกัด จนไม่สามารถตระหนักถึงความสำคัญของพืชต่อความเป็นอยู่ของระบบนิเวศ และสวัสดิภาพของมนุษย์ได้ ตลอดจนไม่สามารถเห็นคุณค่าทางความงาม สุนทรียะ และลักษณะที่เป็นเอกลักษณ์ของพืช และมองว่าพืชนั้นด้อยกว่าสัตว์หรือไม่คุ้มค่าต่อการสนใจและการตระหนักถึงของมนุษย์ ต่อมา ได้มีการกำหนดตัวบ่งชี้เพิ่มเติมเพื่ออธิบายอาการ “ตาบอดพืช” ให้ชัดเจนขึ้น เช่น การมองว่าพืชเป็นเพียงฉากหลังของชีวิตสัตว์ หรือการขาดความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสิ่งที่พืชต้องการในการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และบทบาทในวงจรชีวเคมีของโลก (Wandersee and Schussler, 2001)

อย่างไรก็ตาม การใช้คำว่า “ตาบอด” แทนปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้อาจสร้างความเข้าใจคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากความคลุมเครือของความหมายที่ส่งผลต่อความเข้าใจของผู้ฟังได้ เนื่องจากการใช้คำว่า “ตาบอด” อาจมีความหมายทับซ้อนหรือเชื่อมโยงกับความเจ็บปวดลักษณะหนึ่งของร่างกายที่สื่อถึงภาวะการมองไม่เห็นได้ (Blindness) จึงอาจทำให้เกิดความเข้าใจผิด หรือความสับสนระหว่างผู้ใช้และผู้ฟังได้ ในปี พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) Parsley จึงเสนอให้ใช้คำว่า “ความไม่เท่าเทียม หรือความเหลื่อมล้ำในการรับรู้หรือตระหนักรู้เรื่องพืช (Plant awareness disparity, PAD)” แทน เพราะในความเป็นจริง มนุษย์ทุกคนยังมีความสามารถที่จะมองเห็นการมีอยู่ของพืชได้ เพียงแต่อาจมีแนวโน้มในการให้ความสำคัญกับพืชน้อยกว่าสิ่งอื่น ๆ เมื่อทั้งหมดมาปรากฏพร้อมกันตรงหน้า จนเกิดการปฏิบัติต่อพืชที่แตกต่างไปจากสิ่งอื่น ๆ เท่านั้นเอง (Parsley, 2020)

ไม่นานหลังจากนั้น มีข้อเสนอให้ปรับการใช้คำอีกครั้ง เป็นคำว่า “ความตระหนักรู้เรื่องพืช (Plant awareness)” เพื่อเน้นย้ำเป้าหมายในการส่งเสริมการรับรู้ ความสนใจ และการปฏิบัติอย่างระมัดระวังต่อพืชให้มากขึ้น (Pany *et al.*, 2022; Stagg, Hetherington and Dillon, 2024; Stagg and Dillon, 2022) ทั้งนี้ แม้จะมีการบัญญัติคำใหม่ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวเพิ่มเติมในภายหลังเรื่อย ๆ แต่ทุกคำยังคงถูกใช้ควบคู่กันในการศึกษาวิจัยจนกระทั่งในปัจจุบัน แต่เพื่อความสอดคล้องของการใช้คำตลอดบทความวิชาการนี้ และเพื่อเน้นเจตนารมณ์ในการก้าวข้ามการรับรู้ที่จำกัดเกี่ยวกับพืช ซึ่งเป็นเป้าหมายแรกเริ่มของบทความวิชาการนี้ จึงเลือกใช้คำว่า “ความตระหนักรู้เรื่องพืช” เป็นคำหลักในการกล่าวถึง และอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดังกล่าว

แนวทางการศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืช

แม้ว่าความตระหนักรู้เรื่องพืชจะเป็นประเด็นสำคัญ แต่กลับพบว่าการทำความเข้าใจในเชิงลึกมีความซับซ้อนอย่างมาก โดยในระยะแรก ความตระหนักรู้เรื่องพืชถูกอธิบายว่าเป็นปรากฏการณ์ที่ประกอบด้วย 4 มิติหลัก ได้แก่ (1) ความใส่ใจ (Attention) คือ ระดับที่บุคคลให้ความสนใจกับพืชโดยทั่วไป โดยผู้ที่มีความ “ตาบอดพืช” มักมองพืชเป็นเพียงฉากหลังสีเขียวมากกว่าเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่แยกออกมา ซึ่งความใส่ใจที่ต่างกันนี้ อาจส่งผลต่อองค์ประกอบอื่น ๆ ตามมาได้ด้วย (2) ทักษะคติ (Attitude) คือ ความรู้สึกและความคิดที่บุคคลมีต่อพืช มีการระบุว่า ความสนใจทางสายตาสสามารถกระตุ้นอารมณ์และสร้างความเชื่อมโยงทางความรู้สึก หากบุคคลมองพืชในฐานะของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับมนุษย์และสัตว์ บุคคลนั้นจะมีแนวโน้มเกิดความเห็นใจ และอยากอนุรักษ์พืชมากขึ้นได้ (3) ความรู้ (Knowledge) คือ ความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของพืชในระบบนิเวศและชีวิตประจำวัน ซึ่งไม่จำเป็นต้องครอบคลุมทุกด้าน แต่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับความสำคัญ และบทบาทของพืชต่อการดำรงอยู่ของโลก และ (4) ความสนใจเชิงเปรียบเทียบ (Relative interest) หมายถึง ระดับความสนใจในพืชเมื่อเทียบกับสิ่งมีชีวิตอื่น โดยเฉพาะสัตว์ (Balding and Williams, 2016; Mrkva, Westfall and Van Boven, 2019; Parsley, 2020) Wandersee (1986) ระบุว่า แรงจูงใจและความสนใจเป็นทั้งตัวแปรและผลลัพธ์ของกระบวนการเรียนรู้เพื่อสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืช หากนักเรียนขาดความสนใจในพืช ก็อาจส่งผลต่อความพยายาม และความตั้งใจในการศึกษาทางพฤกษศาสตร์ต่อไปได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม มีการค้นพบว่า การศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชตามค่านิยมดังกล่าวยังคงเผชิญกับความท้าทายจากความซับซ้อนของปรากฏการณ์ ดังนั้น เพื่อให้การศึกษาวิจัยในประเด็นนี้เป็นระบบและชัดเจนมากขึ้น นักวิชาการและนักวิจัยจำนวนหนึ่งจึงได้พยายามทบทวนค่านิยม และเสนอกรอบแนวคิดใหม่อีกครั้ง ตัวอย่างเช่น Pany *et al.* (2022) ที่ได้แบ่งความตระหนักรู้เรื่องพืชออกเป็น 4 มิติ ดังภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย (1) การมองเห็น และรับรู้เกี่ยวกับพืช (Visual perception of plants) หมายถึง ความสามารถในการสังเกตและแยกแยะพืชจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งมิตินี้ถือเป็นก้าวแรกที่สำคัญของการพัฒนาความตระหนักรู้เรื่องพืชได้ (2) การจัดพืชเป็นประเภทของสิ่งมีชีวิต (Categorizing plants as living organisms) หมายถึง ความเข้าใจว่าพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทเฉพาะในระบบนิเวศ (3) ความรู้เกี่ยวกับพืช (Knowledge about plants) ครอบคลุมถึงความสามารถในการระบุชนิดของพืช รวมถึงความเข้าใจด้านชีววิทยา เช่น กายวิภาค สรีรวิทยา และความสัมพันธ์ของพืชกับระบบนิเวศ และ (4) ทศนคติต่อพืช (Attitudes towards plants) หมายถึง ความรู้สึกหรือมุมมองที่บุคคลมีต่อพืช เช่น การชื่นชมความสวยงาม หรือการตระหนักถึงความสำคัญของพืชในระบบนิเวศ โดย Pany *et al.* (2022) ระบุว่าทั้ง 4 มิติมีความเชื่อมโยงกันอย่างซับซ้อน การพัฒนาความตระหนักรู้เรื่องพืชจึงอาจเริ่มจากการทำให้บุคคลสามารถ “มองเห็น” และ “รับรู้” ว่าพืชเป็นสิ่งมีชีวิต เพื่อกระตุ้นความสนใจให้อยากเรียนรู้ และทำความเข้าใจเพิ่มเติม จากนั้นเมื่อบุคคลได้รับการสนับสนุนในการพัฒนาความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับพืชมากขึ้น ก็จะสามารถประเมินคุณค่าของพืชในหลายมิติจนเริ่มสร้างทัศนคติเชิงบวก และมีแนวโน้มที่จะทำการตัดสินใจที่จะส่งเสริมการอนุรักษ์พืชมากขึ้น

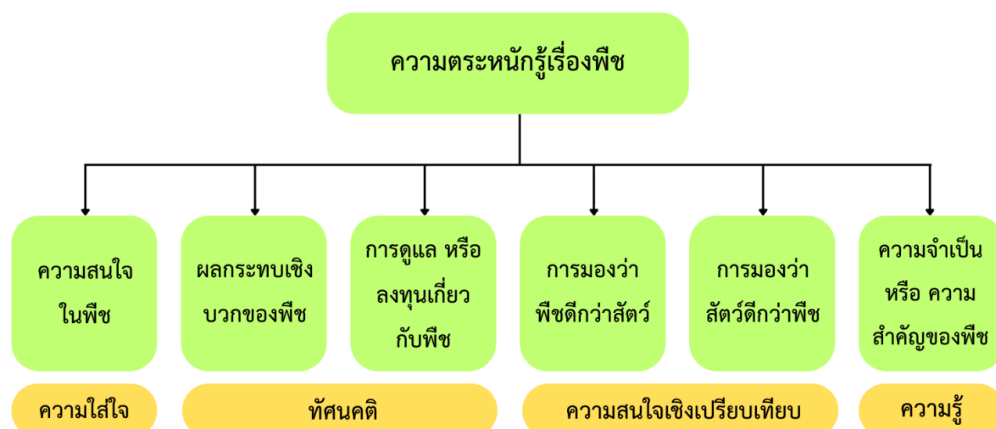


ภาพที่ 1 มิติการศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชที่เสนอโดย Pany *et al.* (2022)

เพื่อที่จะศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชใน 4 มิติหลัก (ความใส่ใจ ความรู้ ทัศนคติ และความสนใจเชิงเปรียบเทียบ) ที่กล่าวไปในตอนแรกได้อย่างชัดเจนมากขึ้น Parsley, Daigle and Sabel (2022) ได้พยายามพัฒนาแบบสอบถาม Plant Awareness Disparity Index (PAD-I) ซึ่งได้รับการนำไปใช้อย่างแพร่หลายเพื่อศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชในบริบทอื่น ๆ ทั่วโลก แบบสอบถามนี้ครอบคลุมมิติการศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชย่อย 6 ด้าน ดังภาพที่ 2 ได้แก่ (1) ความสนใจหรือใส่ใจในพืช (Attention toward plants) ไม่ว่าจะเป็นพืชที่สามารถใช้เป็นอาหารได้ และไม่ได้ใช้เป็นอาหาร (2) ผลกระทบเชิงบวกของพืช (Positive affect toward plant) (3) การดูแลพืช หรือลงทุนเกี่ยวกับพืช (Caring for or Investment in plants) (4) การมองว่าพืชดีกว่าสัตว์ (Plant better than animals) (5) การมองว่าสัตว์ดีกว่าพืช (Animals better than plants) และ (6) ความเข้าใจเกี่ยวกับความจำเป็นหรือความสำคัญของพืช (Understanding the necessary or importance of plants) แบบสอบถามนี้มีลักษณะเป็นมาตราวัดระดับความเห็นพ้อง 4 ระดับ (four-point agreement scale) โดยให้ผู้ตอบแสดงความคิดเห็นต่อข้อความที่สะท้อนแต่ละมิติ ตัวอย่างเช่น ข้อความ “ฉันใส่ใจต้นไม้ที่อยู่ในสวนที่บ้านของฉัน” สะท้อนมิติการดูแลพืช ข้อความ “พืชมีความสำคัญเนื่องจากช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ” สะท้อนมิติความเข้าใจเกี่ยวกับความจำเป็นหรือความสำคัญของพืช และข้อความ “การเรียนรู้เกี่ยวกับสัตว์ทำให้ฉันสนใจมากกว่าการเรียนรู้เกี่ยวกับพืช” สะท้อนมิติการมองว่าสัตว์มีความสำคัญกว่าพืช ถึงแม้แบบสอบถามนี้จะถูกนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างกว่า 1,000 คน แต่เนื่องจากทั้งหมดเป็นนักศึกษาชีววิทยาระดับปริญญาตรี จึงมีข้อจำกัดหากนำไปปรับใช้กับกลุ่มประชากรอื่นที่ไม่มีพื้นฐานความรู้หรือความสนใจเฉพาะทาง

การศึกษาเรื่องความตระหนักรู้เรื่องพืชยังขยายขอบเขตการสำรวจในหลากหลายกลุ่มตัวอย่าง เช่น กลุ่มนักเรียนระดับมัธยมศึกษา โดย Pany *et al.* (2022) ศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียน โดยวิเคราะห์ความรู้เกี่ยวกับพืชของนักเรียนใน 3 หัวข้อ ได้แก่ การระบุชนิดพันธุ์พืช การระบุพืชเครื่องเทศ และกายวิภาคของพืชที่รับประทานได้ ตัวอย่างข้อคำถาม เช่น

การให้นักเรียนเลือกภาพจากจำนวนสี่ภาพที่สอดคล้องกับข้อพิพาทที่กำหนด หรือการเลือกคำตอบจากรายการส่วนประกอบของพืชที่สามารถนำไปปรุงอาหารได้ แบบสอบถามนี้ได้นำไปใช้ศึกษาทำความเข้าใจความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในประเทศออสเตรเลียจำนวนเกือบ 400 คน เพื่อออกแบบแนวทางสนับสนุนการสร้างความรู้เรื่องพืชของนักเรียนผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้



ภาพที่ 2 มิติการศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชที่เสนอเพิ่มเติมโดย Parsley, Daigle and Sabel (2022)

นอกจากการใช้แบบสอบถามแล้ว ยังมีการใช้วิธีดำเนินการวิจัยรูปแบบอื่น ๆ ด้วย เช่น Ahi (2017) วิเคราะห์ภาพวาดของเด็กอายุ 4–5 ปี เพื่อทำความเข้าใจมุมมองและความตระหนักรู้เรื่องพืชของพวกเขาผ่านงานศิลปะ Nyberg, Brkobic and Sanders (2021) ศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักศึกษาครู โดยให้นักศึกษาตอบคำถามปลายเปิดเกี่ยวกับสัตว์และพืชที่พวกเขาชื่นชอบ พร้อมเหตุผลประกอบ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสามารถในการชื่นชมความงาม คุณลักษณะทางชีววิทยา และความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของพืชในระบบนิเวศ รวมถึงตรวจสอบว่าพวกเขามีมุมมองว่าพืชมีคุณค่าน้อยกว่าสัตว์หรือไม่ Eugenio-Gozalbo, Ortega-Cubero and Suárez-López (2025) ใช้เทคนิคการวาดแผนที่ความคิด (mind mapping) ประกอบด้วยรูปร่างและข้อความ เพื่อศึกษามุมมอง ความเข้าใจ และความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักศึกษาครูผ่านแผนที่ความคิดที่พวกเขาสร้างขึ้น ขณะที่ Sanders, Nyberg and Brkovic (2025) ให้นักศึกษาชีววิทยาดูภาพกว้างที่อยู่ในพงหญ้าและอธิบายสิ่งที่เห็น โดยคำตอบของพวกเขาจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกระดับความตระหนักรู้เรื่องพืช และทำความเข้าใจมุมมองเกี่ยวกับบทบาทของพืชในระบบนิเวศ เมื่อเทียบกับการพิจารณาความสำคัญและบทบาทของสัตว์

จากแนวทางการศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชของงานวิจัยก่อนหน้าข้างต้น สะท้อนให้เห็นความซับซ้อนของการทำความเข้าใจประเด็นความตระหนักรู้เรื่องพืชที่ยังต้องการเครื่องมือวิจัย และแนวทางการศึกษาเพิ่มเติมที่สามารถเข้าถึงความตระหนักรู้เรื่องพืชในมิติต่าง ๆ อย่างครอบคลุมมากขึ้น เพื่อที่จะสามารถเสนอแนะแนวทางการส่งเสริมการรับรู้ ทัศนคติ และความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียน นักศึกษา ครูผู้สอนและสาธารณชนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในขั้นตอนถัดไป

แนวทางการพัฒนา และส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืช

การจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนถือเป็นแนวทางสำคัญในการปลูกฝังความตระหนักรู้เรื่องพืชให้กับนักเรียน แต่งานวิจัยจำนวนมากชี้ว่า นักเรียนทั่วโลก ไม่ว่าจะอยู่ในบริบทประเทศเดียวกัน หรือคนละประเทศก็มักจะมีแนวโน้มที่จะขาดความตระหนักรู้เรื่องพืช แม้จะได้รับการสอนในหัวข้อเกี่ยวกับพืชตั้งแต่เด็กจนถึงระดับมหาวิทยาลัย สิ่งนี้จึงสะท้อนให้เห็นว่าแนวทางการจัดการเรียนรู้ในบริบทห้องเรียนแบบที่เคยทำ (หรือยังคงทำอยู่ในหลายบริบทปัจจุบัน) อาจจะยังไม่เพียงพอที่จะส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนได้ จึงจำเป็นต้องปรับการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการอภิปรายเกี่ยวกับความสำคัญ และบทบาทที่พืชมีต่อระบบนิเวศ และการรักษาความหลากหลายทางชีวภาพมากขึ้น เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสามารถมองเห็นความสำคัญ มีความสนใจ และความรู้สึกลึกซึ้งเกี่ยวกับพืชในมิติที่ลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น (Borsos, Boric and Patocskai, 2023; Linderwell, Hargiss and Norland, 2024; Marcos-Walias *et al.*, 2023; Torres-Porras, Ramos-Miras and Alcantara-Manzanares, 2024)

เพื่อส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น Amprazis and Papadopoulou (2020) และ Amprazis and Papadopoulou (2024) จึงเสนอให้มีการทบทวน และปรับเปลี่ยนจุดเน้นของการจัดการเรียนรู้เรื่องพืชจากการสอนเนื้อหา หรือข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพืชในลักษณะการให้ความรู้แบบผิวเผิน ไปสู่การส่งเสริมกระบวนการคิดวิเคราะห์ และวิพากษ์มุมมองทัศนคติเดิมของนักเรียนเกี่ยวกับพืชเป็นสำคัญ โดยนักเรียนควรจะได้รับโอกาส และเวลาที่

เหมาะสม และเพียงพอในการตรวจสอบ และไตร่ตรองความเชื่อ หรือค่านิยมเดิมของตนเองที่มีเกี่ยวกับพืช เพื่อที่จะเปิดโอกาสให้นักเรียนสามารถตั้งคำถามถึงความเหมาะสมของมุมมองเดิมของตนเองที่มีต่อพืชได้ ซึ่งกิจกรรมที่สามารถนำมาใช้ในขั้นตอนนี้ได้ เช่น การสะท้อนคิด (self-reflection) กรณีศึกษา การสนทนาเชิงเหตุผล การเรียนรู้เชิงเปลี่ยนแปลง (transformative learning) และการศึกษาเชิงวิพากษ์ (critical pedagogy) (Ajaps and Forh Mbah, 2022; Rodríguez Aboytes and Barth, 2020) ที่มีจุดมุ่งเน้นในการส่งเสริมกระบวนการวิพากษ์ ตรวจสอบ และพิจารณามุมมองทัศนคติเดิมของตนเอง เพื่อค้นหาแนวทางปรับปรุงให้ดีขึ้น

นอกจากนี้ การปลูกฝังความตระหนักรู้เรื่องพืช และการส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องพืชไม่ควรถูกจำกัดให้อยู่เพียงในส่วนย่อยของรายวิชาสิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์ หรือชีววิทยาในระดับการศึกษาใดระดับหนึ่ง หรือเกิดขึ้นเฉพาะในบริบทห้องเรียนเท่านั้น ควรจะมีการขยายขอบเขตการเรียนรู้ออกไปสู่รายวิชาอื่น ๆ ในหลากหลายระดับชั้น รวมถึงกิจกรรมนอกห้องเรียน เนื่องจากการจัดสรรโอกาสในการทำความเข้าใจพืชจริงอย่างใกล้ชิดมากขึ้น จะช่วยเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับพืช การชื่นชมความงามของพืช และปลูกฝังทัศนคติเชิงบวกต่อพืชของนักเรียนให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น (Amprazis and Papadopoulou, 2024) ตัวอย่างของกิจกรรมนอกห้องเรียนที่เป็นไปได้ ได้แก่ การสำรวจและเยี่ยมชมสวนพฤกษศาสตร์ ซึ่งช่วยให้นักเรียนมีโอกาสเรียนรู้ และเข้าใจ “ความเป็นพืช” จากประสบการณ์ตรง และตัวอย่างจริงที่สามารถมองเห็น และจับต้องด้วยตนเองได้ (Colon *et al.*, 2020; Hipkiss and Nyberg, 2022; Iri and Cil, 2020) การมีส่วนร่วมในกิจกรรมกลางแจ้ง ที่เน้นการสำรวจระบบนิเวศโดยรอบ การใช้วิธีการพื้นฐานทางพฤกษศาสตร์ เช่น การเก็บตัวอย่างพืช และการอภิปรายเกี่ยวกับชื่อและบทบาทของพืชในระบบนิเวศ เพื่อที่จะให้นักเรียนได้มีโอกาสไตร่ตรองถึงลักษณะของพืชแต่ละชนิด บทบาท และความสำคัญของพืชจากการลงมือสำรวจ และทำการศึกษาด้วยตนเอง (Fančovičová and Prokop, 2011) นอกจากนี้ การบูรณาการเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น แอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่ส่งเสริมกระบวนการสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับพืชมาเข้ากับบทเรียนก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับการแนะนำว่ามีประสิทธิภาพ และสามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียนที่มีต่อพืชได้มากขึ้น (De Almeida Souza *et al.*, 2024; Dimon *et al.*, 2019; Kacprzyk *et al.*, 2023; Kissi and Dreesmann, 2017; Lampert, Pany and Gericke, 2023; Panitsa, Iliopoulou and Petrakis, 2021)

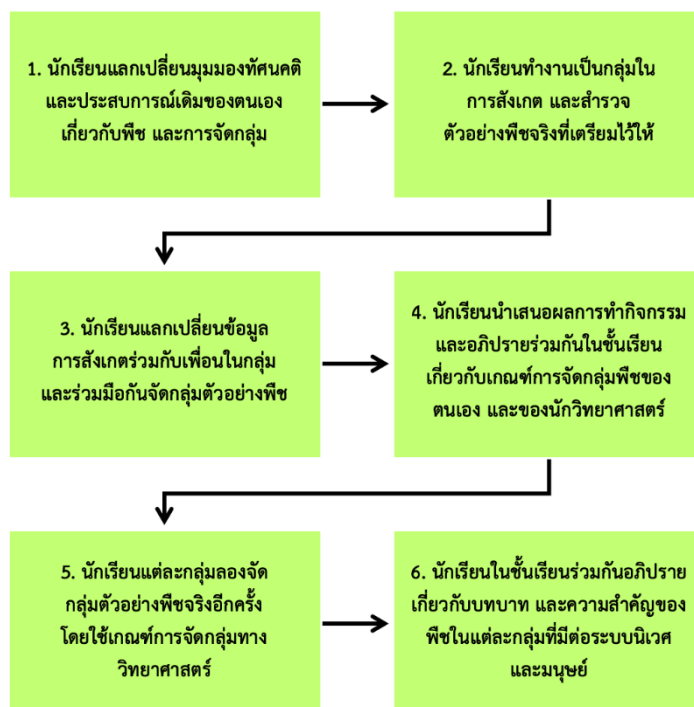
จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สรุปได้ว่า แม้การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพืชจะยังมีความสำคัญในฐานะรากฐานของการทำความเข้าใจ “ความเป็นพืช” แต่หากต้องการที่ส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืช สิ่งที่จะต้องทำควบคู่กัน คือ การส่งเสริมให้นักเรียนได้คิดใคร่ครวญ ทบทวนมุมมองเดิมที่ตนเองมีต่อพืช และเปิดโอกาสให้นักเรียนเรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับบทบาทและความสำคัญของพืชต่อโลกในมิติที่ลึกซึ้งมากขึ้น ผ่านกิจกรรมที่หลากหลายทั้งใน และนอกห้องเรียนที่ให้นักเรียนมีโอกาสสัมผัสพืชจากประสบการณ์ตรง เพื่อก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทัศนคติ และหล่อหลอมกรอบคิดใหม่เกี่ยวกับคุณค่าของพืชต่อการดำรงชีวิตและความยั่งยืนของโลก ทั้งนี้ การออกแบบกิจกรรมหรือประสบการณ์การเรียนรู้ยังจำเป็นต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบด้านจากครูผู้สอน ไม่ว่าจะเป็นความสอดคล้องกับหลักสูตรแกนกลาง ความแตกต่างระหว่างผู้เรียน ความเหมาะสมของเวลาและระดับความเข้มข้น ตลอดจนการจัดการช่วยเหลือ (scaffolding) ที่สอดคล้องกับลักษณะการเรียนรู้ของนักเรียนในแต่ละบริบท เพื่อให้กระบวนการเสริมสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืชมีความเฉพาะเจาะจง เหมาะสมต่อบริบทของห้องเรียน และสามารถดำเนินไปได้อย่างยั่งยืนภายในบริบทการศึกษานั้น ๆ

ตัวอย่างบทเรียนวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นการสร้าง ความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียน

เพื่อให้ผู้อ่านและผู้สนใจมองเห็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนชัดเจนมากขึ้น บทความวิชาการนี้จึงนำเสนอตัวอย่างบทเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง “ความหลากหลายของอาณาจักรพืช” ซึ่งออกแบบโดยผู้เขียนคนที่สอง ผู้ซึ่งเป็นครูชีววิทยาในโรงเรียนมัธยมศึกษาของประเทศไทย

บทเรียนนี้ได้รับการออกแบบตามตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภายใต้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 วัตถุประสงค์ของบทเรียนในส่วนของความรู้ทางชีววิทยา คือ เพื่อให้นักเรียนสามารถระบุความสำคัญและลักษณะเด่นของสิ่งมีชีวิตในอาณาจักรพืช สามารถจำแนกพืชออกเป็นสามกลุ่มใหญ่ตามลักษณะของเนื้อเยื่อลำเลียงและเมล็ด ได้แก่ พืชไม่มีเนื้อเยื่อลำเลียง (nonvascular plants) พืชมีเนื้อเยื่อลำเลียงแต่ไม่มีเมล็ด (seedless vascular plants) และพืชมีเนื้อเยื่อลำเลียงและมีเมล็ด (seed vascular plants) ซึ่งกลุ่มหลังนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็นพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperm) และพืชที่มีเมล็ดมีผลห่อหุ้ม (angiosperm) พร้อมทั้งยกตัวอย่างสิ่งมีชีวิตในแต่ละกลุ่มได้อย่างชัดเจน เพื่อให้การส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนมีความสอดคล้องกับเนื้อหาดังกล่าว บทเรียนนี้จึงตั้งเป้าหมายเพิ่มเติมที่จะพัฒนามุมมองของนักเรียนให้เห็นว่าพืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความหลากหลาย มีระบบการจัดจำแนกเฉพาะ มีโครงสร้างที่ซับซ้อน และแต่ละกลุ่มมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงอยู่ของระบบนิเวศ และการดำรงชีวิตของมนุษย์ในแง่มุมที่ต่างกันไป การลดจำนวนหรือการสูญเสียพืชในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง

ไม่ได้ส่งผลเพียงต่อการดำรงอยู่ของพืชกลุ่มนั้นเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่มีความเชื่อมโยงหรือพึ่งพิงพืชกลุ่มนี้ด้วย ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องจนส่งผลให้สมดุลของระบบนิเวศในภาพรวมเสียหายได้ในที่สุด



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ของตัวอย่างบทเรียนวิทยาศาสตร์เรื่องความหลากหลายของอาณาจักรพืช

จากภาพที่ 3 ข้างต้น บทเรียนวิทยาศาสตร์นี้จะเริ่มต้นจากการกระตุ้นมุมมองและประสบการณ์เดิมของนักเรียนที่มีต่อพืช พร้อมกับการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับการจัดกลุ่มของพืช โดยครูผู้สอนจะให้นักเรียนสะท้อนถึงมุมมองของตนเองเกี่ยวกับความสำคัญของพืชต่อชีวิตประจำวัน เศรษฐกิจ และสังคมในวงกว้าง พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดกลุ่มพืชตามประสบการณ์เดิมกับเพื่อนในชั้นเพื่อนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้นี้มุ่งหวังจะให้นักเรียน “เข้าถึง” และ “เข้าใจ” ทัศนคติเดิม และความใส่ใจที่นักเรียนมีต่อพืช ให้นักเรียนเริ่มมอง และทำความเข้าใจโครงสร้างของพืชที่เคยพบเจอ และจัดกลุ่มตามความคิดเห็นของตนเอง โดยตัวอย่างคำถามที่จะใช้ในขั้นตอนนี้ เช่น:

- นักเรียนรู้จักพืชชนิดใดบ้าง
- ในจำนวนพืชเหล่านี้ พืชชนิดใดบ้างที่นักเรียนสามารถพบเจอได้ในชีวิตประจำวัน พืชเหล่านี้มีลักษณะอย่างไร มีบทบาท หน้าที่ หรือมีความสัมพันธ์อย่างไรกับชีวิตประจำวันของนักเรียน
- นอกเหนือจากพืชเหล่านี้ที่นักเรียนสามารถพบเจอได้ในชีวิตประจำวัน มีพืชที่นักเรียนรู้จักชนิดใดบ้างที่ได้รับการยกย่องว่ามีคุณค่าทางเศรษฐกิจหรือสังคม
- นักเรียนรู้หรือไม่ว่าเพราะเหตุใดจึงถือว่าพืชชนิดนั้น ๆ มีคุณค่าในด้านนั้น ๆ นักเรียนเห็นด้วยหรือไม่ เห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วยอย่างไร
- หากพืชบางชนิดไม่ได้ถูกจัดว่าเป็นพืชเศรษฐกิจหรือพืชที่มีคุณค่าทางสังคม ในมุมมองนักเรียน คิดว่าพืชเหล่านั้นยังมีคุณค่าหรือไม่ เพราะเหตุใดจึงคิดเช่นนั้น
- นอกจากการจัดกลุ่มพืชตามลักษณะคุณค่าทางเศรษฐกิจหรือสังคมตามที่นักเรียนทราบแล้ว นักเรียนคิดว่า ในมุมมองวิทยาศาสตร์ พืชสามารถจำแนกออกได้เป็นกี่กลุ่ม และนักวิทยาศาสตร์จะใช้เกณฑ์ใดในการจัดกลุ่มพืชได้บ้าง เพราะเหตุใดจึงคิดเช่นนั้น

หลังจากนั้น ครูจะให้นักเรียนแบ่งกลุ่มเป็น 4 กลุ่ม และทำกิจกรรมการสังเกตและสำรวจตัวอย่างพืชจริง พร้อมกับศึกษารูปภาพแสดงโครงสร้างภายในของตัวอย่างพืชที่ครูจัดเตรียมไว้บนโต๊ะทั้ง 4 โต๊ะ ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชปริศนา 4 กลุ่ม โดยนักเรียนแต่ละคนจะทำการสังเกตลักษณะโครงสร้าง วาดภาพ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลการสังเกตลงในสมุดบันทึกหรือใบงานของตนเอง โดยในระหว่างการสำรวจ นักเรียนสามารถใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบการสังเกตและเก็บข้อมูล เช่น กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบเชิงประกอบ สมาร์ทโฟนในการถ่ายภาพด้วยฟังก์ชันขยายภาพให้ใหญ่ขึ้น หรือใช้การสืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตร่วมด้วยได้ โดยนักเรียนแต่ละกลุ่มจะหมุนเวียนไปศึกษา และบันทึกข้อมูล

การสังเกตตัวอย่างพืชทั้ง 4 โต๊ะจนครบทุกกลุ่มภายในเวลาที่กำหนดให้ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้มีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นมิติ การมองเห็นและรับรู้พืชของนักเรียน เนื่องจากการลงมือสังเกต วิเคราะห์ และบันทึกรายละเอียดโครงสร้างพืชจริง จะทำให้พืช ถูก “มองเห็น” และ “รับรู้” ในฐานะสิ่งมีชีวิตที่ซับซ้อน และมีความเฉพาะเจาะจง ซึ่งอาจจะทำให้นักเรียนเกิดความรู้สึกสนใจ เกี่ยวกับพืชมากขึ้น

หลังจากกิจกรรมข้างต้น ครูผู้สอนจะให้ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มประชุมหารือกันภายในกลุ่มของตนเองเกี่ยวกับความเหมือน และความแตกต่างของตัวอย่างพืชปริศนาในแต่ละโต๊ะ พร้อมทั้งอภิปรายว่าถ้าต้องการแบ่งพืชออกเป็น 4 กลุ่มตามโต๊ะที่จัดไว้ให้ นักเรียนคิดว่าจะสามารถใช้เกณฑ์ใดในการจัดกลุ่มได้บ้าง หรือหากนักเรียนจะจัดกลุ่มพืชเหล่านี้ใหม่ด้วยตนเอง นักเรียนจะแบ่ง ตัวอย่างพืชออกเป็นกี่กลุ่ม และใช้เกณฑ์ใดในการจัดกลุ่ม เพราะเหตุใดจึงเลือกใช้เกณฑ์นั้น โดยครูผู้สอนจะกระตุ้นให้นักเรียน อภิปรายประเด็นดังกล่าวนี้จากข้อมูลการสังเกตที่ตนเอง และเพื่อนในกลุ่มรวบรวมได้ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ เพื่อลงความเห็น การจัดกลุ่มของตัวอย่างพืชปริศนา ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งหวังที่จะช่วยส่งเสริมมิติการจัดพืชเป็นสิ่งมีชีวิต และความรู้ เกี่ยวกับพืชของนักเรียน เนื่องจากนักเรียนได้ฝึกฝนทักษะการจำแนกเพื่อจัดกลุ่มพืชด้วยตนเอง จากข้อมูลและความรู้ที่นักเรียน เป็นผู้รวบรวมด้วยตนเองในกิจกรรมก่อนหน้านี้

ต่อมา ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มจะออกมานำเสนอการแบ่งกลุ่มตัวอย่างพืชปริศนาของกลุ่มตนเอง เกณฑ์ที่ใช้ใน การจัดกลุ่ม พร้อมกับแสดงข้อมูลการสังเกตที่นำไปสู่การจำแนกพืชออกเป็นกลุ่มดังกล่าวหน้าชั้นเรียน หลังจากนั้น ครูผู้สอนจะ นำการอภิปรายเพื่อสนับสนุนให้นักเรียนวิเคราะห์ความเหมือน และความแตกต่างของข้อมูลการสังเกต และการจัดกลุ่มที่ นักเรียนแต่ละกลุ่มได้นำเสนอไป เพื่อชี้ให้เห็นว่าการจัดกลุ่มอาจมีความแตกต่างกันได้ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ และข้อมูลการสังเกต ของแต่ละกลุ่ม หลังจากนั้น ครูผู้สอนจะนำการอภิปรายเชื่อมโยงข้อมูล และเกณฑ์การจัดกลุ่มของนักเรียนกับเกณฑ์ และ การจำแนกกลุ่มพืชของนักวิทยาศาสตร์ คือ ลักษณะของเนื้อเยื่อลำเลียงและเมล็ด ซึ่งจะทำให้พืชสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม หลัก ได้แก่ (1) กลุ่มพืชไม่มีเนื้อเยื่อลำเลียง (nonvascular plants) (2) กลุ่มพืชมีเนื้อเยื่อลำเลียงแต่ไม่มีเมล็ด (seedless vascular plants) (3) กลุ่มพืชมีเนื้อเยื่อลำเลียงและมีเมล็ด (seed vascular plants) ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็นพืชเมล็ดเปลือย (gymnosperm) และพืชที่เมล็ดมีผลห่อหุ้ม (angiosperm) หลังจากนั้น ครูผู้สอนจะเปิดโอกาสให้นักเรียนจัดจำแนกตัวอย่างพืช ปริศนาอีกครั้ง โดยอิงตามเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ และร่วมอภิปรายในชั้นเรียนถึงลักษณะเฉพาะ และความสำคัญของพืชทั้ง 4 กลุ่ม ก่อนจะทำการเฉลยว่าตัวอย่างพืชปริศนาเหล่านั้นเป็นพืชอะไร มีลักษณะเฉพาะอย่างไร และมีถิ่นที่พบที่ไหน เป็นต้น

เมื่อเสร็จสิ้นการอภิปรายเกี่ยวกับการจัดกลุ่มพืชด้วยเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ ครูผู้สอนจะถามคำถามกระตุ้น การเชื่อมโยงการเรียนรู้ในชั้นเรียนของนักเรียนกับสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับพืชอื่น ๆ เช่น ความสำคัญของพืชแต่ละกลุ่มที่มีต่อ ระบบนิเวศ และการรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ เพื่อให้นักเรียนเกิดความตระหนักว่าพืชแต่ละกลุ่มมีบทบาทเชิงนิเวศ แตกต่างกัน การสูญเสียพืชในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง หรือพืชในกลุ่มนั้นมีจำนวนน้อยลง ไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อการใช้ของพืช กลุ่มนั้น ๆ เท่านั้น แต่ยังทำให้สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่มีความสัมพันธ์กับพืชกลุ่มนี้ได้รับผลกระทบไปด้วย ซึ่งจะเกิดการส่งผลกระทบ ต่อเนื่องกันไปในลักษณะลูกโซ่ และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับสมดุลของระบบนิเวศโดยรวมในที่สุด ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมมิติการตระหนักถึงคุณค่าและความจำเป็นของพืชในมุมมองของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนเห็นว่าพืช ไม่ได้มีคุณค่าเฉพาะตัว แต่ยังมีบทบาทเชิงนิเวศที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตทั้งระบบอีกด้วย โดยครูผู้สอนจะใช้ตัวอย่างคำถามปลายเปิด ดังต่อไปนี้ เพื่อนำอภิปราย:

- ถ้าพืชกลุ่มหนึ่งสูญพันธุ์ หรือมีจำนวนน้อยลง นักเรียนคิดว่าจะเกิดผลกระทบอย่างไรได้บ้าง ผลกระทบเหล่านั้นมีความสัมพันธ์หรือเกี่ยวเนื่องกันอย่างไร
- นักเรียนคิดว่า เพราะเหตุใดการรักษาความหลากหลายของพืชแต่ละกลุ่ม จึงมีความสัมพันธ์กับความหลากหลายของ สิ่งมีชีวิตทั้งระบบ
- ถ้าเช่นนั้น นักเรียนคิดว่ามีแนวทางใดบ้างที่จะสามารถรักษาความหลากหลายของพืชแต่ละกลุ่มให้คงอยู่ต่อไปได้
- ในฐานะของนักเรียน และพลเมืองที่สำคัญของโลกในอนาคตอันใกล้ นักเรียนคิดว่าตนเองสามารถมีส่วนร่วมในประเด็น ใด และอย่างไรได้บ้าง เพื่อที่จะสามารถรักษาความหลากหลายของพืชให้คงอยู่ต่อไป

ด้วยขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ข้างต้น บทเรียนเรื่องความหลากหลายของอาณาจักรพืชนี้ จึงไม่ได้มุ่งหวังที่จะทำหน้าที่ เป็นแค่การสอนเนื้อหาทางชีววิทยาตามปกติเท่านั้น แต่ยังต้องการเป็นพื้นที่ที่มุ่งหวังหล่อหลอมการมองเห็น การใส่ใจ ความเข้าใจ ความห่วงใย และการเห็นคุณค่าของพืชของนักเรียนอีกด้วย ซึ่งหากสิ่งเหล่านี้ได้รับการต่อยอด และพัฒนาอย่าง ต่อเนื่องในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ จะช่วยให้นักเรียนสามารถตระหนักถึงคุณค่าและบทบาทของพืชแต่ละกลุ่มในวงกว้างได้ลึกซึ้ง มากขึ้น แทนที่จะเป็นเพียงการรับข้อมูลเกี่ยวกับพืชชั่วคราวชั่วคราวเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้ในลักษณะนี้จะไม่สามารถเกิดผลได้เต็มที่ หากครูผู้สอนเองเป็นผู้ที่ขาดความตระหนัก รู้เรื่องพืช หรือไม่สามารถออกแบบกิจกรรมที่สนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียนในประเด็นนี้ได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่

ครูผู้สอนจะต้องทบทวน และพิจารณาความตระหนักรู้เรื่องพืชของตนเอง ประกอบกับผู้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมการผลิต และพัฒนาครู ควรจะหาทางสนับสนุนให้ครูผู้สอนมีโอกาสนในการสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืช และมีความพร้อมในการออกแบบกิจกรรมที่ครอบคลุมลักษณะ บทบาท ความสำคัญ การใช้ประโยชน์ และการดูแลพืชอย่างเหมาะสม (Bobo-Pinilla *et al.*, 2023; Borsos, Boric and Patocskai, 2023 Stagg and Dillon, 2022; 2024) แต่หากประเด็นดังกล่าวได้รับการยกระดับให้มีความสำคัญในระดับนโยบาย หรือหลักสูตรทางการศึกษา ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงระบบในวงกว้างมากขึ้น นักเรียน นักศึกษาในทุกระดับชั้น จะได้รับการสนับสนุนให้สร้างความตระหนักรู้เรื่องพืชอย่างต่อเนื่อง และครูผู้สอนจะได้รับการสนับสนุน และช่วยเหลือให้สามารถจัดการเรียนรู้เพื่อตอบสนองต่อนโยบายได้อย่างเหมาะสมมากขึ้น

ก้าวต่อไปของการส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชในประเทศไทย

ประเทศไทยอุดมสมบูรณ์ด้วยความหลากหลายทางชีวภาพของพันธุ์พืช ซึ่งเป็นทรัพยากรพื้นฐานสำคัญต่อวิถีชีวิตของทุกคน ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรม ประเทศไทยจึงมีนโยบายและมาตรการทั้งในและต่างประเทศเพื่อรักษาทรัพยากรนี้ อาทิเช่น ประเทศไทยได้ให้สัตยาบันเข้าร่วมอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ (Convention on Biological Diversity, CBD) เมื่อวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2546 และมีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2547 ในฐานะภาคีลำดับที่ 188 เพื่อร่วมมืออนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ (Sangchai, 2005; Marod and Kutintara, 2012) ดังนั้น การสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืชให้แก่คนไทย จึงจะเป็นพลเมืองรุ่นถัดไปของประเทศ จึงไม่ใช่เพียงมิติทางวิชาการ แต่ยังเป็นการเตรียมกำลังสำคัญของประเทศให้สามารถมีส่วนร่วมอย่างเหมาะสมและกระตือรือร้นในการสนับสนุนความยั่งยืนของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของชาติให้สอดคล้องกับโครงการความร่วมมือและมาตรการดังกล่าวด้วย

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีความพยายามอย่างต่อเนื่องในการส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชในสถานศึกษาไทยในรูปแบบต่าง ๆ อาทิ การจัดตั้งสวนพฤกษศาสตร์ในโรงเรียนภายใต้โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้พื้นที่ดังกล่าวเป็นสื่อกลางในการสร้างจิตสำนึกแก่นักเรียนให้ตระหนักถึงคุณค่า ความสำคัญ และประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติ ตลอดจนปลูกฝังทัศนคติที่ทวาทน อนุรักษ์ พัฒนา และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างยั่งยืน (Askerlund and Almers, 2016; Royal School Botanical Garden Project, 2017)

อย่างไรก็ดี เพื่อให้ความพยายามดังเช่นตัวอย่างข้างต้น สามารถต่อยอด และดำเนินการไปได้อย่างต่อเนื่อง ความตระหนักรู้เรื่องพืชของครูผู้สอนจึงถือเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ควรค่าแก่การพิจารณาอย่าหลีกเลี่ยงไม่ได้ หากครูผู้สอนมีความตระหนักรู้เรื่องพืชอย่างเหมาะสม ประกอบกับทัศนคติที่เข้มแข็งต่อการส่งเสริมความตระหนักรู้ด้านนี้ให้แก่ นักเรียนแล้ว โครงการและกิจกรรมที่ดำเนินการอยู่ หรือที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ก็จะสามารถลงหลักปักฐานได้อย่างมั่นคง ขยายผลได้อย่างยั่งยืน และสร้างผลกระทบเชิงบวกที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้ ก้าวถัดไปที่บทความวิชาการนี้เล็งเห็นว่าควรให้ความสำคัญเพื่อสนับสนุนการสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนไทย คือ การศึกษาระดับความตระหนักรู้เรื่องพืชของครูผู้สอน และแนวทางการจัดการเรียนรู้ในหัวข้อเกี่ยวกับพืชที่ครูผู้สอนมองว่ามีประสิทธิภาพ และปฏิบัติจริงในบทเรียนห้องเรียน ไม่ว่าจะเป็นมุมมองของครูวิทยาศาสตร์ประจำการ หรือ นิสิตนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานสำคัญของการออกแบบแนวทางการสนับสนุนที่เหมาะสมที่จะช่วยเหลือให้ครูผู้สอนไม่เพียงมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับพืช แต่ต้องมีความตระหนักรู้เกี่ยวกับความสำคัญของพืช การดูแลรักษาพืช และความมุ่งมั่นที่จะถ่ายทอดคุณค่านี้นักเรียนผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

นอกจากนี้การศึกษาความตระหนักรู้เรื่องพืชของครูผู้สอนแล้ว บทความวิชาการนี้ยังเล็งเห็นว่าหนทางสู่การส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนไทยควรขยายขอบเขตการศึกษาไปสู่การวิเคราะห์เอกสารทางการศึกษา เช่น หนังสือเรียน วิทยาศาสตร์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์ และคู่มือครูร่วมด้วย เพื่อที่จะทำการประเมินว่าเอกสารที่ใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ในขณะนี้ มีบทบาทมากน้อยเพียงใดในการสนับสนุนการสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียน ควรจะพัฒนา แก้ไข หรือ สอดแทรกประเด็นเพิ่มเติมใดบ้างเพื่อให้การจัดการเรียนรู้สามารถส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การศึกษาและงานวิจัยในประเด็นเหล่านี้จะไม่เพียงช่วยเติมเต็มช่องว่างทางวิชาการ แต่ยังเป็นรากฐานสำคัญที่จะทำให้การส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชในประเทศไทยก้าวไปสู่ขั้นตอนถัดไปของการพัฒนาได้อย่างยั่งยืนขึ้น

บทสรุป

ในโลกปัจจุบันที่กำลังเผชิญกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ พืช ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของระบบนิเวศ และมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลก จึงควรได้รับการดูแล

อย่างระมัดระวังมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศไทยที่พืชเป็นทรัพยากรพื้นฐานสำคัญทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรม อีกทั้งยังเป็นบริเวณที่มีความหลากหลายทางชีวภาพของพืชพันธุ์สูง การจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับพืชจึงไม่ควรจำกัดแค่การรู้จักสายพันธุ์หรือลักษณะทางชีวภาพเท่านั้น แต่ควรส่งเสริมให้เยาวชนไทย ซึ่งเป็นพลเมืองรุ่นใหม่ของชาติ ได้ตระหนักถึงบทบาทและความสำคัญของพืชที่มีต่อระบบนิเวศ การรักษาสมดุลธรรมชาติ และสวัสดิภาพของชีวิตมนุษย์ รวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ การปลูกฝังความเข้าใจนี้จะช่วยให้พวกเขามีจิตสำนึกเกี่ยวกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อตัดสินใจในประเด็นความยั่งยืนและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้อย่างกระตือรือร้นและมีความรับผิดชอบในอนาคต บทความวิชาการนี้มีความตั้งใจจะเป็นส่วนหนึ่งของการผลักดันการส่งเสริมความตระหนักรู้เรื่องพืชในห้องเรียนไทย ทั้งในส่วนของนักเรียน และครูผู้สอน โดยนำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างความตระหนักรู้เรื่องพืช ซึ่งเป็นเรื่องที่ถูกมองข้าม และได้รับความสนใจค่อนข้างน้อย เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ อย่างเช่น สัตว์ เป็นต้น การรับรู้ที่จำกัดเกี่ยวกับพืชสามารถทำให้นักเรียนมองข้ามบทบาทสำคัญของพืชในการรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ และการรักษาสมดุลของโลก ซึ่งอาจจะนำไปสู่พฤติกรรม และการกระทำที่ไม่เหมาะสมกับพืชได้ บทความวิชาการนี้จึงมีความประสงค์ที่จะเชิญชวนผู้อ่าน โดยเฉพาะครู อาจารย์ นักการศึกษา และนิสิตหรือนักศึกษาคูให้มาทบทวนมุมมองของตนเองเกี่ยวกับพืช และร่วมด้วยช่วยกันในการพัฒนาความตระหนักรู้เรื่องพืชของนักเรียนไทยในลำดับถัดไป

References

- Ahi, B. (2017). The world of plants in children's drawings: Color preferences and the effect of age and gender on these preferences. *Journal of Baltic Science Education*, 16(1), 32–42.
- Ajaps, S., and Forh Mbah, M. (2022). Towards a critical pedagogy of place for environmental conservation. *Environmental Education Research*, 28(4), 508–523.
- Amprazis, A. and Papadopoulou, P. (2020). Plant blindness: A faddish research interest or a substantive impediment to achieve sustainable development goals? *Environmental Education Research*, 26(8), 1065–1087.
- Amprazis, A. and Papadopoulou, P. (2024). Plant awareness: At the dawn of a new era. *Journal of Biological Education*, 1–11.
- Askerlund, P. and Almers, E. (2016). Forest gardens – New opportunities for urban children to understand and develop relationships with other organisms. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20(1), 197–206.
- Balding, M. and Williams, K. J. (2016). Plant blindness and the implications for plant conservation. *Conservation Biology*, 30(6), 1192–1199.
- Bar-On, Y. M., Phillips, R. and Milo, R. (2018). The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25), 6506–6511.
- Blue, S., Hargiss, C. L., Norland, J., Dekeyser, E. S. and Comeau, P. (2023). Plant blindness represents the loss of generational knowledge and cultural identity. *Natural Sciences Education*, 52(1), e20106.
- Bozniak, E. C. (1994). Challenges facing plant biology teaching programs. *Plant Science Bulletin*, 40(2), 42–26.
- Bobo-Pinilla, J., Marcos-Walias, J., Delgado Iglesias, J. and Reinoso Tapia, R. (2023). Overcoming plant blindness: Are the future teachers ready? *Journal of Biological Education*, 1–15.
- Borsos, É., Borić, E. and Patocskai, M. (2023). What can be done to increase future teachers' plant knowledge? *Journal of Biological Education*, 57(2), 252–262.
- Colon, J., Tiernan, N., Oliphant, S., Shirajee, A., Flickinger, J., Liu, H. and McCartney, M. (2020). Bringing botany into focus: Addressing plant blindness in undergraduates through an immersive botanical experience. *Bioscience*, 70(10), 887–900.
- Darley, W. M. (1990). The essence of 'plantness'. *The American Biology Teacher*, 52(6), 354–357.
- Daniel, J., Russo, A. and Burford, B. (2023). How might we utilise the concept of botanic gardens in urban contexts to challenge plant blindness?" *Biodiversity and Conservation*, 32(7), 2345–2364.
- De Almeida Souza, M. A., de Macêdo Vieira, A. C., Siqueira, T. E., Madureira, G. L. P., Cruz, P. V., de Carvalho Ferreira, A. P. R. and da Cruz, S. M. S. (2024). Digital humanities-based games: A novel approach for

- mitigating plant awareness disparity. In S. Araújo, M. Aguiar, & L. Ermakova (Eds.), **Digital Humanities Looking at the World: Exploring Innovative Approaches and Contributions to Society** (pp. 117–128). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Dimon, R., Pettit, L., Cheung, C. and Quinnell, R. (2019). Promoting botanical literacy with a mobile application- Campus Flora-Using an interdisciplinary, student-as-partners approach. **International Journal for Students as Partners**, 3(2), 118–128.
- Eugenio-Gozalbo, M., Ortega-Cubero, I. and Suárez-López, R. (2025). Mind maps for eliciting and assessing plant awareness: A preliminary study on pre-service teachers. **Plants, People, Planet**, 7(4), 1043-1054.
- Fahad, S., Sonmez, O., Saud, S., Wang, D., Wu, C., Adnan, M. and Turan, V. (2021). Climate change and plants: Biodiversity, **Growth and Interactions**. CRC Press.
- Fančovičová, J. and Prokop, P. (2011). Plants have a chance: outdoor educational programmes alter students' knowledge and attitudes towards plants. **Environmental Education Research**, 17(4), 537-551.
- Guerra, S., S. Betti, L. Sartori, G. Zani and U. Castiello. (2024). Plant Awareness in the Hand. **Journal of Environmental Psychology**, 94, 102246.
- Hershey, D. R. (1996). A historical perspective on problems in botany teaching. **The American Biology Teacher**, 58(6), 340–347.
- Hershey, D. R. (2002). Plant blindness: “I have met the enemy and he is us”. **Plant Science Bulletin**, 48(3), 78–84.
- Hipkiss, A. M. and E. Nyberg. (2022). Rainforest Conversations: How Students Talk About Plants. **Nordic Studies in Science Education**, 18(2), 225–242.
- Iri, F. G. and E. Cil. (2020). Attitudes Toward Plants: Comparing the Impact of Instruction Through Writing & Through a Botanical Garden Trip. **The American Biology Teacher**, 82(4), 218–226.
- Kacprzyk, J., S. Clune, C. Clark, and A. Kane. (2023). Making a Greener Planet: Nature Documentaries Promote Plant Awareness. **Annals of Botany**, 131(2), 255–260.
- Kissi, L. and D. Dreesmann. (2018). Plant Visibility Through Mobile Learning? Implementation and Evaluation of an Interactive Flower Hunt in a Botanic Garden. **Journal of Biological Education**, 52(4), 344–363.
- Knapp, S. (2003). Dynamic diversity. **Nature**, 422, 475.
- Lampert, P., P. Pany and N. Gericke. (2023). Hands-On Learning with 3D-Printed Flower Models. **Journal of Biological Education**, 59(1), 181–191.
- Lawrence, N. and P. Calvo. (2023). Learning to See ‘Green’ in an Ecological Crisis. In **Philosophy as Practice in the Ecological Emergency: An Exploration of Urgent Matters**, edited by L. Weir, 167–183. Cham: Springer International Publishing.
- Linderwell, S., C. L. Hargiss and J. Norland. (2024). Do Demographic Factors Impact Plant Knowledge and Plant Awareness Disparity?” **Natural Sciences Education**, 53(1), e20146.
- Marcos-Walias, J., J. Bobo-Pinilla, J. D. Iglesias and R. R. Tapia. (2023). Plant Awareness Disparity Among Students of Different Educational Levels in Spain. **European Journal of Science and Mathematics Education**, 11(2), 234–248.
- Marod, D. and Kutintara, U. (2012). Biodiversity observation and monitoring in Thailand. In **The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring** (pp. 53-63). Tokyo: Springer Japan.
- Migliorini Mendes, R. S., Magno, J. N., Gomes, F. M., Costa, F. d. J., Bragança, G. P. P., Jorge, N. C., & dos Santos Isaias, R. M. (2023). Do we need plants to survive? Triggering interest in Plant Science. **Research, Society & Development**, 12(1), e23712139614.
- Mrkva, K., Westfall, J. and Van Boven, L. (2019). Attention drives emotion: Voluntary visual attention increases perceived emotional intensity. **Psychological Science**, 30(6), 942–954.

- Nyberg, E., Brkovic, I. and Sanders, D. (2021). Beauty, memories and symbolic meaning: Swedish student teachers' views of their favorite plant and animal. **Journal of Biological Education**, 55(1), 31–44.
- Panitsa, M., Iliopoulou, N., & Petrakis, E. (2021). Citizen science, plant species, and communities' diversity and conservation on a Mediterranean biosphere reserve. **Sustainability**, 13(17), 9925.
- Pany, P., Meier, F. D., Dünser, B., Yanagida, T., Kiehn, M. and Möller, A. (2022). Measuring students' plant awareness: A prerequisite for effective botany education. **Journal of Biological Education**, 58(5), 1103–1116.
- Parsley, K. M. (2020). Plant Awareness Disparity: A Case for Renaming Plant Blindness. **Plants, People, Planet**, 2(6), 598–601.
- Parsley, K. M., Daigle, B. J. and Sabel, J. L. (2022). Initial development and validation of the plant awareness disparity index. **CBE—Life Sciences Education**, 21(4), ar64.
- Pedraza, O., O. Barrutia and J. R. Díez. (2024). Do Textbooks Provide Opportunities to Develop Meaningful Botanical Literacy? A Case Study of the Scientific Model of Plant Nutrition. **Journal of Biological Education**, 59(11), 1-27.
- Quijas, S., Schmid, B. and Balvanera, P. (2010). Plant diversity enhances provision of ecosystem services: A new synthesis. **Basic and Applied Ecology**, 11(7), 582–593.
- Rodríguez Aboytes, J. G. and M. Barth. (2020). Transformative Learning in the Field of Sustainability: A Systematic Literature Review (1999-2019). **International Journal of Sustainability in Higher Education**, 21(5), 993–1013.
- Royal School Botanical Garden Project. (2017). **School botanical garden manual** (In Thai). RSBG Press.
- Sanders, D., Nyberg, E. and Brkovic, I. (2025). Putting plants in the picture. **Environmental Education Research**, 31(1), 1-10.
- Sangchai, J. (2005). Thailand and the Convention on Biological Diversity: Non-governmental organizations enter the debate. In **Confronting Environmental Change in East and Southeast Asia** (pp. 151-166). Routledge.
- Schussler, E. E., Link-Pérez, M. A., Weber, K. M. and Dollo, V. H. (2010). Exploring plant and animal content in elementary science textbooks. **Journal of Biological Education**, 44(3), 123–128.
- Stagg, B. C. and J. Dillon. (2022). Plant Awareness is Linked to Plant Relevance: A Review of Educational and Ethnobiological Literature (1998–2020). **Plants, People, Planet**, 4(6), 579–592.
- Stagg, B. C. and J. Dillon. (2024). Plants and the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework: Educational Approaches to Support Pro-Conservation Behaviours. **Journal of Biological Education**, 59(1), 1–19.
- Stagg, B. C., L. Hetherington and J. Dillon. (2024). Towards a Model of Plant Awareness in Education: A Literature Review and Framework Proposal. **International Journal of Science Education**, 47(4), 1–21.
- Thomas, H., Ougham, H., & Sanders, D. (2021). Plant blindness and sustainability. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, 23(1), 41–57.
- Torres-Porras, J., Ramos Miras, J. J., & Alcántara-Manzanares, J. (2024). The plant blindness and the humans-as-non-animals bias cycles in the educational system: The need to overcome them. **Journal of Biological Education**, 59(3), 518–529.
- Wandersee, J. H. (1986). Plants or animals—which do junior high school students prefer to study? **Journal of Research in Science Teaching**, 23(5), 415-426.
- Wandersee, J. and Schussler, E. (2001). Toward a Theory of Plant Blindness. **Plant Science Bulletin**, 47(1), 2–9.
- Ziska, L. H., Epstein, P. R. and Schlesinger, W. H. (2009). Rising CO₂, climate change, and public health: exploring the links to plant biology. **Environmental Health Perspectives**, 117(2), 155-158.



Guidelines for Integrating iNaturalist Technology with Place-Based Learning to Promote Students' Sense of Place and Environmental Responsibility

Pramote Srikongka¹, Phatcharida Inthama^{1,2*} and Ekgapoom Jantarakantee¹

¹*Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University*

²*Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Srinakharinwirot University*

**Email: phatcharida.inthama@gmail.com*

Received <8 Nov. 2025>; Revised <26 Dec. 2025>; Accepted <28 Dec. 2025>

Abstract

Biology education in Thai schools continues to face significant challenges stemming from an emphasis on knowledge transmission and memorization rather than developing analytical thinking and scientific inquiry skills. This results in students not seeing connections between what they learn and real life, lacking attachment to their place, and lacking environmental responsibility. This article presents an approach integrating iNaturalist technology, a citizen science platform that uses artificial intelligence to identify species, with Place-Based Learning that emphasizes student interaction with local environments in multiple dimensions. The approach is grounded in theories of Sense of Place, environmental responsibility, and identity development in school-age students. Place-Based Learning helps create emotional attachment to place and leads to environmentally friendly behaviors. From synthesizing the conceptual framework, the NATURE teaching method was developed, consisting of 6 steps: Nurture the Context, Align with Tools, Traverse the Place, Understand through Verification, Reflect and Reconstruct, and Engage for Action. This teaching method helps reduce the knowledge-action gap, promotes students as citizen scientists who participate in creating new knowledge, and develops sustainable environmental citizenship. This integration also supports multiple Sustainable Development Goals (SDGs), particularly quality education, climate change mitigation, and biodiversity conservation. However, successful implementation of this approach depends on teacher readiness, school support, and local community participation.

Keywords: Place-based learning; Education for sustainable development; Sense of place

แนวทางการบูรณาการใช้เทคโนโลยี iNaturalist ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ เพื่อส่งเสริมความผูกพันกับถิ่นที่อยู่และความรับผิดชอบต่อ ต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน

ปราโมทย์ ศรีคงคา¹ พัทธิดา อินทมา^{1,2*} และ เอกภูมิ จันทระขันตี¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

*Email: phatcharida.inthama@gmail.com

บทคัดย่อ

การจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในโรงเรียนไทยยังคงเผชิญความท้าทายสำคัญจากการเน้นการถ่ายทอดความรู้และการท่องจำมากกว่าการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้นักเรียนไม่เห็นความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่เรียนกับชีวิตจริง ขาดความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ และขาดความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม บทความนี้นำเสนอแนวทางการบูรณาการเทคโนโลยี iNaturalist ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มวิทยาศาสตร์พลเมืองที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการระบุชนิดสิ่งมีชีวิต ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ที่เน้นให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมท้องถิ่นในหลากหลายมิติ โดยมีฐานคิดจากความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม และการพัฒนาอัตลักษณ์ในวัยเรียน การจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ช่วยสร้างความผูกพันทางอารมณ์กับพื้นที่และนำไปสู่พฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากการสังเคราะห์กรอบแนวคิดได้พัฒนาวิธีการสอนแบบ NATURE ที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ บ่มเพาะบริบท เตรียมความพร้อมและเครื่องมือ ลงพื้นที่สำรวจ ทำความเข้าใจผ่านการตรวจสอบ สะท้อนคิดและสังเคราะห์ และลงมือเพื่อการเปลี่ยนแปลง วิธีการสอนนี้ช่วยลดช่องว่างระหว่างความรู้กับการปฏิบัติ ส่งเสริมให้นักเรียนเป็นนักวิทยาศาสตร์พลเมืองที่มีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ใหม่ และพัฒนาจิตสำนึกพลเมืองสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน การบูรณาการนี้ยังสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเฉพาะด้านการศึกษาที่มีคุณภาพ การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จของการนำแนวทางนี้ไปใช้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของครู การสนับสนุนจากโรงเรียน และการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่น

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่; การศึกษาเพื่อความยั่งยืน; ความผูกพันกับถิ่นที่อยู่

บทนำ

การจัดการเรียนรู้ชีววิทยาในโรงเรียนไทยยังคงเผชิญความท้าทายสำคัญ เนื่องจากเนื้อหาวิชามีความกว้างและลึก ครอบคลุมตั้งแต่ระดับโมเลกุลไปจนถึงระบบนิเวศ ครูจำนวนมากจึงต้องสอนโดยเน้นการถ่ายทอดความรู้เชิงเนื้อหาและการท่องจำเพื่อการสอบวัดผล มากกว่าการจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์หรือการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Rauf et al., 2013; Handal et al. 2013; Pimsarn and Tuntiwongwanich, 2015) ส่งผลให้นักเรียนรู้สึกว่าการเรียนชีววิทยาคือวิชาที่ซับซ้อน ท่องจำจากชีวิตจริง และไม่สามารถเห็นคุณค่าของสิ่งที่เรียน (Kiran & Sungur, 2012; Kang & Keinonen, 2017) นักเรียนขาดการแนวคิดวิทยาศาสตร์ไปแก้ปัญหาจริงในสังคม วิทยาศาสตร์จึงเป็นเพียงการท่องจำข้อเท็จจริงแทนที่จะเป็นวิธีการทำความเข้าใจและใช้แก้ไขปัญหาในโลกจริง (Osborne & Dillon, 2008)

สวนทางกับแนวโน้มในการจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ได้ ซึ่งมุ่งเน้นการเชื่อมโยงการเรียนรู้กับโลกจริง เช่น การคิดเชิงวิพากษ์ การแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ และการเรียนรู้จากประสบการณ์ (experiential learning) กระทรวงศึกษาธิการและนักวิชาการไทยจำนวนมากได้พยายามผลักดันให้มีการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) เพื่อให้นักเรียนมีส่วนร่วม ลงมือปฏิบัติ และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การนำการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุกมาประยุกต์ใช้ในวิชาชีววิทยายังขาดกลไกที่เชื่อมโยงกับบริบทจริงของนักเรียน ทำให้เกิดปัญหาสำคัญสองประการ คือ 1) นักเรียนไม่เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่เรียนกับชุมชนและสิ่งแวดล้อมรอบตัว ทำให้ไม่เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย (meaningful learning) (Semken and Freeman, 2008) 2) นักเรียนขาดการพัฒนาความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ (Sense of Place) และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการสร้างพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว (Kudryavtsev et al. 2012; Chawla and Cushing, 2007)

การจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ (Place-Based Learning: PBL) เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสถานที่ในหลากหลายมิติทั้งในเชิงกายภาพ สิ่งแวดล้อม สังคม วัฒนธรรม และการเมืองของพื้นที่นั้น ๆ (Gruenewald, 2003) โดยมีจุดประสงค์เพื่อเชื่อมโยงองค์ความรู้กับชุมชนท้องถิ่น โดยใช้ทรัพยากรและบริบทของท้องถิ่นเป็นจุดเริ่มต้นของการเรียนรู้ ซึ่งจะทำให้นักเรียนเห็นคุณค่าและความสำคัญของถิ่นที่อยู่ของตน พัฒนาความรู้สึกเป็นเจ้าของและความรับผิดชอบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมรอบตัว

iNaturalist เป็นแพลตฟอร์มเพื่อเสริมสร้างความเป็นวิทยาศาสตร์พลเมือง (Citizen Science) ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในระดับสากล โดยเป็นแอปพลิเคชันและเว็บไซต์ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถบันทึก แบ่งปัน และระบุชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบในธรรมชาติผ่านการถ่ายภาพและการใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ในการจำแนกชนิดของสิ่งมีชีวิต การนำ iNaturalist มาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่จึงเป็นการบูรณาการที่น่าสนใจระหว่างเทคโนโลยี การเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ การสร้างความผูกพันกับท้องถิ่นและการสร้างความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน การบูรณาการนี้ช่วยแก้ปัญหาการขาดกลไกที่เชื่อมโยงกับบริบทจริงของนักเรียนที่เกิดอยู่ในปัจจุบัน โดย iNaturalist จะช่วยให้นักเรียนเห็นว่าข้อมูลที่เขาเก็บรวบรวมจากถิ่นที่อยู่ของตนเองสามารถเป็นสิ่งที่มีความหมายและนำไปใช้ในงานวิจัยได้จริง ทำให้นักเรียนรู้สึกว่าการเรียนรู้ของตนเองสามารถเชื่อมโยงกับวงการวิทยาศาสตร์ในระดับสากล (Kendall, Davis and Niemiller., 2021; Ballard et al. 2017) และยังตอบสนองต่อการแก้ไขปัญหานักเรียน และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Unger, Pörn and Hoffmann, 2021; Garner and Rosenberg, 2023) เพราะกระบวนการสำรวจพื้นที่เดิมซ้ำ ๆ ผ่าน iNaturalist จะช่วยสร้างประสบการณ์ที่ลึกซึ้งและมีความหมายกับสถานที่ เนื่องจากนักเรียนได้ค้นพบรายละเอียดที่อาจมองข้ามไปในชีวิตประจำวัน นำไปสู่การพัฒนาความผูกพันกับถิ่นที่อยู่และเพิ่มแรงจูงใจในการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม และข้อมูลที่ได้จาก iNaturalist สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับความหลากหลายทางชีวภาพ ปัจจัยทางนิเวศวิทยา และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น เป็นการส่งเสริมความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนนำความรู้ที่เรียนไปสู่การลงมือแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมรอบตัวอย่างเป็นรูปธรรม (Unger et al. 2021; Garner and Rosenberg, 2023)

การจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ (Place-Based Learning)

กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่มีรากฐานมาจากปรัชญาการศึกษาของ John Dewey ที่เน้นการมีประสบการณ์ตรง โดย Gruenewald (2003) ได้นำเสนอแนวคิด Critical Pedagogy of Place ที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสถานที่ทั้งในเชิงกายภาพ สิ่งแวดล้อม สังคม วัฒนธรรม และการเมือง ต่อมา Sobel (2004) ได้เสนอแนวทางปฏิบัติที่เน้นการออกแบบหลักสูตรและกิจกรรมการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงของนักเรียนและชุมชน โดยให้ความสำคัญกับการใช้สถานที่และชุมชนท้องถิ่นเป็นห้องเรียน มุ่งเน้นการสร้างความรู้ความผูกพันทางอารมณ์และประสบการณ์เชิงบวกกับสถานที่ก่อน โดยเชื่อว่าความรักและความผูกพันจะนำไปสู่การดูแลรักษาตามมา ในขณะที่ Smith and Sobel (2010) ได้

ระบอบองค์ประกอบหลักของการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ว่าควรประกอบไปด้วย การเชื่อมโยงกับวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ท้องถิ่น การศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติในท้องถิ่น การมีส่วนร่วมในกระบวนการแก้ปัญหาในชุมชน และการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างโรงเรียนกับชุมชน

Johnson (2010) ได้ให้คำจำกัดความคำว่า "สถานที่" ไม่ใช่เพียงพื้นที่ว่าง แต่เป็นพื้นที่ที่รวบรวมเรื่องราวประวัติศาสตร์ และองค์ความรู้ การเรียนรู้แบบอิงสถานที่จึงเป็นแนวทางที่ตอบโจทย์การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการใช้พื้นที่และชุมชนของนักเรียนเป็นฐาน เพื่อสร้างความหมายและคุณค่าของความรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง แนวคิดนี้สอดคล้องกับการศึกษาเพื่อความยั่งยืน (Education for Sustainable Development: ESD) และมาตรฐานวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ เช่น Next Generation Science Standards (NGSS) ที่ให้ความสำคัญกับการใช้ข้อมูลจริงและการสืบเสาะเชิงวิทยาศาสตร์ (Vander *et al.* 2020)

กรอบแนวคิดวิทยาศาสตร์พลเมือง: จากทฤษฎีสู่การปฏิบัติ

วิทยาศาสตร์พลเมือง (Citizen Science) เป็นแนวทางการวิจัยที่เปิดโอกาสให้ประชาชนทั่วไปมีส่วนร่วมในกระบวนการวิจัยทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง ตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์และแปลความหมาย ไปจนถึงการเผยแพร่ผลการวิจัย Bonney *et al.* (2009) ชี้ให้เห็นว่าวิทยาศาสตร์พลเมืองมีบทบาทสองมิติที่สำคัญ คือ 1) การเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลวิทยาศาสตร์จำนวนมากที่นักวิทยาศาสตร์เพียงกลุ่มเดียวไม่สามารถดำเนินการได้ 2) การเป็นกลไกสำคัญในการศึกษาวิทยาศาสตร์และสร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่ประชาชน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (participatory learning) ที่เน้นให้นักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ร่วมกับชุมชนนักวิทยาศาสตร์

การพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัลและอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้ขยายขอบเขตและประสิทธิภาพของวิทยาศาสตร์พลเมืองอย่างมีนัยสำคัญ Zimmerman and Land (2014) ศึกษาการใช้คอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ในการส่งเสริมการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ในสภาพแวดล้อมนอกห้องเรียน โดยใช้เทคโนโลยีเพื่อบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลสิ่งแวดล้อม เชื่อมโยงกับแนวคิดทางนิเวศวิทยา เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม และวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิต และพบว่าเทคโนโลยีไม่เพียงแต่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล แต่ยังเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ในพื้นที่จริงให้มีความลึกซึ้งยิ่งขึ้นผ่านการใช้ระบบระบุตำแหน่งภูมิศาสตร์ (GPS) การถ่ายภาพดิจิทัล และการเข้าถึงข้อมูลออนไลน์แบบทันที ซึ่งช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงสิ่งที่สังเกตในพื้นที่จริงกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีและการเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมจริงจึงเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงระหว่างห้องเรียนกับพื้นที่จริง เพื่อส่งเสริมความเป็นนักวิทยาศาสตร์พลเมืองของนักเรียนผ่านการมีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ใหม่

iNaturalist ถูกพัฒนาขึ้นในปี 2008 ภายใต้การดำเนินงานของ California Academy of Sciences และ National Geographic Society ในปัจจุบันมีฐานผู้ใช้งานหลายล้านคนทั่วโลกและมีข้อมูลการสังเกตสิ่งมีชีวิตมากกว่า 100 ล้านรายการ (iNaturalist, n.d.) กลไกการทำงานของ iNaturalist ประกอบด้วยสามองค์ประกอบหลักที่ทำงานประสานกัน ได้แก่ (1) การบันทึกข้อมูลโดยผู้ใช้ผ่านการถ่ายภาพหรือบันทึกเสียงของสิ่งมีชีวิต พร้อมระบุตำแหน่งภูมิศาสตร์และวันเวลาที่พบ (2) ระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ช่วยแนะนำการระบุชนิดพันธุ์เบื้องต้น โดยอาศัยการเรียนรู้จากฐานข้อมูลภาพและเสียงขนาดใหญ่ และ (3) กระบวนการตรวจสอบและยืนยันโดยชุมชนผู้ใช้และผู้เชี่ยวชาญ เมื่อมีผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อยสองคนเห็นพ้องต้องกันในการระบุชนิด ข้อมูลการสังเกตนั้นจะได้รับสถานะ "Research Grade" และถูกส่งต่อไปยังฐานข้อมูลชีววิทยาระดับโลกอย่าง Global Biodiversity Information Facility (GBIF) ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญสำหรับการวิจัยด้านความหลากหลายทางชีวภาพและการอนุรักษ์

ความสำคัญของ iNaturalist จึงไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการเป็นเครื่องมือระบุชนิดพันธุ์ แต่รวมถึงการเป็นสะพานเชื่อมระหว่างประชาชนทั่วไปกับชุมชนนักวิทยาศาสตร์ ทำให้ข้อมูลที่ประชาชนเก็บรวบรวมมีคุณค่าทางวิทยาศาสตร์และสามารถนำไปใช้ในงานวิจัยและการกำหนดนโยบายการอนุรักษ์ได้จริง (Unger, Pörn and Hoffmann (2021) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของ iNaturalist ในการระบุสิ่งมีชีวิตในกิจกรรมกลางแจ้ง และพบว่าแพลตฟอร์มนี้เป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงในการระบุชนิดพันธุ์ โดยเฉพาะเมื่อตัวอย่างภาพมีคุณภาพดีและมีลักษณะเฉพาะที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นถึงข้อจำกัดในกรณีที่ภาพไม่ชัดเจนหรือสิ่งมีชีวิตมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก ซึ่งต้องอาศัยความเชี่ยวชาญของผู้เชี่ยวชาญในการยืนยัน

การประยุกต์ใช้ iNaturalist ในบริบทการศึกษา

การวิจัยทางการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ในหลายมิติของการประยุกต์ใช้ iNaturalist มาใช้ในการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน Unger *et al.* (2021) ได้ศึกษาผลของการใช้ iNaturalist ในกิจกรรมการเรียนการสอนวิชาชีววิทยาระดับมัธยมศึกษา โดยให้นักเรียนใช้แอปพลิเคชันในการสำรวจและบันทึกสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ต่าง ๆ รอบโรงเรียน และพบว่าแพลตฟอร์มนี้ช่วยเพิ่มความรู้อันชีววิทยา พัฒนาทักษะการสังเกต และกระตุ้นความสนใจในธรรมชาติของนักเรียนอย่างมีนัยสำคัญ การเรียนรู้ผ่าน iNaturalist ไม่ได้เป็นเพียงการท่องจำข้อเท็จจริง แต่เป็นกระบวนการสืบเสาะ (inquiry-based learning) ที่นักเรียนต้องสังเกต ตั้งคำถาม ค้นหาคำตอบ และแลกเปลี่ยนความรู้กับชุมชน Herodotou *et al.* (2020) ขยายความเข้าใจนี้ผ่านการศึกษาในโรงเรียนประถมศึกษาในสหราชอาณาจักร โดยให้นักเรียนใช้ iNaturalist ในการศึกษาเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพและการจำแนกประเภทสิ่งมีชีวิต ผ่านกิจกรรมการสำรวจพืชและสัตว์ในบริเวณสวนของโรงเรียนผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่ใช้ iNaturalist ในการสำรวจธรรมชาติในบริเวณโรงเรียนไม่เพียงแต่มีความรู้เกี่ยวกับความหลากหลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น และมีทักษะการระบุชนิดพันธุ์ที่ดีขึ้นเท่านั้น แต่นักเรียนยังเริ่มมองเห็นคุณค่าของพื้นที่ที่เคยผ่านไปมาทุกวันในมุมมองใหม่ การเปลี่ยนแปลงนี้สะท้อนให้เห็นถึงการพัฒนาของความรู้ด้านสิ่งแวดล้อม (environmental literacy) หรือความรู้รอบรู้ด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นมากกว่าความรู้ แต่ยังรวมถึงทัศนคติ ค่านิยม และพฤติกรรมที่เอื้อต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

มิติที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ Kendall *et al.* (2021) นำ iNaturalist มาใช้ในโครงการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน (project-based learning) เพื่อแก้ปัญหาการขาดความตระหนักรู้ด้านความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity blindness) โดยทำการศึกษาแก่นักศึกษามหาวิทยาลัยที่ทำโครงการสำรวจความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ต่าง ๆ มีการบันทึกข้อมูลผ่าน iNaturalist และนำเสนอผลการค้นพบ ผลการวิจัยพบว่า การที่นักเรียนเห็นข้อมูลของตนเองได้รับการตรวจสอบ ยืนยัน และยกระดับเป็นข้อมูล “research grade” ที่มีคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้เกิดแรงจูงใจภายใน (intrinsic motivation) ที่แข็งแกร่ง นักเรียนรู้สึกว่าเป็นส่วนหนึ่งของชุมชนนักวิทยาศาสตร์และมีส่วนสนับสนุนการสร้างความรู้ใหม่ ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมการเรียนรู้ โดยนักเรียนมีความกระตือรือร้นในการสำรวจเพิ่มเติมนอกเวลาเรียน มีการแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนและชุมชนออนไลน์ และเริ่มมีความใส่ใจต่อประเด็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ทางสังคม (social learning theory) ที่เน้นความสำคัญของการมีส่วนร่วมในชุมชนแห่งการปฏิบัติ (community of practice) ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ ความรับผิดชอบ และจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมของนักเรียน ตลอดจนสร้างประโยชน์ต่อสังคมผ่านการมีส่วนร่วมในการสะสมฐานข้อมูลวิทยาศาสตร์ที่มีคุณค่า

iNaturalist กับการเรียนรู้เชิงข้อมูลและการเชื่อมโยงความรู้กับโลกจริง

Garner and Rosenberg (2023) วิเคราะห์ว่าการนำเทคโนโลยีดิจิทัลอย่าง iNaturalist มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ทำให้เกิดการเรียนรู้วิชาชีววิทยาอย่างมีความหมาย (meaningful learning) มากขึ้นในสองลักษณะสำคัญ คือ 1) นักเรียนได้เรียนรู้จากข้อมูลจริงในพื้นที่ของตนเอง (authentic data) ทำให้เห็นว่าความรู้ชีววิทยาไม่ได้จำกัดอยู่ในตำราหรือห้องเรียน แต่เป็นสิ่งที่อยู่รอบตัวและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน 2) กระบวนการใช้ iNaturalist เอื้อต่อการพัฒนาความฉลาดรู้ด้านข้อมูล (data literacy) ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 ผ่านการให้นักเรียนฝึกการเก็บข้อมูล การจัดระบบข้อมูล การตีความข้อมูล และการใช้ข้อมูลในการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

นอกจากนี้ iNaturalist ยังสนับสนุนการเชื่อมโยงความรู้ข้ามสาขา เนื่องจากนักเรียนไม่เพียงแต่เรียนรู้เกี่ยวกับการจำแนกชนิดพันธุ์ แต่ยังได้เข้าใจถึงแนวคิดทางนิเวศวิทยา เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม รูปแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิต และผลกระทบของฤดูกาลและภูมิอากาศต่อความหลากหลายทางชีวภาพ การเชื่อมโยงแนวคิดต่างๆ เข้าด้วยกันนี้สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ ด้วยตนเอง (constructivism) ที่เน้นให้นักเรียนสร้างความเข้าใจของตนเองโดยเชื่อมโยงความรู้ใหม่กับความรู้และประสบการณ์เดิม

ความผูกพันกับถิ่นที่อยู่และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม: ปัจจัยเกื้อหนุนต่อการจัดการการศึกษาเพื่อความยั่งยืน

ความผูกพันกับถิ่นที่อยู่เป็นแนวคิดสหวิทยาการที่นำมาใช้อธิบายความสัมพันธ์เชิงซ้อนระหว่างมนุษย์กับสถานที่ โดยไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการรับรู้ทางกายภาพ แต่รวมถึงมิติทางอารมณ์ จิตวิทยา สังคม และวัฒนธรรม Tuan (1977) นักภูมิศาสตร์มนุษย์ผู้วางรากฐานแนวคิดนี้ โดยอธิบายว่า ความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ เกิดจากการสะสมประสบการณ์และความทรงจำของบุคคลต่อสถานที่หนึ่ง ๆ ซึ่งเปลี่ยนพื้นที่ที่ไม่มีมีความหมาย (space) ให้กลายเป็นสถานที่ที่มีความหมายเฉพาะตัว (place) กระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นผ่านการมีปฏิสัมพันธ์กับสถานที่อย่างต่อเนื่อง การสร้างความทรงจำที่เชื่อมโยงกับสถานที่ และการผูกโยงความหมายส่วนบุคคลและสังคมเข้ากับลักษณะทางกายภาพของสถานที่

Stedman (2002) ขยายความเข้าใจนี้โดยเสนอว่า ความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ ประกอบด้วยสามองค์ประกอบหลักที่เชื่อมโยงกันอย่างไม่อาจแยกขาด ได้แก่ (1) ความหมายของสถานที่ (Place Meaning) ซึ่งเป็นการให้คุณค่าและตีความเชิงสัญลักษณ์แก่สถานที่ ซึ่งสะท้อนความเชื่อ ค่านิยม และวัฒนธรรมของบุคคลและกลุ่ม เช่น สนามหญ้าหน้าโรงเรียนอาจมีความหมายต่างกันไปสำหรับแต่ละคน สำหรับนักเรียนที่เคยฝึกซ้อมกีฬา สนามหญ้าแห่งนี้อาจหมายถึงสถานที่แห่งความทุ่มเทและความภาคภูมิใจ แต่สำหรับนักเรียนที่เคยมานั่งคุยกับเพื่อนในช่วงพักกลางวัน สนามหญ้าอาจหมายถึงสถานที่แห่งมิตรภาพและความผ่อนคลาย (2) การยึดติดกับสถานที่ (Place Attachment) ซึ่งเป็นความผูกพันทางอารมณ์และจิตใจที่บุคคลมีต่อสถานที่เฉพาะ เช่น นักเรียนที่เคยใช้เวลาสำรวจธรรมชาติในสวนหลังโรงเรียนอาจรู้สึกผูกพันกับสวนแห่งนั้นอย่างลึกซึ้ง อาจรู้สึกคิดถึงเมื่อจากไป มีความสุขเมื่อได้กลับมา และรู้สึกเสียใจหากสถานที่นั้นถูกทำลายหรือเปลี่ยนแปลงไป และ (3) อัตลักษณ์ของสถานที่ (Place Identity) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอัตลักษณ์บุคคลที่เกิดจากการที่สถานที่นั้นมีส่วนกำหนดความเป็นตัวตน เช่น นักเรียนที่เติบโตมาในชุมชนริมทะเลและใช้เวลามากมากับการสำรวจชายหาดและทะเล อาจมองตนเองว่าเป็น “คนทะเล” หรือ “คนชายฝั่ง” ซึ่งมีความเข้าใจและความผูกพันพิเศษกับระบบนิเวศทางทะเล ในทำนองเดียวกัน นักเรียนที่เติบโตในชุมชนเกษตรกรรมอาจมองตนเองว่าเป็น “คนชนบท” ที่เชื่อมโยงกับพื้นที่เกษตรและธรรมชาติ การแยกองค์ประกอบเหล่านี้ช่วยให้เข้าใจธรรมชาติของความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสถานที่อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น และชี้ให้เห็นว่าความผูกพันกับถิ่นที่อยู่เป็นปรากฏการณ์ที่มีหลายมิติและมีความซับซ้อนทั้งในระดับปัจเจกและสังคม

Scannell and Gifford (2010) ได้พัฒนากรอบแนวคิดที่ครอบคลุมยิ่งขึ้นด้วยแบบจำลองสามมิติของ Place Attachment (Three-Dimensional Framework) ที่อธิบายความผูกพันกับสถานที่อย่างเป็นระบบ มิติแรก คือมิติของบุคคล (Person) ซึ่งพิจารณาว่าความผูกพันเกิดขึ้นในระดับบุคคล (individual attachment) หรือระดับกลุ่ม (collective attachment) มิติที่สอง คือมิติของสถานที่ (Place) ที่วิเคราะห์ว่าความผูกพันเกิดจากลักษณะทางกายภาพของสถานที่ (physical attributes) หรือจากมิติทางสังคมและจิตวิทยา (social meanings) และมิติที่สาม คือมิติของกระบวนการทางจิตวิทยา (Psychological Process) ซึ่งประกอบด้วยสามองค์ประกอบย่อย ได้แก่ ด้านความรู้สึก (Affect) เป็นความผูกพันทางอารมณ์และความรักที่มีต่อสถานที่ ด้านความคิด (Cognition) เป็นความเชื่อ ความรู้ ความทรงจำ และความหมายที่เกี่ยวข้องกับสถานที่ และด้านพฤติกรรม (Behavior) เป็นการแสดงออกผ่านการกระทำเพื่อรักษาหรือปรับปรุงสถานที่

การพัฒนาความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ในเด็กและวัยรุ่น

การพัฒนาความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ในเด็กและเยาวชนเป็นกระบวนการสำคัญที่มีผลต่อทัศนคติและพฤติกรรมด้านสิ่งแวดล้อมในระยะยาว Chawla (1999) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาทัศนคติด้านสิ่งแวดล้อมในวัยเด็กอย่างเป็นระบบ และพบว่าประสบการณ์โดยตรงในธรรมชาติ โดยเฉพาะในพื้นที่ซึ่งใกล้บ้านหรือโรงเรียน เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการสร้างความผูกพันกับธรรมชาติและห่วงใยต่อสิ่งแวดล้อม เพราะเด็กสามารถเข้าถึงและสร้างความคุ้นเคยได้อย่างสม่ำเสมอ มีอิสระในการสำรวจและค้นพบด้วยตนเอง และนำไปสู่การสร้างความรู้ความทรงจำส่วนตัวที่เชื่อมโยงกับสถานที่ งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าประสบการณ์ในวัยเด็กมีบทบาทสำคัญในการสร้างรากฐานของความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติที่จะคงอยู่ไปตลอดชีวิต

สำหรับวัยรุ่น Erikson (1968) ได้อธิบายในมุมมองของทฤษฎีพัฒนาการทางจิตสังคมว่าวัยรุ่นเป็นช่วงของการค้นหาอัตลักษณ์ (identity formation) ซึ่งรวมถึงการสร้างความรู้เข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตนเองกับสถานที่และสิ่งแวดล้อม การให้ประสบการณ์เชิงบวกกับธรรมชาติและชุมชนท้องถิ่นในวัยนี้จึงไม่เพียงแต่เป็นการสร้างความรู้และทักษะ แต่ยังเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างอัตลักษณ์ที่เชื่อมโยงกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถเป็นรากฐานสำหรับความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในอนาคต การบูรณาการแนวคิดการพัฒนาอัตลักษณ์ในวัยรุ่นกับการศึกษาสิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ความเชื่อมโยงระหว่างความผูกพันกับถิ่นที่อยู่กับพฤติกรรมสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยหลายชิ้นแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความผูกพันกับสถานที่กับพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม Kudryavtsev *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาเยาวชนในเขตเมืองและพบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความผูกพันกับสถานที่กับพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยอธิบายว่าความรู้สึกผูกพันกับสถานที่ทำให้เกิดความรู้สึกเป็นเจ้าของ (psychological ownership) และความรับผิดชอบในการดูแลรักษา (environmental stewardship) ต่อสถานที่นั้น เมื่อบุคคลรู้สึกว่าเป็นส่วนหนึ่งของตนเอง พวกเขาจะมีแนวโน้มสูงที่จะแสดงพฤติกรรมการดูแลและป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับสถานที่นั้น ผลการวิจัยนี้มีความสำคัญต่อการออกแบบโปรแกรมการศึกษาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในเขตเมืองที่เยาวชนอาจมีโอกาสนสัมผัสธรรมชาติน้อยกว่าในชนบท การสร้างโอกาสให้

เยาวชนในเขตเมืองได้สร้างความผูกพันกับพื้นที่สีเขียวในชุมชนจึงเป็นกลยุทธ์สำคัญในการส่งเสริมพฤติกรรมด้านสิ่งแวดล้อมให้เกิดขึ้น

ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม

ความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Responsibility) หมายถึง ความรู้สึกรับผิดชอบต่อสังคมและธรรมชาติที่จะดำเนินการเพื่อแก้ไขหรือป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อม โดย Hines *et al.* (1987) ได้เสนอแบบจำลองพฤติกรรมที่แสดงถึงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Model of Responsible Environmental Behavior) ซึ่งอธิบายว่าพฤติกรรมที่แสดงถึงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดจากปัจจัยหลายประการที่มีปฏิสัมพันธ์กัน ได้แก่ (1) ความรู้เกี่ยวกับประเด็นสิ่งแวดล้อม (knowledge of issues) (2) ความรู้เกี่ยวกับกลยุทธ์การดำเนินการ (knowledge of action strategies) (3) ทักษะในการดำเนินการ (action skills) (4) ทศนคติต่อสิ่งแวดล้อม (attitudes) (5) ค่านิยมส่วนบุคคล (personal values) (6) ความรู้สึกรับผิดชอบ (locus of control) และ (7) ปัจจัยทางสถานการณ์ (situational factors) แบบจำลองนี้เน้นว่าความรู้เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการสร้างพฤติกรรม แต่ต้องมีการพัฒนาทักษะและสร้างแรงจูงใจควบคู่กันไปด้วย

Stern *et al.* (2000) พัฒนาทฤษฎีค่านิยม-ความเชื่อ-บรรทัดฐาน (Value-Belief-Norm Theory: VBN Theory) ที่เชื่อมโยงค่านิยมส่วนบุคคลกับพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผ่านลำดับของความเชื่อและบรรทัดฐาน ทฤษฎีนี้อธิบายว่าพฤติกรรมสิ่งแวดล้อมเริ่มต้นจากค่านิยมพื้นฐาน (biospheric, altruistic, และ egoistic values) ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเชื่อด้านสิ่งแวดล้อม 3 ประเภท ได้แก่ (1) ความเชื่อเกี่ยวกับมุมมองเชิงนิเวศ (ecological worldview) (2) ความตระหนักถึงผลที่ตามมา (awareness of consequences) และ (3) การระบุความรับผิดชอบส่วนบุคคล (ascription of responsibility) ความเชื่อเหล่านี้จะนำไปสู่บรรทัดฐานส่วนบุคคล (personal norms) ซึ่งเป็นความรู้สึกผูกพันทางศีลธรรมในการดำเนินการ และสุดท้ายจะแสดงออกเป็นพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทฤษฎี VBN มีความสำคัญในการอธิบายว่าเหตุใดบางคนจึงมีแรงจูงใจในการดำเนินการเพื่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าคนอื่น

Kollmuss and Agyeman (2002) ชี้ให้เห็นถึงประเด็นสำคัญที่เรียกว่า “ช่องว่างระหว่างความรู้กับการปฏิบัติ” (Knowledge-Action Gap หรือ Value-Action Gap) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่บุคคลมีความรู้และตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม แต่ไม่แสดงพฤติกรรมที่สอดคล้องกับความรู้ที่ตนมี ซึ่งอธิบายได้ว่าช่องว่างนี้เกิดจากปัจจัยหลายประการ รวมถึงอุปสรรคทางโครงสร้าง (structural barriers) เช่น ข้อจำกัดทางเศรษฐกิจและสังคม ปัจจัยทางจิตวิทยา เช่น ความรู้สึกกลัวปัญหาใหญ่เกินกว่าที่ตนเองจะแก้ไขได้ และการขาดทักษะหรือโอกาสในการดำเนินการ การตระหนักถึงช่องว่างนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบโปรแกรมการศึกษาสิ่งแวดล้อม โดยไม่ควรเน้นเพียงการถ่ายทอดความรู้ แต่ต้องสร้างโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติและเห็นผลของการกระทำของตนเอง

บทบาทของวิทยาศาสตร์พลเมืองในการสร้างความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม

Ballard *et al.* (2017) ได้ทำการทบทวนงานวิจัยอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับผลของการมีส่วนร่วมในโครงการวิทยาศาสตร์พลเมืองต่อการเรียนรู้และพฤติกรรมของผู้เข้าร่วม พบว่าผู้เข้าร่วมโครงการวิทยาศาสตร์พลเมืองมักจะพัฒนาความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ ทักษะในการสืบเสาะและวิเคราะห์ข้อมูล และทัศนคติเชิงบวกต่อวิทยาศาสตร์และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ที่สำคัญคือการทบทวนนี้ชี้ให้เห็นว่าผลลัพธ์ด้านการเรียนรู้และพฤติกรรมมักจะชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อโครงการมีองค์ประกอบของการดำเนินการเพื่อแก้ปัญหา (action-oriented components) นั่นคือ เมื่อผู้เข้าร่วมไม่เพียงแต่เก็บข้อมูล แต่ยังได้นำข้อมูลที่เก็บไปใช้ในการตัดสินใจหรือดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชนของตนเอง ข้อค้นพบนี้สนับสนุนแนวคิดที่ว่าการศึกษาที่มีความหมายและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมต้องเชื่อมโยงกับการปฏิบัติจริงและการเห็นผลกระทบของการกระทำของตนเอง

การบูรณาการ iNaturalist กับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่

การนำ iNaturalist มาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่สร้างโอกาสในการยกระดับประสิทธิภาพของทั้งสองแนวทาง โดยเทคโนโลยีของ iNaturalist จะช่วยส่งเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ในพื้นที่จริง และส่วนการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ช่วยให้การใช้เทคโนโลยีมีความหมายต่อท้องถิ่นและสร้างบริบททางสังคมวัฒนธรรม การใช้เทคโนโลยีจึงไม่ใช่เพียงเครื่องมือทางเทคนิค แต่เป็นส่วนหนึ่งของการสร้างความเข้าใจและความผูกพันกับสถานที่ที่การบูรณาการนี้สามารถแบ่งออกเป็นสามมิติหลัก ดังนี้

มิติของกระบวนการเรียนรู้

การใช้ iNaturalist ในบริบทของการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่เริ่มต้นจากการกำหนดพื้นที่ศึกษาที่มีความหมายต่อนักเรียน อาจเป็นบริเวณโรงเรียน สวนสาธารณะใกล้บ้าน ชุมชน หรือแหล่งธรรมชาติในท้องถิ่น โดยให้นักเรียนออกสำรวจและบันทึกสิ่งมีชีวิตที่พบผ่าน iNaturalist เป็นการส่งเสริมทักษะการสังเกต การตั้งคำถาม และความ

อยากรู้ อยากเห็นเกี่ยวกับธรรมชาติรอบตัว กระบวนการระบุชนิดบน iNaturalist ที่มีการมีส่วนร่วมของชุมชนนักธรรมชาติวิทยาทั่วโลกช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญและเห็นคุณค่าของความรู้ท้องถิ่นที่สามารถมีส่วนร่วมในวงการวิทยาศาสตร์สากล

มิติของความรู้ที่ผูกพันกับถิ่นที่อยู่

การใช้ iNaturalist เป็นเครื่องมือในการสำรวจและบันทึกความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่นช่วยให้นักเรียนค้นพบความงามและความหลากหลายของธรรมชาติที่อาจมองข้ามไปในชีวิตประจำวัน การกลับมาสำรวจพื้นที่เดิมซ้ำ ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ ทำให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล วงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิต และความสัมพันธ์ในระบบนิเวศ ประสบการณ์เหล่านี้สร้างความผูกพันทางอารมณ์กับสถานที่ นำไปสู่ทัศนคติและพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การสร้างโครงการหรือคอลเล็กชันบน iNaturalist สำหรับพื้นที่เฉพาะ เช่น “ความหลากหลายทางชีวภาพของโรงเรียนเรา” หรือ “สิ่งมีชีวิตในชุมชน” ช่วยสร้างความรู้สึกเป็นเจ้าของและภาคภูมิใจในท้องถิ่น

มิติของความรู้ที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อม

เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้และเข้าใจความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่นของตนผ่าน iNaturalist และ Place-Based Learning พวกเขาจะเริ่มตระหนักถึงภัยคุกคามและปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ เช่น การสูญเสียแหล่งที่อยู่อาศัย มลพิษ หรือสายพันธุ์รุกราน ความตระหนักนี้สามารถนำไปสู่การริเริ่มโครงการอนุรักษ์หรือการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น การบูรณาการ iNaturalist กับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ ช่วยลดช่องว่างระหว่างความรู้กับการปฏิบัติผ่านการให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงและเห็นผลกระทบจากการกระทำของตนเอง

กรอบการจัดการเรียนรู้ที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ร่วมกับ iNaturalist

จากการสังเคราะห์งานวิจัยของ Gruenewald (2003), Johnson (2010), Zimmerman and Land (2014), Unger *et al.* (2021), Kendall *et al.* (2021) Garner and Rosenberg (2023) สามารถสรุปกรอบการจัดการเรียนรู้เป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดบริบทและโจทย์การเรียนรู้ (Contextualizing & Problem Posing)

การเรียนรู้เชิงสถานที่ที่ต้องเริ่มจากการตระหนักถึงความหมายของ “สถานที่” ในเชิงวัฒนธรรม สังคม และสิ่งแวดล้อม (Gruenewald, 2003; Johnson, 2010) ครูจึงควรสร้างโจทย์การเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับปัญหาหรือประเด็นในท้องถิ่น เช่น ความหลากหลายทางชีวภาพรอบโรงเรียน หรือผลกระทบของกิจกรรมมนุษย์ต่อสิ่งแวดล้อม การกำหนดบริบทที่ชัดเจนช่วยให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงระหว่างการเรียนรู้กับชีวิตจริง

2. การเตรียมความพร้อมและฝึกใช้เครื่องมือ (Preparation & Tool Orientation)

ก่อนการลงพื้นที่ นักเรียนควรได้รับการแนะนำแนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ที่ควบคู่กับการฝึกใช้ iNaturalist เช่น วิธีถ่ายภาพสิ่งมีชีวิต การอัปโหลดข้อมูล และการใช้ระบบยืนยันชนิด Unger *et al.* (2021) พบว่าการให้ผู้เรียนทดลองใช้แอปพลิเคชันก่อนการสำรวจจริงช่วยเพิ่มความมั่นใจและลดอุปสรรคทางเทคนิค ขณะเดียวกัน Garner and Rosenberg (2023) แนะนำให้ครูออกแบบโครงการขนาดเล็ก ๆ บริเวณโรงเรียน เพื่อให้นักเรียนเข้าใจทั้งการใช้แอปและเป้าหมายของการเก็บข้อมูล

3. การลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูล (Field Exploration & Data Collection)

ขั้นตอนนี้เป็นหัวใจของการเรียนรู้ โดยการให้นักเรียนออกไปสำรวจสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ที่เลือก เช่น บริเวณโรงเรียน ชุมชน หรือสวนสาธารณะ Zimmerman and Land (2014) เน้นว่าการใช้เทคโนโลยีเคลื่อนที่ที่มีระบบระบุตำแหน่ง (location awareness) ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและสอดคล้องกับบริบทจริง ขณะเดียวกัน Unger *et al.* (2021) แสดงให้เห็นว่า iNaturalist มีประสิทธิภาพสูงในการช่วยนักเรียนจำแนกสิ่งมีชีวิตได้อย่างถูกต้องเมื่อตัวอย่างภาพมีคุณภาพดี

4. การตรวจสอบ ยืนยัน และแลกเปลี่ยนความรู้ (Verification & Knowledge Exchange)

ข้อมูลที่นักเรียนบันทึกจะถูกตรวจสอบด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์และการมีส่วนร่วมของชุมชนผู้ใช้ ทำให้เกิดการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม (collaborative learning) Kendall *et al.* (2021) ชี้ว่าการที่นักเรียนเห็นข้อมูลของตนเองได้รับการยืนยันและเข้าสู่ฐานข้อมูล “research grade” ช่วยเสริมสร้างแรงจูงใจและลดปัญหาความไม่ตระหนักด้านความหลากหลายทางชีวภาพ

5. การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล (Analysis & Synthesis)

หลังการเก็บข้อมูล นักเรียนจะนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ เช่น การคำนวณความถี่ของชนิดสิ่งมีชีวิต การเปรียบเทียบพื้นที่ต่าง ๆ ในแง่ของความหลากหลายทางชีวภาพ การระบุชนิดสิ่งมีชีวิตที่พบบ่อย หรือสิ่งมีชีวิตที่หายาก หรือ การสร้างกราฟและแผนที่ความหลากหลาย การจัดการกระทำข้อมูลเหล่านี้สัมพันธ์กับ Garner and Rosenberg (2023)

ที่ชื่อว่า iNaturalist เอื้อต่อส่งเสริมความฉลาดรู้เชิงข้อมูล (data literacy) ทำให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการตีความและเชื่อมโยงกับแนวคิดทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้ช่วยให้นักเรียนเห็นภาพรวมและรูปแบบของความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่นของตน

6. การสะท้อนคิดและการลงมือเพื่อสังคม (Reflection & Action for Place)

การสะท้อนคิด (reflection) คือขั้นตอนสุดท้ายที่เกี่ยวกับสิ่งที่เรียนรู้และความหมายต่อพื้นที่ของตนเอง Gruenewald (2003) เสนอว่าการเรียนรู้เชิงสถานที่ต้องเชื่อมโยงไปสู่การ กลับไปอาศัยอยู่ในพื้นที่อย่างเข้าใจและรับผิดชอบ (reinhabitation) ขณะที่ Johnson (2010) มองว่าการเรียนรู้ควรเป็นการ อ่านโลก เพื่อตีความปัญหาเชิงโครงสร้าง ซึ่งครูอาจให้นักเรียนจัดนิทรรศการ ผลิตภัณฑ์ หรือเสนอโครงการอนุรักษ์ต่อชุมชน เป็นการเปลี่ยนการเรียนรู้ให้เกิดผลเชิงสังคม

รูปแบบการสอนแบบ NATURE (Navigating and Analyzing Through Understanding, Reflection & Engagement)

จากการสังเคราะห์กรอบการจัดการเรียนรู้ข้างต้น ผู้เขียนได้ร่วมกันพัฒนาโมเดล NATURE สำหรับใช้เป็นกรอบการสอนที่บูรณาการงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ และการใช้ iNaturalist โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนสำรวจ-เรียนรู้-สะท้อนคิด-ลงมือเปลี่ยนแปลง โดยมีการสอน 6 ขั้นตอน ดังนี้

N – Nurture the Context (บ่มเพาะบริบท)

ครูกำหนดโจทย์การเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับปัญหาหรือประเด็นในท้องถิ่น เช่น ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในโรงเรียน เพื่อให้นักเรียนเรียนรู้ความหมายของ “สถานที่” ทั้งมิติสิ่งแวดล้อม วัฒนธรรม และสังคม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Gruenewald (2003) และ Johnson (2010) ที่เน้นการสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับบริบทของสถานที่ก่อนการเรียนรู้ เช่น หากต้องการสอนหัวข้อความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด ครูอาจเริ่มด้วยการพานักเรียนเดินสำรวจเบื้องต้นรอบบริเวณโรงเรียน แบ่งกลุ่มสังเกตพื้นที่ต่าง ๆ เช่น บริเวณที่มีแสงแดดส่องผ่านตลอดวัน บริเวณร่มรื่น บริเวณขึ้นแฉะ และบริเวณแห้งแล้ง จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายว่าพบสิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้างในแต่ละพื้นที่ มีความเหมือนหรือต่างกันอย่างไร ทำให้ถึงเป็นเช่นนั้น เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเริ่มตั้งคำถามเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ครูอาจเชิญปราชญ์ชาวบ้านหรือผู้ดูแลสวนของโรงเรียนมาเล่าเรื่องราวเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในอดีตถึงปัจจุบัน เช่น เคยมีต้นไม้อะไรมาก่อนบ้างไหม หรือมีสัตว์ชนิดใดที่เพิ่มขึ้น เพื่อสร้างความเชื่อมโยงระหว่างประวัติศาสตร์ของท้องถิ่นกับสภาพปัจจุบัน

A – Align with Tools (เตรียมความพร้อมและเครื่องมือ)

ครูฝึกนักเรียนใช้ iNaturalist และอธิบายขั้นตอนการเก็บข้อมูล โดยครูอาจออกแบบโครงการเล็ก ๆ เพื่อฝึกการใช้เครื่องมือ เช่น สำรวจต้นไม้รอบโรงเรียน เพื่อสร้างความคุ้นเคยกับเครื่องมือ สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Unger *et al.* (2021) และ Garner and Rosenberg (2023) ที่เน้นความสำคัญของการทดลองใช้เครื่องมือก่อนการสำรวจจริง เพื่อ (1) ช่วยลดข้อผิดพลาดในการเก็บข้อมูล เช่น การถ่ายภาพที่ไม่ชัดเจน การระบุตำแหน่งที่คลาดเคลื่อน หรือการกรอกข้อมูลไม่ครบถ้วน (2) เสริมสร้างความมั่นใจให้นักเรียน โดยเฉพาะนักเรียนที่ไม่คุ้นเคยกับเทคโนโลยี ทำให้สามารถมีสมาธิกับการสังเกตสิ่งมีชีวิตจริง ๆ มากกว่าการกังวลเกี่ยวกับการใช้แอปพลิเคชันในขณะสำรวจพื้นที่ (3) ฝึกทักษะการสังเกตอย่างเป็นระบบ โดยการถ่ายภาพสิ่งมีชีวิตจากหลายมุม การจดบันทึกรายละเอียดลักษณะสำคัญของสิ่งมีชีวิต และ (4) เพิ่มการทดสอบระบบการทำงานของอุปกรณ์ เช่น อินเทอร์เน็ต GPS แบตเตอรี่ เพื่อแก้ไขปัญหาล่วงหน้าก่อนลงพื้นที่จริง เช่น ครูจัดกิจกรรม “วันนักสำรวจ” โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลือกพื้นที่เล็ก ๆ ในโรงเรียน เช่น แปลงดอกไม้ขนาด 2 x 2 เมตร และฝึกให้นักเรียนเข้าใจหลักการระบุชนิดเบื้องต้น เช่น สังเกตจากลักษณะใบ ดอก ผล และเรียนรู้ว่าข้อมูลใดสำคัญต่อการระบุชนิดของสิ่งมีชีวิต โดยใช้เวลา 15 นาที ฝึกถ่ายภาพและอัปโหลดสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่พบ จากนั้นนำผลงานมาเปรียบเทียบกัน ในแง่มุมต่างๆ เช่น คุณภาพของภาพที่ถ่ายได้ ความสมบูรณ์ของข้อมูล และปัญหาที่พบในระหว่างทำกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนได้ปฏิบัติจริงและเรียนรู้จากข้อผิดพลาด

T – Traverse the Place (ลงพื้นที่สำรวจ)

นักเรียนออกไปสำรวจสิ่งมีชีวิตในสถานที่จริง ใช้ iNaturalist บันทึกภาพ ระบุตำแหน่ง และอัปโหลดข้อมูล เสริมด้วยการบันทึกเชิงสังเกต เช่น บันทึกสภาพอากาศ สภาพพื้นที่ เพื่อสะท้อนแนวคิดของ Zimmerman and Land (2014) เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีเคลื่อนที่ที่มีระบบระบุตำแหน่งเพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล เช่น ครูแบ่งนักเรียนเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3-4 คน มอบหมายพื้นที่สำรวจที่แตกต่างกันตามลักษณะสิ่งแวดล้อม เช่น กลุ่ม 1 สำรวจบริเวณสนามหญ้าโล่งแจ้ง (แสงแดดจัด ร้อน แห้ง) กลุ่ม 2 สำรวจใต้ร่มไม้ใหญ่ (ร่มเงา เย็น ชื้น) กลุ่ม 3 สำรวจบริเวณสระน้ำหรือแหล่งน้ำ (ชื้นมาก)

และกลุ่ม 4 สำรวจบริเวณอาคารหรือกำแพง (แห่งมาก) ให้แต่ละกลุ่มบันทึกข้อมูลในใบงานควบคู่ไปกับการใช้ iNaturalist โดยจัดบันทึก (1) ปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิโดยประมาณ ระดับแสง ความชื้น (2) รายชื่อสิ่งมีชีวิตที่พบ พร้อมจำนวน โดยประมาณ (3) พฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตที่สังเกตได้ เช่น มดกำลังขนอาหาร ผีเสื้อมาหากินที่ดอกไม้ชนิดใด (4) ข้อสังเกตพิเศษเพิ่มเติม เช่น พบรอยกัดที่ใบไม้ รังนก ชีส์ตัว เป็นต้น การจัดกิจกรรมแบบนี้จะช่วยให้นักเรียนเห็นความแตกต่างของความหลากหลายทางชีวภาพในแต่ละพื้นที่ และเริ่มเชื่อมโยงกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน

U – Understand through Verification (ทำความเข้าใจผ่านการตรวจสอบ)

นักเรียนตรวจสอบและยืนยันชนิดสิ่งมีชีวิตร่วมกับเครือข่ายผู้ใช้ iNaturalist ใช้การอภิปรายกลุ่มเพื่อแลกเปลี่ยนข้อสังเกตและความถูกต้องของข้อมูล กระบวนการนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kendall *et al.* (2021) ที่แสดงให้เห็นว่าการได้รับการยืนยันจากชุมชนช่วยเสริมสร้างแรงจูงใจและความเข้าใจในความหลากหลายทางชีวภาพ ตัวอย่างกิจกรรม เช่น ครูจัดเวลาให้นักเรียนตรวจสอบข้อมูลที่อัปโหลดไปเป็นเวลาต่อเนื่องกัน 2-3 วัน หลังจากนั้นจัดกิจกรรม แบ่งปันสิ่งที่ค้นพบ โดยให้แต่ละกลุ่มนำเสนอสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจ พร้อมอภิปรายเกี่ยวกับ (1) การได้รับการยืนยันชนิดจากชุมชนหรือไม่ พร้อมอธิบายสาเหตุที่กลุ่มที่ได้รับการยืนยันและกลุ่มที่ไม่ได้รับการยืนยัน (2) ชื่อทางวิทยาศาสตร์และชื่อสามัญของสิ่งมีชีวิตคืออะไร มีความหมายอย่างไร (3) สิ่งมีชีวิตเป็นสิ่งที่พบบ่อยหรือหายาก พร้อมระบุพื้นที่พบ เพื่อเชื่อมโยงกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น พบกบเฉพาะบริเวณใกล้แหล่งน้ำ หรือพบแมลงบางชนิดเฉพาะในพื้นที่แสงแดดจัด นอกจากนี้ ครูควรเน้นย้ำการเรียนรู้จากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในชุมชน iNaturalist เช่น การปรับปรุงเทคนิคการถ่ายภาพ หรือการสังเกตจุดเด่นของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด ซึ่งจะช่วยให้พัฒนาทักษะการสังเกตให้ละเอียดยิ่งขึ้น และสร้างความเข้าใจว่าวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการร่วมมือกันของชุมชนนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก

R – Reflect and Reconstruct (สะท้อนคิดและสังเคราะห์)

นักเรียนวิเคราะห์ข้อมูล เช่น สถิติความถี่ ความหลากหลาย การเปรียบเทียบพื้นที่ สร้างแผนภาพ แผนที่ หรือกราฟ เพื่อสังเคราะห์ความรู้ ครูส่งเสริมการสะท้อนคิดว่า “ข้อมูลที่ได้อะไรเกี่ยวกับพื้นที่ของเรา” ขั้นตอนนี้อาจสอดคล้องกับแนวคิดของ Garner and Rosenberg (2023) เกี่ยวกับการพัฒนาทักษะการเรียนรู้เชิงข้อมูล เช่น นักเรียนแต่ละกลุ่มนำข้อมูลที่ได้อภิปรายโดย (1) สร้างตารางเปรียบเทียบจำนวนชนิดและจำนวนตัวอย่างของสิ่งมีชีวิตในแต่ละพื้นที่ เช่น พบพืช 15 ชนิด สัตว์ 8 ชนิด ในพื้นที่ร่มเงา เทียบกับพืช 5 ชนิด สัตว์ 12 ชนิด ในพื้นที่โล่งแจ้ง (2) สร้างกราฟแสดงความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในแต่ละพื้นที่ (3) วาดแผนที่โรงเรียนและใช้สัญลักษณ์แสดงตำแหน่งที่พบสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจ จากนั้นให้นักเรียนอภิปราย ทำไมพื้นที่แต่ละแห่งจึงมีความหลากหลายต่างกัน ปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด เช่น แมลงหลายชนิดต้องการแสงแดดและดอกไม้ กบและหอยทากต้องการความชื้น เป็นต้น สิ่งที่น่าสนใจและที่น่าสนใจคือหากนักเรียนค้นพบพืชหรือสัตว์ที่หายาก ที่ไม่เคยพบในพื้นที่นั้นมาก่อน จะถือว่าเป็นการสร้างความรู้ใหม่ให้กับแวดวงวิทยาศาสตร์ได้จริง เสริมสร้างการเห็นคุณค่าของการเป็นนักวิทยาศาสตร์พลเมือง ตัวอย่าง ตัวอย่างนักเรียนอาจพบนกอพยพชนิดหายากที่แวะพักผ่านโรงเรียนเพียงช่วงสั้น ๆ ในฤดูกล หรือพบแมลงชนิดที่ไม่เคยมีการบันทึกในจังหวัดนั้นมาก่อน หรือแม้แต่การพบพืชพื้นเมืองที่หายากในเขตเมือง การค้นพบเหล่านี้จะถูกบันทึกลง iNaturalist และกลายเป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่นักวิจัยทั่วโลกสามารถเข้าถึงได้ ซึ่งสร้างความภาคภูมิใจและแรงจูงใจในการเรียนวิทยาศาสตร์อย่างมาก เมื่อนักเรียนตระหนักว่าตนเองมีส่วนร่วมในการผลิตความรู้ทางวิทยาศาสตร์จริง ๆ ไม่ใช่แค่ผู้บริโภคความรู้เท่านั้น

E – Engage for Action (ลงมือเพื่อการเปลี่ยนแปลง)

นักเรียนเผยแพร่ผลการเรียนรู้ เช่น จัดนิทรรศการ เขียนรายงานวิจัยย่อ หรือรณรงค์ให้ชุมชน สร้างโครงการต่อยอด เช่น bioblitz หรือกิจกรรมอนุรักษ์ในท้องถิ่น สะท้อนถึงบทบาทตนเองในฐานะพลเมืองสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Gruenewald (2003) และ Johnson (2010) เกี่ยวกับการเปลี่ยนการเรียนรู้ให้เกิดผลเชิงสังคมและการดำเนินการเพื่อสถานที่ เช่น จากผลการวิจัยที่พบว่าพื้นที่บางส่วนของโรงเรียนมีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำ นักเรียนอาจออกแบบโครงการ “มุมชีวิต” เพื่อปรับปรุงพื้นที่ เช่น ปลูกพืชพื้นเมืองหรือพืชดึงดูดแมลง สร้างแหล่งน้ำขนาดเล็ก หรือวางกระถางต้นไม้ในบริเวณที่แห้งแล้ง พร้อมติดตามผลว่าหลังจาก 1-2 เดือน พบสิ่งมีชีวิตเพิ่มขึ้นหรือไม่ หรืออาจให้นักเรียนจัดนิทรรศการความหลากหลายทางชีวภาพในโรงเรียน โดยนำแผนที่ กราฟ และภาพถ่ายมาจัดแสดง พร้อมเขียนป้ายแนะนำสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจในแต่ละจุดของโรงเรียน หรือสร้าง QR code ให้ผู้สนใจสแกนเพื่อดูข้อมูลใน iNaturalist ได้ทันที นอกจากนี้ นักเรียนอาจขยายผลไปสู่ชุมชนโดยจัดกิจกรรมการอนุรักษ์ร่วมกับองค์กรท้องถิ่น ในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์ โดยการประชาสัมพันธ์เชิญชวนประชาชนในชุมชนให้ร่วมกันสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพในชุมชน หรือจัดทำแผนพับคู่มือพืช-สัตว์ใกล้บ้าน แจกให้ชุมชนเพื่อสร้างการรับรู้และความห่วงใยในทรัพยากรท้องถิ่น หากพบว่าสิ่งมีชีวิตชนิดใด

ลดจำนวนลง นักเรียนอาจเสนอมาตรการอนุรักษ์ เช่น การลดการใช้ยาฆ่าแมลง หรือการปล่อยให้หญ้าสูงขึ้นในบางพื้นที่เพื่อเป็นที่อยู่อาศัยของแมลง

โมเดล NATURE ที่ผู้เขียนพัฒนาขึ้นนี้บูรณาการหลักการของการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ที่เน้นการเชื่อมโยงท้องถิ่นสู่โลก (local to global context) ยึดนักเรียนเป็นศูนย์กลาง การเรียนรู้ในการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยอาศัยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (inquiry learning) การคิดเชิงออกแบบ (design thinking) การใช้ชุมชนเป็นห้องเรียน (community as classroom) และการบูรณาการสหวิทยาการ (interdisciplinary approach) ตามกรอบแนวคิดของ Vander *et al.* (2020) ทั้ง 6 ขั้นตอนของโมเดล NATURE ในกระบวนการเรียนรู้ C-P-F-V-A-R มีเจตนาเพื่อสะท้อนธรรมชาติของการเรียนรู้และการสร้างองค์ความรู้ในทุกชั้นอย่างเป็นระบบ โดยในขั้น Contextualizing (C) NATURE เชื่อมโยงกับบริบทและปรากฏการณ์จริงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของชีวิตผู้เรียน ขั้น Problem-posing (P) สะท้อนการตั้งปัญหาที่ออกมาจากบริบทดังกล่าว มีใช้ปัญหาที่กำหนดขึ้นอย่างแยกส่วน ในขั้น Formulating ideas (F) NATURE สอดคล้องกับธรรมชาติขององค์ความรู้ซึ่งผู้เรียนต้องสร้างและจัดระบบผ่านการคิดและการให้เหตุผล ขั้น Verifying (V) สะท้อนธรรมชาติของการตรวจสอบความรู้ด้วยหลักฐานและเหตุผลเชิงวิพากษ์ ขณะที่ขั้น Applying (A) เน้นการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทใหม่หรือสถานการณ์จริง และขั้น Reflecting (R) เชื่อมโยงกับธรรมชาติของการเรียนรู้ซึ่งสะท้อนคิดซึ่งผู้เรียนทบทวนกระบวนการและความเข้าใจของตนเอง ดังนั้น NATURE จึงทำหน้าที่เป็นแนวคิดแกนที่เชื่อมโยงทุกขั้นของ C-P-F-V-A-R ให้สอดคล้องกับธรรมชาติของโลกจริง องค์ความรู้ และการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง โดยโมเดล NATURE เน้นกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความผูกพันกับถิ่นที่อยู่และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการสร้างความผูกพันเชิงอารมณ์กับพื้นที่ เริ่มตั้งแต่ขั้น N – Nurture the Context A – Align with Tools และ T- Traverse the Place ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สำรวจ สัมผัส สังเกตสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ของตนเองอย่างใกล้ชิด การได้พบเห็นความงาม ความหลากหลาย และความน่าอัศจรรย์ของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ใกล้ตัว จะทำให้นักเรียนเกิดความรู้สึก “เห็นคุณค่า” และ “หวงแหน” สถานที่นั้น ๆ ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของการอนุรักษ์ที่ยั่งยืน การสร้างความเข้าใจเชิงวิทยาศาสตร์ ผ่านขั้น U – Understand through Verification และ R – Reflect and Reconstruct ที่นักเรียนได้เรียนรู้ว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดต้องพึ่งพาปัจจัยสิ่งแวดล้อมอย่างไร มีความสัมพันธ์ซับซ้อนกันอย่างไร และทำไมความหลากหลายทางชีวภาพจึงมีความสำคัญ ความเข้าใจเชิงระบบนี้ ช่วยให้นักเรียนตระหนักว่าการกระทำของมนุษย์ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศอย่างไร เป็นการพัฒนาจิตสำนึกพลเมืองสิ่งแวดล้อม และในขั้น E – Engage for Action เป็นขั้นที่นักเรียนเปลี่ยนจากผู้สังเกตการณ์เป็นผู้เปลี่ยนแปลง เมื่อนักเรียนได้ลงมือทำโครงการปรับปรุงพื้นที่รณรงค์สร้างความรู้ หรือเสนอแนวทางการอนุรักษ์ พวกเขาจะตระหนักว่าตนเองมีอำนาจ และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน ไม่ใช่เพียงผู้รับผลกระทบเท่านั้น การเชื่อมโยงท้องถิ่นสู่โลก การใช้ iNaturalist ทำให้นักเรียนเห็นข้อมูลของตนเองเก็บมีคุณค่าต่อชุมชนนักวิทยาศาสตร์ระดับโลก และสามารถนำไปใช้ในการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การอพยพของสัตว์ หรือการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตทรูกราน การตระหนักนี้สร้างความภาคภูมิใจในตัวตนและความรู้สึกเป็นส่วนหนึ่งของชุมชนโลก ที่ร่วมกันดูแลโลกใบนี้ การเรียนรู้ที่มีความหมายและยั่งยืน เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ตรง เชื่อมโยงกับชีวิตจริง และได้ใช้ความรู้แก้ปัญหาที่เป็นรูปธรรม ความรู้ที่ได้จะฝังลึกและติดตัวไปนาน ไม่ใช่แค่ท่องจำเพื่อสอบแล้วลืม นักเรียนจะนำทัศนคติและทักษะเหล่านี้ไปใช้ต่อในชีวิต ไม่ว่าจะเป็นการเลือกซื้อสินค้า การออกเสียงในประเด็นสิ่งแวดล้อม หรือการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ชุมชน

ดังนั้น โมเดล NATURE จึงไม่ใช่เพียงกรอบการสอนที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ แต่เป็นกระบวนการหล่อหลอมพลเมืองที่มีจิตสำนึกต่อสิ่งแวดล้อม มีความรัก ความผูกพัน และความรับผิดชอบต่อถิ่นที่อยู่ของตนเอง และพร้อมที่จะลงมือปกป้องและพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นเป้าหมายสูงสุดของการศึกษาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

บทสรุป

การบูรณาการ iNaturalist ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่เป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาความผูกพันกับถิ่นที่อยู่และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน โดยผสมผสานจุดแข็งของเทคโนโลยีดิจิทัลและวิทยาศาสตร์พลเมืองเข้ากับการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชุมชนท้องถิ่นและประสบการณ์จริงในธรรมชาติ

จากการสังเคราะห์กรอบทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่เน้นการมีประสบการณ์ตรงและการเชื่อมโยงความรู้ ทักษะ และค่านิยมกับบริบทท้องถิ่น ในหลากหลายมิติ (Gruenewald, 2003; Johnson, 2010; Smith and Sobel, 2010) ขณะที่เทคโนโลยีอย่าง iNaturalist ช่วยเสริมประสิทธิภาพของการเรียนรู้ผ่านการเก็บข้อมูลจริง การตรวจสอบความถูกต้อง และการเชื่อมโยงกับเครือข่ายวิทยาศาสตร์สากล (Unger *et al.* 2021; Garner and Rosenberg, 2023) ส่งเสริมให้เกิดความผูกพันกับถิ่นที่อยู่ซึ่งเกิดจากประสบการณ์ตรงในธรรมชาติท้องถิ่น

(Chawla, 1999; Scannell and Gifford, 2010) ทำให้เกิดความสัมพันธ์เชิงบวกและความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Kudryavtsev et al., 2012) การบูรณาการ iNaturalist กับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ช่วยลดช่องว่างระหว่างความรู้กับการปฏิบัติ (Kollmuss and Agyeman, 2002) ผ่านการให้โอกาสนักเรียนในลงมือปฏิบัติที่เป็นรูปธรรมและเห็นผลกระทบของการกระทำของตนเอง (Ballard et al., 2017)

โมเดล NATURE ที่ผู้เขียนพัฒนาขึ้นจากการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นกรอบการสอนที่ครอบคลุมทั้ง 6 ขั้นตอน ตั้งแต่การบ่มเพาะบริบท การเตรียมความพร้อม การลงพื้นที่สำรวจ การตรวจสอบและแลกเปลี่ยนความรู้ การสะท้อนคิดและสังเคราะห์ ไปจนถึงการลงมือเพื่อการเปลี่ยนแปลง จะช่วยให้ผู้อ่านสามารถนำแนวทางการบูรณาการ iNaturalist กับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

สำหรับนักเรียนซึ่งอยู่ในช่วงวัยที่สำคัญของการพัฒนาอัตลักษณ์และระบบค่านิยม (Erikson, 1968) การมีประสบการณ์เชิงบวกกับธรรมชาติและชุมชนท้องถิ่นสามารถสร้างรากฐานความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนตลอดชีวิต การพัฒนาอัตลักษณ์ทางนิเวศในวัยนี้ไม่เพียงแต่มีประโยชน์ต่อตัวนักเรียนเองในแง่ของการพัฒนาทักษะและความรู้ แต่ยังเป็นการลงทุนในอนาคตของสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในบริบทของวิกฤตสิ่งแวดล้อมที่โลกกำลังเผชิญอยู่ การบูรณาการ iNaturalist กับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่สนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals - SDGs) ขององค์การสหประชาชาติหลายเป้าหมายที่โลกกำลังให้ความสำคัญ โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 4 การศึกษาที่มีคุณภาพ ผ่านการส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต การพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ การแก้ปัญหา และการรู้เท่าทันข้อมูล รวมถึงการศึกษาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนและวิถีชีวิตที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 13 การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ผ่านการสร้างความรู้ความตระหนักและความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่น การเก็บข้อมูลการอพยพของสัตว์ การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลของพืช ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการติดตามผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป้าหมายที่ 15 ชีวิตบนบก ผ่านการส่งเสริมการอนุรักษ์ พืชพันธุ์ และใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนจากระบบนิเวศบนบก การจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน การต่อต้านการทำลายที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ การใช้ iNaturalist ช่วยสร้างฐานข้อมูลความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่นที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนอนุรักษ์ เป้าหมายที่ 11 เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน (Sustainable Cities and Communities) ผ่านการส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการวางแผนและพัฒนาพื้นที่สีเขียวในชุมชน การสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพในเขตเมืองช่วยสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของการรักษาพื้นที่สีเขียวและการออกแบบเมืองที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป้าหมายที่ 17 ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Partnerships for the Goals) ผ่านการสร้างความร่วมมือระหว่างโรงเรียน ชุมชน และเครือข่ายนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลก การแบ่งปันข้อมูลและความรู้ผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อเป้าหมายร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การเชื่อมโยงการเรียนรู้ของนักเรียนกับกรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนระดับโลกนี้ ช่วยให้นักเรียนเห็นว่าการกระทำของตนในท้องถิ่นมีความหมายและมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาในระดับโลก สร้างความภาคภูมิใจและแรงจูงใจในการเป็นพลเมืองโลกที่มีความรับผิดชอบต่อ

การศึกษาเพื่อความยั่งยืนต้องการมากกว่าการถ่ายทอดความรู้ จำเป็นต้องสร้างความเชื่อมโยง สร้างความผูกพัน และเสริมสร้างความรู้สึกว่าตนเองมีบทบาทและความรับผิดชอบต่อโลกรอบตัว การบูรณาการ iNaturalist กับการจัดการเรียนรู้แบบอิงสถานที่เป็นหนึ่งในแนวทางที่มีศักยภาพในการบรรลุเป้าหมายเหล่านี้ โดยเฉพาะในระดับท้องถิ่นซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงที่ยั่งยืน

References

- Ballard, H. L., Dixon, C. G. and Harris, E. M. (2017). Youth-focused citizen science: Examining the role of environmental science learning and agency for conservation. *Biological Conservation*, 208, 65–75.
- Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T., Rosenberg, K. V. and Shirk, J. (2009). Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59(11), 977–984.
- Chawla, L. (1999). Life paths into effective environmental action. *Journal of Environmental Education*, 31(1), 15–26.
- Chawla, L. and Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental Education Research*, 13(4), 437–452.
- Erikson, E. H. (1968). *Identity: Youth and crisis*. Norton.

- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. and Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 111(23), 8410–8415.
- Garner, A. V. and Rosenberg, J. (2023). Utilizing iNaturalist to support place-based learning and data analysis. **Science Scope**, 46(7), 54–60.
- Gruenewald, D. A. (2003). The best of both worlds: A critical pedagogy of place. **Educational Researcher**, 32(4), 3–12.
- Handal, B., Campbell, C. and Cavanagh, M. (2013). Pre-service teachers’ beliefs about teaching with technology: Resolving the transformative paradox. **Australasian Journal of Educational Technology**, 29(2), 168–185.
- Herodotou, C., Aristidou, M., Miller, G., Ballard, H. and Robinson, L. (2020). What do we know about young people’s participation in citizen science? A systematic review. **Citizen Science: Theory and Practice**, 5(1), Article 2, 1–13.
- Hines, J. M., Hungerford, H. R. and Tomera, A. N. (1987). Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis. **Journal of Environmental Education**, 18(2), 1–8.
- Johnson, J. T. (2010). Place-based learning and knowing: Critical pedagogies grounded in indigeneity. **GeoJournal**, 77(6), 829–836.
- Kang, J. and Keinonen, H. (2017). The effect of student-centered approaches on students’ interest levels in science learning. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 13(8), 5147–5168.
- Kiran, D. and Sungur, S. (2012). Middle school students’ science self-efficacy and its sources: Implications for science achievement. **Journal of Science Education and Technology**, 21(5), 619–625.
- Kendall, D., Davis, M. A. and Niemiller, M. L. (2021). Addressing biodiversity naivety through project-based learning using iNaturalist. **Journal for Nature Conservation**, 64, 126070.
- Kollmuss, A. and Agyeman, J. (2002). Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? **Environmental Education Research**, 8(3), 239–260.
- Kudryavtsev, A., Stedman, R. C. and Krasny, M. E. (2012). Sense of place in environmental education. **Environmental Education Research**, 18(2), 229–250.
- Osborne, J. and Dillon, J. (2008). Science education in Europe: Critical reflections. King’s College London.
- Pimsarn, P. and Tuntiwongwanich, S. (2015). Barriers to implementing active learning in biology teaching: Teachers’ perspectives in Thailand. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, 16(1), 1–21.
- Rauf, R. A. A., Rasul, M. S., Mansor, A. N., Zaini, A. Z. and Deniz, H. (2013). Problem-based learning in technology education. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, 102, 406–416.
- Scannell, L. and Gifford, R. (2010). Defining place attachment: A tripartite organizing framework. **Journal of Environmental Psychology**, 30(1), 1–10.
- Semken, S. and Freeman, C. B. (2008). Sense of place in the practice and assessment of place-based science teaching. **Science Education**, 92(6), 1042–1057.
- Smith, G. A. and Sobel, D. (2010). Place and community-based education in schools. Routledge.
- Sobel, D. (2004). Place-based education: Connecting classrooms & communities. Orion Society.

- Stern, P. C., Dietz, T., Abel, T., Guagnano, G. A. and Kalof, L. (2000). A value-belief-norm theory of support for social movements: The case of environmentalism. **Human Ecology Review**, 6(2), 81–97.
- Stedman, R.C. (2002) Toward a Social Psychology of Place Predicting Behavior from Place-Based Cognitions, Attitude, and Identity. **Environment and Behavior**, 34, 561-581.
- Tuan, Y. F. (1977). *Space and Place: The Perspective of Experience*. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Unger, S., Pörn, M. and Hoffmann, A. (2021). Performance and limitations of AI-based image recognition software for smartphone-supported species identification: The case study of iNaturalist. **Frontiers in Artificial Intelligence**, 4, 621283.
- Unger, S., Rollins, M., Tietz, A. and Dumais, H. (2021). iNaturalist as an engaging tool for identifying organisms in outdoor activities. **Journal of Biological Education**, 55(5), 537–547.
- Vander Ark, T., Liebttag, E. and McClennen, N. (2020). The power of place: Authentic learning through place-based education. ASCD.
- Zimmerman, H. T. and Land, S. M. (2014). Facilitating place-based learning in outdoor informal environments with mobile computers. **TechTrends**, 58(1), 77–83.



SCI ATOMIC
UBU

Journal of Science and Science Education (JSSE) วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
85 ถนนสถลมารค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425 โทรสาร 045-353422

Email: jsse.sci.ubu@gmail.com หรือ saksi.s@ubu.ac.th

