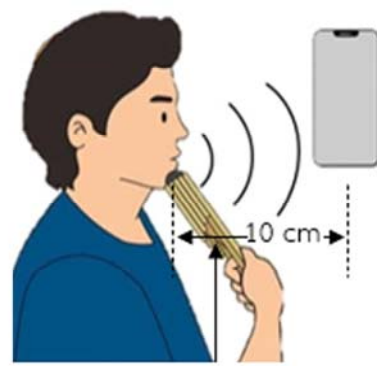
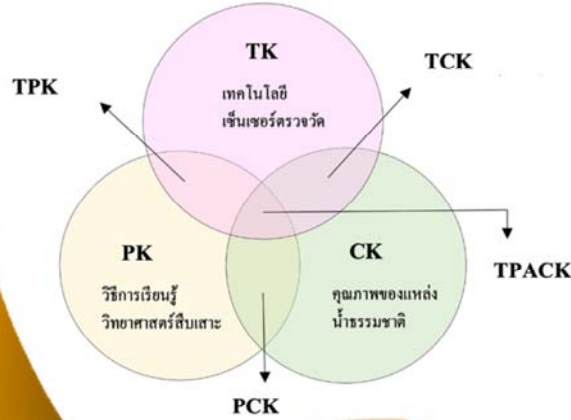


ISSN 2586-9256 (Print)
ISSN 2697-410X (Online)

JSSE Journal of Science
and Science Education

**วารสารวิทยาศาสตร์
และวิทยาศาสตร์ศึกษา**

Vol. 7 No. 2 (Jul. – Dec. 2024)
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (ก.ค. – ธ.ค. 2567)



FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

<https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JSSE>

คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

Journal of Science and Science Education (JSSE)

ISSN 2586-9256 (Print)

ISSN 2697-410X (Online)

เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สำนักงาน

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 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 25 พฤศจิกายน 2567

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

กำหนดออก

เล่มที่ 1 มกราคม – มิถุนายน ของทุกปี

เล่มที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม ของทุกปี

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

ที่ปรึกษาวารสาร

คณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ศักดิ์ศรี สุภาพร บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

รองศาสตราจารย์ปฐุม จารุจรัส บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการจากภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์วิชัย รัตตะกุล

มหาวิทยาลัยมหิดล

ศาสตราจารย์ประพนธ์ จันทร์นิตย์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์เกสินทร์ จันทน์ไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์สันติ แนนศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศาสตราจารย์วินิช พรหมอารักษ์

สถาบันวิทยสิริเมธี

รองศาสตราจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ชาติรี ฝ่ายคำตา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

รองศาสตราจารย์อศรา ก้านจักร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์พัชรินทร์ ปัญจบุรี

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์พรรัตน์ วัฒนกลวิชัย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์สุทธิดา รักกะเปา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์พัฒน์วัน นาใจแก้ว

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทา จันทน์สุรย์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์รักษา แก้วคง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กตติกา สระมณีอินทร์

นักวิชาการอิสระ

กองบรรณาธิการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ศาสตราจารย์ศิริพร จิงสุทธิวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์มะลิวรรณ อมตธงไชย

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์สายันต์ แสงสุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์วรศักดิ์ สุขบท

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์เชิดศักดิ์ บุตรจอมชัย

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐ ดิษเจริญ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ สีบุตร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวิน นามมัน

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลย์จิณภา อริยะเชาว์กุล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

กองบรรณาธิการจัดการวารสาร

รองศาสตราจารย์สุระ วุฒิพรหม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองศาสตราจารย์กานต์ตะวัน วุฒิสเลา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ช่อทิพย์ กันตโชติ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ฝ่ายประสานงานวารสาร นางสาวอมรรัตน์ วะสุรีย์ นายนัฐพงษ์ สืบสุข และนางสุกัญญา พิมพ์บุญมา

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ

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

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

ส่วนเนื้อเรื่อง ประกอบด้วยบทนำ (Introduction) วิธีดำเนินการวิจัย (Research Method) ผลการวิจัย (Results) อภิปรายผล (Discussion) สรุปผล (Conclusion) กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) และเอกสารอ้างอิง (References) 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.อ. 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. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. 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>



ดาวน์โหลดไฟล์เพิ่มเติมบทความได้ใน

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



ถ้อยแถลงบรรณาธิการ

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

ทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เล็งเห็นความสำคัญข้างต้น จึงได้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ขึ้นมาเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 7 เล่มที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งประกอบด้วยบทความทั้งหมด 18 เรื่อง จำแนกเป็นบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ 5 เรื่อง และบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 13 เรื่อง

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



(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาพร)

หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารฯ

	หน้า
12) การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศด้วยเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดสำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	384 - 397
พรรคณารณ วงศ์คำจันทร์ และ กัญจน์ญา หงส์เลิศสกุล	
13) Developing Mathematical Problem-Solving Skills Using Polya's Steps: A Problem-Based Learning Approach in Combinatorics for Grade 11 Students	398 - 406
Palakorn Niamjapo	
14) การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด	407 - 417
อารียา ศรีจันดี ปวีณา ชันธิศา และประภาพร หนองหารพิทักษ์	
15) การพัฒนาความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยีของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ผ่านโมดูลการเรียนรู้เพื่องานวิชาชีพผสานร่วมเทคโนโลยีที่เน้นการเข้าใจในธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบสาย	418 - 432
วัชรารณ เขาชะจร และ นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์	
16) ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ที่มีต่อความรู้สึกเชิงจำนวนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1	433 - 445
ณัฐพล หงษ์ทอง อธิโชค โลภธาตุ และ ณรงค์ศักดิ์ รอบคอบ	
17) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6	446 - 455
สุนันท์ เขียวดี มะลิวัลย์ ภัทรชาลิกุล และ นิภาพร ชูติมันต์	
18) การออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา	456 - 466
อุดม ทิพราย อธิวัฒน์ ภิรมจิตร์มิ่ง เชิดชัย วุฒิยา และ สุพรรณิศา นิมาจารย์	



Student Academic Success Prediction System Using Random Forest Technique

Wichit Sombat¹, Chayaporn Kaensar^{1,*}, Supawadee Hiranpongsin¹ and Sirinya Boakam¹

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

**Email: chayaporn.k@ubu.ac.th*

Received <4 May 2024>; Revised <4 July 2024>; Accepted <10 July 2024>

Abstract

The challenges of academic underperformance and rising dropout rates have contributed to declining student retention rates, resulting in implications such as wasted time, increased expenses, and missed job opportunities. Consequently, the need to analyze and prepare student data is paramount. This study aims to address these challenges by: 1) investigating and constructing a predictive model of student academic performance within the Data Science and Software Innovation (DSSI), Information Technology and Communications (ICT), Chemistry, and Biology programs at the Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, utilizing the Random Forest technique, and 2) creating a prototype web application to apply the model and summarize the findings, developing with Django and PostgreSQL. The dataset used for model construction encompasses academic records from both secondary school and university for 1,336 students enrolled in the programs spanning academic years 2017-2021. This dataset includes 11 factors: educational programs, first-term university GPA, and academic performance in 8 core subject groups: Thai Language, Mathematics, Science, Social Studies, Religion and Culture, Arts, Career and Technology, Foreign Languages, alongside high school GPA. The results of the prototype model research for DSSI, ICT, Chemistry, and Biology programs demonstrates the ability to predict student learning outcomes, with F1-measure values of 88.02%, 86.18%, 84.04% and 85.18% respectively. Consequently, the implementation of the developed system holds potential to benefit students, educators, and educational institutions in the design and implementation of more effective and tailored teaching methodologies.

Keywords: Academic performance, Dropout rates, Predictive model, Random Forest technique, Web application

ระบบพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาของผู้เรียนด้วยเทคนิคป่าสุ่ม

วิจิต สมบัติ¹ ชยาพร แก่นสาร^{1,*} สุภาวดี หิรัญพงศ์สิน¹ และ สิริณญา เบ้าคำ¹

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: chayaporn.k@ubu.ac.th

รับบทความ: 4 พฤษภาคม 2567 แก้ไขบทความ: 4 กรกฎาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 10 กรกฎาคม 2567

บทคัดย่อ

ปัญหาผลการเรียนที่อยู่ในระดับค่อนข้างน้อยและการตกออกเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการคงอยู่ของนักศึกษาลดลง ทำให้ส่งผลกระทบต่อหลายด้าน เช่น สูญเสียเวลา ค่าใช้จ่าย และโอกาสในการได้งาน การเตรียมความพร้อมและการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนจึงเป็นสิ่งสำคัญ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักศึกษา 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เคมี และจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ด้วยเทคนิคป่าสุ่ม และ 2) พัฒนาระบบต้นแบบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันเพื่อใช้งานแบบจำลองและสรุปผลด้วยจังก์เฟรมเวิร์กและจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลโพสต์เกรสคิวเอล ชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเป็นผลการเรียนจากทั้งโรงเรียนและมหาวิทยาลัยในอดีตของนักศึกษา 4 สาขาวิชา คณะวิทยาศาสตร์ ในปีการศึกษา 2560-2564 จำนวน 1,336 คน โดยพิจารณาข้อมูล 11 ปัจจัย ได้แก่ สาขาวิชาการศึกษา เกรดเฉลี่ยสะสมปีแรกในมหาวิทยาลัย ผลการเรียนใน 8 กลุ่มสาระหลัก ได้แก่ กลุ่มวิชาภาษาไทย คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม ศิลปะ การงานอาชีพและเทคโนโลยี ภาษาต่างประเทศ และเกรดเฉลี่ยในโรงเรียน ผลการวิจัยแบบจำลองต้นแบบของสาขาวิชา วิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เคมี และจุลชีววิทยา สามารถพยากรณ์ผลการเรียนของผู้เรียนโดยมีค่า F1-measure เท่ากับ 88.02% 86.18% 84.04% และ 85.18% ตามลำดับ ดังนั้นการนำระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้จะมีประโยชน์ต่อผู้เรียน ผู้สอนในสาขาวิชา และสถาบันการศึกษา เพื่อใช้ในการวางแผนและการจัดการสอนให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ผลการเรียน อัตราการตกออก แบบจำลองการพยากรณ์ เทคนิคป่าสุ่ม เว็บแอปพลิเคชัน

บทนำ

ในช่วงปี พ.ศ. 2560-2566 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบปัญหานักศึกษาใหม่มีผลการเรียนค่อนข้างน้อย ตกออก หรือแม้แต่ไม่สำเร็จการศึกษาตามแผนที่กำหนดเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการคงอยู่ของนักศึกษาตลอดหลักสูตรลดน้อยลงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลเสียและผลกระทบในหลายด้านทั้งในส่วนบุคคลและผู้ปกครองที่สูญเสียเวลา ค่าใช้จ่าย และเสียโอกาสในการได้งานทำ อีกทั้งหลักสูตรหรือคณะมีค่าใช้จ่ายและงบประมาณเพิ่มขึ้น หรือแม้แต่ประเทศที่อาจจะขาดแคลนบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ไปช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจได้ทัน ดังนั้นจึงนับเป็นปัญหาด้านการศึกษาที่ต้องเร่งแก้ไขอย่างเร่งด่วน จากการศึกษาของ Valverde-Berrococo, Acevedo-Borrega and Cerezo-Pizarro (2022) ที่ได้ศึกษาแนวทางและปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการจัดการสอนเพื่อส่งเสริมคุณภาพผู้เรียนในระดับอุดมศึกษา พบว่าการเสริมทักษะทางวิชาการและสังคม เพื่อเตรียมความพร้อมผู้เรียนก่อนเข้าสู่บทเรียนหรือหลักสูตรใหม่ และการนำข้อมูลของผู้เรียนมาประมวลผลด้วยนวัตกรรมทางการศึกษาเพื่อเข้าใจถึงบริบทและภูมิหลังผู้เรียนจะช่วยให้ผู้สอนรวมทั้งสถาบันการศึกษาสามารถจัดการผู้เรียนและพัฒนาคุณภาพการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยในด้านการเตรียมความพร้อมผู้เรียนนั้น ในคณะหรือมหาวิทยาลัยต่างๆ ได้มีการดำเนินการโดยจัดกิจกรรมเตรียมความพร้อมและส่งเสริมทักษะพื้นฐานด้านวิชาการและอื่น ๆ ให้กับนักศึกษาใหม่อย่างต่อเนื่อง แต่ก็พบว่าประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนกลับลดลง ทำให้ในหลายคณะหรือมหาวิทยาลัยมุ่งเน้นในส่วนการนำข้อมูลผู้เรียนมาช่วยวิเคราะห์ สรุปผล วิเคราะห์เชิงลึก คาดการณ์ผลการเรียนล่วงหน้าเพิ่ม อีกทั้งยังนำมาใช้สร้างเครื่องมือและรายงานสารสนเทศที่มีประโยชน์เพื่อสร้างความได้เปรียบและช่วยวางแผนการตัดสินใจด้านการศึกษาในมหาวิทยาลัยมากขึ้น

ดังนั้นจึงเห็นได้จากมีงานวิจัยจำนวนมากได้นำเสนอแนวคิดที่ประยุกต์ใช้เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ มานำเสนอโครงสร้างระบบ สร้างแบบจำลองพยากรณ์ผล รวมทั้งพัฒนาเครื่องมือต่าง ๆ ที่จะช่วยวิเคราะห์และพยากรณ์ประสิทธิภาพของผู้เรียนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการศึกษามากขึ้น เช่น Shou *et al.* (2024) ที่นำข้อมูลผู้เรียน คือ เพศ ประวัติครอบครัว รายได้ การใช้งานอินเทอร์เน็ต ระยะเวลาการเดินทาง และเวลาที่ใช้ในคลาสของผู้เรียนมาสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน เช่นเดียวกับ Kaensar and Wongnin (2023) และ Nachouki *et al.* (2023) ที่นำข้อมูลคะแนนผู้เรียนและบริบทของโรงเรียนมาสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของผู้เรียนร่วมด้วย ซึ่งผลการทดสอบระบบพบว่าผู้สอนสามารถใช้ข้อมูลในการคาดการณ์และวางแผนการสอน หรือติดตามผู้เรียนที่มีความเสี่ยงได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ งานวิจัย Alboaneen *et al.* (2022) ยังต่อยอดโดยการนำเสนอเว็บแอปพลิเคชันที่นำแบบจำลองพยากรณ์ผลผู้เรียนที่สร้างจากข้อมูลผู้เรียนและคะแนนสอบเข้ามาแทนเป็นองค์ความรู้ในระบบ ซึ่งข้อดี คือ เป็นเครื่องมือที่ผู้สอน หลักสูตร (สาขาวิชา) และมหาวิทยาลัยสามารถใช้พยากรณ์และสร้างรายงานผลการเรียนรู้ของผู้เรียนได้ นอกจากนี้ Kaensar and Wongnin (2024) ได้พัฒนาโมเดลด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและนำไปใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเป็นเครื่องมือในการทำนายความสำเร็จของนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เช่นเดียวกับ Riansut (2016) ที่ได้ค้นหาค่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเกรดเฉลี่ยสะสมของนิสิตระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยทักษิณ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าเกรดเฉลี่ยสะสมและการเลือกแผนการเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีผลต่อเกรดเฉลี่ยในมหาวิทยาลัยอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเสนอการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ผู้เรียนและพัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักศึกษาใหม่ โดยใช้ข้อมูลนักศึกษาที่ศึกษาในปีการศึกษา 2560-2564 จำนวน 1,336 คน ของ 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมซอฟต์แวร์ (Data Science and Software Innovation: DSSI) เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information Technology and Communications: ICT) เคมี (Chemistry) และจุลชีววิทยา (Biology) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ซึ่งประกอบด้วยการทำงาน 2 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ผลการเรียนนักศึกษาใหม่ด้วยเทคนิคป่าสุ่ม (Random Forest) โดยใช้ข้อมูลผลการเรียนในอดีตของนักศึกษา จำนวน 11 ปัจจัย ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลสาขาวิชา ข้อมูลคะแนนจากโรงเรียน ได้แก่ เกรดเฉลี่ย ข้อมูลคะแนนใน 8 กลุ่มสาระ (1. กลุ่มภาษาไทย 2. คณิตศาสตร์ 3. วิทยาศาสตร์ 4. สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม 5. สุขศึกษาและพลศึกษา 6. ศิลปะ 7. การงานอาชีพและเทคโนโลยี และ 8. ภาษาต่างประเทศ) และข้อมูลคะแนนเกรดเฉลี่ยปี 1 ในมหาวิทยาลัย 2) ส่วนการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันซึ่งถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันด้วยจังก์โก้เฟรมเวิร์ก (Django Framework) และจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลโพสตรีกวิเควล (PostgreSQL) เพื่อนำแบบจำลองต้นแบบมาใช้งานและสรุปเป็นรายงานต่าง ๆ โดยประโยชน์ของงานวิจัยนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานระดับต่าง ๆ กล่าวคือ ผู้เรียนสามารถใช้พยากรณ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักศึกษาใหม่ได้ ผู้สอนทราบข้อมูลผู้เรียนที่มีความเสี่ยงในการตกออกหรือมีผลการเรียนน้อยในปีแรกได้ ซึ่งผู้สอนสามารถวางแผนและจัดการสอนที่เหมาะสมในรายบุคคลได้ ในขณะที่สาขาวิชาหรือคณะ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการจัดกิจกรรมเตรียมความพร้อมและเสริมทักษะให้กับผู้เรียนได้สอดคล้องมากขึ้น

ในงานวิจัยนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนคำถามงานวิจัย แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โครงสร้างและวิธีดำเนินงานในระบบ ผลการทดสอบระบบและการอภิปรายผล รวมทั้งสรุปและแนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักศึกษาจำนวน 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เคมี และจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ด้วยเทคนิคป่าสุ่ม
2. เพื่อนำเสนอโครงสร้างระบบต้นแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันในการพยากรณ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้วย จังโก้ เฟรมเวิร์กและโพสต์เกรสคิวเอล ของนักศึกษาจำนวน 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เคมี และจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

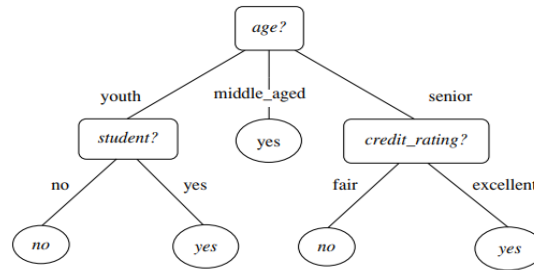
แบบจำลองการจำแนกประเภท (Classification Model)

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพยากรณ์ประเภทของข้อมูล ที่จัดอยู่ในแบบจำลองประเภทการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning Model) โดยนำชุดข้อมูลที่มีอยู่มาพัฒนาแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์และประยุกต์ใช้หาคำตอบให้กับชุดข้อมูลใหม่ที่เข้ามา (Naresuan University Publishing House, 2023) ประเภทของแบบจำลองนี้ แบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก (Data Innovation and Governance Institute, 2022) ได้แก่

1. การจำแนกประเภทแบบไบนารี (Binary Classification) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้าเพื่อพยากรณ์คลาสคำตอบเพียง 2 คลาส เช่น การพยากรณ์การยืนยันสิทธิ์เข้าศึกษาของนักศึกษาใหม่ในระดับมหาวิทยาลัยช่วงสถานการณ์แพร่ระบาดของโควิด-19 ที่มีข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลการรับเข้าของนักศึกษา โดยให้แบบจำลองพยากรณ์ว่านักศึกษาใหม่จะยืนยันสิทธิ์ หรือไม่ยืนยันสิทธิ์ (Kongchai, Hiranpongsin and Ditcharoen, 2024)
2. การจำแนกประเภทแบบหลายคลาส (Multi-Class Classification) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่คล้ายกับการจำแนกประเภทแบบไบนารี เพียงแต่จะมีคลาสคำตอบมากกว่า 2 คลาส ซึ่งจะจำแนกคุณสมบัติของข้อมูลออกเป็นหลายประเภทที่มีความแตกต่างกัน เช่น การจำแนกโรคใบข้าวโพด ด้วยข้อมูลนำเข้าที่เป็นภาพของใบข้าวโพดที่เป็นโรค 3 ประเภท ได้แก่ โรคใบไหม้แผลใหญ่ โรคราสนิม และโรคใบจุดสีเทา และภาพของใบข้าวโพดปกติ รวมเป็น 4 คลาสคำตอบ โดยแบบจำลองจะพยากรณ์ว่าภาพที่นำเข้านั้นจัดอยู่ใน 1 ใน 4 คลาสใด (Mekha et al., 2023)
3. การจำแนกประเภทแบบหลายเลเบล (Multi-Label Classification) เป็นการจำแนกที่มีคลาสคำตอบมากกว่า 2 คลาส และต่างจากการจำแนกประเภทแบบหลายคลาส เนื่องจากข้อมูลชุดหนึ่งอาจมีข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนกันแต่สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างกัน เช่น รูปภาพเกี่ยวกับทะเล ภาพหนึ่งจะถูกจำแนกเป็นคลาสคำตอบใดคลาสคำตอบหนึ่ง เช่น ภาพถ่าย ภาพวาด หรือภาพพระบายสี ด้วยการจำแนกประเภทแบบหลายคลาส ในขณะที่การจำแนกประเภทแบบหลายเลเบลภาพ ๆ นั้น จะถูกเลเบลว่าในภาพมี นก น้ำทะเล เรือ หรือ ท้องฟ้า หรือไม่ (Brownlee, 2020)

เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Technique)

การนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ในรูปแบบโครงสร้างต้นไม้ สามารถสร้างแบบจำลองการจำแนกประเภทได้จากกลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่กำหนดไว้ล่วงหน้า และพยากรณ์กลุ่มของรายการที่ยังไม่เคยนำมาจำแนกประเภทได้ด้วยรูปแบบของต้นไม้ โครงสร้างของต้นไม้ ประกอบด้วยโหนดภายในต่าง ๆ ซึ่งแสดงถึงเงื่อนไขหรือคุณลักษณะหนึ่ง ๆ ของข้อมูล โดยที่แต่ละกิ่งของโหนดหนึ่ง ๆ หมายถึงค่าที่เป็นไปได้จากการทดสอบกับคุณลักษณะนั้น ๆ และโหนดใบซึ่งจะมีประเภทของข้อมูลถูกจัดเก็บไว้ ตัวอย่างต้นไม้ตัดสินใจแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งแสดงการพยากรณ์การซื้อคอมพิวเตอร์ด้วยข้อมูลนำเข้าคือคุณลักษณะของลูกค้า โดยโหนดภายในต่าง ๆ จะถูกแทนด้วยสี่เหลี่ยม และโหนดใบจะถูกแทนด้วยวงรี จากรูปจะพบว่าโหนดใบเป็นโหนดที่บ่งบอกถึงประเภทของคำตอบที่ต้องการซึ่งมี 2 คลาส ได้แก่ “yes” หมายถึง ลูกค้าจะซื้อคอมพิวเตอร์ และ “no” หมายถึง ลูกค้าจะไม่ซื้อคอมพิวเตอร์ (Han, Kamber and Pei, 2012)



ภาพที่ 1 ต้นไม้ตัดสินใจแสดงการพยากรณ์การซื้อคอมพิวเตอร์
ที่มา: Han, Kamber and Pei (2012)

การจำแนกประเภทของต้นไม้ตัดสินใจจะใช้ Gini Impurity (Gini) (Jamjumrat, 2022) ซึ่งเป็นหนึ่งในค่าที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกโหนดที่ดีที่สุดในการแบ่งข้อมูล (Split point) เพื่อสร้างกิ่งหรือทางแยก โดยค่า Gini เป็นการนำผลรวมของค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจมาคูณด้วยผลต่างระหว่าง 1 และค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$GiNi = \sum_{i=1}^C p(i) \times (1 - p(i)) \quad (1)$$

โดยที่

- C คือ จำนวนคลาสคำตอบทั้งหมด
p(i) คือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สนใจของคลาสที่ i

หลังจากได้ค่า Gini ของแต่ละกลุ่มในทุก ๆ ตัวแปรแล้ว จะทำการหาค่าถ่วงน้ำหนักของค่า Gini (Weighted Gini) เพื่อเลือกตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของค่า Gini ต่ำที่สุดมาใช้ในการตัดสินใจ (โหนดที่ดีที่สุดเพื่อสร้างทางแยก) ก่อน เนื่องจากสามารถแบ่งข้อมูลได้ดีที่สุด โดยค่า Weighted Gini เป็นผลรวมของจำนวนข้อมูลของคลาสที่ i ในตัวแปรที่สนใจหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมดในตัวแปรที่สนใจและคูณกับค่า Gini ในเหตุการณ์ที่สนใจ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$Weighted\ GiNi = \sum_{i=1}^C \frac{n_i}{n} Gini(i) \quad (2)$$

โดยที่

- C คือ จำนวนคลาสคำตอบทั้งหมด
n(i) คือ จำนวนข้อมูลของคลาสที่ i ในตัวแปรที่สนใจ
n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดในตัวแปรที่สนใจ
Gini(i) คือ ค่า Gini ในเหตุการณ์ที่สนใจของคลาสที่ i

เทคนิคป่าสุ่ม (Random Forest Technique)

ป่าสุ่มเป็นหนึ่งในอัลกอริทึมที่เป็นตัวอย่างของวิธีการเอนเซมเบิล (Ensemble) ซึ่งใช้หลักการรวมหลายอัลกอริทึมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกประเภทข้อมูล และจัดอยู่ในกลุ่มต้นไม้ตัดสินใจ โดยป่าสุ่มจะถูกสร้างจากต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ ต้น ซึ่งจะเรียนรู้ข้อมูลไม่เหมือนกันจากกลุ่มตัวอย่างย่อยแบบสุ่มจากชุดข้อมูลฝึกฝนและคุณลักษณะแบบสุ่ม ในการพยากรณ์ผลเป็นการพยากรณ์จากต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นร่วมกัน โดยต้นไม้ตัดสินใจเหล่านั้นจะพยากรณ์ผลของตัวเอง และคำนวณผลของการพยากรณ์จากการโหวต (Vote) ซึ่งช่วยลดปัญหาการเกิดโอเวอร์ฟิตติ้ง (Overfitting) ของแบบจำลองและมีแนวโน้มที่การพยากรณ์จะมีความแม่นยำมากกว่าการพยากรณ์ด้วยต้นไม้ตัดสินใจเพียงต้นเดียว (Han, Kamber and Pei, 2012; Shalev-Shwartz and Ben-David, 2014)

ตัวชี้วัดสำหรับการประเมินประสิทธิภาพ (Confusion Matrix)

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเป็นส่วนสำคัญที่จะประเมินการพยากรณ์ของแบบจำลองว่าสามารถพยากรณ์ได้ดีเพียงใด ตัวชี้วัดสำหรับประเมินการจำแนกประเภท ได้แก่ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ

(Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่า F1-Score (Han, Kamber and Pei, 2012; Soontranon, 2023) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3) - (6) ตามลำดับ

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} \tag{3}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \tag{4}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \tag{5}$$

$$F1 - Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \tag{6}$$

โดยที่

True Positive (TP) คือ พยากรณ์ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง กรณี พยากรณ์ว่าจริงและสิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

True Negative (TN) คือ พยากรณ์ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง กรณี พยากรณ์ว่าไม่จริงและสิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง

False Positive (FP) คือ พยากรณ์ไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง กรณี พยากรณ์ว่าจริงแต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ไม่จริง

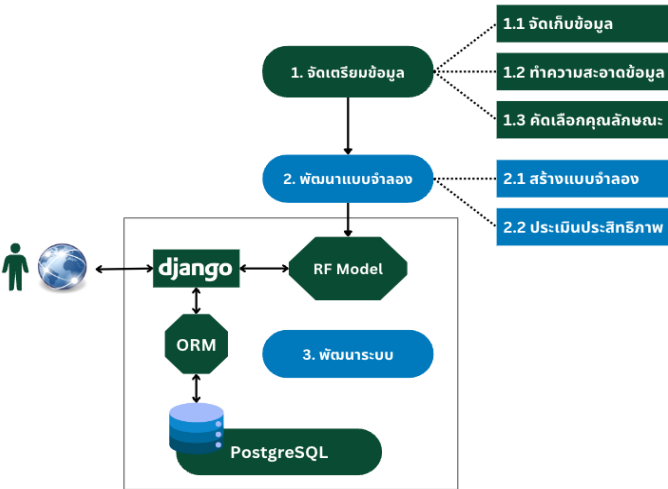
False Negative (FN) คือ พยากรณ์ไม่ตรงกับที่ที่เกิดขึ้นจริง กรณี พยากรณ์ว่าไม่จริงแต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

จังกโเฟรมเวิร์ก (Django Framework)

เฟรมเวิร์กสำหรับสร้างเว็บแอปพลิเคชันฝั่งแบ็กเอนด์ (Back End) ที่พัฒนาด้วยภาษาไพธอน (Python) มีเป้าหมายหลักในการทำให้การสร้างเว็บไซต์ที่ทำงานร่วมกับฐานข้อมูลที่มีความซับซ้อนในง่ายขึ้น จังกโใช้สถาปัตยกรรมแบบ Model-View-Template (MVT) โดย Model ทำหน้าที่เป็นอินเทอร์เฟซ (Interface) ระหว่างฐานข้อมูลและเซิร์ฟเวอร์ (Server) View เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเขียนฟังก์ชันต่าง ๆ จัดการกับการร้องขอ/การตอบกลับ (Request/Response) คำขอของผู้ใช้ การแสดงผล (Render) หน้า HTML ไปแสดงผลที่ส่วนเทมเพลต (Template) รวมถึงการทำการสอบถาม (Query) ข้อมูลจากฐานข้อมูล จังกโเฟรมเวิร์กมีการจัดระเบียบเป็นอย่างดี และมีโครงสร้างพร้อมใช้งานสำหรับงานพัฒนาเว็บทั่วไป เช่น การยืนยันตัวตนผู้ใช้ การจัดการเนื้อหา แผนผังเว็บไซต์ และเว็บฟีดอาร์เอสเอส (RSS feed) (Amazon Web Services, 2024)

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การจัดเตรียมข้อมูล การพัฒนาแบบจำลอง และการพัฒนาระบบ โดยมีลำดับการดำเนินการตามภาพที่ 2 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย

การจัดเตรียมข้อมูล (Data preparation)

1. **จัดเก็บข้อมูลดิบ (Raw Data)** ในขั้นตอนนี้ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เช่น ข้อมูลการศึกษาของนักเรียน ข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มสาระ ข้อมูลเสริมเพิ่มเติมที่อาจจะมีผลต่อการพยากรณ์ โดยมีการรวบรวมข้อมูลดังนี้

1.1 ข้อมูลนำเข้า เนื่องจากงานวิจัยของ Wongsakoonkan *et al.* (2021) ระบุว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ในมหาวิทยาลัยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งหลักสูตรต่าง ๆ ในคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีการใช้ความรู้จากรายวิชาต่าง ๆ ในกลุ่มวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และกลุ่มเทคโนโลยี เป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อในแต่ละสาขาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การประเมินผลการเรียนในแต่ละโรงเรียนก็มีความแตกต่างกันด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ข้อมูลนำเข้าประเภทคะแนนสอบ ซึ่งประกอบด้วย เกรดเฉลี่ยในโรงเรียน คะแนนใน 8 กลุ่มสาระ และผลการเรียนในระดับชั้นปีที่ 1 ในมหาวิทยาลัย มาใช้เพื่อช่วยทำนายผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนในระดับมหาวิทยาลัย

โดยข้อมูลนำเข้ามีจำนวนปัจจัยทั้งหมด 11 ปัจจัย ประกอบด้วยข้อมูลสาขาวิชา และข้อมูลคะแนนจากโรงเรียน ได้แก่ ข้อมูลสาขาวิชา ข้อมูลคะแนนจากโรงเรียน เช่น เกรดเฉลี่ย ข้อมูลคะแนนใน 8 กลุ่มสาระ (1. กลุ่มภาษาไทย 2. คณิตศาสตร์ 3. วิทยาศาสตร์ 4. สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม 5. สุขศึกษาและพลศึกษา 6. ศิลปะ 7. การงานอาชีพและเทคโนโลยี และ 8. ภาษาต่างประเทศ) และข้อมูลคะแนนเกรดเฉลี่ยปี 1 ในมหาวิทยาลัย

1.2 ข้อมูลเป้าหมาย เป็นสถานะการศึกษาเมื่อสิ้นสุดภาคเรียนที่ 2 ในระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งประกอบด้วย 2 สถานะ ได้แก่ ผ่าน (ได้ผลการเรียนมากกว่า 2.00) และตก (ได้ผลการเรียนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.00 และสถานะอื่น ๆ เช่น ลาออก ย้ายสาขา)

2. **ทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing)** หลังจากการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะมีการทำความสะอาดข้อมูล โดยการตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของข้อมูล เช่น ตรวจสอบข้อมูลที่ขาดหายไป ตรวจสอบข้อมูลซ้ำซ้อน และการจัดระเบียบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการนำเข้าแบบจำลอง

3. **คัดเลือกคุณลักษณะและแปลงข้อมูล (Feature Selection and Feature Engineering)** ในขั้นตอนสุดท้าย เป็นการคัดเลือกคุณลักษณะที่มีผลต่อการพยากรณ์และนำเข้าสู่ระบบ ซึ่งจากการพิจารณาข้อมูลที่รวบรวมมา งานวิจัยนี้เลือกใช้ทั้ง 11 ปัจจัย และการทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ต่อไป

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลหลังจากทำการเตรียมข้อมูล

ลำดับ	แอตทริบิวต์	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด	ค่าที่เป็นไปได้
1	branch	ตัวอักษร	สาขาวิชา	{DSSI, ICT, CHEM, BIO}
2	admission_grade	ตัวเลข	เกรดเฉลี่ยรับเข้า	{very poor, poor, medium, good, very good, excellent} very poor = เกรด < 1.50, poor = เกรด 1.50 - 1.99, medium = เกรด 2.00 - 2.49, good = เกรด 2.50 -2.99, very good = เกรด 3.00 - 3.49, excellent = เกรด 3.50 – 4.00
3	gpa_year_1	ตัวเลข	เกรดเฉลี่ยชั้นปี 1	
4	thai	ตัวเลข	เกรดวิชาภาษาไทย	
5	math	ตัวเลข	เกรดวิชาคณิตศาสตร์	
6	sci	ตัวเลข	เกรดวิชาวิทยาศาสตร์	
7	society	ตัวเลข	เกรดวิชาสังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม	
8	hygiene	ตัวเลข	เกรดวิชาสุขศึกษา และพลศึกษา	
9	art	ตัวเลข	เกรดวิชาศิลปะ	
10	career	ตัวเลข	เกรดวิชาการงานอาชีพและเทคโนโลยี	
11	languages	ตัวเลข	เกรดวิชาภาษาต่างประเทศ	
12	status	ตัวอักษร	สถานะผลการเรียนเมื่อสิ้นสุดภาคเรียนที่ 2 ในระดับมหาวิทยาลัย	{Pass, Fail} โดย Pass คือมีผลการเรียนมากกว่า 2.00 และ Fail คือสถานะอื่นๆ เช่น มีผลการเรียนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.00 หรือ ลาออก ย้ายสาขา

การพัฒนาแบบจำลอง (Model development)

1. สร้างแบบจำลอง ทีมวิจัยได้พัฒนาคำสั่ง create-model เพื่อสร้างแบบจำลองโดยใช้รูปแบบการสร้างคำสั่งเสริมบน จังโก้ ทำให้สามารถใช้คำสั่งเพื่อเรียกใช้ชุดข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในตารางของระบบจัดการฐานข้อมูลโพสต์เกรสคิวเอล โดยใช้เงื่อนไขการกรองข้อมูลตามสาขาที่ต้องการแล้วแยกตัวแปรต้นและตัวแปรตามเพื่อผ่านเข้าขั้นตอนการแปลงข้อมูล (Pre-processing) จึงสามารถป้อนข้อมูลให้แบบจำลองป่าสุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 3

```

1 data = TrainingData.objects.filter(
2     Q(branch_id__contains=settings.BRANCHES[0])
3     | Q(branch_id__contains=settings.BRANCHES[1])
4 ).values()
5 df = pd.DataFrame(data)
6 features = settings.FEATURES
7 target = settings.TARGET
8 X = df[features]
9 y = df[target]
10 pipeline = Pipeline(steps=[ ('preprocessor', ColumnTransformer(
11     remainder='passthrough',
12     transformers=[('categories',
13         OneHotEncoder(handle_unknown='ignore'), features)])),
14     ('trainer', RandomForestClassifier(
15         criterion='gini',
16         n_estimators=100,
17         random_state=123,
18         class_weight={'status': 'balanced'},
19         max_depth=5))
20     ] )
21

```

ภาพที่ 3 คำสั่งกรองข้อมูล แยกตัวแปร แปลงข้อมูลและสร้างแบบจำลอง

2. การฝึกและการทดสอบแบบจำลอง หลังจากการสร้างแบบจำลองเสร็จสิ้น จะส่งข้อมูลที่แปลงแล้วให้กับแบบจำลองเพื่อทำการฝึกโดยใช้คำสั่ง fit ก่อนจะทำการทดสอบแบบจำลอง โดยแบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึกและชุดทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยการใช้ 10-Fold cross-validation แล้วแสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนความแม่นยำทั้ง 10 รอบการทดลอง เพื่อป้องกันการโอเวอร์ฟิตติ้ง หรืออันเดอร์ฟิตติ้ง (Underfitting) ของแบบจำลอง ตามคำสั่งที่แสดงในภาพที่ 4

```

1 model = pipeline.fit(X, y)
2
3 cv_result = cross_validate(pipeline, X, y, cv=10)
4 avg_accuracy = cv_result['test_score'].mean()
5

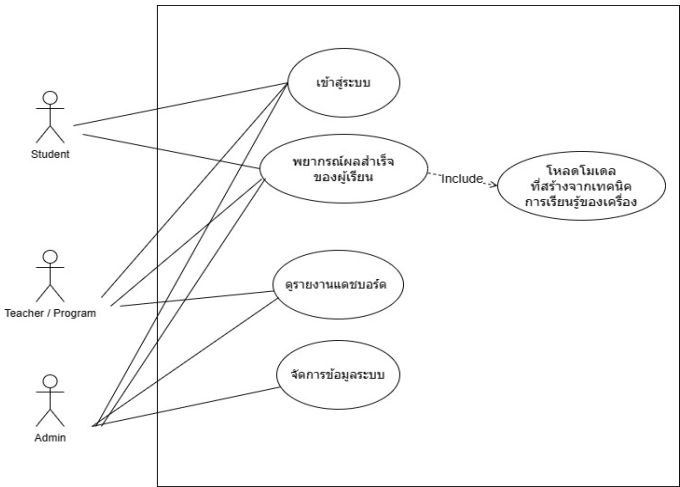
```

ภาพที่ 4 คำสั่งฝึกและการทดสอบ

การพัฒนาเว็บ (Web application development)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำแบบจำลองการพยากรณ์ผลที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้ามาประยุกต์และใช้งานภายในสภาพแวดล้อมของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อต่อยอดและแทนองค์ความรู้ในระบบ โดยจะใช้จังโก้เฟรมเวิร์กมาช่วยจัดการและประมวลผลผลลัพธ์ในระบบ และใช้โพสต์เกรสคิวเอลเพื่อช่วยจัดการฐานข้อมูล แบบจำลองและข้อมูลผู้ใช้ต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปการทำงานได้ดังนี้

1. การวางแผนและออกแบบระบบ (Planning and Design) เป็นการวิเคราะห์และออกแบบฟังก์ชันการทำงานให้กับระบบ ซึ่งสามารถสรุปการทำงานของระบบได้ดังแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ดังภาพที่ 5



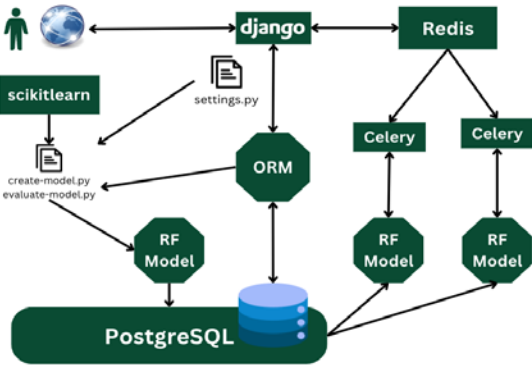
ภาพที่ 5 สรุปลักษณะการทำงานของระบบผ่านแผนภาพยูสเคส

จากภาพที่ 5 แสดงฟังก์ชันการทำงานของระบบ โดยสามารถสรุปและอธิบายฟังก์ชันการทำงานได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดฟังก์ชันการทำงาน

ฟังก์ชัน	รายละเอียดการทำงาน
เข้าสู่ระบบ	ตรวจสอบสิทธิ์ผู้ใช้ โดยจะมีการเรียกใช้การยืนยันตน (LDAP Authentication) ผ่านบริการผู้ใช้ (User) และรหัสผ่าน (Password) ของมหาวิทยาลัย
พยากรณ์ผลสำเร็จของผู้เรียน	พยากรณ์ผลสำเร็จของผู้เรียน โดยจะตรวจสอบจากข้อมูลนำเข้า 11 ปัจจัย และนำมาวิเคราะห์ประมวลผล กับแบบจำลองการพยากรณ์ผล เพื่อแสดงสถานะการสำเร็จการศึกษา
ดูรายงานแดชบอร์ด	นำผลการพยากรณ์มาแสดงรายงานแดชบอร์ดเพื่อแจ้งเตือนผู้เรียนและผู้สอนในสาขาวิชา ในการติดตามและประเมินความเสี่ยงของผู้เรียน
จัดการข้อมูลในระบบ	จัดการค่าข้อมูลแบบจำลอง ข้อมูลผู้ใช้ และค่าต่าง ๆ ในระบบ

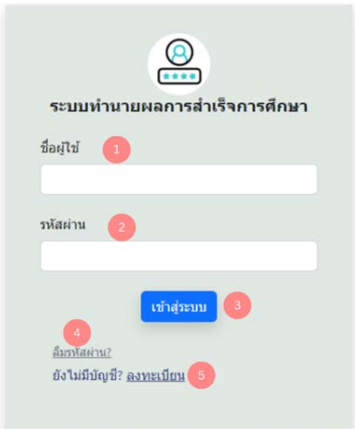
2. การออกแบบสถาปัตยกรรมในการทำงานร่วมกัน โดยจะใช้จังก์เฟรมเวิร์กซึ่งทำงานบนพื้นฐานของ MVT (Model-View-Template) เข้ามาพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันตามฟังก์ชันที่กำหนดในแผนภาพยูสเคส ซึ่งจะมีการนำแบบจำลองการพยากรณ์ที่ได้จากขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองข้างต้นมาใช้งานร่วมด้วย โดยเมื่อผู้ใช้ติดต่อและร้องขอข้อมูลไปยังส่วนจังก์ เช่น การพยากรณ์ผลการเรียนรู้ หรือการขอดูรายงานแดชบอร์ดในฝั่งเซิร์ฟเวอร์จะมีการส่งรายการไปยังเรดิส (Redis) จากนั้นรายการจะถูกแบ่งเป็นงานย่อยแบบขนานโดยเซเลอรี (Celery) ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการโหลดแบบจำลองการพยากรณ์ในฐานข้อมูลเพื่อหาผลลัพธ์สถานะการเรียนรู้ของผู้เรียนจากข้อมูลนำเข้าที่สอดคล้องกัน ก่อนส่งผลลัพธ์ที่ได้กลับไปยังส่วนแสดงผลในเบราว์เซอร์ในฝั่งไคลเอนต์ (Client) เพื่อแสดงผลการพยากรณ์การเรียนรู้ หรือรายงานแดชบอร์ดที่เกี่ยวข้องต่อไป ซึ่งแสดงขั้นตอนได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การออกแบบสถาปัตยกรรมในการทำงานร่วมกันในระบบ

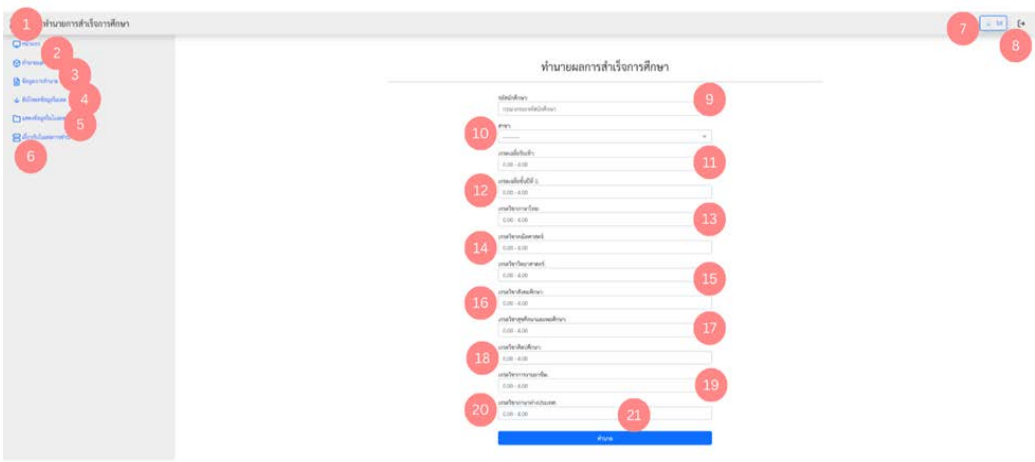
3. การสร้างเว็บแอปพลิเคชัน โดยนำกลไกการทำงานข้างต้นมาจัดการและพัฒนาระบบ ซึ่งสรุปการทำงานได้ 4 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1: ส่วนเข้าสู่ระบบ เป็นส่วนตรวจสอบสิทธิ์การใช้งานระบบของผู้ใช้ ซึ่งส่วนนี้จะมีการเรียกบริการของ Lightweight Directory Access Protocol (LDAP) Authentication ของมหาวิทยาลัยเพื่อตรวจสอบสิทธิ์ของผู้ใช้งานในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 7

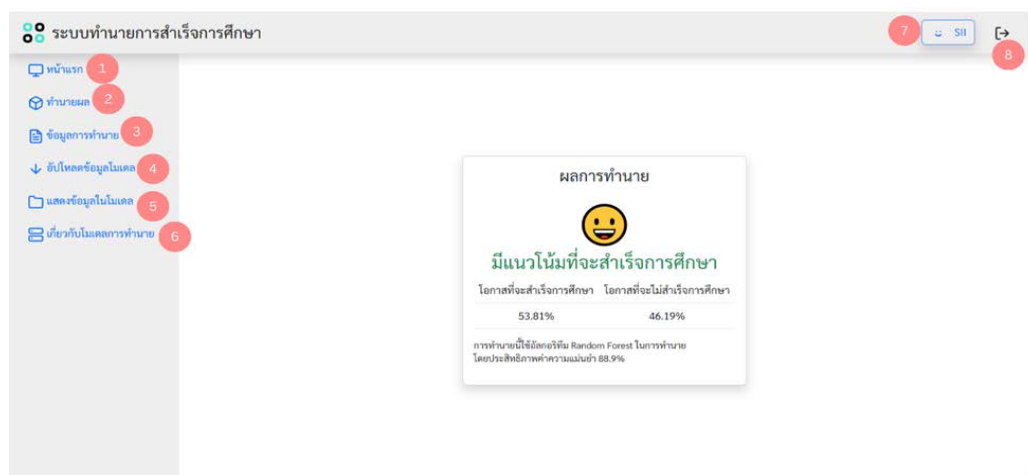


ภาพที่ 7 ส่วนเข้าสู่ระบบ

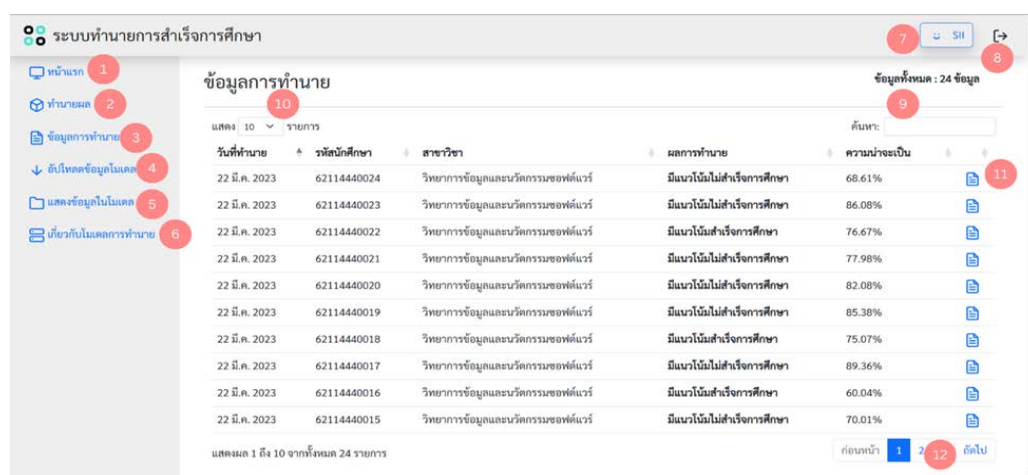
ส่วนที่ 2: ส่วนพยากรณ์ผลการเรียนรู้ของผู้เรียน เป็นส่วนที่ทำหน้าที่พยากรณ์ผลสำเร็จของผู้เรียน โดยนำข้อมูลเข้าแต่ละรายการประกอบด้วย 11 ปัจจัย เพื่อไปประมวลผลผ่านแบบจำลองการพยากรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 8 จากนั้นแสดงผลการพยากรณ์ซึ่งสามารถดำเนินการได้ 2 รูปแบบ แบบแรก คือ การพยากรณ์แบบรายบุคคล ที่ระบุข้อมูลและพยากรณ์ประสิทธิภาพของผู้เรียนแบบรายบุคคลได้ ดังแสดงในภาพที่ 9 ในขณะที่แบบที่ 2 คือ การพยากรณ์แบบรายกลุ่ม ที่สามารถอัปโหลดไฟล์ข้อมูลผู้เรียนแบบหลายคนเข้าไปในระบบ ก่อนจะสรุปผลการพยากรณ์ความสำเร็จในรูปแบบตาราง ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 8 การนำข้อมูลเข้าระบบเพื่อประมวลผลผ่านแบบจำลองการพยากรณ์

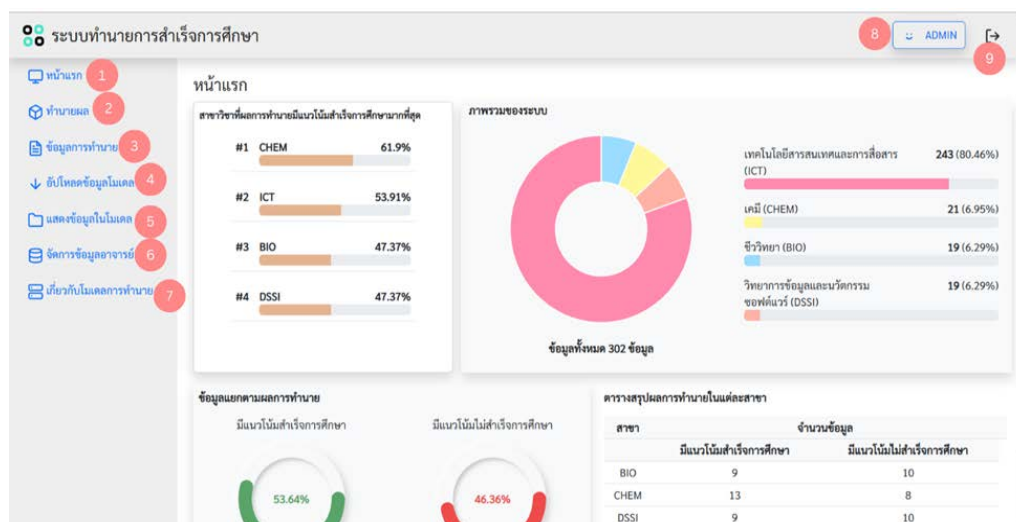


ภาพที่ 9 การพยากรณ์แบบรายบุคคล



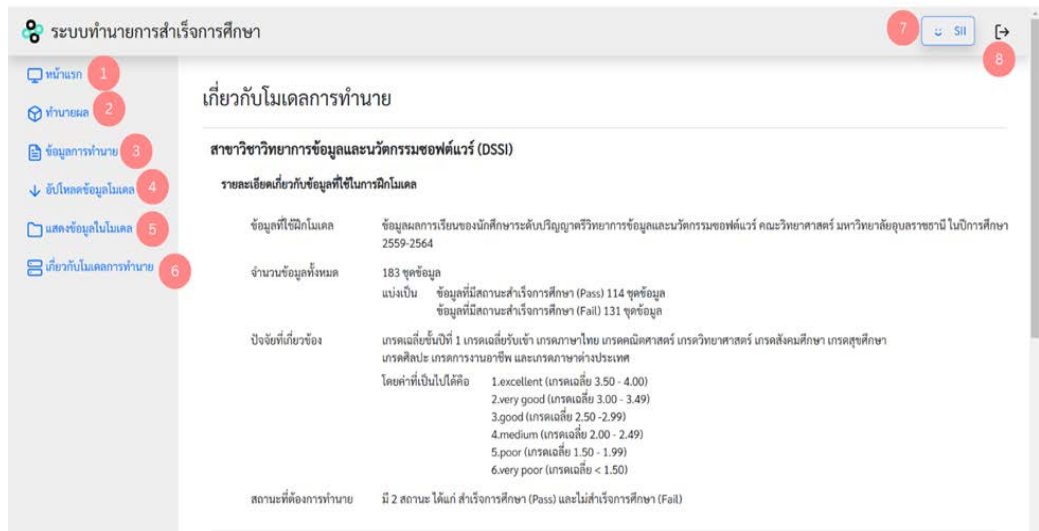
ภาพที่ 10 การพยากรณ์แบบรายกลุ่ม

ส่วนที่ 3: ส่วนรายงานผลแดชบอร์ด เป็นส่วนงานที่ทำหน้าที่แสดงผลรายงานผลการพยากรณ์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของผู้เรียนในระบบจำแนกตามสาขาวิชา โดยจะแสดงอยู่ในรูปแบบของกราฟต่าง ๆ ซึ่งการเข้าถึงข้อมูลจะเป็นไปตามสิทธิ์ของผู้ใช้ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ส่วนรายงานผลแดชบอร์ด

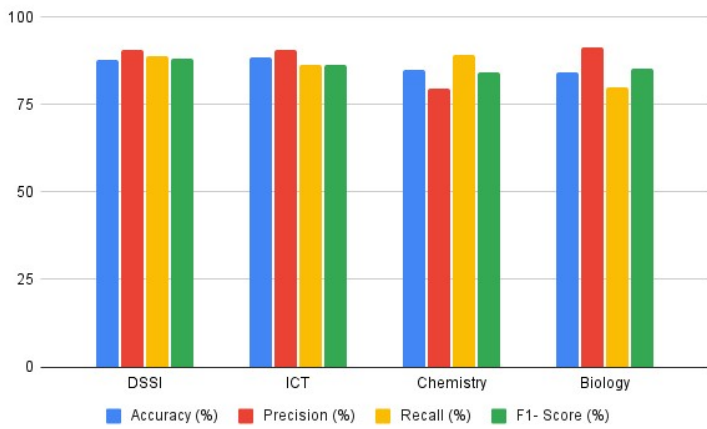
ส่วนที่ 4: ส่วนจัดการค่าต่าง ๆ ในระบบ เป็นการจัดการแก้ไขข้อมูลผู้ใช้ ข้อมูลแบบจำลองและค่าต่าง ๆ ในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ส่วนจัดการค่าต่าง ๆ ในระบบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการวัดประสิทธิภาพการทำงาน จะดำเนินการ 2 ส่วน ได้แก่ การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ผล โดยใช้ตัวชี้วัดสำหรับการประเมินประสิทธิภาพเพื่อประเมินความแม่นยำในการพยากรณ์ผลของแบบจำลองด้วย อัลกอริทึมป่าสุ่ม ได้แก่ ค่า Precision ค่า Accuracy ค่า Recall และ ค่า F1-measure เพื่อปรับและประเมินแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพที่สูงสุดเท่าที่เป็นไปได้ โดยประสิทธิภาพของแบบจำลองเมื่อทดสอบแยกตามสาขาวิชา ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3 และแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองแยกตามสาขาวิชา

จากตารางที่ 3 พบว่า อัลกอริทึมป่าสุ่มสามารถสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ผลที่ให้ความแม่นยำและความถูกต้อง โดยมีค่า F1-measure สูงเท่ากับ 84% - 88% ซึ่งเป็นผลจากการจัดเตรียมข้อมูล การสร้างและทดสอบแบบจำลอง รวมทั้งการใช้อัลกอริทึมป่าสุ่มในการสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับบริบทข้อมูลของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ทั้ง 4 สาขาวิชา ซึ่งสอดคล้องกับผลของงานวิจัยของ Hailu and Murty (2019) ที่ระบุว่าเทคนิคป่าสุ่มสามารถสร้างแบบจำลองที่ใช้พยากรณ์ประสิทธิภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งให้ความแม่นยำสูงถึง 95% อย่างไรก็ตาม การจัดการเวลาในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคป่าสุ่มยังมีการดำเนินการที่สูงอยู่ (Time-consuming process)

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

สาขาวิชา	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1- Score (%)
DSSI	87.70 %	90.64 %	88.77 %	88.02 %
ICT	88.48 %	90.59 %	86.31 %	86.18 %
Chemistry	84.88 %	79.63 %	88.97 %	84.04 %
Biology	84.12 %	91.27 %	79.86 %	85.18 %

การประเมินและทดสอบการทำงานของระบบ

ในการทดสอบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน จะทดสอบการทำงานของฟังก์ชันในรูปแบบการทดสอบกล่องดำ (Black box testing) เพื่อประเมินว่าฟังก์ชันสามารถทำงาน ประมวลผล และสร้างผลลัพธ์ได้ตามข้อมูลนำเข้าได้ตามวัตถุประสงค์ของฟังก์ชันนั้น ๆ โดยสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

แผนการทดสอบ (Test Case)	ข้อมูลนำเข้า	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง	ผลสรุป
เข้าสู่ระบบ	ข้อมูลผู้ใช้และรหัสผ่าน	เรียกใช้บริการ LDAP Authentication และได้รับผลข้อมูลเป็นประเภทหรือสถานะผู้ใช้	✓
พยากรณ์ผลการสำเร็จการศึกษา	ข้อมูลนำเข้าของผู้ใช้ จำแนกตามสาขา	ผลการพยากรณ์ความสำเร็จของผู้เรียนที่สอดคล้องกับสาขาวิชา	✓
รายงานสรุปผลผู้เรียน	ข้อมูลสาขา หรือชั้นปีที่ต้องการตรวจสอบ	รายงานที่แสดงผลการพยากรณ์จำแนกตามชั้นปี และสาขาวิชาที่ถูกต้อง	✓
การจัดการข้อมูลระบบ	ข้อมูลผู้ใช้ ข้อมูลแบบจำลอง	ข้อมูลผู้ใช้และข้อมูลแบบจำลองที่ถูกอัปเดตแล้ว	✓

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ สรุปได้ว่า ระเบียบวิธีที่เสนอซึ่งประกอบด้วยการจัดเตรียมข้อมูล พัฒนาแบบจำลอง ซึ่งนำมาใช้งานและทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมของจังก์ท์เฟรมเวิร์ก และนำเสนอผลลัพธ์ผ่านเว็บแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li and Zhao (2020) ที่พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลการตกออกและนำผลลัพธ์มาใช้งานในเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งผลการทำงานคือระบบสามารถทำงานร่วมกันและประมวลผลผลลัพธ์ได้ถูกต้อง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาของผู้เรียนด้วยเทคนิคป่าสุ่ม ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาและสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การสำเร็จการศึกษาของผู้เรียนด้วยเทคนิคป่าสุ่ม โดยได้รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 4 สาขาวิชา ของนักศึกษาจำนวน 1,336 คน ที่ศึกษาระหว่างปีการศึกษา 2560-2564 โดยใช้ข้อมูล 11 ปัจจัย ได้แก่ ข้อมูลสาขาวิชา ข้อมูลคะแนนจากโรงเรียน ได้แก่ เกรดเฉลี่ย ข้อมูลคะแนนใน 8 กลุ่มสาระ (1. กลุ่มภาษาไทย 2. คณิตศาสตร์ 3. วิทยาศาสตร์ 4. สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม 5. สุขศึกษาและพลศึกษา 6. ศิลปะ 7. การงานอาชีพและเทคโนโลยี และ 8. ภาษาต่างประเทศ) และข้อมูลคะแนนเกรดเฉลี่ยปี 1 ในมหาวิทยาลัย ซึ่งผลลัพธ์จะได้แบบจำลองการพยากรณ์ผลความสำเร็จของผู้เรียนที่สามารถนำไปใช้แทนความรู้เพื่อสร้างเครื่องมือพยากรณ์ผลและรายงานในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วยจังก์ท์เฟรมเวิร์กและจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลโพสท์เกรสคิวเอล ซึ่งจะช่วยสนับสนุนผู้ใช้งานในระดับต่าง ๆ ได้ เช่น ผู้เรียนและผู้สอนในสาขาวิชา สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์ผลความสำเร็จ ดูรายงานแดชบอร์ดเพื่อประเมินความเสี่ยง หรือติดตามสถานะผู้เรียนในระยะแรกได้ เพิ่มอัตราคงอยู่ รวมทั้งวางแผนการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาได้ นอกจากนี้ระเบียบวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบหรือต่อยอดในสาขาวิชาหรือคณะที่มีบริบทของข้อมูลที่คล้ายกันได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพการศึกษาต่อไป

แนวทางการพัฒนาในอนาคต ทีมวิจัยจะมีการคัดกรองกลุ่มนักศึกษาตัวอย่างและนำข้อมูลส่วนอื่น ๆ ของผู้เรียน และสาขาวิชาอื่น ๆ มาวิเคราะห์เพิ่มเติม เช่น ข้อมูลส่วนตัว ข้อมูลครอบครัว หรือพฤติกรรมการใช้งานรายวิชาในระบบการจัดการ

เรียนรู้ (Learning Management System: LMS) รวมถึงปัจจัยที่เกิดจากผลกระทบภายนอกในสถานการณ์ไม่ปกติได้แก่ การแพร่ระบาดของโรคติดต่อร้ายแรง อุบัติภัยร้ายแรง หรืออื่น ๆ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาพความเป็นอยู่ รายได้ รวมทั้งสถานะทางการเงินของผู้เรียน นอกจากนี้จะประยุกต์อัลกอริทึมอื่น ๆ ทั้งในส่วนของเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบดั้งเดิม (Traditional Machine Learning) และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ผลที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำในการพยากรณ์ผลมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สำหรับการสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

References

- Alboaneen, D., Almelihi, M., Alsubaie, R., Alghamdi, R., Alshehri, L. and Alharthi, R. (2022). Development of a web-based prediction system for students' academic performance. **Data**, 7(2), 21.
- Amazon Web Services. (2024). What is Django?. Retrieved February 22, 2024, from AWS: <https://aws.amazon.com/th/what-is/django/>
- Brownlee, J. (2020). 4 Types of Classification Tasks in Machine Learning. Retrieved February 22, 2024, from **Machine Learning Mastery**: https://machinelearningmastery.com/types-of-classification-in-machine-learning/?fbclid=IwAR2gbsHUbY_YUdt4l4RBvHAQyze3YlMYVsnyjq99ZJW36lb5qjMISvYcZ2A
- Data Innovation and Governance Institute. (2022). Understand in 5 minutes! What is a Classification Model? (in Thai). Retrieved February 22, 2024, from **DIGI**: <https://digi.data.go.th/blog/what-is-classification-model/>
- Hailu, B. and Murty, M. N. (2019). Performance analysis and prediction of students using random forest algorithm. **International Journal of Engineering Research and Technology**, 12(2), 129-136.
- Han, J., Kamber, M. and Pei, J. (2012). **Data Mining: Concepts and Techniques**. Melbourne: Elsevier Inc.
- Jamjumrat, C. (2022). What Is A Decision Tree?. Retrieved 22 February 2024, from **borntoDev**: <https://www.borntodev.com/2022/09/15/รู้จักกับ-decision-tree/>
- Kaensar, C. and Wongnin, W. (2023). Predicting new student performances and identifying important attributes of admission data using machine learning techniques with hyperparameter tuning. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 19(12), em2369.
- Kaensar, C. and Wongnin, W. (2024). Enhancing prediction of student learning success in higher education using deep learning (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 7(1), 21–36.
- Kongchai, P., Hiranpongsin, S. and Ditcharoen, N. (2024). Creating a prediction model for prospective university student admissions during the COVID-19 pandemic situation: A case study of the faculty of science at Ubon Ratchathani university (in Thai). **The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok**, 34(2), 1–10.
- Li, H. and Zhao, C. (2020). Research on the Application of Machine Learning in Web Application Development. In **Proceedings of Smart Grid and Electrical Automation International Conference 2020**, (pp. 478-482). Zhangjiajie: China.
- Mekha, P., Musikong, P., Palakong, N., Pramokchon, P. and Kasemsumran, P. (2023). Performance comparison of image classification models for corn leaf disease (in Thai). **Maejo Information Technology and Innovation Journal**, 9(2), 1–16.
- Nachouki, M., Elfadil, A.M., Mehdi, R. and Naaj, M (2023). Student course grade prediction using the random forest algorithm: Analysis of predictors' importance. **Trends in Neuroscience and Education**, 33, 100214.
- Naresuan University Publishing House. (2023). Data Mining (in Thai). Retrieved February 22, 2024. from **NUPRESS**: <https://www.nupress.grad.nu.ac.th/data-mining/#3--classification>

- Riansut, W. (2016). Factors influencing on grade point average of thaksin university's undergraduate students (in Thai). **Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University**, 13(2), 23-38.
- Shalev-Shwartz, S. and Ben-David, S. (2014). **Understanding Machine Learning**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Shou, Z., Xie, M., Mo, J. and Zhang, H (2024). Predicting student performance in online learning: a multidimensional time-series data analysis approach. **Applied Sciences**. 14(6), 1-16.
- Soontranon, N. (2023). Evaluation Metrics for Classification Model (in Thai). Retrieved February 22, 2024, from **NERD**: <https://www.nerd-data.com/classification-metrics/>
- Valverde-Berrocso, J., Acevedo-Borrega J. and Cerezo-Pizarro, M. (2022), Educational technology and student performance: a systematic review. **Frontiers in Education**, 7(1), 1-13.
- Wongsakoonkan, W., Ju-Ngam, B., Komuttiban, P., Klunbut, P. and Alongkorn, V. (2021). A comparison of learning achievement of the undergraduate students admitted through direct examination and admission case study: department of occupational health and safety, faculty of science and technology: Valaya Alongkorn Rajabhat University Under the Royal Patronage (in Thai). **Valaya Alongkorn Review Journal**, 11(1), 1-12.



A modified Greedy Algorithm for Multidimensional Knapsack Problem

Sujaree Srisaard¹ and Ratee Bojaras^{1,*}

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

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

Received <28 February 2024>; Revised <11 May 2024>; Accepted <11 May 2024>

Abstract

The Knapsack Problem (KP) is a combinatorial optimization problem that involves selecting items to be placed in a backpack in order to maximize the total value without exceeding the specified capacity. This problem can be formulated as an integer linear programming problem (ILP). In this study, we focused on the multidimensional knapsack problem (MDKP), which has multiple constraints and is more complex to solve. We experimented with different methods for sorting the benefits and evaluated the results using the solver function in Microsoft Excel. We considered 49 examples of 0-1 binary and pure integer knapsack problems. The experimental results showed that selecting items based on modified benefit values (profit/weight ratio) yielded better results than using the difference in benefits, as measured by the mean absolute percentage error (MAPE) across all samples.

Keywords: Multidimensional knapsack problem, Combinatorial optimization, Integer linear programming, Greedy algorithm, The mean absolute percentage error

การแก้ปัญหาลู่งเป๋หลายมิติด้วยขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุง

สุจารี ศรีสะอาด¹ และรติ โบจรัส^{1,*}¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

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

รับบทความ: 28 กุมภาพันธ์ 2567 แก้ไขบทความ: 11 พฤษภาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 11 พฤษภาคม 2567

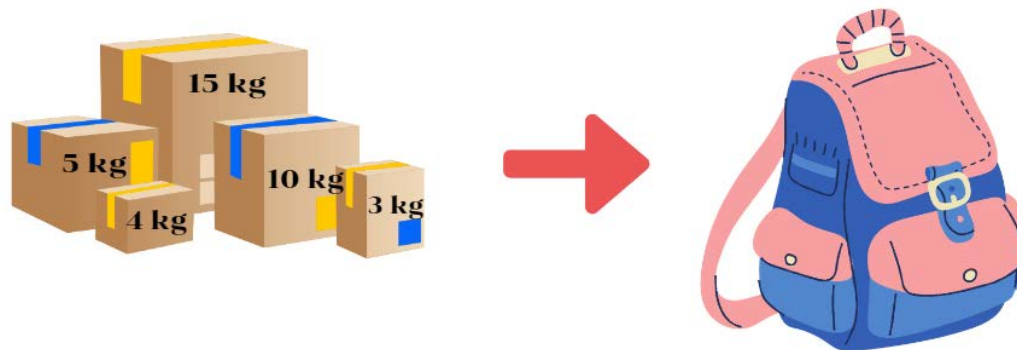
บทคัดย่อ

ปัญหาลู่งเป๋เป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัด กล่าวคือ ต้องการเลือกของใส่ลู่งเป๋โดยเลือกของใส่ลู่งให้มีมูลค่ารวมสูงสุดแต่ไม่เกินความจุที่กำหนด ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาคำหนดการเชิงจำนวนเต็ม งานวิจัยนี้ศึกษาปัญหาลู่งเป๋หลายมิติที่มีหลายเงื่อนไขและมีวิธีแก้ปัญหาลู่งเป๋ซับซ้อนมากขึ้น โดยปรับปรุงการเรียงลำดับการเลือกของใส่ลู่งเป๋จากวิธีละโมบและนำผลเฉลยที่ได้ตรวจสอบกับผลเฉลยจากการใช้ฟังก์ชัน solver ในโปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์เอกซ์เซล จากการศึกษาปัญหาแบบ 0-1 และปัญหาแบบจำนวนเต็มทั้งหมด 49 ตัวอย่าง พบว่าการเรียงลำดับการเลือกของใส่ลู่งเป๋โดยปรับปรุงค่า benefit (อัตราส่วนกำไรต่อน้ำหนักสิ่งของ) ให้ผลเฉลยดีกว่าการใช้ค่า benefit แบบเดิม ทั้งนี้โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

คำสำคัญ: ปัญหาลู่งเป๋หลายมิติ การหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัด กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม วิธีละโมบ ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์

บทนำ

ปัญหาถุงเป้ (knapsack problem) เป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัดที่เป็นปัญหา NP hard ซึ่งมีการศึกษาวิจัยมากกว่า 40 ปี (Akçay, Li and Xu, 2007; Varnamkhasti, 2012; Sajjan *et al.*, 2014; Irmeilyana, Bangun and Izzah, 2017) โดยสามารถอธิบายในรูปแบบคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ มีสิ่งของทั้งหมด n ชิ้นโดยแต่ละชิ้นมีมูลค่าและน้ำหนักเป็นจำนวนเต็ม V_i และ W_i ตามลำดับ เป้าหมายของการแก้ปัญหาคือการพิจารณาว่าจะเลือกสิ่งของชิ้นใดบรรจุในถุงเป้เพื่อให้มูลค่ารวมของสิ่งของมีค่าสูงสุด โดยที่ความจุรวมของสิ่งของต้องไม่เกินความจุรวมที่ถุงเป้บรรจุได้ (W) เราจะเรียกปัญหาถุงเป้แบบที่พิจารณาการเลือกหรือไม่เลือกสิ่งของมาบรรจุในถุงนี้ว่า ปัญหาถุงเป้แบบทวิภาค (binary knapsack problem) เพราะตัวแปรที่พิจารณาจะมีค่าเป็น 0 (หมายถึงไม่เลือก) หรือ 1 (หมายถึงเลือก) เท่านั้น ไม่สามารถกำหนดให้เป็นเศษส่วนได้ (Koothathongsumrit and Luangpaiboon, 2021; Buayen and Werapun, 2018). ปัญหาถุงเป้ได้ถูกนำไปใช้เพื่อจัดการทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น การจัดตารางงาน การจัดงบประมาณให้แต่ละหน่วยงาน การตัดสินใจลงทุน การเลือกทำโครงการ การเลือกบรรจุภัณฑ์สินค้า เป็นต้น



ภาพที่ 1 ปัญหาถุงเป้

ปัญหาถุงเป้หลายมิติเป็นปัญหาถุงเป้ที่มีเงื่อนไขบังคับมากกว่าหนึ่งเงื่อนไข ซึ่งเป็นปัญหาจริงที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น ปัญหาการโหลดสินค้า (cargo loading) เป็นปัญหาการเคลื่อนย้ายสินค้าจากสถานที่หนึ่ง เช่น คลังสินค้า หรือโรงงาน มาบรรจุใส่ตู้คอนเทนเนอร์บนรถบรรทุก เพื่อกระจายสินค้าไปตามจุดหมายต่าง ๆ เช่น ศูนย์กระจายสินค้า หรือจุดจำหน่ายสินค้า โดยก่อนโหลดขึ้นรถบรรทุก สินค้าจะต้องได้รับการบรรจุมาเป็นอย่างดี เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายระหว่างเคลื่อนย้ายและระหว่างขนส่ง ต้องจัดเรียงสินค้าในรถบรรทุกให้เหมาะสม ไม่แน่นเกินไปเพราะอาจทำให้สินค้าชำรุดได้ จึงต้องพิจารณาเลือกขนาดของสินค้า (ปริมาตร) น้ำหนักหรือเวลาในการจัดเรียงสินค้าให้มีน้ำหนักรวม พื้นที่และเวลาที่จำกัด แต่ให้กำไรจากการขนส่งมากที่สุด

เนื่องจากปัญหาถุงเป้ คือ ปัญหาการเลือกของใส่ถุงโดยต้องเลือกของใส่ถุงให้มีมูลค่ารวมสูงสุด จึงเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงจำนวนเต็ม (Integer linear programming : ILP) การหาผลเฉลยของปัญหาถุงเป้ส่วนมากใช้ขั้นตอนวิธีแบบเดิม (classic algorithm) เช่น วิธีการปัดเศษ (rounding method) วิธีการกราฟ (graphical method) วิธีการหาคัด (cutting-plane method) วิธีการขยายและจำกัดเขต (branch-bound algorithm) และขั้นตอนวิธีฮิวริสติก (heuristic algorithm) เช่น ขั้นตอนวิธีแบบละโมภ (greedy algorithm) วิธีการเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) วิธีการเรียงลำดับข้อมูล (sorting algorithm) เป็นต้น โดยขั้นตอนวิธีแบบเดิมจะเหมาะกับปัญหาที่ไม่มี ความซับซ้อนและฟังก์ชันจุดประสงค์ (objective function) อยู่ในรูปแบบง่าย ส่วนขั้นตอนวิธีฮิวริสติกสามารถแก้ปัญหาบางอย่างที่ขั้นตอนวิธีแบบเดิมไม่สามารถแก้ไขได้ เช่น ปัญหาที่มีความซับซ้อนและใช้เวลานาน อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีฮิวริสติกไม่ได้ให้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดแต่ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นจึงขอเปรียบเทียบวิธีการขยายและจำกัดเขตกับวิธีแบบละโมภโดยสังเขป ดังตารางที่ 1

แม้ว่าทั้งสองวิธีจะสามารถแก้ปัญหาถุงเป้ได้ แต่ยังคงมีความแตกต่างของผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ความซับซ้อนของแต่ละขั้นตอนและการประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีขนาดต่างกัน ทำให้ผู้วิจัยสนใจปรับปรุงขั้นตอนวิธีแบบละโมภเนื่องจากง่ายต่อการพัฒนาแก้ไข นอกจากนี้ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีแก้ปัญหาถุงเป้หลายมิติพอสังเขป ดังตารางที่ 2 โดยผู้อ่านสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจาก Varnamkhasti (2012)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบวิธีแบบละโมภกับวิธีขยายและจำกัดเขต

รูปแบบขั้นตอน	ข้อดี	ข้อเสีย
วิธีแบบละโมภ	1. เป็นขั้นตอนวิธีที่ตัดสินใจภายใต้คำตอบ (ตัวเลือก) ที่ดีที่สุดในแต่ละขั้นตอน โดยไม่คำนึงถึงผลลัพธ์ในขั้นตอนถัดไป 2. มีขั้นตอนเรียบง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน ง่ายต่อการพัฒนาแก้ไข 3. ใช้ได้ดีกับปัญหาขนาดเล็ก	1. ไม่รับประกันว่าจะพบผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดหรือไม่ อาจนำไปสู่การแก้ปัญหาไม่ได้
วิธีขยายและจำกัดเขต	1. สามารถหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดได้ 2. ใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ได้	1. มีขั้นตอนซับซ้อนกว่า 2. ต้องใช้ทรัพยากร (หน่วยความจำ) มากกว่า

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ขั้นตอนวิธีฮิวริสติกสามารถหาผลเฉลยได้ดีเช่นเดียวกันและจากการศึกษางานวิจัยของ Durmuş, Güneri and Incekirk, (2019) ที่ใช้ค่าความแตกต่างของค่า benefit (อัตราส่วนกำไรต่อน้ำหนักสิ่งของ) มาเรียงลำดับการเลือกสิ่งของใส่ถุงเป้ ทำให้ผลเฉลยที่ได้มีความแตกต่างจากผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยจึงสนใจแก้ปัญหาถุงเป้หลายมิติโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่า benefit และค่า efficiency (Puchinger, Raidl and Pferschy, 2010) มาเรียงลำดับการเลือกสิ่งของใส่ถุงเป้ใหม่ เพื่อหาผลเฉลย พร้อมทั้งนำผลเฉลยที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลเฉลยจากฟังก์ชัน solver ในโปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์เอกซ์เซล ทั้งนี้ผู้อ่านสามารถศึกษารายละเอียดการใช้ฟังก์ชัน solver จาก Minsan (2021).

ตารางที่ 2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาถุงเป้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	วิธีแก้ปัญหา
Glover (1965)	Exact algorithm
Senju and Toyada (1968)	Heuristic algorithm
Pisinger (1999)	Greedy algorithm
Hassan <i>et al.</i> (2005) และ Murat <i>et al.</i> (2013)	Genetic algorithm
Mohammad, Saleh and Abdeen (2006)	Brute force algorithm
Akçay, Li and Xu (2007)	Greedy-like heuristic method
Irmeilyana, Bangun and Izzah (2017)	Branch and bound/ Greedy algorithm
Mingo López, Gómez Blas and Arteta Albert (2018)	Genetic operation
Al Etawi and Aburomman (2020)	Dynamic Programming

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) แก้ปัญหาถุงเป้หลายมิติที่มีตัวแปรตัดสินใจแบบทวิภาคและตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนเต็มบวก ด้วยขั้นตอนวิธีละโมภโดยปรับปรุงค่าอัตราส่วนกำไรต่อน้ำหนักสิ่งของ (เรียกว่า ค่า benefit)
- 2) เปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากข้อ 1) กับผลเฉลยจากการใช้ฟังก์ชัน solver ในโปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์เอกซ์เซล

ประเภทของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม

เนื่องจากปัญหาถุงเป้ คือ ปัญหาการเลือกของใส่ถุงโดยต้องเลือกของใส่ถุงให้มีมูลค่ารวมสูงสุด จึงเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม ในหัวข้อนี้จะแสดงประเภทปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม 3 รูปแบบ ดังนี้

1) ปัญหาการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแท้ (pure integer linear programming problems) คือ ปัญหาการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่มีตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าเป็นจำนวนเต็ม ดังสมการที่ (1.1) - (1.3)

$$\text{ฟังก์ชันจุดประสงค์ } \text{Max } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1.1)$$

$$\text{ภายใต้เงื่อนไข } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (1.2)$$

$$x_j \geq 0 \text{ และเป็นจำนวนเต็ม } j = 1, 2, \dots, n \quad (1.3)$$

เมื่อ m คือ จำนวนตัวแปรและ n คือจำนวนเงื่อนไข

2) ปัญหาการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผสม (mixed integer linear programming problems) คือ ปัญหาการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่มีตัวแปรตัดสินใจบางตัวมีค่าเป็นจำนวนเต็มและตัวแปรตัดสินใจอื่นๆ จะมีค่าเป็นจำนวนจริง ดังสมการที่ (2.1) - (2.3)

$$\text{ฟังก์ชันจุดประสงค์ } \text{Max } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (2.1)$$

$$\text{ภายใต้เงื่อนไข } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (2.2)$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \text{ และ } x_j \text{ เป็นจำนวนเต็ม (สำหรับบาง } j) \quad (2.3)$$

3) ปัญหาการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบทวิภาค หรือปัญหาการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบ 0-1 (binary or 0-1 integer linear programming problems) คือ ปัญหาการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่มีตัวแปรตัดสินใจทุกตัวมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ดังสมการที่ (3.1) - (3.3)

$$\text{ฟังก์ชันจุดประสงค์ } \text{Max } z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (3.1)$$

$$\text{ภายใต้เงื่อนไข } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (3.2)$$

$$x_j \in \{0, 1\}, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.3)$$

ในงานวิจัยนี้เราสนใจศึกษาปัญหาการหาค่าตัวแปรแบบทวิภาค (binary integer linear programming problem) และปัญหาการหาค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มแท้ (pure integer linear programming problems)

วิธีดำเนินการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะแสดงขั้นตอนวิธีละโมบแบบเดิม ขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุงโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่า benefit และขั้นตอนวิธีละโมบโดยใช้ค่า efficiency จากงานวิจัยของ Puchinger, Raidl and Pferschy (2010) และแสดงการแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุงเพื่อให้การเรียงลำดับการเลือกของใส่ถุงเป้มีความแตกต่างกัน จากนั้นนำผลเฉลยที่ได้มาตรวจสอบกับผลเฉลยจากการใช้ฟังก์ชัน solver ในโปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์เอกซ์เซล โดยนำเสนอการแก้ปัญหาหาค่าหลายมิติที่มีค่าตัวแปรเป็น 0 หรือ 1 และปัญหาที่มีค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มแท้ จากตัวอย่างมาตรฐานของปัญหาการหาค่าหลายมิติทั่วไป (Multiple Knapsack Problems, 2023) ที่มีตัวแปรไม่เกิน 105 ตัวและเงื่อนไขไม่เกิน 30 เงื่อนไข

ขั้นตอนวิธีละโมบแบบเดิม

ขั้นตอนที่ 1: คำนวณค่า benefit $r_{ij} = c_j/a_{ij}$ ทุกค่า $j = 1, 2, \dots, n$, $i = 1, 2, \dots, m$

ขั้นตอนที่ 2: จัดลำดับค่า r_{ij} จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 3: สิ่งของชิ้นที่ให้ค่า r_{ij} มากสุดจะถูกใส่เข้าไปในเป้ก่อน แล้วตรวจสอบค่าความจุใหม่ ถ้ายังไม่เกินความจุรวมจะใส่ของชิ้นที่ให้ค่า r_{ij} รองลงมาเข้าไปในเป้ แต่ถ้าความจุเกินให้เลือกของชิ้นที่ให้ค่า r_{ij} ลำดับถัดไป

ขั้นตอนที่ 4: ตรวจสอบค่าความจุรวม ถ้าของในเป้มีความจุมากกว่าหรือเท่ากับค่าความจุรวม ให้ออกจากกระบวนการดำเนินการ ถ้าเป็นกรณีอื่นๆ ให้กลับไปทำในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุงโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่า benefit มีขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1: คำนวณค่า benefit $r_{ij} = c_j/a_{ij}$ ทุกค่า $j = 1, 2, \dots, n$, $i = 1, 2, \dots, m$
- ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่า r_{ij}^* จาก $(\sum_{j=1}^n r_{ij})/m$ ทุกค่า $j = 1, 2, \dots, n$
- ขั้นตอนที่ 3: จัดลำดับค่า r_{ij}^* จากมากไปน้อย ถ้าลำดับเท่ากันให้พิจารณาค่า c_j ที่มากกว่าให้จัดลำดับก่อน
- ขั้นตอนที่ 4: สิ่งของชิ้นที่ให้ค่า r_{ij}^* มากสุดจะถูกใส่เข้าไปในเป้ก่อน แล้วตรวจสอบค่าความจุใหม่ ถ้ายังไม่เกินความจุรวมจะใส่ของชิ้นที่ให้ค่า r_{ij}^* รองลงมาเข้าไปในเป้ แต่ถ้าความจุเกินให้เลือกของชิ้นที่ให้ค่า r_{ij}^* ลำดับถัดไป
- ขั้นตอนที่ 5: ตรวจสอบค่าความจุรวม ถ้าของในเป้มีความจุมากกว่าหรือเท่ากับค่าความจุรวม ให้ออกจากกระดานการ ถ้าเป็นกรณีอื่นๆ ให้กลับไปทำในขั้นตอนที่ 4
- ขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุงโดยใช้ค่า efficiency มีขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้
- ขั้นตอนที่ 1: คำนวณค่า efficiency $e_{ij} = a_{ij}/b_i$ (ปรับปรุงค่า benefit) ทุกค่า $j = 1, 2, \dots, n$, $i = 1, 2, \dots, m$
- ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่า e_{ij}^* จาก $c_j/\sum_{i=1}^m (a_{ij}/b_i)$ ทุกค่า $j = 1, 2, \dots, n$
- ขั้นตอนที่ 3: จัดลำดับค่า e_{ij}^* จากมากไปน้อย ถ้าลำดับเท่ากันให้พิจารณาค่า c_j ที่มากกว่าให้จัดลำดับก่อน
- ขั้นตอนที่ 4: สิ่งของชิ้นที่ให้ค่า e_{ij}^* มากสุดจะถูกใส่เข้าไปในเป้ก่อน แล้วตรวจสอบค่าความจุใหม่ ถ้ายังไม่เกินความจุรวมจะใส่ของชิ้นที่ให้ค่า e_{ij}^* รองลงมาเข้าไปในเป้ แต่ถ้าความจุเกินให้เลือกของชิ้นที่ให้ค่า e_{ij}^* ลำดับถัดไป
- ขั้นตอนที่ 5: ตรวจสอบค่าความจุรวม ถ้าของในเป้มีความจุมากกว่าหรือเท่ากับค่าความจุรวม ให้ออกจากกระดานการ ถ้าเป็นกรณีอื่นๆ ให้กลับไปทำในขั้นตอนที่ 4

จากขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุง จะคำนวณค่า r_{ij}^* , e_{ij} และ e_{ij}^* ซึ่งงานวิจัยของ Durmuş, Güneri and Incekirk (2019) ใช้ค่าผลต่างของ benefit แนวแถว ($r_{ij}^d = r_{1j} - r_{2j}$) เพื่อเรียงลำดับการเลือกสิ่งของ ดังตัวอย่างที่ 3.1

ตัวอย่าง 3.1 ปัญหาถุงเป้แบบ 0-1 ที่มีจำนวน 2 เจอนไซ (Two-dimensional 0-1 KP) กำหนดให้เลือกสิ่งของจากทั้งหมด 7 ชิ้นเพื่อให้มีมูลค่ารวมสูงสุด (หน่วยเป็นบาท) ซึ่งมีฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Max } z = 20x_1 + 10x_2 + 40x_3 + 20x_4 + 58x_5 + 44x_6 + 26x_7 = \sum_{j=1}^7 c_j x_j$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\begin{aligned} 15x_1 + 23x_2 + 7x_3 + 9x_4 + 10x_5 + 13x_6 + 5x_7 &\leq 50 && (\text{เวลา}) \\ 12x_1 + 15x_2 + 12x_3 + 11x_4 + 25x_5 + 21x_6 + 18x_7 &\leq 70 && (\text{ค่าน้ำหนักหรือความจุ}) \\ 14x_1 + 13x_2 + 15x_3 + 14x_4 + 16x_5 + 15x_6 + 7x_7 &\leq 100 && (\text{ปริมาตร}) \\ x_j &= \{0, 1\} \text{ เมื่อ } j = 1, 2, \dots, 7 \end{aligned}$$

ใช้ขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุงโดยค่าเฉลี่ยของค่า benefit และค่า efficiency แสดงค่าในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 ค่า benefit ทุกค่า $j = 1, 2, \dots, 7$ และ $i = 1, 2, 3$

x_j	c_j	a_{1j}	a_{2j}	a_{3j}	r_{1j}	r_{2j}	r_{3j}
x_1	20	15	12	14	1.33	1.67	1.43
x_2	10	23	15	13	0.43	0.67	0.77
x_3	40	7	12	15	5.71	3.33	2.67
x_4	20	9	11	14	2.22	1.82	1.43
x_5	58	10	25	16	5.80	2.32	3.63
x_6	44	13	21	15	3.38	2.10	2.93
x_7	26	5	18	7	5.20	1.44	3.71

หมายเหตุ $r_{1j} = c_j/a_{1j}$ เมื่อ c_j คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_j ในฟังก์ชันจุดประสงค์

a_{1j} คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร x_j ในเงื่อนไขที่ 1 เมื่อ $j = 1, 2, \dots, 7$

เช่นเดียวกับกับค่า r_{2j} และ r_{3j}

ตารางที่ 4 ค่า efficiency ทุกค่า $j = 1, 2, \dots, 7$ และ $i = 1, 2, 3$

x_j	c_j	a_{1j}	a_{2j}	a_{3j}	e_{1j}	e_{2j}	e_{3j}
x_1	20	15	12	14	0.30	0.17	0.14
x_2	10	23	15	13	0.46	0.21	0.13
x_3	40	7	12	15	0.14	0.17	0.15
x_4	20	9	11	14	0.18	0.16	0.14
x_5	58	10	25	16	0.20	0.36	0.16
x_6	44	13	21	15	0.26	0.30	0.15
x_7	26	5	18	7	0.10	0.26	0.07

ตารางที่ 5 ลำดับ (rank) จากค่า r_{ij}^* , e_{ij}^* และ $r_{ij}^d = r_{1j} - r_{2j} - r_{3j}$ (ค่าผลต่างของ benefit แนวแถว)

x_j	r_{ij}^*	rank	e_{ij}^*	rank	r_{ij}^d	rank
x_1	1.48	6	42.42	6	1.76	7
x_2	0.62	7	14.83	7	1.00	4
x_3	3.90	2	128.44	1	0.29	3
x_4	1.82	5	59.32	5	1.02	5
x_5	3.92	1	104.10	2	0.15	2
x_6	2.80	4	78.57	3	1.64	6
x_7	3.45	3	72.80	4	0.04	1

จากตัวอย่าง 3.1 ผลเฉลยที่ได้จากลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า e_{ij}^* มีค่าเท่ากับผลเฉลยจากฟังก์ชัน solver และให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์เท่ากันคือ 162 ซึ่งมากกว่าการใช้ลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า r_{ij}^* และ r_{ij}^d ตามลำดับ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลเฉลยของปัญหาห่วงโซ่มูลค่าและค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ จากลำดับการเลือกสิ่งของโดยใช้ค่า r_{ij}^* , e_{ij}^* , r_{ij}^d และจากฟังก์ชัน solver (คำตอบ 0 หมายถึง ไม่เลือก / 1 หมายถึง เลือก)

x_j	ผลเฉลย จาก r_{ij}^*	ผลเฉลยจาก e_{ij}^*	ผลเฉลยจาก r_{ij}^d	ผลเฉลยจาก solver
x_1	0	0	0	0
x_2	0	0	1	0
x_3	1	1	1	1
x_4	1	1	0	1
x_5	1	1	1	1
x_6	0	1	0	1
x_7	1	0	1	0
Z= มูลค่ารวม (บาท)	144	162	134	162

ตารางที่ 7 และ 8 แสดงผลเฉลยของปัญหาห่วงโซ่มูลค่าที่มีค่าตัวแปรเป็น 0 หรือ 1 และมีค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม จากตัวอย่างมาตรฐานของปัญหาห่วงโซ่มูลค่าทั่วไปที่มีตัวแปร n ตัว จำนวนเงื่อนไข m เงื่อนไข ผลเฉลยจากขั้นตอนวิธีละโมบแบบปรับปรุง ที่ใช้การเรียงลำดับการเลือกของที่แตกต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ย benefit (r_{ij}^*) ผลต่างของค่า benefit (r_{ij}^d) และค่า efficiency (e_{ij}^*) โดยเปรียบเทียบกับผลเฉลยจากฟังก์ชัน solver รูปที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์จากลำดับการเลือกของที่แตกต่างกันทั้งสามแบบ เทียบกับผลเฉลยจาก Solver ของปัญหาห่วงโซ่มูลค่าที่มีค่าตัวแปรเป็น 0 หรือ 1 และค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ผลเฉลยของปัญหาถุงเป้หลายมิติที่มีค่าตัวแปรเป็น 0 หรือ 1 (ปัญหา BIN) จากตัวอย่างมาตรฐาน ORLib Weing Weish และ Sento

ปัญหา	n	m	ผลเฉลยจาก r_{ij}^*	ผลเฉลยจาก r_{ij}^d	ผลเฉลยจาก e_{ij}^*	ผลเฉลยจาก Solver
1	28	2	123309	104799	139278	141278
2	28	2	102932	87371	128322	130773
3	28	2	62620	62380	93278	95677
4	28	2	111291	104799	115321	119337
5	28	2	62620	62380	93278	98796
6	28	2	102932	87136	128212	130623
7	29	2	82087	75013	93962	98251
8	105	2	1081247	727159	1091507	1092911
9	105	2	459738	354475	620060	623952
10	27	4	2792	2706	2792	3073
11	28	4	1644	375	2840	2852
12	34	4	2528	2913	2825	3164
13	35	4	2528	2913	2824	3164
14	30	5	4090	1571	4534	4554
15	30	5	3398	1330	4483	4531
16	30	5	3634	1430	4021	4506
17	30	5	3121	1277	4475	4531
18	30	5	2451	1151	4514	4514
19	40	5	5169	1519	5461	5557
20	40	5	5091	2164	5478	5542
21	40	5	5201	1519	5478	5567
22	40	5	2415	1110	5246	5246
23	50	5	4953	1351	6265	6339
24	50	5	3160	1263	5500	5643
25	50	5	4955	1111	6008	6339
26	50	5	3649	1082	6025	6159
27	60	5	4207	1062	6845	6954
28	60	5	4174	887	7213	7458
29	60	5	3390	1142	6828	7289
30	60	5	7668	1989	8293	8633
31	70	5	7928	1062	8175	9580
32	70	5	4243	1242	7051	7698
33	70	5	6619	2911	9380	9450
34	70	5	5199	1341	8714	9074
35	80	5	6620	2466	8836	8729
36	80	5	6219	2635	7493	8079
37	80	5	8778	3737	9818	9979
38	80	5	7643	2815	9787	9787
39	90	5	6934	2380	9278	9584
40	90	5	7190	2514	9764	9819
41	90	5	6147	2705	8671	9492
42	90	5	5563	2585	8638	9410

ปัญหา	n	m	ผลเฉลยจาก r_{ij}^*	ผลเฉลยจาก r_{ij}^d	ผลเฉลยจาก e_{ij}^*	ผลเฉลยจาก Solver
43	90	5	9278	3128	10819	11187
44	20	10	1525	1629	1925	2139
45	100	15	3641	3382	3653	3741
46	37	30	959	294	1022	1035
47	40	30	433	136	504	762
48	60	30	7429	1311	7606	7772
49	60	30	8478	1046	8709	8659

ตารางที่ 8 ผลเฉลยของปัญหาถุงเป้หลายมิติที่มีค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม (ปัญหา GIN) จากตัวอย่างมาตรฐาน ORLib Weing Weish และ Sento

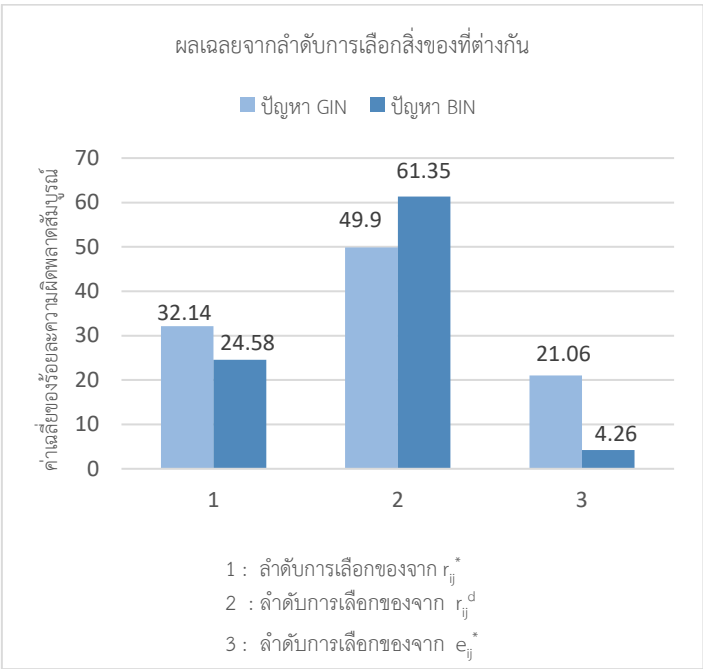
ปัญหา	n	m	ผลเฉลยจาก r_{ij}^*	ผลเฉลยจาก r_{ij}^d	ผลเฉลยจาก e_{ij}^*	ผลเฉลยจาก Solver
1	28	2	260810	259650	712800	712800
2	28	2	258170	258170	594000	594000
3	28	2	124920	124020	356400	356400
4	28	2	259490	259100	712800	712800
5	28	2	126240	125340	356400	356400
6	28	2	244530	244530	584830	584830
7	29	2	105444	68652	123200	168670
8	105	2	6432000	6432000	14871000	17691816
9	105	2	1072000	1072000	2478500	2921634
10	27	4	3773	1078	5152	5157
11	28	4	3463	800	3456	3482
12	34	4	3371	1705	3363	5675
13	35	4	3371	3233	3363	5675
14	30	5	6180	6180	6767	12810
15	30	5	9094	6608	8896	10356
16	30	5	8490	8542	8542	10356
17	30	5	4726	2511	6390	7350
18	30	5	4787	2456	6030	7083
19	40	5	11146	7358	10954	13206
20	40	5	11454	5544	10816	11599
21	40	5	12028	7358	8301	13972
22	40	5	10496	10329	9120	12590
23	50	5	16428	13311	17283	20506
24	50	5	15017	12824	15482	17218
25	50	5	16428	13400	17283	20144
26	50	5	16239	13276	16852	20008
27	60	5	20051	17864	20541	20506
28	60	5	12252	4000	11122	17312
29	60	5	16924	13080	15674	20713
30	60	5	27295	27360	27362	37024
31	70	5	23340	18370	23303	32384
32	70	5	22406	19936	22969	28022
33	70	5	15224	12370	11098	26262

ปัญหา	n	m	ผลเฉลยจาก r_{ij}^*	ผลเฉลยจาก r_{ij}^d	ผลเฉลยจาก e_{ij}^*	ผลเฉลยจาก Solver
34	70	5	14010	15026	11098	25340
35	80	5	26083	23832	27334	33956
36	80	5	25842	22400	26072	32294
37	80	5	27424	21600	27252	37182
38	80	5	17412	9170	15276	30174
39	90	5	29540	26482	30622	37546
40	90	5	29540	26912	30622	38164
41	90	5	29540	26472	30622	37114
42	90	5	29540	26446	30622	37444
43	90	5	28140	11200	19932	48024
44	20	10	1068	1627	1926	2207
45	100	15	2760	2540	3096	3932
46	37	30	834	210	1016	1244
47	40	30	307	129	363	825
48	60	30	12454	1691	12348	15579
49	60	30	21858	2782	22500	26286

จากตารางที่ 7 และ 8 นำผลเฉลยจากการเรียงลำดับทั้งสามแบบมาหาค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์โดยเทียบกับผลเฉลยจาก Solver แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (the mean absolute percentage error : MAPE)

$$MAPE = \sum_{i=1}^N \left| \frac{x_i - A_i}{A_i} \right| \times \frac{100}{N} \tag{4}$$

เมื่อ x_i คือ ผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธีละโมบบแบบปรับปรุง
 A_i คือ ผลเฉลยจาก Solver
 N คือ จำนวนตัวอย่าง (ในงานวิจัยนี้ $N = 49$)



ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ใช้การเรียงลำดับการเลือกของที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ขั้นตอนวิธีละโมภแบบปรับปรุงที่นำมาใช้แก้ปัญหาถุงเป้หลายมิติเป็นขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ด้วยการปรับค่า benefit และใช้ค่า efficiency สามารถหาผลเฉลยได้ใกล้เคียงกับผลเฉลยจากฟังก์ชัน solver และให้ผลเฉลยดีกว่าการใช้ค่า benefit แบบเดิม จากภาพที่ 2 พบว่าผลเฉลยจากลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า e_{ij}^* ในปัญหาถุงเป้หลายมิติชนิดที่ตัวแปรเป็น 0 หรือ 1 มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยกว่า 5 ซึ่งให้ผลเฉลยเหมาะสมที่สุดใกล้เคียงกับผลเฉลยจากฟังก์ชัน solver ส่วนผลเฉลยจากลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า r_{ij}^* และ r_{ij}^d มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เป็น 24.58 และ 61.35 ตามลำดับ สำหรับปัญหาถุงเป้หลายมิติที่มีค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มพบว่าผลเฉลยจากลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า e_{ij}^* มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบผลเฉลยชนิดที่ตัวแปรเป็น 0 หรือ 1 กับตัวแปรที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม พบว่า ลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า e_{ij}^* ในปัญหาที่ตัวแปรเป็น 0 หรือ 1 ให้ผลเฉลยใกล้เคียงกับผลเฉลยจากฟังก์ชัน solver มากที่สุด

ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์จากลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า e_{ij}^* ในปัญหาถุงเป้หลายมิติที่มีค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มจะดีกว่าผลเฉลยจากลำดับการเลือกสิ่งของด้วยค่า r_{ij}^* และ r_{ij}^d แต่ยังคงพบค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์มากกว่า 10% ผู้วิจัยต้องปรับปรุงค่า e_{ij}^* หรือศึกษาวิธีอื่นเพื่อให้ผลเฉลยใกล้เคียงกับผลเฉลยจากฟังก์ชัน solver มากขึ้น

References

- Al Etawi, N. A., and Aburomman, F. T. (2020). 0/1 knapsack problem: greedy vs. Dynamic-programming. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, 5(2), 1-10.
- Akçay, Y., Li, H. and Xu, S. H. (2007). Greedy algorithm for the general multidimensional knapsack problem. *Annals of operations research*, 150, 17–29.
- Berberler, M. E., Guler, A., and Nuriyev, U. G. (2013). A genetic algorithm to solve the multidimensional knapsack problem. *Mathematical and Computational Applications*, 18(3), 486-494.
- Buayen, P. and Werapun, J. (2018). Parallel time–space reduction by unbiased filtering for solving the 0/1-Knapsack problem. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 122, 195 - 208.
- Durmuş, B., Güneri, O. I. and Incekirik, A. (2019). Comparison of Classic and Greedy Heuristic Algorithm Results in Integer Problems. *Mugla Journal of Science and Technology*, 5(1), 34-42.
- Glover, F. (1965). A multiphase-dual algorithm for the zero-one integer programming problem. *Operation Research*, 13, 879–919.
- Hassan, R., Cohanin, B., De Weck, O., and Venter, G. (2005, April). A comparison of particle swarm optimization and the genetic algorithm. In *46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference* (pp. 2005-1897). Texas.
- Irmeilyana, I., Bangun, P. B. J. and Izzah, H. (2017). Solution of Multiple Constraints Knapsack Problem (MCKP) by using Branch and Bound and Greedy Algorithm. *Journal of Modeling and Optimization*, 9(2), 112-119.
- Koohathongsumrit, N. and Luangpaiboon, P. (2021), An Integrated FAHP–ZODP Approach for Strategic Marketing Information System Project Selection. *Managerial and Decision Economics*, 43(6), 1792-1809.
- Mingo López, L. F., Gómez Blas, N., and Arteta Albert, A. (2018). Multidimensional knapsack problem optimization using a binary particle swarm model with genetic operations. *Soft Computing*, 22, 2567-2582.
- Minsan, P. (2021). Comparing Methods of Optimization in Solver of Microsoft Excel 2007 and 2019: A Case Study of Statistical Models, *The journal of KMUTNB*, 31(3), 496-511.
- Mohammad, A., Saleh, O., and Abdeen, R. A. (2006). Occurrences algorithm for string searching based on brute-force algorithm. *Journal of Computer Science*, 2(1), 82-85.

Multiple Knapsack Problems (2023). Retrieved 5 September 2023, from OR-library:

<http://people.brunel.ac.uk/>

Pisinger, D. (1999). Linear Time Algorithms for Knapsack Problems with Bounded Weights. **Journal of Algorithms**, 33(1), 1-14.

Puchinger, J., Raidl, G. R., and Pferschy, U. (2010). The multidimensional knapsack problem: Structure and algorithms. **INFORMS Journal on Computing**, 22(2), 250-265.

Sajjan, S. P., Roogi, R., Badiger, V. and Amaragatti, S. (2014). A New Approach to Solve Knapsack Problem. **Oriental Journal of Computer Science & Technology**, 7(2), 219.

Senju, S. and Toyada, Y. (1968). An approach to linear programming problems with 0-1 variables, **Management Science**, 15(4), 196-207.

Varnamkhasti, M. J. (2012). Overview of the Algorithms for Solving the Multidimensional Knapsack Problems. **Advanced Studies in Biology**, 4(1), 37-47.



Integral representations of the Pell and Pell-Lucas numbers

Achariya Nilsrakoo^{1,*}

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

**Email: achariya.n@ubru.ac.th*

Received <30 June 2024>; Revised <3 August 2024>; Accepted <24 August 2024>

Abstract

In this paper, integral representations of the Pell number P_{kn+r} and the Pell-Lucas number Q_{kn+r} are presented. Using Binet's formula for the Pell and Pell-Lucas numbers establishes some identities equipped with using simple integral calculus prove the integral representations.

Keywords: Pell number, Pell-Lucas number, Integral representation

ตัวแทนอินทิกรัลของจำนวนเพลล์และเพลล์-ลูคัส

อัจฉริยา นิลสระคู^{1,*}

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

*Email: achariya.n@ubru.ac.th

รับบทความ: 30 มิถุนายน 2567 แก้ไขบทความ: 3 สิงหาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 24 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำเสนอตัวแทนอินทิกรัลของจำนวนเพลล์ P_{kn+r} และเพลล์-ลูคัส Q_{kn+r} โดยใช้สูตรไบเนตสำหรับจำนวนเพลล์และเพลล์-ลูคัสในการสร้างเอกลักษณ์บางประการและใช้แคลคูลัสอินทิกรัลพื้นฐานในการพิสูจน์

คำสำคัญ: จำนวนเพลล์ จำนวนเพลล์-ลูคัส ตัวแทนอินทิกรัล

Introduction

Several integer sequences are all practical branches of modern science. For instance, the Fibonacci and the Lucas sequence are a well-known mathematical series that has been extensively researched in the literatures. The Fibonacci sequence has been generalized in a variety of ways, including preserving the initial conditions and the recurrence relation. Recall that the n th Fibonacci number F_n is defined by the recurrence relation $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$, for all $n \geq 2$ with $F_0 = 0$ and $F_1 = 1$. It is well known that the representations of the Fibonacci numbers are given by the following two identities:

Binet's formula (Koshy, 2018) for the Fibonacci number is

$$F_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\alpha^n - \frac{(-1)^n}{\alpha^n} \right), \text{ where } \alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}, \text{ and}$$

Simpson formula or *Cassini identity* for the Fibonacci number is

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

The n th Lucas number L_n is defined by the recurrence relation $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$, for $n \geq 2$ with $L_0 = 2$ and $L_1 = 1$.

Binet's formula (Koshy, 2018) for the Lucas number is

$$L_n = \alpha^n + \frac{(-1)^n}{\alpha^n}, \text{ where } \alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}.$$

Simpson formula for the Lucas number is

$$L_{n-1} L_{n+1} - L_n^2 = 5(-1)^{n+1}.$$

In 2015 (Glasser and Zhou, 2015) Glasser and Zhou have given an integral representation for the Fibonacci number:

$$F_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{\sqrt{5}+1}{2} \right)^n - \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \left(\frac{\sin(x/2)}{x} \right) \left(\frac{\cos(nx) - 2\sin(nx)\sin x}{5\sin^2 x + \cos^2 x} \right) dx.$$

Moreover, integral representations for the even and odd terms in the Fibonacci number are

$$F_{2n} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{\sqrt{5}+1}{2} \right)^{2n} - \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \left(\frac{\sin(x/2)}{x} \right) \left(\frac{\cos(2nx)}{5\sin^2 x + \cos^2 x} \right) dx, \text{ and}$$

$$F_{2n+1} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{\sqrt{5}+1}{2} \right)^{2n+1} + \frac{4}{\pi} \int_0^\infty \left(\frac{\sin(x/2)}{x} \right) \left(\frac{\sin[(2n+1)x]\sin x}{5\sin^2 x + \cos^2 x} \right) dx,$$

where n is a non-negative integer.

In 2022 (Stewart, 2022) Stewart has used the connection between the Fibonacci numbers, the Lucas numbers, the golden ratio $\alpha^n = \frac{L_n + \sqrt{5}F_n}{2}$, and identity $L_n^2 - 5F_n^2 = 4(-1)^n$ to give the integral representations of the Fibonacci number F_{kn} and Lucas number L_{kn} :

$$F_{kn} = \frac{nF_k}{2^n} \int_{-1}^1 (L_k + \sqrt{5}F_k x)^{n-1} dx,$$

$$L_{kn} = \frac{1}{2^n} \int_{-1}^1 (L_k + (n+1)\sqrt{5}F_k x)(L_k + \sqrt{5}F_k x)^{n-1} dx,$$

where n is a non-negative integer and k is a positive integer. The special cases of such identities for $k=1$ are also discussed in Stewart's paper (Stewart, 2023). Moreover, other integral representations for the Fibonacci number F_{kn+r} and Lucas number L_{kn+r} :

$$F_{kn+r} = \frac{1}{2^{n+1}} \int_{-1}^1 (nF_k L_r + F_r L_k + (n+1)\sqrt{5}F_k F_r x)(L_k + \sqrt{5}F_k x)^{n-1} dx,$$

$$L_{kn+r} = \frac{1}{2^{n+1}} \int_{-1}^1 (5nF_k F_r + L_k L_r + (n+1)\sqrt{5}F_r L_r x)(L_k + \sqrt{5}F_k x)^{n-1} dx,$$

where n, r are non-negative integers and k is a positive integer (Stewart, 2022).

Like Fibonacci and Lucas numbers, the Pell family is widely used. Pell and Pell–Lucas numbers also provide boundless opportunities to experiment, explore, and conjecture. Further details can be found, for instance, (Trojnar-Spelina and Włoch, 2019; Erduvan and Keskin, 2022). The n th Pell number P_n and the n

th Pell-Lucas number Q_n are explicitly given by the Binet-type formulas: $P_n = \frac{(1+\sqrt{2})^n - (1-\sqrt{2})^n}{2\sqrt{2}}$ and $Q_n = (1+\sqrt{2})^n + (1-\sqrt{2})^n$, respectively.

In this paper, we give new integral representations that have never existed before of the Pell number and the Pell-Lucas number by using Binet's formula for the Pell and Pell-Lucas numbers to establish some identities and simple integral calculus to prove them.

Preliminaries

In this section, we briefly recall some of the concepts and results that we will require.

The n th Pell number P_n is defined by the recurrence relation $P_n = 2P_{n-1} + P_{n-2}$, for $n \geq 2$ with $P_0 = 0$ and $P_1 = 1$. The first few terms of the sequence are 0, 1, 2, 5, 12, 29, 70, 169, 408, 985, ...

Binet's formula (Bicknell, 1915) for the Pell number is

$$P_n = \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\varphi^n - \frac{(-1)^n}{\varphi^n} \right), \quad (1.1)$$

where $\varphi = 1 + \sqrt{2}$.

Simpson formula (Horadam, 1971) for the Pell number is

$$P_{n-1} P_{n+1} - P_n^2 = (-1)^n.$$

The n th Pell-Lucas number Q_n is defined by the recurrence relation $Q_n = 2Q_{n-1} + Q_{n-2}$, for $n \geq 2$ with $Q_0 = 2$ and $Q_1 = 2$. The first few terms of the sequence are 2, 2, 6, 14, 34, 82, 198, 478, ... Binet's formula (Bicknell, 1915) for the Pell-Lucas number is

$$Q_n = \varphi^n + \frac{(-1)^n}{\varphi^n}, \quad (1.2)$$

where $\varphi = 1 + \sqrt{2}$.

Simpson formula (Horadam and Mahon, 1985) for the Pell-Lucas number is

$$Q_{n-1} Q_{n+1} - Q_n^2 = 8(-1)^{n+1}.$$

Lemma 2.1 Let n be a non-negative integer. Then the following hold:

1. $\varphi^n = \frac{Q_n + \sqrt{8}P_n}{2}$,
2. $Q_n^2 - 8P_n^2 = 4(-1)^n$,
3. $\frac{1}{\varphi^n} = \frac{(-1)^n}{2} (Q_n - \sqrt{8}P_n)$.

Proof. 1. Combining Binet's formula for the Pell (1.1) and Pell-Lucas numbers (1.2), gives

$$Q_n + 2\sqrt{2}P_n = \left(\varphi^n + \frac{(-1)^n}{\varphi^n} \right) + \left(\varphi^n - \frac{(-1)^n}{\varphi^n} \right) = 2\varphi^n.$$

Then $\varphi^n = \frac{Q_n + \sqrt{8}P_n}{2}$ which completes the proof.

2. Squaring both sides of Binet's formula for the Pell (1.1) and Pell-Lucas numbers (1.2) and subtracting them, give

$$Q_n^2 - 8P_n^2 = \left(\varphi^{2n} + 2(-1)^n + \left(\frac{(-1)^n}{\varphi} \right)^{2n} \right) - \left(\varphi^{2n} - 2(-1)^n + \left(\frac{(-1)^n}{\varphi} \right)^{2n} \right) = 4(-1)^n,$$

which completes the proof.

3. It follows from (1) that

$$\frac{1}{\varphi^n} = \frac{2}{Q_n + \sqrt{8}P_n} = \frac{2(Q_n - \sqrt{8}P_n)}{Q_n^2 - 8P_n^2} = \frac{2(Q_n - \sqrt{8}P_n)}{4(-1)^n} = \frac{(-1)^n}{2} (Q_n - \sqrt{8}P_n).$$

Lemma 2.2 Let m and r be non-negative integers. Then the following hold:

1. $2P_{m+r} = P_m Q_r + P_r Q_m$,
2. $2Q_{m+r} = Q_m Q_r + 8P_m P_r$.

Proof. Using Binet's formula for the Pell (1.1) and Pell-Lucas numbers (1.2), we get

$$\begin{aligned} P_m Q_r + P_r Q_m &= \frac{1}{\sqrt{8}} \left(\varphi^m - \frac{(-1)^m}{\varphi^m} \right) \left(\varphi^r + \frac{(-1)^r}{\varphi^r} \right) + \frac{1}{\sqrt{8}} \left(\varphi^r - \frac{(-1)^r}{\varphi^r} \right) \left(\varphi^m + \frac{(-1)^m}{\varphi^m} \right) \\ &= \frac{2}{\sqrt{8}} \left(\varphi^{m+r} - \frac{(-1)^{m+r}}{\varphi^{m+r}} \right) \\ &= 2P_{m+r}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{and } Q_m Q_r + 8P_m P_r &= \left(\varphi^m + \frac{(-1)^m}{\varphi^m} \right) \left(\varphi^r + \frac{(-1)^r}{\varphi^r} \right) + 8 \cdot \frac{1}{\sqrt{8}} \left(\varphi^m - \frac{(-1)^m}{\varphi^m} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{8}} \left(\varphi^r - \frac{(-1)^r}{\varphi^r} \right) \\ &= 2 \left(\varphi^{m+r} + \frac{(-1)^{m+r}}{\varphi^{m+r}} \right) = 2Q_{m+r}. \end{aligned}$$

Main Results

In the first of this section, the integral representation for the Pell number P_{kn} can be found by employing other known relations between the two numbers P_k and Q_k .

Theorem 3.1 For n is a non-negative integer and k is a positive integer, the Pell number P_{kn} can be represented by the integral

$$P_{kn} = \frac{nP_k}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + \sqrt{8}P_k x)^{n-1} dx. \quad (3.1)$$

Proof. Straightforward simple integration leads to

$$\frac{nP_k}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + \sqrt{8}P_k x)^{n-1} dx = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[\left(\frac{Q_k + \sqrt{8}P_k x}{2} \right)^n \right]_{-1}^1 = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[\left(\frac{Q_k + \sqrt{8}P_k}{2} \right)^n - \left(\frac{Q_k - \sqrt{8}P_k}{2} \right)^n \right]. \quad (3.2)$$

Applying Lemma 2.1 (1) and (3) in (3.2) with n replaced with k , and replace k by kn yields

$$\frac{nP_k}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + \sqrt{8}P_k x)^{n-1} dx = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(\varphi^k - \frac{(-1)^k}{\varphi^k} \right) = \frac{1}{\sqrt{8}} \left(\varphi^{kn} - \frac{(-1)^{kn}}{\varphi^{kn}} \right) = P_{kn}.$$

This completes the proof.

The integral representations of the Pell number for even and odd orders are shown as follow:

Corollary 3.2 Let n be a non-negative integer.

1. The Pell number P_{2n} can be represented by the integral

$$P_{2n} = n \int_{-1}^1 (3 + \sqrt{8}x)^{n-1} dx. \quad (3.3)$$

2. The Pell number P_{2n+1} can be represented by the integral

$$P_{2n+1} = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 (2n+3+(n+1)\sqrt{8x})(3+\sqrt{8x})^{n-1} dx. \quad (3.4)$$

Proof. 1. Notice that $P_2=2$ and $Q_2=6$. Setting $k=2$ in (3.1) gives

$$\begin{aligned} P_{2n} &= \frac{nP_2}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_2 + \sqrt{8P_2}x)^{n-1} dx \\ &= \frac{n}{2^{n-1}} \int_{-1}^1 (6 + 2\sqrt{8}x)^{n-1} dx \\ &= n \int_{-1}^1 (3 + \sqrt{8}x)^{n-1} dx. \end{aligned}$$

Thus, (3.3) holds.

2. Reindexing of n by $n+1$ in (3.3), we get

$$P_{2n+2} = (n+1) \int_{-1}^1 (3 + \sqrt{8}x)^n dx. \quad (3.5)$$

Using $P_{2n+2} = 2P_{2n+1} + P_{2n}$ with (3.3) and (3.5), we obtain

$$\begin{aligned} P_{2n+1} &= \frac{1}{2} (P_{2n+2} - P_{2n}) \\ &= \frac{1}{2} \left((n+1) \int_{-1}^1 (3 + \sqrt{8}x)^n dx - n \int_{-1}^1 (3 + \sqrt{8}x)^{n-1} dx \right) \\ &= \frac{1}{2} \int_{-1}^1 (2n+3+(n+1)\sqrt{8}x)(3 + \sqrt{8}x)^{n-1} dx. \end{aligned}$$

This completes the proof.

Remark 3.3 As in Corollary 3.2 (1), P_{2n} is product of n and the region under a curve $y_n(x) = (3 + \sqrt{8}x)^{n-1}$ between -1 and 1 . Indeed, (3.3) becomes

$$P_{2n} = n \int_{-1}^1 y_n dx.$$

For example, see Figure 1.

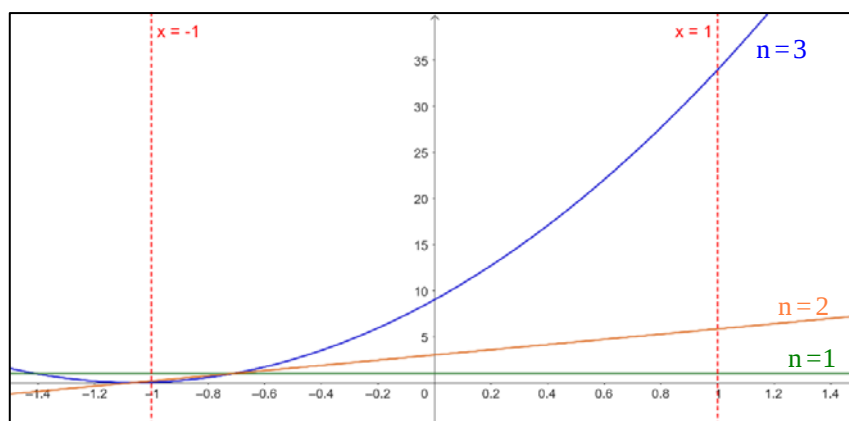


Figure 1 The region under a curve of $y_n(x)$ with $-1 \leq x \leq 1$ for $n=1, 2, 3$.

Next, we provide the integral representations for the Pell-Lucas number Q_{kn} based on the two numbers P_k and Q_k .

Theorem 3.4 For n is a non-negative integer and k is a positive integer, the Pell-Lucas number Q_{kn} can be represented by the integral

$$Q_{kn} = \frac{1}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k}x) (Q_k + \sqrt{8P_k}x)^{n-1} dx. \quad (3.6)$$

Proof. Replacing n by $n+1$ in (3.1) becomes

$$P_{kn+k} = \frac{(n+1)P_k}{2^{n+1}} \int_{-1}^1 (Q_k + \sqrt{8P_k}x)^n dx. \quad (3.7)$$

Integrating by part (3.6) and using (3.7), we have

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k}x) (Q_k + \sqrt{8P_k}x)^{n-1} dx \\ &= \frac{1}{n\sqrt{8P_k}} \left[\left(\frac{Q_k + \sqrt{8P_k}x}{2} \right)^n (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k}x) \right]_{-1}^1 - \frac{n+1}{n2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + \sqrt{8P_k}x)^n dx \\ &= \frac{1}{n\sqrt{8P_k}} \left(\frac{Q_k + \sqrt{8P_k}}{2} \right)^n (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k}) - \frac{1}{n\sqrt{8P_k}} \left(\frac{Q_k - \sqrt{8P_k}}{2} \right)^n (Q_k - (n+1)\sqrt{8P_k}) - \frac{2P_{kn+k}}{nP_k}. \end{aligned}$$

Applying Lemma 2.1 (1) and (2) to the righthand side of the above equation gives

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k}x) (Q_k + \sqrt{8P_k}x)^{n-1} dx \\ &= \frac{1}{n\sqrt{8P_k}} \phi^{kn} (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k}) - \frac{1}{n\sqrt{8P_k}} \frac{(-1)^{kn}}{\phi^{kn}} (Q_k - (n+1)\sqrt{8P_k}) - \frac{2P_{kn+k}}{nP_k} \\ &= \frac{1}{nP_k} \left[\frac{1}{\sqrt{8}} \phi^{kn} Q_k + (n+1) \phi^{kn} P_k - \frac{1}{\sqrt{8}} \frac{(-1)^{kn}}{\phi^{kn}} Q_k + (n+1) \frac{(-1)^{kn}}{\phi^{kn}} P_k \right] - \frac{2P_{kn+k}}{nP_k} \\ &= \frac{1}{nP_k} \left[\frac{1}{\sqrt{8}} \left(\phi^{kn} - \frac{(-1)^{kn}}{\phi^{kn}} \right) Q_k + (n+1) \left(\phi^{kn} + \frac{(-1)^{kn}}{\phi^{kn}} \right) P_k \right] - \frac{2P_{kn+k}}{nP_k}. \end{aligned}$$

Applying both Binet's formulas (1.1) and (1.2) with n replaced by kn and Lemma 2.2 (1) leads to

$$\begin{aligned} \frac{1}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k}x) (Q_k + \sqrt{8P_k}x)^{n-1} dx &= \frac{1}{nP_k} [P_{kn}Q_k + (n+1)P_kQ_{kn}] - \frac{2P_{kn+k}}{nP_k} \\ &= \frac{1}{nP_k} [(P_{kn}Q_k + P_kQ_{kn}) + nP_kQ_{kn}] - \frac{2P_{kn+k}}{nP_k} \\ &= \frac{1}{nP_k} [2P_{kn+k} + nP_kQ_{kn}] - \frac{2P_{kn+k}}{nP_k} \\ &= Q_{kn}, \end{aligned}$$

which completes the proof.

Now, both P_{kn} and Q_{kn} are then used to establish integral representations for the Pell number P_{kn+r} and Pell-Lucas number Q_{kn+r} as the following theorems.

Theorem 3.5 For n and r are non-negative integers and k is a positive integer, the Pell number P_{kn+r} can be represented by the integral

$$P_{kn+r} = \frac{1}{2^{n+1}} \int_{-1}^1 \left(nP_k Q_r + P_r Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k P_r x} \right) (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx. \quad (3.8)$$

Proof. Using Lemma 2.2 (1) with m replaced by kn , we get

$$P_{kn+r} = \frac{1}{2} (P_{kn} Q_r + P_r Q_{kn}). \quad (3.9)$$

Applying Theorem 3.1 and Theorem 3.4 leads to

$$\begin{aligned} P_{kn+r} &= \frac{1}{2} \left(\left(\frac{nP_k}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx \right) Q_r + P_r \left(\frac{1}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k x}) (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx \right) \right) \\ &= \frac{1}{2^{n+1}} \int_{-1}^1 \left(nP_k Q_r + P_r Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k P_r x} \right) (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx, \end{aligned}$$

which completes the proof.

Theorem 3.6 For n and r are non-negative integers and k is a positive integer, the Pell-Lucas number Q_{kn+r} can be represented by the integral

$$Q_{kn+r} = \frac{1}{2^{n+1}} \int_{-1}^1 \left(8nP_k P_r + Q_k Q_r + (n+1)\sqrt{8P_k Q_r x} \right) (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx \quad (3.10)$$

Proof. Using Lemma 2.2 (2) with m replaced by kn , we get

$$Q_{kn+r} = \frac{1}{2} (Q_{kn} Q_r + 8P_{kn} P_r). \quad (3.11)$$

Applying Theorem 3.1 and Theorem 3.4 leads to

$$\begin{aligned} Q_{kn+r} &= \frac{1}{2} \left(\left(\frac{1}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + (n+1)\sqrt{8P_k x}) (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx \right) Q_r + 8 \left(\frac{nP_k}{2^n} \int_{-1}^1 (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx \right) P_r \right) \\ &= \frac{1}{2^{n+1}} \int_{-1}^1 \left(8nP_k P_r + Q_k Q_r + (n+1)\sqrt{8P_k Q_r x} \right) (Q_k + \sqrt{8P_k x})^{n-1} dx, \end{aligned}$$

which completes the proof.

Conclusion

In this paper, we give integral representations of the Pell numbers and the Pell-Lucas numbers by using Binet's formula for the Pell and Pell-Lucas numbers. We establish some identities and simple integral calculus to prove them. Nevertheless, to find integral representations of several integer sequences, such as the Bell numbers, the Padovan numbers, k – Fibonacci numbers, and the k – Pell numbers, are still open problems.

Acknowledgement

This work is supported by the Department of Mathematics, Faculty of Science, Ubon Ratchatani Rajabhat University.

References

- Bicknell, M. (1915). A Primer on the Pell sequence and related sequences. **Fibonacci-Quarterly**, 13(4), 345-349.
- Erduran, F. and Keskin, R. (2022). Pell and Pell-Lucas numbers as product of two repdigits. **Mathematical Notes**, 112(6), 861-871.
- Glasser, M. L. and Zhou, Y. (2015). An integral representation for the Fibonacci numbers and their generalization. **Fibonacci-Quarterly**, 53(4), 313-318.
- Horadam, A. F. (1971). Pell identities. **Fibonacci-Quarterly**, 9(3), 245–263.
- Horadam, A. F. and Mahon, J. M. (1985). Pell and Pell-Lucas polynomials. **Fibonacci-Quarterly**, 23(1), 7–20.
- Koshy, T. (2018). **Fibonacci and Lucas numbers with applications**. NJ: John Wiley & Sons.
- Stewart, S. M. (2022). Simple integral representations for the Fibonacci and Lucas numbers. **Australian Journal of Mathematical Analysis and Applications**, 19(2), 1-5.
- Stewart, S. M. (2023). A simple integral representation of the Fibonacci numbers. **The Mathematical Gazette**, 107(568), 120-123.
- Trojnar-Spelina, L. and Włoch, I. (2019). On generalized Pell and Pell-Lucas numbers. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science**, 43(1).



Strengthening Database Privacy: A Comprehensive Approach Using One Time Pad

Alain Jean¹ and Tossaporn Alherbe^{1,*}

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

**Email: tossaporn.c@ubu.ac.th*

Received <4 July 2024>; Revised <26 August 2024>; Accepted <28 August 2024>

Abstract

Securing sensitive data stored in database environments is a critical challenge faced by organizations across various industries. Inadequate database security can lead to devastating data breaches, compromising the privacy and confidentiality of crucial information. This research focuses on the importance of robust database security measures and the role of the Gid Crypto tool in addressing these concerns. Gid Crypto, a stand-alone application, efficiently encrypts and decrypts data using private, public, and shared keys. The previous version stored encryption keys and contact names directly in the MongoDB database, posing a security risk if attackers managed to hack the password. This research introduces a new mechanism leveraging One Time Pad (OTP)-based encryption to enhance security. By implementing OTP, the tool ensures that contact lists, private keys, and secret keys are encoded before storage, making the data incomprehensible without the appropriate decryption keys, even if unauthorized access occurs. The enhanced Gid Crypto application maintains data integrity, confidentiality, and authenticity, effectively protecting sensitive information in databases. Comprehensive testing confirmed the tool's robustness, accuracy, and efficiency, establishing it as a practical and cost-effective option for database security.

Keywords: Encryption, Decryption, One Time Pad (OTP), Database security, Data encryption

การเพิ่มความปลอดภัยให้ฐานข้อมูล: วิธีการของ One Time Pad

อลัน จิน¹ และทศพร อเลิร์ป^{1,*}¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: tossaporn.c@ubu.ac.th

รับบทความ: <4 กรกฎาคม 2567>; แก้ไขบทความ: <26 สิงหาคม 2567>; ยอมรับตีพิมพ์: <28 สิงหาคม 2567>

บทคัดย่อ

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่มีความละเอียดอ่อนซึ่งถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลถือเป็นความท้าทายที่สำคัญที่องค์กรในหลากหลายอุตสาหกรรมต้องเผชิญ ถ้าฐานข้อมูลมีการรักษาความปลอดภัยที่ไม่เพียงพอ จะนำไปสู่การละเมิดข้อมูลหรือการรั่วไหลของข้อมูลที่รุนแรง ซึ่งส่งผลกระทบต่อความเป็นส่วนตัวโดยเฉพาะข้อมูลสำคัญที่เป็นความลับ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ความสำคัญของมาตรการรักษาความปลอดภัยบนฐานข้อมูล และบทบาทของการใช้เครื่องมือกิดคริปโทในการรักษาข้อมูลให้เป็นความลับ กิดคริปโทเป็นแอปพลิเคชันแบบสแตนด์อโลนที่สามารถทำการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้กุญแจส่วนตัว กุญแจสาธารณะ และกุญแจร่วม ก่อนหน้านี้นักกิดคริปโทจะทำการเก็บกุญแจที่ใช้ในการเข้ารหัสและรายชื่อผู้ติดต่อลงในฐานข้อมูลมอลโกดตีบีโดยตรง ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยหากผู้โจมตีระบบสามารถเข้าถึงรหัสผ่านได้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการใหม่ที่ใช้ประโยชน์จากการนำวิธีการเข้ารหัสแบบวันไทม์แพด (โอทีพี) เข้ามาร่วม เพื่อยกระดับความปลอดภัยให้กับการใช้งานกิดคริปโท การใช้โอทีพีทำให้ข้อมูลรายชื่อผู้ติดต่อ กุญแจส่วนตัว และกุญแจลับ มีการเข้ารหัสก่อนนำไปจัดเก็บลงฐานข้อมูล ทำให้ข้อมูลไม่สามารถเข้าใจได้หากไม่มีกุญแจที่ใช้ในการถอดรหัสที่ถูกต้อง แม้ว่าจะมีการเข้าถึงข้อมูลเหล่านั้นโดยผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตก็ตาม แอปพลิเคชันกิดคริปโทที่ได้รับการปรับปรุงนี้สามารถรักษาความสมบูรณ์ของข้อมูล เก็บข้อมูลไว้เป็นความลับและรักษาความถูกต้องของข้อมูลเอาไว้ โดยสามารถปกป้องข้อมูลที่มีความละเอียดอ่อนในฐานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดสอบการทำงานของกิดคริปโท ผลการทดสอบยืนยันถึงความทนทานต่อการพยายามโจมตี สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นตัวเลือกในการนำไปใช้งานได้จริงและมีความคุ้มค่าในการนำไปรักษาความปลอดภัยให้กับฐานข้อมูล

คำสำคัญ: การเข้ารหัส การถอดรหัส วันไทม์แพด (โอทีพี) ความปลอดภัยฐานข้อมูล การเข้ารหัสข้อมูล

Introduction

The rapid advancement of technology makes it easier for anyone to store, transmit, and access data. However, this convenience also brings significant risks, particularly regarding sensitive information that malicious individuals can intercept, alter, or steal. Encryption plays a critical role in protecting databases from both inside and outside attackers by converting sensitive data into a format that is unreadable without the proper decryption key. This ensures that even if an attacker gains unauthorized access, the data remains secure and unusable. For inside attackers, encryption prevents misuse of legitimate access, while for outside attackers, it serves as a formidable barrier against hacking attempts. By safeguarding data integrity and confidentiality, encryption helps maintain trust, compliance, and the overall security of the organization's information assets.

Several studies have been conducted to enhance the understanding and application of encryption and decryption techniques. A research work by Ibrahim *et al.* (2023) examined database security by employing ASCII code for data encryption in conjunction with their proprietary algorithms. Shingari and Mago (2024) investigated the protection of sensitive medical records sourced from Internet of Things (IoT) technologies. With the growth of cloud technology, numerous researchers have turned their attention toward cloud security. For instance, Fatima *et al.* (2022) suggested the implementation of the Advanced Encryption Standard (AES) for encrypting data within cloud-based applications and storage solutions. Similarly, Hammami, Obaidat and Yahia (2020) concentrated on safeguarding personal data during authentication processes in cloud environments.

Currently, various commercial and online cryptography services are utilized across diverse systems. For instance, VeraCrypt (Evkan *et al.*, 2020; KakaSoft, 2021) is a tool compatible with Linux, macOS, and Windows operating systems, capable of creating hidden drives for data encryption that remain invisible in the file system. However, its complexity can hinder effective use for some users, potentially affecting system performance. Miguel (2024) conducted a comprehensive review and evaluation of several popular encryption software options, including IPassword, Boxcryptor, NordLocker, Kruptos2 Professional, and CryptoForge. These tools typically require subscriptions. Among email encryption services, Cisco Secure Email Encryption Service (TrustRadius, 2024) offers an inexpensive plug-in, but it only supports Outlook and Microsoft 365. Proton Mail (James, 2024; Preveil, 2024; Rubenking, 2024) provide robust encryption services to secure email messages; however, their free versions offer limited features, with additional functionalities and unlimited storage available only through paid plans. Addressing these limitations, we have developed a tool named Gid Crypto (Jean and Alherbe, 2024), designed to encrypt and decrypt data in emails, text messages, and CSV files. This tool was designed to be user-friendly and does not require any additional subscription fees. Gid Crypto was also utilized by Ngaogate *et al.* (2024) to safeguard patient data at rest. The tool encrypts data before storing it in a database, with decryption occurring before entering the data classification process.

One Time Pad (OTP) encryption uses a random key that is only used once to encrypt plaintext. It ensures the security of sensitive information from unauthorized access. The OTP process generates a random key that is the same length as the plaintext. Each bit or character of the plaintext is then encrypted by combining it with the corresponding bit from the OTP key using modular addition. Besides being an uncrackable encryption method, OTP is cost-effective as it usually does not require additional hardware or software, making it a practical option for enhancing database security.

Certain research efforts have explored the use of OTPs to secure data, for instance, Budiman, Zarlis and Hafirzah (2021) combined the Rabin- p algorithm and OTP to protect data images. Their research result shows a conclusion that the larger the size of the images, the longer the time is used for encryption and

decryption. Indra and Nabila (2023) conducted a study on securing text messages by first using RSA to encrypt the plaintext, followed by using OTP with the same plaintext to maintain data authenticity. Kumari, Balaji and Lyengar (2023) used OTP for secure data in cloud computing and explained the OTP process.

In this research, we proposed a new security mechanism to enhance the efficiency of the Gid Crypto tool in securing data protection and privacy within database environments. By implementing OTPs, we strengthen the security of data by encoding contact lists, private keys, and secret keys before their direct storage in the database, as was observed in the previous Gid Crypto version. Consequently, even if unauthorized individuals gain access to the database, they will be unable to comprehend the stored information without possessing the appropriate decryption keys.

Research Objectives

1. To encrypt data while storing and retrieving from the database.
2. To keep the data confidential so that those not involved cannot understand that information.
3. To secure data from inside and outside attackers.

Research Method

In this section, we describe the current Gid Crypto system, detail the implementation of OTP, and explain how applying OTP can significantly enhance Gid Crypto's security. We also provide testing details to ensure the robustness of Gid Crypto's encryption and decryption capabilities. The following information will explain these aspects comprehensively.

Gid Crypto Application

Our development tool, Gid Crypto (Jean and Alherbe, 2024), is a stand-alone application designed to encrypt and decrypt data efficiently and rapidly using private, public and shared keys. The tool was developed using Diffie-Hellman, Mersenne Twister, and AES techniques to ensure secure data. Speed tests indicate that the encryption and decryption processes are performed within a reasonable time frame, and attempts to attack the system were unsuccessful in obtaining the keys. Figure 1 shows the current Gid Crypto encryption and decryption workflow where Bob and Alice represent a pair on the contact lists.

To establish secure communication, each communication pair must create a contact name. As shown in Figure 1, Bob created Alice as his contact name, while Alice did the same for Bob. Subsequently, Bob generates a private key and a public key. These keys are used to create a shared key for Bob. Bob then sends the public key and shares it over the internet with Alice, enabling her to generate her secret key.

Similarly, Bob's secret key is generated using Alice's public and shared key. The contact name, private key, and secret key are stored in the database on each side. During communication, Bob and Alice use their keys to encrypt and decrypt messages, ensuring their conversations are secure. In this way, the current version of Gid Crypto ensures that communication messages are protected and secure enough, as described and tested in our work (Jean and Alherbe, 2024). Even if eavesdroppers intercept their encrypted messages, they cannot read the content without the proper keys.

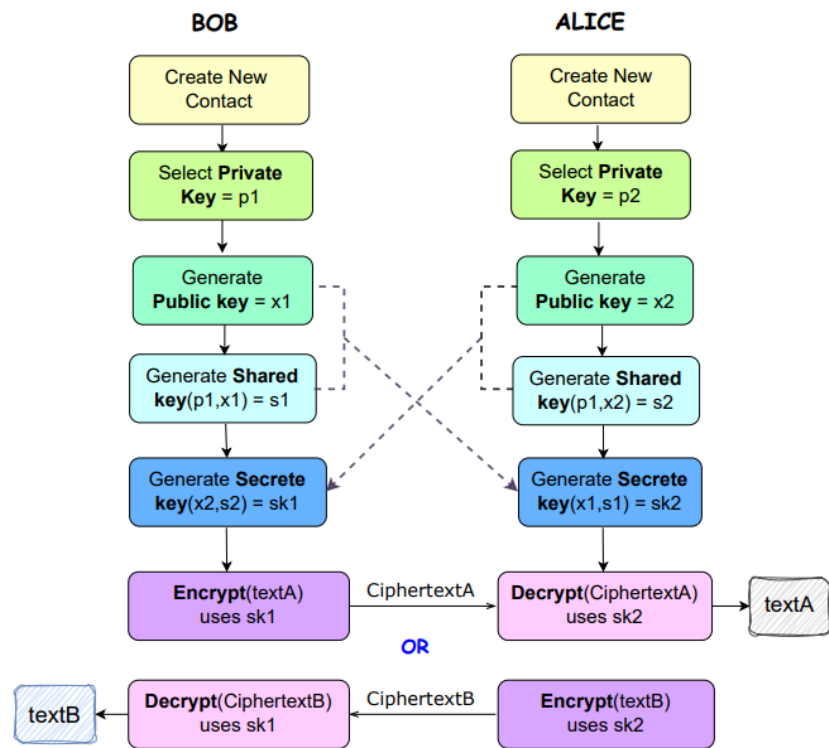


Figure 1 The current Gid Crypto encryption and decryption workflow

To enhance Gid Crypto's efficiency, we have pinpointed specific areas for improvement. In the current version, we found that the private keys, secret keys, and contact names are stored directly in the MongoDB database. Despite Gid Crypto's implementation of password-based access control, if inside or outside attackers hack the password, they could access the database and view the stored encryption keys, enabling them to decrypt the protected data.

Enhanced Gid Crypto Application

In this research, we have enhanced the capabilities of Gid Crypto to encrypt the contact names, private keys, and secret keys before storing them in the database. The plain text will be encrypted using random sequence OTP keys and stored in the datastore. For decryption, the data will be retrieved from the datastore and then decrypted. This process ensures that if an unauthorized person were to hack into the database, they would be unable to discern the contact names or keys, thereby increasing the data's privacy and security. In doing that, we developed the application using Python, leveraging the PyQt5, PyMongo, and Cryptodome libraries, among others, and utilized MongoDB for the database.

We have utilized the OTP methods to assist in encrypting data for security enhancement. The OTP encryption and decryption technique are applied to both sides of the communication, as demonstrated in our example with Bob and Alice. Figure 2 illustrates the enhancement process of the Gid Cryptosystem, specifically on Bob's side.

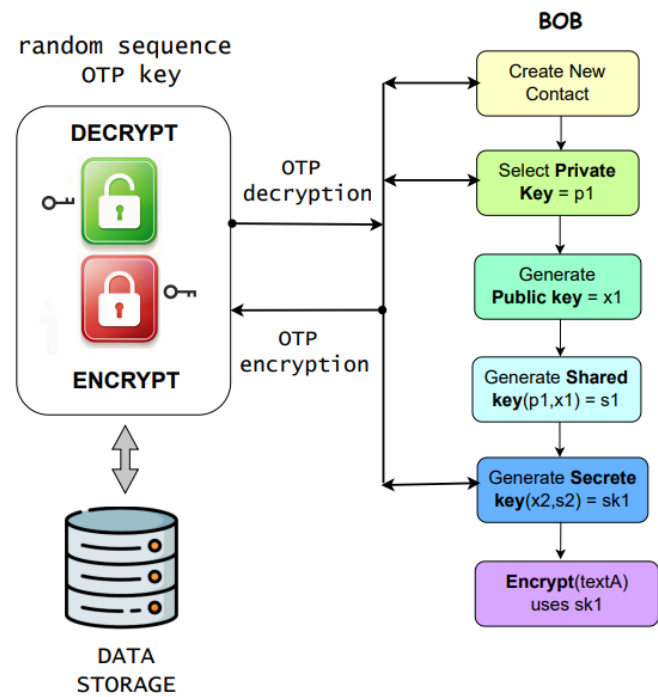


Figure 2 The Gid Crypto Enhancement

One Time Pad

The OTP is an encryption technique that only uses a predefined secret key once. The key length is equal to the size of the message being encrypted, and we use this key in an algorithm to modify each character of the text that we are encrypting and store the resulting cipher in the database; when that data is needed, the algorithm, is used to decrypt the cipher to plaintext. Our proposed OTP-generating method is described as follows:

- 1. In Gid Crypto, contact names are generated as strings that may include spaces and underscore, while private and secret keys are solely numeric. However, there are no restrictions on the length of contact names, private keys, or secret keys. Users can make them as long as they want.
- 2. According to the condition of the contact name and the keys generated above, we would use [A-Z], space, [0-9], underscore (_), and [a-z] (a total of 64 alphabets) for encryption and decryption. Special characters such as @, #, and ! are excluded since they are not used in naming conventions and cannot be used to create public and private keys. The numerical value of each alphabet is shown in Figure 3.
- 3. The OTP random key (K) value is uniquely generated using our developed function Random_Sequence(). This key is the same length as the plaintext used to modify each text character. Even if the plain text characters are identical, the generated key will differ each time. This key is only used once to encrypt the plaintext and decrypt the ciphertext, ensuring unique encryption and decryption for each instance.

Alphabet	A	B	C	...	Y	Z	space	0	1	...	8	9	_	a	b	c	...	y	z
Numerical Value	0	1	2	...	24	25	26	27	28	...	35	36	37	38	39	40	...	62	63

Figure 3 Numerical value of each alphabet

Key Generation Function

We developed a Random_Sequence() function to generate OTP keys as follows:

For contact name:

1. Specify the Plain Text: The length of the OTP key sequence will equal the length of the plain text.
2. Map Characters to Numerical Values: Each character in the plain text is **randomly mapped** to a numerical value ranging from 0 to 63, resulting in a sequence of integers making the OTP keys.

For private and secret keys:

1. Specify the Plain Numbers: The length of the OTP key sequence will equal the length of the plain numbers.
2. Map Numbers to Numerical Values: Each plain number is mapped to a **256-bit** length number from 0 to 9.

The length of the plaintext and plain numbers can be adjusted as needed. If the communication pair wishes to use a new set of OTP keys for the contact name, they can delete the current contact and regenerate a new contact using a new plain text to issue a new random sequence. This process is similar to updating the OTP keys for private and secret keys. The encryption and decryption processes are explained below:

Algorithm for OTP Encryption

- Step 1: Identify the plaintext to encrypt (contact name, private key, or secret key).
- Step 2: Convert each character, number, space, or underscore into a numerical value ranging from 0 to 63.
- Step 3: Use the developed function Random_Sequence() to generate OTP keys of the same length as the plaintext.
- Step 4: Add each numerical plaintext value to the corresponding OTP key.
- Step 5: Perform modulo 64 on each resulting value from Step 4 to obtain the ciphertext.

Algorithm for OTP Decryption

- Step 1: Subtract each ciphertext numerical value from its corresponding OTP key value.
- Step 2: Perform modulo 64 on each resulting value from Step 1 to obtain the plaintext.

Figure 4 illustrates the encryption and decryption process using OTP for a contact name “Alain Jean.” In this example, the contact name has two “a” and two “n.” The developed algorithm uses a different key for each occurrence of the same character. For instance, the OTP key for the first “a” is 44, while the OTP key for the second “a” is 53. Consequently, the ciphertexts for “a” are different.

Figure 5 illustrates the OTP encryption and decryption process for a private key. It demonstrates that, with the developed algorithm, the ciphertext can be identical even if the keys are different. For instance, the numbers 2, 3, and 9 all have the same cipher representation as “Q.” This means that if an unauthorized person accesses the database and sees the “Q” values, they might incorrectly assume they originate from the same initial plaintext. Therefore, attempts to decrypt the data, considering it comes from the same source, will be unsuccessful.

ENCRYPTION										
Plaintext	A	I	a	i	n		J	e	a	n
Numerical value of Plaintext	0	49	38	46	51	26	9	42	38	51
OTP Key (K)	53	57	44	32	52	51	44	32	53	19
pk = Numerical value of Plaintext + K	53	106	82	78	103	77	53	74	91	70
pk MOD 64	53	42	18	14	39	13	53	10	27	6
Cipher text	p	e	S	O	b	N	p	K	0	G
DECRYPTION										
Cipher text	p	e	S	O	b	N	p	K	0	G
Numerical value of Ciphertext	53	42	18	14	39	13	53	10	27	6
OTP Key (K)	53	57	44	32	52	51	44	32	53	19
ck = Numerical value of Ciphertext - K	0	-15	-26	-18	-13	-38	9	-22	-26	-13
ck MOD 64	0	49	38	46	51	26	9	42	38	51
Plain text	A	I	a	i	n		J	e	a	n

Figure 4 OTP Encryption and Decryption for a Contact Name

ENCRYPTION				
Private key (Plaintext)	2	3	9	5
Numerical value of Plaintext	29	30	36	32
OTP Key (K)	51	50	44	32
pk = Numerical value of Plaintext + K	80	80	80	64
pk MOD 64	16	16	16	0
Cipher text	Q	Q	Q	A
DECRYPTION				
Cipher text	Q	Q	Q	A
Numerical value of Ciphertext	16	16	16	0
OTP Key (K)	51	50	44	32
ck = Numerical value of Ciphertext - K	-35	-34	-28	-32
ck MOD 64	29	30	36	32
Private key (Plaintext)	2	3	9	5

Figure 5 OTP Encryption and Decryption for a Private Key

Figure 6 illustrates the difference between the data stored in the database using the previous Gid Crypto method and the data stored using the new Gid Crypto version with OTP encryption. The figure shows that the contact name, private key, and secret key are encrypted before being stored in the database.

▼ Name: Array (1) 0: "Alain Jean"	▼ Name: Array (1) 0: "peS0bNpK0G"
▼ PvtKey: Array (1) 0: "2395"	▼ PvtKey: Array (1) 0: "QQQA"
▼ Mypubk: Array (1) 0: "2354367"	▼ Mypubk: Array (1) 0: "2354367"
▼ PubKey: Array (1) 0: "3653747"	▼ PubKey: Array (1) 0: "3653747"
▼ ShrKey: Array (1) 0: "56754876"	▼ ShrKey: Array (1) 0: "56754876"
▼ secKey: Array (1) 0: "2603962"	▼ secKey: Array (1) 0: "QTHyVTJ"
(a) Previous version	(b) Enhanced version with OTP

Figure 6 Comparison of Gid Crypto Datastore: (a) Previous version (b) Enhanced version with OTP

Evaluation

Detailed tests were conducted to ensure the robustness of Gid Crypto’s encryption and decryption capabilities, focusing on three primary areas: accuracy, security, and performance. Samples of data used in the experimental evaluation are shown in Table 1.

Table 1 Samples of data used in the experimental evaluation

File types	Data examples
Clear text data	As Moore’s Law marches on, the Internet of Things continues to gain traction, and personal privacy is an above the fold news story, the importance of cryptography on the modern Internet continues to increase. While once the realm of mathematicians and hardcore computer scientists, cryptography has gone mainstream ... (1946 Characters, 302 Words, 24 Lines)
CSV file	dex, Customer Id, First Name, Last Name, Company, City, Country, Phone 1, Phone 2, Email, Subscription Date, Website 1, EB54EF1154C3A78, Heather, Callahan, Mosley-David, Lake Jeffborough, Norway, 043-797-5229, 915.112.1727, urangel@espinoza-francis.net, 2020-08-26, http://www.escobar.org/ 2, 10dAcafEBbA5FcA, Kristina, Ferrell, "Horn, Shepard and Watson", Aaronville, Andorra, 932-062-1802, (209)172-7124x3651, xreese@hall-donovan.com, 2020-04-27, https://tyler-pugh.info/ 3, 67DAB15Ebe4BE4a, Briana, Andersen, Irwin-Oneal, East Jordan, Nepal, 8352752061, (567)135-1918, haleybraun@blevins-sexton.com, 2022-03-22, https://www.mack-bell.net/ ... (1699947 Characters, 119670 Words, 19998 Lines)
Programming	'----- ' Date Developer Comments ' ----- ' 02/25/2010 Jack Original code ' ----- ' rms (Room Management Services) application/web service ' ----- Imports MySql.Data.MySqlClient Imports System.Text Imports System.Math Imports System.IO ... (7334 Characters, 548 Words, 267 Lines)

The specifics of each test are explained as follows.

1. Accuracy tests verify the correctness of encryption and decryption of various data types, including private keys, contact names, and secret keys, to ensure that the process preserves data integrity and accuracy without any loss or alteration. Table 2 shows the results of the encryption and decryption accuracy testing.

Table 2 Encryption and Decryption Accuracy

Test Case	Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Pass/Fail
Encrypt Private Keys	Encrypting private key with OTP random key	Encrypted cipher modified with a mix of letters and numbers	Encrypted cipher modified with a mix of letters and numbers	Pass
Decrypt Private Keys	Decrypting private key with OTP random key	Decrypted cipher to plaintext matches the originals	Decrypted cipher to plaintext matches the originals	Pass
Encrypt Contact Names	Encrypting contact names with OTP random key	Encrypted names modified in a cipher with a mix of letters and numbers	Encrypted names modified in a cipher with a mix of letters and numbers	Pass
Decrypt Contact Names	Decrypting contact names with OTP random key	The decrypted name was restored to the original plaintext name	The decrypted name was restored to the original plaintext name	Pass
Encrypt Secret Keys	Encrypting Secret key with OTP random key	Encrypted cipher modified with a mix of letters and numbers	Encrypted cipher modified with a mix of letters and numbers	Pass
Decrypt Secret Keys	Decrypting secret key with OTP random key	Decrypted cipher to plaintext matches the originals	Decrypted cipher to plaintext matches the originals	Pass

2. **Security tests** evaluated the system's capability to protect data against unauthorized access and tampering. These tests focused on generating true random digits to fill the pad, with a length of 256 bits sufficient to cover the most extended key or name. We also employed multiple pads, ensuring that if an attacker managed to decrypt a name using a brute-force attack, they could not use the same sequence for the secret or private key. The objective was to determine if the encryption would hold long enough for an attack to be detected or for the cipher's utility to be completed. The results demonstrated that the encryption was robust enough to withstand a brute-force attack for over a week. Simultaneous attacks on the three ciphers (name, private, and secret key) were unsuccessful, as none of the number sequences matched the keys or names. We also conducted the Frequency Analysis test to determine if any patterns were discernible in the name cipher. No discernible patterns were found, leading to the termination of the frequency test. Table 3 provides detailed results of the security tests.

Table 3 Security tests

Test Case	Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Pass/Fail
Integrity Check	Attempt at decrypting cipher without the proper key in the reasonable time frame	Unable to decrypt name or keys in 24 hours	Not even 1 character was decrypted in 24 hours using a “brute-force” attack method with a word dictionary	Pass

3. Performance tests focused on evaluating the system’s efficiency and scalability. This included measuring the system performance during the encryption and decryption processes and determining whether these operations affected the system. Table 4 compares CPU and memory usage between the previous and enhanced version of Gid Crypto with OTP encryption, while Table 5 details performance tests. The summary results of the tests are depicted in Table 6.

Table 4 Comparison of performance test examples between the previous and enhanced versions of Gid Crypto with OTP encryption, based on the samples provided in Table 1

Performance Test Category	Clear text		CSV		Programming	
	Previous Version	Enhanced version with OTP	Previous Version	Enhanced version with OTP	Previous Version	Enhanced version with OTP
CPU (%)	8	8	17	17	9	9
Memory (%)	36	36	36	36	36	36

The performance tests consistently showed efficient resource usage, with no significant changes observed in CPU and memory usage.

Table 5 Performance tests

Test Case	Description	Expected Outcome	Actual Outcome	Pass/Fail
Resource Utilization for encryption	Measure the load on the system to encrypt data	Efficient and no notable load on CPU, resources, or time constraint	No discernible load on the CPU or resources or time constraint	Pass
Resource Utilization for decryption	Measure the load on the system to decrypt data	Efficient and no notable load on CPU, resources, or time constraint	No discernible load on the CPU or resources or time constraint	Pass

Table 6 Summary of Results

Test Category	Total Tests	Passed	Failed
Encryption and Decryption Accuracy	30	30	0
Security Tests	10	10	0
Performance Tests	16	16	0
Overall	56	56	0

As shown in the “Test Category” column, we conducted various tests. For the security test, we used brute-force attacks, while for the contact name encryption and decryption accuracy test, we employed both brute-force attacks and Frequency Analysis. All tests passed, demonstrating that our application provides a high degree of privacy. Additionally, the performance tests consistently indicated very reasonable resource usage, with no noticeable changes in CPU and memory usage.

Results and Discussion

Our proposed methodology significantly enhances the security of data storage and retrieval in databases, effectively addressing the research objectives in the following:

1. Enhanced data security: We effectively developed a method to encrypt data while storing and retrieving from the database. Compared to the work of Ibrahim *et al.* (2023), encrypting text-type data resulted in text-type ciphertext, and encrypting number-type data produced number-type ciphertext. Their approach addresses a significant security risk since an attacker could infer that numeric ciphertext likely represents numeric data, such as age or salary. In contrast, our improved method makes it impossible to determine whether the original data was text or numeric, enhancing security and protecting the data more effectively.

2. Dynamic encryption with OTP: Utilizing OTP for data encryption means that each instance of encryption produces a different outcome, even for the exact text. This is because a unique key is generated for each encryption instance, making it significantly harder for attackers to decrypt the data through repeated attempts. Our work keeps the data confidential, so those not involved need help understanding that information.

3. Mitigation of outsider and insider threats: Our approach ensures that even if a malicious insider or outsider can entirely bypass and access our database, they can only understand the encrypted data with the proper decryption keys. This robust encryption mechanism mitigates the risk posed by unauthorized access.

4. Efficiency in encryption and decryption: The comparison between the previous version of Gid Crypto and the enhanced version with OTP encryption shows that the difference in performance is negligible. Consequently, this improved tool can be used to encrypt data efficiently while maintaining high security.

Conclusion and Future Work

This research successfully enhances the Gid Crypto tool by incorporating OTP-based encryption, significantly improving the security of sensitive data stored in databases. The tests confirmed that OTP encryption effectively protects contact names, private keys, and secret keys, ensuring that even if unauthorized access occurs, the data remains incomprehensible without the correct decryption keys. This enhancement addresses the critical issue of securely storing sensitive data, thereby ensuring the confidentiality, integrity, and authenticity of data stored in databases, which is a valuable addition to the tool's initial version.

Despite the significant advancements achieved, there are still areas for further improvement. Future research should focus on expanding the accessibility and ease of integration of OTP encryption, making it more straightforward to incorporate as a plug-in or add-on to other solutions. Additionally, exploring further cryptographic techniques will be essential to enhance security even more. Moreover, integrating real-time monitoring and automated threat detection systems could provide proactive security measures, enabling identifying and mitigating potential threats before they cause harm.

References

- Budiman, M. A., Zarlis, M. and Hafirzah (2021). Implement hybrid cryptosystem using Rabin- p algorithm and One Time Pad to secure images. **Journal of Physics: Conference Series**, 1898(1), 012037.
- Evkan, H., Lahr, N., Niederhagen, R., Petri, R., Poller, A., Roskosch, P. and Troger, M. (2020). **Security Evaluation of VeraCrypt**. Bonn: Fraunhofer Institute for Secure Information Technology.
- Fatima, S., Rehman, T., Fatima, M. Khan S. and Ali, M. A. (2022). Comparative analysis of Aes and Rsa Algorithms for Data Security in Cloud Computing. **Journal of Engineering Proceedings**, 20(1), 14.

- Hammami, H., Obaidat, M. S. and Yahia, S. B. (2020). An Enhanced Lightweight Authentication Scheme for Secure Access to Cloud Data. In **Proceedings of the 17th International Conference on Security and Cryptography (SECRYPT 2020)** (pp. 102-109).
- Ibrahim, S., Zengin, A., Hizal, S., Akhter, A. F. M. S. and Altunkaya, C. (2023). A novel data encryption algorithm to ensure database security. **Acta Infologica**, 7(1), 1-16.
- Indra, Z. and Nabila, R. C. (2023). Implementing the RSA Algorithm and the One Time Pad Algorithm for Text Message Security. **Formosa Journal of Science and Technology**, 2(1), 379-388.
- James, T. (2024). Proton Mail Review 2024 – How is it in Reality?. Retrieved 5 May 2024, from **Travelsecurely** <https://travelsecurely.com/protonmail-review/>
- Jean, A. and Alherbe, T. (2024). Gid Crypto: Application for End-to-End Encrypt and Decrypt E-mail and Data. **Journal of Scientific and Technological Reports**, 27(2), 90-102.
- KakaSoft (2021). VeraCrypt Review 2021: Price, Feature and Alternatives. Retrieved 12 March 2024, from **Kakasoft** <https://www.kakasoft.com/review/veracrypt-review/>
- Kumari, A. B., Balaji, H., and Lyengar, N. Ch. S. N. (2023). One Time Pad Encryption Technique in Cryptography. **International Journal of Computational Learning & Intelligence**, 2(1), 1-7.
- Miguel, P. G. (2024). 18 Best Encryption Software. Reviewed For 2024. Retrieved 28 May 2024, from **Thectoblub** <https://thectoclub.com/tools/best-encryption-software/>
- Ngaogate, W., Jean, A., Wattanataweekul, R., Janngam, K. and Alherbe, T. (2024). Hybrid Machine Learning Algorithm with Fixed Point Technique for Medical Data Classification Problems Incorporating Data Cryptography. **Thai Journal of Mathematics**, 22(2), 295-310.
- Preveil (2024). Simple, Encrypted Email and File Collaboration. Retrieved 10 June 2024, from **Preveil** <https://www.preveil.com/>
- Rubenking, N. J. (2024). The Best Email Encryption Services for 2024. Retrieved 3 June 2024, from **Pcmag** <https://www.pcmag.com/picks/the-best-email-encryption-services>
- Shingari, N. and Mago, B. (2024). The Importance of Data Encryption in Ensuring the Confidentiality and Security of Financial Records of Medical Health. In **2024 IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI)** (pp. 1-6). Gwalior: IEEE.
- TrustRadius (2024). Make confident technology decision. Retrieved 7 March 2024, from **TrustRadius** <https://www.trustradius.com/>



Encoding and Decoding by Using Pell and modify Pell Matrices

Supunnee Sompong¹, Phongphan Mukwachi¹, Sa-at Muangchan¹ and Jirawat Kantalo^{1,*}

¹*Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,*

Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon

**Email: jirawat@snru.ac.th*

Received <26 April 2024>; Revised <17 July 2024>; Accepted <26 July 2024 >

Abstract

In this paper, we study the Pell, modify Pell sequences, and the matrices whose entries are related to Pell and modify Pell sequences. Moreover, we apply these matrices to present a new algorithm for encoding, which transforms plain text into cipher text for secure transmission, and decoding, which involves decrypting the received cipher text back into its original message.

Keywords: Cryptography, Sequences, Matrices

การเข้ารหัสและถอดรหัสโดยใช้เมทริกซ์เพลล์และเพลล์ที่ปรับปรุงแล้ว

สุพรรณิ สมพงษ์¹ พงษ์พันธ์ มุขะชี¹ สอาด ม่วงจันทร์¹ และ จิรวัดน์ กันทะโล^{1,*}

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จังหวัดสกลนคร

*Email: jirawat@snru.ac.th

รับบทความ: 26 เมษายน 2567 แก้ไขบทความ: 17 กรกฎาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 26 กรกฎาคม 2567

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเมทริกซ์เพลล์และเพลล์ที่ปรับปรุงแล้วที่สมาชิกในเมทริกซ์เกี่ยวข้องกับลำดับเพลล์และลำดับเพลล์ที่ปรับปรุงแล้ว นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้นำเมทริกซ์ดังกล่าวมาใช้ในการนำเสนอขั้นตอนวิธีการใหม่สำหรับการเข้ารหัสซึ่งแปลงข้อความธรรมดาเป็นข้อความที่ได้รับการเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัยในการส่งข้อมูลและการถอดรหัสเป็นขั้นตอนในการแปลรหัสข้อความที่ได้รับการเข้ารหัสเพื่อให้ได้ข้อความเดิม

คำสำคัญ: วิทยาการเข้ารหัสลับ ลำดับ เมทริกซ์

Introduction

Several sequences of real numbers are important in mathematics and have been widely studied for their properties and applications such as the Fibonacci and Lucas sequences. In this paper, we have studied the Pell and modify Pell sequences which are among the well-known sequences. The Pell sequences (Halici and Daşdemir, 2010) is defined by

$$p_n = 2p_{n-1} + p_{n-2}, \quad (1)$$

for positive integer $n \geq 2$ with initial condition $p_0 = 0$ and $p_1 = 1$. The modify Pell sequences (Halici and Daşdemir, 2010) is defined by

$$q_n = 2q_{n-1} + q_{n-2}, \quad (2)$$

for positive integer $n \geq 2$ with initial condition $q_0 = 1$ and $q_1 = 1$.

At present, there are many research studies related to the study of the properties and applications of sequences of real numbers, particularly in the application of cryptography theory. For example, in 2018, (Taş, *et al.*, 2018) proposed a new method for encryption and decryption using the Fibonacci sequence. In 2019, (Sümeýra *et al.*, 2019) have introduced new algorithms by using Q – matrix and R – matrix which are respectively defined by

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ and } R = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Then

$$Q^n = \begin{bmatrix} f_{n+1} & f_n \\ f_n & f_{n-1} \end{bmatrix} \text{ and } R^n = \begin{bmatrix} l_{n+1} & l_n \\ l_n & l_{n-1} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

where f_n is Fibonacci sequences and l_n is Lucas sequences. See more examples in (Stakhov, 1999; Hoggatt and Ruggles, 1963; Shtayat and Al-Kateeb, 2019; Flaut, 2019; Sundarayya and Vara Prasad, 2019; Shtayat and Al-Kateeb, 2022).

In this paper, we will present a new method for encryption and decryption using a matrix whose entries are related to the power of matrix associated with the modified Pell sequence, and we will provide an illustrative example of this method.

Preliminary

In this section, we will introduce and study the following definitions and lemmas of the Pell and modify Pell as defined in (1) and (2).

Lemma 1. (Horadam, 1994) Let p_n be the Pell sequences and q_n be the modify Pell sequences. Then, for every positive integer n ,

1. $q_n = p_{n+1} - p_n$
2. $q_{n+1} = p_{n+1} + p_n$
3. $p_{n+1} = \frac{q_{n+1} + q_n}{2}.$

Lemma 2. (Ercolano, 2010) Let P be a matrix, is defined by

$$P = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \text{ then } P^n = \begin{bmatrix} p_{n+1} & p_n \\ p_n & p_{n-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

and $\det(P^n) = (-1)^n$ for n is positive integer.

Now, we will present new definitions and lemma that are useful in our research.

Definition 1. Let Z_k be a matrix for $k \in \{1, 2, 3, 4\}$, is defined by

$$Z_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad Z_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad Z_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad Z_4 = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Definition 2. Let T_{n_k} be a matrix, is defined by

$$T_{n_k} = Z_k P^n \quad (7)$$

for positive integer n and $k \in \{1, 2, 3, 4\}$.

Lemma 3. Let T_{n_k} be defined as in equation (7). Then we have

$$\begin{aligned} 1. \quad T_{n_1} &= \begin{bmatrix} q_n & q_{n-1} \\ q_{n+1} & q_n \end{bmatrix} \\ 2. \quad T_{n_2} &= \begin{bmatrix} q_{n+1} & q_n \\ -q_n & -q_{n-1} \end{bmatrix} \\ 3. \quad T_{n_3} &= \begin{bmatrix} q_{n+1} & q_n \\ q_n & q_{n-1} \end{bmatrix} \\ 4. \quad T_{n_4} &= \begin{bmatrix} -q_n & -q_{n-1} \\ q_{n+1} & q_n \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Proof. We will prove 1. From (5), (6) and (7), we have

$$\begin{aligned} T_{n_1} &= Z_1 P^n \\ &= \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{n+1} & p_n \\ p_n & p_{n-1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} p_{n+1} - p_n & p_n - p_{n-1} \\ p_{n+1} + p_n & p_n + p_{n-1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} q_n & q_{n-1} \\ q_{n+1} & q_n \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

For 2-4, the proof is similar to the proof of 1.

Note that: From the definition 2 and the determinant of product Z_k and P^n , we have

$$\det(T_{n_k}) = \begin{cases} 2(-1)^n & ; k \in \{1, 2\} \\ 2(-1)^{n+1} & ; k \in \{3, 4\} \end{cases} \quad (8)$$

Main Results

In the main results, we present two sections. The first section introduces a new algorithm for encryption and decryption, as shown in Figure 1. In the second section, we will demonstrate an example of using the encryption and decryption algorithms.

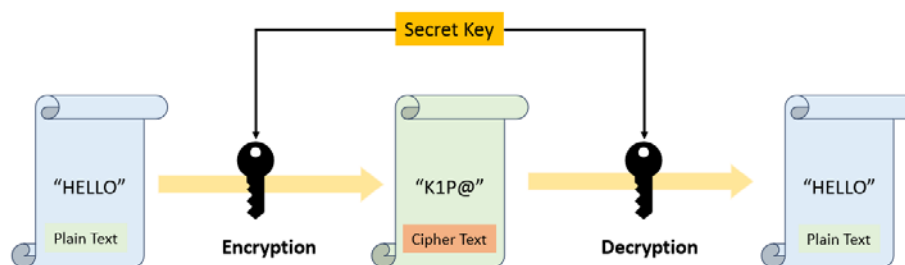


Figure 1 Diagram of flow of work

New algorithm for encryption and decryption

Firstly, we will introduce the notations used in the new algorithm.

1. Let M be a $2m \times 2m$ plain text square matrix. If entries of M has a spaced between words, we will add zeros. Moreover, if M does not satisfy the given size requirement, we will also add zeros until it is complete.
2. Let B_i be a 2×2 blocked matrix divided from M from left to right.
3. Let E_i be any 2×2 matrix.
4. Let T_{n_k} be a 2×2 matrix, defined as in equation (7).
5. Let l be the number of matrices B_i .
6. Let n be positive integer, defined by

$$n = \begin{cases} 3 & ; l \leq 3 \\ \left\lfloor \frac{l}{2} \right\rfloor & ; l > 3 \end{cases},$$

where $\left\lfloor \frac{l}{2} \right\rfloor$ is the largest integer less than or equal to $\frac{l}{2}$.

So, we have

$$B_i = \begin{bmatrix} b_1^i & b_2^i \\ b_3^i & b_4^i \end{bmatrix}, E_i = \begin{bmatrix} e_1^i & e_2^i \\ e_3^i & e_4^i \end{bmatrix} \text{ and } T_n = \begin{bmatrix} t_1 & t_2 \\ t_3 & t_4 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

where $1 \leq i \leq m^2$.

Then, we assign values based on modular 29 for the following character Table 1.

Table 1. The values based on modular 29 for the following characters.

A	B	C	D	E	F	G	H
$n+28$	$n+27$	$n+26$	$n+25$	$n+24$	$n+23$	$n+22$	$n+21$
I	J	K	L	M	N	O	P
$n+20$	$n+19$	$n+18$	$n+17$	$n+16$	$n+15$	$n+14$	$n+13$
Q	R	S	T	U	V	W	X
$n+12$	$n+11$	$n+10$	$n+9$	$n+8$	$n+7$	$n+6$	$n+5$
Y	Z	0	:	)			
$n+4$	$n+3$	$n+2$	$n+1$	n			

Encryption and decryption algorithms are as follows:

Encryption algorithm

Step 1: Divide matrix M into matrices B_i for $1 \leq i \leq m^2$.

Step 2: Choose n .

Step 3: Define b_j^i for $1 \leq i, j \leq 4$.

Step 4: Calculate d_i such that $d_i = \det(B_i)$.

Step 5: Construct key matrix K such that $K = \begin{bmatrix} d_i & b_k^i \end{bmatrix}$ for $k \in \{1, 3, 4\}$.

Finally, we will send matrix K and n to recipient for decoding the cipher text.

Decryption algorithm

Step 1: Choose Z_k for $k \in \{1, 2, 3, 4\}$.

Step 2: Calculate T_{n_k} .

Step 3: Define t_j for $1 \leq j \leq 4$.

Step 4: Calculate e_3^i such that $e_3^i = t_1 b_3^i + t_3 b_4^i$.

Step 5: Calculate e_4^i such that $e_4^i = t_2 b_3^i + t_4 b_4^i$.

Step 6: Find solutions x_i for $1 \leq i \leq m^2$.

If we choose Z_1 or Z_2 , we find the solution x_i from

$$2(-1)^n d_i = e_4^i(t_3 x_i + t_1 b_1^i) - e_3^i(t_4 x_i + t_2 b_1^i).$$

If we choose Z_3 or Z_4 , we find the solution x_i from

$$2(-1)^{n+1} d_i = e_4^i(t_3 x_i + t_1 b_1^i) - e_3^i(t_4 x_i + t_2 b_1^i).$$

Step 7: Let $x_i = b_2^i$.

Step 8: Construct matrix B_i .

Step 9: Construct matrix M .

Numerical Example

Example 1. We suppose that the plain text is "HAPPY NEW YEAR". Then, M defined in equation (10) is plain text square matrix with size of 4×4 (in the case $m = 2$):

$$M = \begin{bmatrix} H & A & P & P \\ Y & 0 & N & E \\ W & 0 & Y & E \\ A & R & 0 & 0 \end{bmatrix}. \tag{10}$$

Encryption algorithm

In the encryption algorithm, $\mathbf{M}$ defined in equation (10) has B_i for $1 \leq i \leq 4$ in step 2, which are

$$B_1 = \begin{bmatrix} H & A \\ Y & 0 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} P & P \\ N & E \end{bmatrix} \quad B_3 = \begin{bmatrix} W & 0 \\ A & R \end{bmatrix} \quad B_4 = \begin{bmatrix} Y & E \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Since $l = 4$, $n = \left\lfloor \frac{4}{2} \right\rfloor = 2$. Then, we get the numeric as characters based on modular 29 from Table 1:

H	A	P	P	Y	0	N	E
23	1	15	15	6	4	17	26
W	0	Y	E	A	R	0	0
8	4	6	26	1	13	4	4

We get the entries b_j^i in matrices B_i for $1 \leq i, j \leq 4$ which are following in table:

$b_1^1 = 23$	$b_2^1 = 1$	$b_3^1 = 6$	$b_4^1 = 4$
$b_1^2 = 15$	$b_2^2 = 15$	$b_3^2 = 17$	$b_4^2 = 26$
$b_1^3 = 8$	$b_2^3 = 4$	$b_3^3 = 1$	$b_4^3 = 13$
$b_1^4 = 6$	$b_2^4 = 26$	$b_3^4 = 4$	$b_4^4 = 4$

After that, we calculate d_i such that $d_i = \det(B_i)$. We have

$$d_1 = \det(B_1) = \det \begin{pmatrix} 23 & 1 \\ 6 & 4 \end{pmatrix} = 86, \quad (12)$$

$$d_2 = \det(B_2) = \det \begin{pmatrix} 15 & 15 \\ 17 & 26 \end{pmatrix} = 135, \quad (13)$$

$$d_3 = \det(B_3) = \det \begin{pmatrix} 8 & 4 \\ 1 & 13 \end{pmatrix} = 100, \quad (14)$$

$$d_4 = \det(B_4) = \det \begin{pmatrix} 6 & 26 \\ 4 & 4 \end{pmatrix} = -80. \quad (15)$$

Finally, we have obtained the key matrix $\mathbf{K}$, which is

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 86 & 23 & 6 & 4 \\ 135 & 15 & 17 & 26 \\ 100 & 8 & 1 & 13 \\ -80 & 6 & 4 & 4 \end{bmatrix} \quad (16)$$

and send $\mathbf{K}$ and n to recipient for decoding.

Decryption algorithm

In the decryption algorithm, the recipient will receive matrix $\mathbf{K}$ for using in decoding, with the following steps.

Firstly, we choose Z_k for $k \in \{1, 2, 3, 4\}$. In this paper, we choose $Z_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$. Then, we calculate T_{2_1}

from lemma 3., we get $T_{2_1} = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 7 & 3 \end{bmatrix}$. So, we have $t_1 = 3$, $t_2 = 1$, $t_3 = 7$, and $t_4 = 3$.

We calculate $e_3^i = t_1 b_3^i + t_3 b_4^i$ and $e_4^i = t_2 b_3^i + t_4 b_4^i$ for $1 \leq i \leq 4$ to construct matrix E . So, we have

$$\begin{aligned} e_3^1 &= (3 \times 6) + (7 \times 4) = 46, \\ e_3^2 &= (3 \times 17) + (7 \times 26) = 233, \\ e_3^3 &= (3 \times 1) + (7 \times 13) = 94, \\ e_3^4 &= (3 \times 4) + (7 \times 4) = 40, \\ e_4^1 &= (1 \times 6) + (3 \times 4) = 18, \\ e_4^2 &= (1 \times 17) + (3 \times 26) = 95, \\ e_4^3 &= (1 \times 1) + (3 \times 13) = 40, \\ e_4^4 &= (1 \times 4) + (3 \times 4) = 16. \end{aligned}$$

In the next step, we will find all solutions x_i for $1 \leq i \leq 4$.

To find solution x_1 , we observe the following equations:

$$\begin{aligned} 2(-1)^2 d_1 &= e_4^1(t_3 x_1 + t_1 b_1^1) - e_3^1(t_4 x_1 + t_2 b_1^1), \\ 2(-1)^2 (86) &= 18(7x_1 + (3 \times 23)) - 46(3x_1 + (1 \times 23)), \\ x_1 &= \frac{184 - 172}{12}, \\ x_1 &= 1. \end{aligned}$$

To find solution x_2 , we observe the following equations:

$$\begin{aligned} 2(-1)^2 d_2 &= e_4^2(t_3 x_2 + t_1 b_1^2) - e_3^2(t_4 x_2 + t_2 b_1^2), \\ 2(-1)^2 (135) &= 95(7x_2 + (3 \times 15)) - 233(3x_2 + (1 \times 15)), \\ x_2 &= \frac{780 - 270}{34}, \\ x_2 &= 15. \end{aligned}$$

To find solution x_3 , we observe the following equations:

$$\begin{aligned} 2(-1)^2 d_3 &= e_4^3(t_3 x_3 + t_1 b_1^3) - e_3^3(t_4 x_3 + t_2 b_1^3), \\ 2(-1)^2 (100) &= 40(7x_3 + (3 \times 8)) - 94(3x_3 + (1 \times 8)), \\ x_3 &= \frac{208 - 200}{2}, \\ x_3 &= 4. \end{aligned}$$

To find solution x_4 , we observe the following equations:

$$\begin{aligned} 2(-1)^2 d_4 &= e_4^4(t_3 x_4 + t_1 b_1^4) - e_3^4(t_4 x_4 + t_2 b_1^4), \\ 2(-1)^2(-80) &= 16(7x_4 + (3 \times 6)) - 40(3x_4 + (1 \times 6)), \\ x_4 &= \frac{208 + 48}{8}, \\ x_4 &= 26. \end{aligned}$$

Hence, we have obtained $b_2^1 = x_1 = 1$, $b_2^2 = x_2 = 15$, $b_2^3 = x_3 = 4$ and $b_2^4 = x_4 = 26$.

So, the matrices B_i for $1 \leq i \leq 4$ which are

$$\begin{aligned} B_1 &= \begin{bmatrix} b_1^1 & b_2^1 \\ b_3^1 & b_4^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 23 & 1 \\ 6 & 4 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} b_1^2 & b_2^2 \\ b_3^2 & b_4^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15 & 15 \\ 17 & 26 \end{bmatrix}, \\ B_3 &= \begin{bmatrix} b_1^3 & b_2^3 \\ b_3^3 & b_4^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8 & 4 \\ 1 & 13 \end{bmatrix}, \quad B_4 = \begin{bmatrix} b_1^4 & b_2^4 \\ b_3^4 & b_4^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 & 26 \\ 4 & 4 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Finally, the matrix M is

$$M = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 \\ B_3 & B_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 23 & 1 & 15 & 15 \\ 6 & 4 & 17 & 26 \\ 8 & 4 & 6 & 26 \\ 1 & 13 & 4 & 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & A & P & P \\ Y & 0 & N & E \\ W & 0 & Y & E \\ A & R & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

The message after decoding will be “HAPPY NEW YEAR”.

Conclusions

In this paper, we present a new algorithm for encryption and decryption of messages. This algorithm, involves dividing the message matrix into size of $2m$ and applying properties from the n^{th} power matrix related to modify Pell sequences for decryption. Additionally, we provided an example demonstrating the steps of encryption and decryption using the new algorithm.

Acknowledgements

We would like to sincerely appreciate the reviewers for reading and providing feedback on the manuscript, as well as to Sakon Nakhon Rajabhat University for supporting the research facilities used in this study.

References

- Ercolano, J. (1979). Matrix generators of Pell sequences. *Fibonacci Quart*, 17(1), 71-77.
- Flaut, C. (2019). Some application of difference equations in Cryptography and Coding Theory. *Journal of Difference Equations and Applications*, 25(7), 905-920.
- Halici, S. and Daşdemir, A. (2010). On some relationships among Pell, Pell-Lucas and modified Pell sequences. *Sakarya University Journal of Science*, 14(2), 141-145.

- Hoggatt Jr, V. E. and Ruggles, I. D. (1963). A Primer for the Fibonacci Numbers-Part IV. **The Fibonacci Quarterly**, 1(4), 39-45.
- Horadam, A. F. (1994). Applications of modified Pell numbers to representations. **Ulam Quarterly**, 3(1),34-53.
- Shtayat, J. and Al-Kateeb, A. (2019). An Encoding-Decoding algorithm based on Padovan numbers. **arXiv preprint arXiv**, 1907.02007.
- Shtayat, J. and Al-Kateeb, A. (2022). The Perrin **R** -matrix and more properties with an application. **Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography**, 25(1), 41-52.
- Stakhov, A. P. (1999). A generalization of the Fibonacci **Q** -matrix. **Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine**, 9, 46-49.
- Sundarayya, P. and Vara Prasad, G. (2019). A public key cryptosystem using Affine Hill Cipher under modulation of prime number. **Journal of Information and Optimization Sciences**, 40(4), 919-930.
- Sümeýra, U. Ç. A. R., Nihal, T. A. Ş. and Özgür, N. Y. (2019). A new application to coding theory via Fibonacci and Lucas numbers. **Mathematical Sciences and Applications E-Notes**, 7(1), 62-70.
- Taş, N., Uçar, S., Özgür, N. Y. and Kaymak, Ö. Ö. (2018). A new coding/decoding algorithm using Fibonacci numbers. **Discrete Mathematics, Algorithms and Applications**, 10(02), 1850028.



Python Simulation Activities for Estimating the Area Between Curves for Secondary School Students

Thanawit Jeeruphan^{1,*}

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

**Email: Thanawit.j@ubu.ac.th*

Received <25 July 2024>; Revised <2 September 2024>; Accepted <11 September 2024>

Abstract

This Python simulation learning activity for estimating the area between curves was created to teach students how to simulate problems with deterministic behavior, which is another important step in developing students' simulation modeling competence. The target group of twenty-eight grade 12 students learned to use the Python program to estimate the area between curves using a developed hands-on simulation. After the activity was completed, the students' competency in simulation for estimating the area between curves using Python was evaluated. The results of the evaluation indicate that the designed activity can improve the desired performance. In addition, the evaluation results revealed that students' enjoyment, value, interest, and self-efficacy in performing activities led to positive outcomes. The findings of this study point to a strategy that interested teachers can use to improve students' basic competency and knowledge for learning about simulation modelling further.

Keywords: Python program, Mathematical modelling, Simulation modelling,
Simulating deterministic behavior, Area between curves

กิจกรรมจำลองด้วยโปรแกรมไพทอนเพื่อประมาณพื้นที่ระหว่างกราฟ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา

ธนวิทย์ จีรพันธุ์^{1,*}

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: Thanawit.j@ubu.ac.th

รับบทความ: 25 กรกฎาคม 2567 แก้ไขบทความ: 2 กันยายน 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 11 กันยายน 2567

บทคัดย่อ

กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการจำลองด้วยไพทอน (Python) สำหรับการประมาณค่าพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อสอนนักเรียนเกี่ยวกับการจำลองปัญหาที่มีพฤติกรรมเชิงกำหนด ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียน กลุ่มเป้าหมายคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 28 คน ได้เรียนรู้การใช้โปรแกรมไพทอนเพื่อประมาณค่าพื้นที่ระหว่างเส้นโค้งโดยใช้การจำลองแบบลงมือปฏิบัติที่พัฒนาขึ้น เมื่อเสร็จสิ้นกิจกรรม ได้มีการประเมินความสามารถของนักเรียนในการใช้ไพทอน (Python) เพื่อจำลองและประมาณค่าพื้นที่ระหว่างเส้นโค้ง ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมที่ออกแบบสามารถปรับปรุงผลการปฏิบัติงานที่ต้องการได้ นอกจากนี้ ผลการประเมินยังแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความสนุกสนาน มองเห็นคุณค่า มีความสนใจ และมีความเชื่อมั่นในตนเองในการทำกิจกรรม ซึ่งนำไปสู่ผลลัพธ์ในเชิงบวก การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงกลยุทธ์ที่ครูสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาความสามารถพื้นฐานและความรู้ของนักเรียนในการเรียนรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองต่อไป

คำสำคัญ: โปรแกรมไพทอน ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ตัวแบบของการจำลอง พฤติกรรมจำลองเชิงกำหนด
พื้นที่ระหว่างเส้นโค้ง

Introduction

Mathematical modeling is one way in which mathematics can be used to solve real-world problems effectively. Mathematical modeling consists of four main processes: converting real-world problem situations to mathematics; selecting a method that corresponds to the mathematical model obtained from the problem for the results; converting the results back to describe the actual problem situation at the source; and refining the mathematical model based on the applied model results (Blum and Leiß, 2006; Galbraith, Holton and Turner, 2020; Hartmann, Krawitz and Schukajlow, 2021; Schukajlow, Krug and Rakoczy 2015; Wake, 2015). The development of mathematical modeling competencies has occurred in many educational curricula in response to the need to develop human resources in the country who can effectively apply mathematics to everyday life. A general goal aspect is the development of mathematical modeling competency on basic mathematics content according to curriculum standards for students to use in daily life (English, 2012; Kazak, Pratt and Gökce, 2018; Krutikhina *et al.*, 2018; Patel and Pfannkuch, 2018; Shahbari and Peled, 2017; Stillman, 2010). Another intriguing and equally important aspect is the development of unique modeling competencies to encourage students with special interests to pursue higher education in order to become experts in a specific type of mathematical modeling (Farihah, 2019; Frejd and Ärlebäck, 2017; Greefrath and Siller, 2017; Kotelawala, 2011; Leung, 2013; Ortega and Puig, 2017; Rodríguez Gallegos, 2015).

Another important model that can be applied to situations that cannot be directly analyzed is simulation modeling. With the appropriate program on the computer, simulation modeling simulates the actual behavior of a problem situation. Then, examine the data from simulation modeling and apply the results to explain the actual problem situation. (Kin and Chan, 2011; Maria, 1997; Tobrawa *et al.*, 2022; Volosencu and Ryoo, 2022; Zárate Ceballos *et al.*, 2021). A problem scenario that necessitates simulation modeling to find an answer can be classified as simulation modeling for deterministic behavior problems at first (Barros, 2007; Chowdhury and Liu, 2014; Papageorgiou and Paskov, 1999). and simulation modeling for probabilistic behavior problems (Paler *et al.*, 2013; Cecconi *et al.*, 2017; Sánchez and Arroyo, 2019; Gandrud and Williams, 2017; Zöllner *et al.*, 2021). It is critical to educate early learners about simulating deterministic behavior problems when teaching simulation modeling in general. The problem of determining area and volume will be raised in the lesson to demonstrate the simulation, which can estimate area and volume and is thought to be a solution for deterministic behavior (Albright and Fox, 2019; Giordano, Fox and Horton, 2013; Gordon and Guilfoos, 2017). However, teachers face the challenge that simulations require a suitable simulation tool, which they must be able to use to simulate the results and graph the results to better comprehend the students. And students can practice simulations of deterministic behavioral problems; the selection of tools for learning management is often quite challenging. Because it must choose a tool that is flexible between facilitating the development of independent commands as needed and supporting a pre-made instruction set as a tool to expedite development, it is required to choose a tool that is capable of supporting both. As a result, simulation modeling is dependent on the development of appropriate digital and mathematical tools. The same is true for previous modeling studies that required the use of digital tools (Brnic, and Greefrath, 2020; Greefrath, Hertleif and Siller, 2018; Greefrath and Siller, 2017; Schönbrodt, Wohak and Frank, 2022) and mathematical tools (Sinclair and Jackiw, 2010; Urgena and Lapinid, 2017) to achieve the desired results.

Learning activities on simulating deterministic behavior with Python were created for this study. The learning activities involved calculating the area under the curve and the area between the curves. The simulation of deterministic behavior in problems of area under curve and area between curves is crucial because it builds on knowledge of numerical methods for determining the finite integral of some functions that cannot be analyzed. The second gives an example of simulation modeling for deterministic problem situations (Albright and Fox, 2019; Giordano, Fox and Horton, 2013; Gordon and Guilfoos, 2017) although this type of modeling is commonly thought to be used for problems with probabilistic behavior. Python's selection as a mathematical tool should be due to all of the benefits of Python programs. That has evolved into a

widely used programming language today. One of the anticipated outcomes of the activity was the improvement of students' competency in simulation for estimating the area between curves with Python. The second expectation is that students will experience enjoyment, value, interest, and self-efficacy in the activity.

Simulating deterministic Behavior with Python

This section describes the use of random number simulations to solve situations involving deterministic behavior in which certain outcomes are possible. In cases where there are no probabilities involved, the presented problem involves estimating the area between curves (Albright and Fox, 2019; Giordano, Fox and Horton, 2013; Gordon and Guilfoos, 2017). Consider the concept of the area under the curve enclosed by $y = f(x)$ as a continuous function, as shown in Figure 1, and consider the $0 \leq f(x) \leq M$ and $a \leq x \leq b$ boundaries.

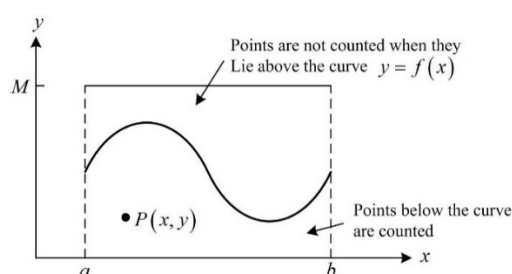


Figure 1. The rectangular region of high M and long $b - a$ encompasses the area from $y = f(x)$ to the $a \leq x \leq b$

Consider randomly selecting point $P(x, y)$ from the rectangular region. This is the result of generating random numbers x and y on $a \leq x \leq b$ and $0 \leq y \leq M$ and counting the point $P(x, y)$, which is located within the region whose area we wish to estimate.

A the area of the region to be estimated.

A_R the area of the rectangle.

P_C the number of random points on the area to be estimated.

P_T the total number of random points.

The relationship $\frac{A}{A_R} = \frac{P_C}{P_T}$ can be used to estimate the required area.

This process revealed that from the need to find the area of a region, rather than searching for tools to directly measure the area that must be known, we shifted the concept of the area problem to the idea that if we bound a rectangle, we know the exact area required to cover a region for the purpose of calculating its area value. Then it is comparable to throwing a dart over a rectangle containing the desired area. This means that the ratio of darts that hit the unknown area to the total number of darts thrown on the rectangle is equal to the ratio of the unknown area to the known rectangle's area. When converted to a mathematical process, this results in the creation of a random point on the rectangle containing the area to be evaluated. As a result, this is another study of the same problem that does not directly determine the value. This is what we call simulation modeling, and because it creates a simulation model to consider problem areas with deterministic behavior, we refer to it as simulating deterministic behavior.

The preceding concept can be used to create simulations to estimate the area between curves. To demonstrate the simulation process, we will present a simulation to estimate the enclosed space with $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$. The procedure is as follows:

Analyzing a graph of area to be estimated

Because the Python code can approximate the area to be enclosed by $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$, as shown in Figure 2, it is possible to consider generating a random point $P(x, y)$ on the $a \leq x \leq b$ and $0 \leq y \leq M$ rectangles with an area of 80 square units.

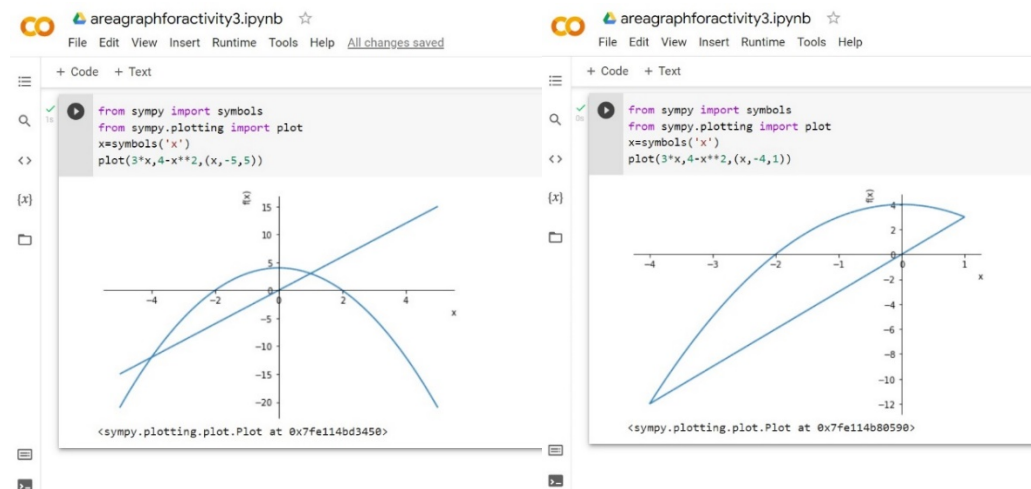


Figure 2. A graph of the area to be enclosed using the $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$ equation on the left, and a graph of the $-4 \leq x \leq 1$ and $-12 \leq y \leq 4$ ranges on the right, which are boundaries to form a rectangle containing the estimated area.

Creating a simulation formula

When attempting to estimate the area that needs to be simulated, we can take into consideration the following formulas:

A represents the area of the area enclosed by $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$.

A_R is the area of the rectangle $-4 \leq x \leq 1$ and $-12 \leq y \leq 4$.

P_C is the number of random points in the $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$ region.

P_T represents the total number of random points on $-4 \leq x \leq 1$ and $-12 \leq y \leq 4$.

By considering all the variables, a formula $A = 80 \frac{P_C}{P_T}$ can be developed that will be used to estimate the required area for simulation.

Writing the simulation algorithm

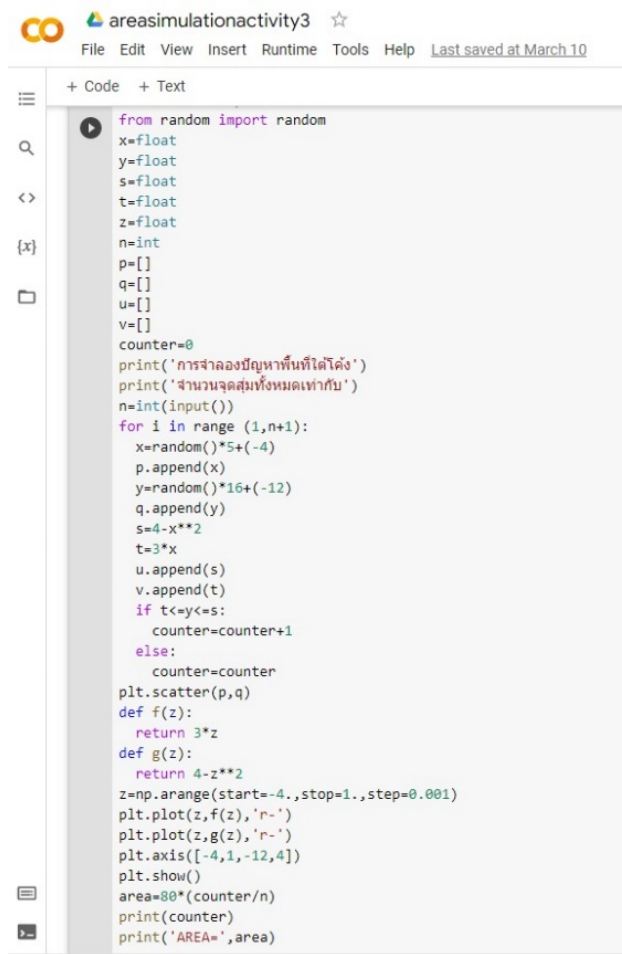
From analyzing the graph of the region to estimate the area and developing a formula that will be used in the simulation to estimate the area, an algorithm for commanding a computer can be written as shown in Table 1.

Table 1. The random number simulation algorithm used to solve the Area Between Curves problem.

A simulation algorithm for estimating the area between curves	
Input	The total number of random points n in the simulation on $-4 \leq x \leq 1$ and $-12 \leq y \leq 4$.
output	The estimated value of the area enclosed by $y = 4 - x^2, y = 3x, x = -4$, and $x = 1$
START	
Step 1 Set $counter = 0$	
Step 2 For $i = 1, 2, \dots, n$ do Step 3-5	
Step 3 Generate random coordinates x_i and y_i corresponding to $-4 \leq x \leq 1$ and $-12 \leq y \leq 4$.	
Step 4 Calculate $f(x_i) = 4 - x_i^2$ and $g(x_i) = 3x_i$ for random point x_i	
Step 5 If $g(x_i) \leq y \leq f(x_i)$ then $counter = counter + 1$ else $counter = counter$	
Step 6 Calculate $Area = 80counter/n$	
Step 7 OUTPUT rectangular region, region to estimate the area, all of the random points, and the estimated value of the area	
STOP	

Coding a Python for creating simulation to estimate an area

From the simulation algorithm written in Table 1, it is possible to write a Python program that will cause the computer to simulate the problem in order to find an estimate of the area whose code is displayed in Figure 3.



```
from random import random
x=float
y=float
s=float
t=float
z=float
n=int
p=[]
q=[]
u=[]
v=[]
counter=0
print('การจำลองปัญหาพื้นที่ได้ดัง')
print('จำนวนจุดสุ่มทั้งหมดเท่ากับ')
n=int(input())
for i in range (1,n+1):
    x=random()*5+(-4)
    p.append(x)
    y=random()*16+(-12)
    q.append(y)
    s=4-x**2
    t=3*x
    u.append(s)
    v.append(t)
    if t<=y<=s:
        counter=counter+1
    else:
        counter=counter
plt.scatter(p,q)
def f(z):
    return 3*z
def g(z):
    return 4-z**2
z=np.arange(start=-4.,stop=1.,step=0.001)
plt.plot(z,f(z),'r-')
plt.plot(z,g(z),'r-')
plt.axis([-4,1,-12,4])
plt.show()
area=80*(counter/n)
print(counter)
print('AREA=',area)
```

Figure 3. Python code for constructing a simulation to estimate the area of a region enclosed by $y = 4 - x^2, y = 3x, x = -4$, and $x = 1$.

Drawing a conclusion for simulation results

After generating the code that instructs Python to simulate the problem, the area between the curves enclosed by $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$ is approximated. As depicted in Figure 4, a simulation was created in Python using 1000 random points.

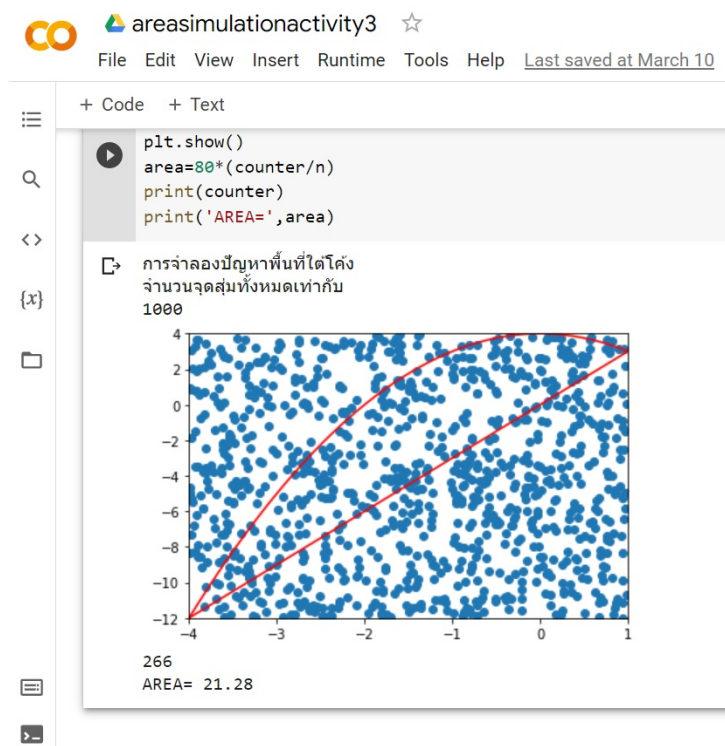


Figure 4. A random 1000-point numerical simulation for the area problem of a region bounded by $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$.

The true value of the region bounded by $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$ can be determined by using the definite integral, which is equal to $\frac{125}{6}$. Compared to the estimates derived from the simulations presented in Table 2, it is evident that a larger number of random points reduces the error. In order to create a simulation that provides a more precise estimate of the area, a large number of random points must be considered.

Table 2. The numerical solutions from simulations using increments of 100 from 100,000 random points to estimate the area of the enclosed region by $y = 4 - x^2$, $y = 3x$, $x = -4$, and $x = 1$.

Number of random points	Estimated Value	Absolute error
100	18.40000	2.43333
1000	21.84000	1.00666
10000	20.45600	0.37733
100000	20.80960	0.02373

By creating a simulation for estimating the area between curves with Python, as depicted in Figure 5, the simulation process competency can be reduced to five subcompetencies.

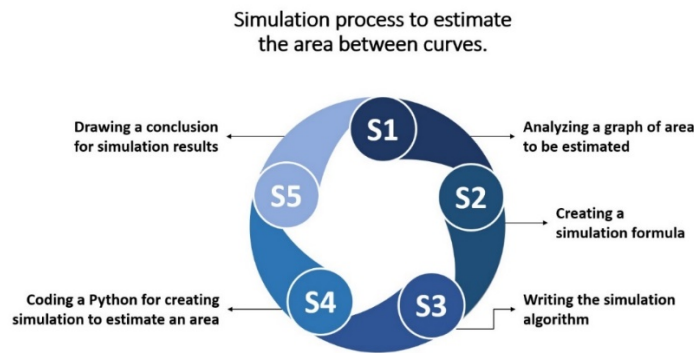


Figure 5. The five subcompetencies generated by the simulation process for estimating the area between curves using Python.

In this study, students will complete a python simulation activity to estimate the area between curves, with a list of all 6 activities summarized in Table 3.

Table 3. A list of activities and their characteristics for students to learn how to use Python to create a simulation for estimating the area between curves.

A list of activities	A characteristic of activities
Activity 1: Create a simulation to estimate the enclosed area by $y = x^2, y = x, x = 0$, and $x = 1$	Presentation of a simulation by a teacher as a demonstration
Activity 2: Create a simulation to estimate the enclosed area by $y = x^2 - 9, y = -x - 3, x = -3$, and $x = 2$	Presentation of a simulation by a teacher as a demonstration
Activity 3: Create a simulation to estimate the enclosed area by $y = 4 - x^2, y = 3x, x = -4$, and $x = 1$	The instructor guides the students through the process of creating a simulation.
Activity 4: A group of five or six students is tasked with determining the area to be estimated and developing a simulation to accomplish this.	Simulations are created through group activities.
Activity 5: Allow each student to create a simulation to estimate the enclosed region by equation $y = -x^3, y = -x, x = -1$, and $x = 1$	Individual tasks for the development of simulations
Activity 6: Create a simulation to estimate the enclosed area with $y = x^2, y = -x - 2, x = -1$, and $x = 2$	Activities for individual simulation competency testing

Scaffolding for Learning in the Age of Covid-19

This is due to the fact that estimating the area between curves through simulation is a new activity. It is essential to devise a strategy for scaffolding students in order for them to achieve their objectives. And because of the COVID-19 epidemic, it must manage online learning. Digital technologies must be integrated into the process of student scaffolding, which has been shown to improve learning management (Borba *et al.*, 2016; Clark-Wilson, Robutti and Thomas, 2020; Greefrath, 2011; Schukajlow, Kolter and Blum 2015; Stender and Kaiser, 2015; Tropper, Leiss and Hänze, 2015), which consists of the Facebook Group, Facebook

Messenger, Zoom, Google Form, and Google Collaboratory, utilizing these digital technologies to organize scaffolding for supporting students' learning in the following ways:

Teacher simulation-based activities

As students enter the classroom via the zoom channel, the instructor instructs them on how to construct a simulation to estimate the area between curves. It illustrates each step of the simulation and generates simulation-specific Python code via Google Collaboratory. Recorded videos of the activities are uploaded to Facebook groups for student review.

Simulation activities led by instructors.

After students have joined the class via Zoom, the instructor will direct everyone in the room to work together to develop a simulation that will estimate the area between the curves. The code for the simulation is written in Python and was generated using Google Collaboratory. Students are able to watch videos documenting the activities they participated in after they have been posted to Facebook groups.

Team-based creative simulation activities

The instructor divides 5-6 students into small groups in the Zoom Break Out Room as students enter the classroom via Zoom. Each student group created a problem by simulating the area between the curves and building a simulation to estimate the area between the curves. The Python code for the simulation is generated by the Google Collaboratory. Instructors enter the Zoom Break Out Room to provide group guidance. Students submit their work and video presentations via Google Forms upon completion, and instructors post videos on Facebook Groups to share their knowledge with all students.

Individual activities to create simulations

When students enter a Zoom classroom, the instructor directs them to individual sub-rooms in the Zoom Break Out Room, which are ordered chronologically. Every student creates a simulation to calculate the area between the curves. The Python code for the simulation is generated by the Google Collaboratory. Individual observation and assistance are provided by instructors, with a particular emphasis on assisting students with relatively slow cognitive development. Students submit their work via Google Form.

Individualized simulation competency testing

When students enter the classroom via the Zoom channel, the instructor provides them with a link to a Google Form simulation exam to estimate the area between curves.

Tools for Evaluating Learning Outcomes

The idea originated from a study on mathematical modeling competency assessment (Ferri, 2017; Lingefjärd and Holmquist, 2005) that investigated the effect of simulation activities on students' competency in simulation for estimating the area between curves using Python. According to the simulation creation procedure, competencies have been categorized into the five areas below:

S1: competency in analyzing a graph of area to be estimated

S2: competency in creating simulation formula

S3: competency in writing the simulation algorithm

S4: competency in coding a Python for creating simulation to estimate an area

S5: competency in drawing a conclusion for simulation results

The individual competency assessment is based on a consideration of the entire process using a scoring rubric that can reflect each student's individual achievement or competency level based on performance. Based on the quality of the students' grades, the rubric classifies the competency levels for each sub-competency into four categories: Excellent 4, Good 3, Satisfactory 2, and Needs Improvement 1 Score.

For the emotional promotion activity expectations, four evaluations were conducted: enjoyment, value, interest, and self-efficacy. The Likert scale questionnaire was utilized to assess the impact of the simulation activity for estimating the area between curves with Python on the students. This includes updated questions from a research study on the subject (Krawitz and Schukajlow, 2018). The following is a summary of the questions:

Q1: I would enjoy solving simulation problems to estimate the area between curves.

Q2: I think it is important to be able to solve simulation problems to estimate the area between curves.

Q3: It would be interesting to investigate simulation problems in order to estimate the area between curves.

Q4: I am confident in my ability to solve simulation problems to estimate the area between curves.

Research Methodology

This research aims to promote secondary school students' competency in fundamental simulation modeling. This will be the initial performance that will be further developed at a higher level. The research methodology section consists of participants involved in the study, research tools, data analysis approach, and research process, which can be summarized as follows:

Participants involved in the study

The participants in the study were secondary school students who took part in the Science Classrooms in the University-Affiliated School Project. There was a total of 28 students in Grade 12 who participated in the project, and their ages ranged from 17 to 18 years old.

Research tools

The research tool consists of learning activities on simulation for estimating the area between curves with Python, the Python program as a mathematical tool, learning tools such as Facebook, Zoom, and Google, and learning devices such as smart phones, tablets, laptops, and personal computers based on student needs. In terms of data collection, it consists of an assessment of the students' simulation competences for estimating the area between curves with Python. This evaluation takes the form of a subjective test given at the end of the activity. Finally, we used the Likert Scale questionnaire to assess the effects of the activities on enjoyment, value, interest, and self-efficacy.

Data analysis approach

The rubric results comprise the analytical approach. The data on the frequency of learners in each competency level within each sub competency is presented. The overall level of competence in each sub competency is summarized using the mean scores of students. The mean scores and standard deviations of the Likert Scale were presented to identify students' levels of enjoyment, value, interest, and self-efficacy as a result of activities.

Research process

The process involves developing and preparing research tools, considering the preparation of the target audience, performing simulation activities to estimate the area between the curves with Python and the target audience according to the planned scaffolding strategy, and analyzing the results to draw conclusions.

Results and Discussion

To demonstrate how this developed activity can improve students' competency in simulation for estimating the area between curves with Python, along with activities that can increase students' enjoyment, value, interest, and self-efficacy, an evaluation case of one student's work will be presented to visualize the work representing the level of competency of each sub-competence that is a key component of the simulation for estimating the area between curves with Python. The results of the rubric assessment of competency in simulation for estimating the area between curves with Python will be presented, followed

by the results of the students' enjoyment, value, interest, and self-efficacy. They can be presented in the following order based on the foregoing:

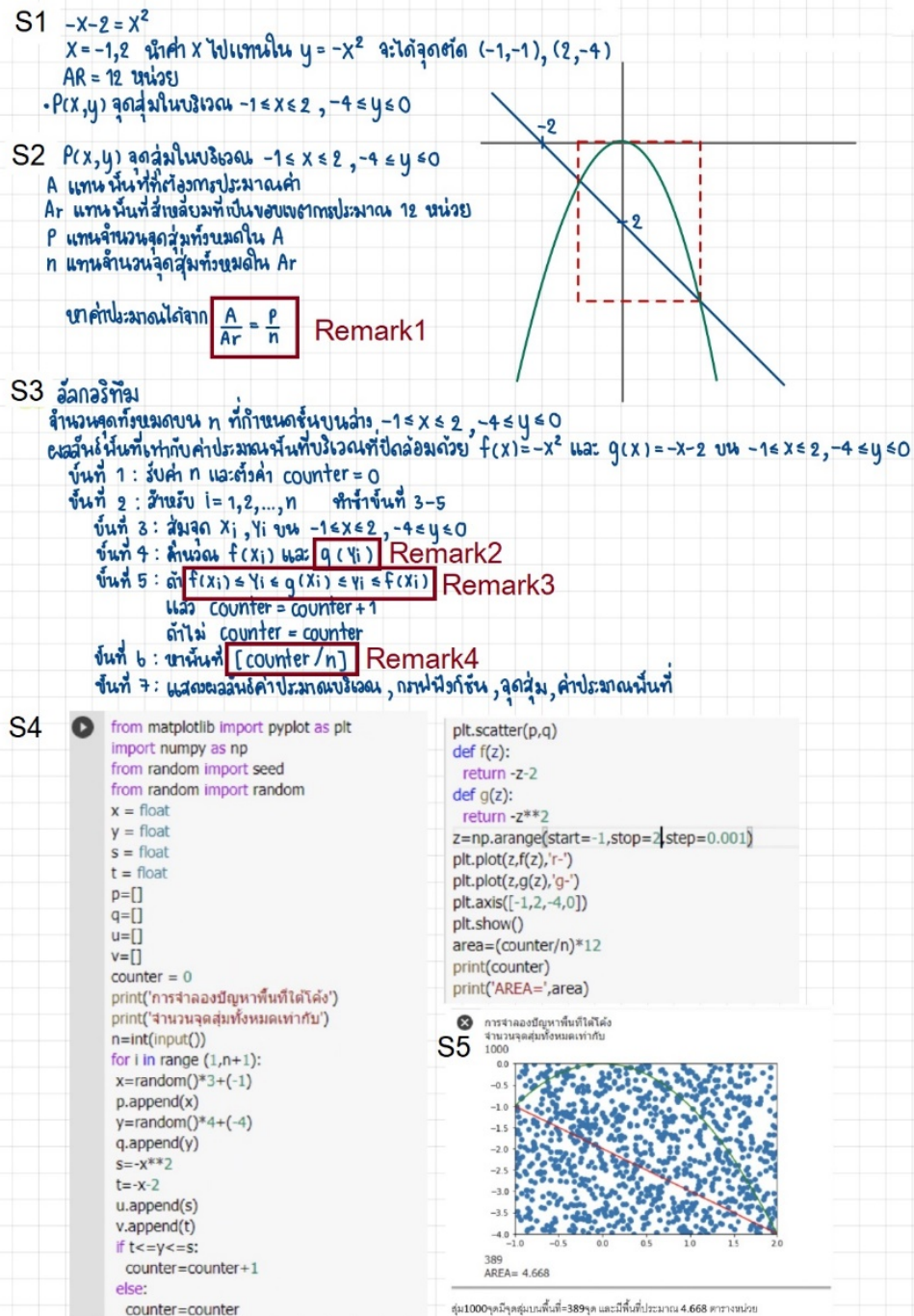


Figure 6. The pictorial representations for competency levels of students for each sub-competency of simulation for estimating the area between curves with Python

Consider Figure 6, which cites the work of one student. This concretely reflects the results of the simulation competency assessment for estimating the area between curves with Python. Labels S1, S2, S3, S4, and S5 were added to indicate the work position corresponding to each sub-competency that is an important component of the Python simulation to estimate the area between curves, and Remarks 1, 2, 3, and 4 were added for further reference. The outcomes of each sub-competency assessment are as follows:

S1: competency in analyzing a graph of area to be estimated

Figure 6 demonstrates that students can analyze the graph of the desired area to estimate the area completely correctly. Python is used to generate a graph of the area to be estimated between the $y = -x^2$

and $y = -x - 2$. A rectangular boundary is drawn around the area between the curves. The results are correct and can be used in the next step. As a result, S1's sub-competence evaluation result is excellent, with 4 points.

S2: competency in creating simulation formula

S2 sub-competency assessment results revealed that students were able to correctly construct a simulation formula of the desired area to estimate the area from the results obtained in the previous step. However, taking into account Figure 6 Remark 1, the formula $\frac{A}{A_R} = \frac{P}{n}$ remains a general formula. It is considered incomplete because it cannot be used immediately in the next step. In this case, the formula should be changed to $A = 12 \frac{P}{n}$, yielding a score of 3 Good.

S3: competency in writing the simulation algorithm

When considering the sub-competence in this area, this is the subject that still needs further development. Students understand the steps to be programmed to create a simulation but still lack the ability to write algorithms. The difficulty of writing an algorithm comes from the fact that each step is logically put together. The language used to write algorithms is a language with logical and mathematical meanings involved, which is difficult for students. Another is that students are unaware of the importance of writing algorithms. Students do not know that algorithms are very important in the development of other programs. Therefore, it is not important to ask how the program is created correctly or what the algorithm will be. In S3, at Remark 2 position, $g(y_i)$ should be adjusted to $g(x_i)$, at Remark 3 position $f(x_i) \leq y_i \leq g(x_i) \leq y_i \leq f(x_i)$ is invalid, it must be solved to $g(x_i) \leq y_i \leq f(x_i)$ and finally Remark 4 Enter the formula for finding the wrong area should be revised from $\frac{\text{counter}}{n}$ to $12 \frac{\text{counter}}{n}$, the assessment result is in Needs Improvement level, score is equal to 2.

S4: competency in coding a Python for creating simulation to estimate an area

According to Figure 6, the simulation python code for estimating the area between the curves of the students was at an excellent level, representing 4 points, despite the fact that the algorithm writing in the previous step was incomplete. As previously stated, this demonstrates that students do not understand the significance of writing the algorithm.

S5: competency in drawing a conclusion for simulation results

As for the S5 sub competency, there is one thing that needs to be said about the number of simulations to be considered. A simulation for estimating the area between curves will give more accurate values if using a large n . In the simulation, the student selected the number $n = 1000$. The simulation result is shown in Figure 6, which shows a graph of the area to be estimated along with the points. randomly generated in the simulation. A total of 389 random points are shown in the area to be estimated. The area value is presented as 4.668 compared to the actual value obtained by the integral $\int_{-1}^2 (-x^2) - (-x - 2) dx = 4.5$ is still a little off, possibly due to the increased number of simulations. The evaluation results are therefore at the Good level with a score of 3.

It is possible to deduce, based on the findings of the evaluation of competency in simulation for estimating the area between curves with Python, that the number of students who achieve each sub-competency in simulation for estimating the area between curves with Python corresponds to the number of students who achieve the competency level depicted in Figure 7.

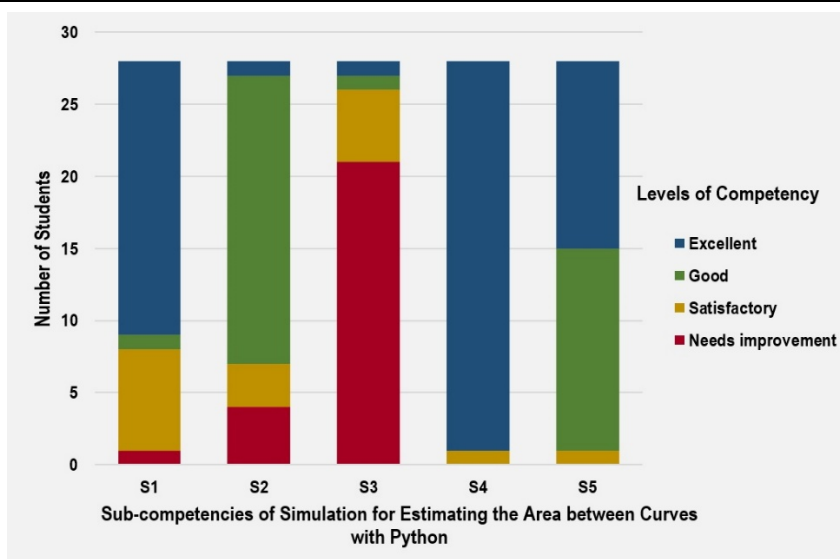


Figure 7. The number of students at each competency level for each sub-competency of simulation for estimating the area between curves with Python

The results of the sub-competences can be summarized based on the evaluation results shown in Figure 7: S1 is the competency in analyzing a graph of the area to be estimated. It was discovered that the majority of the students performed at an excellent level. Aside from that, only a small number of students were at the level of needs improvement, implying that teachers needed to consider how to improve further.

S2 is competency in creating simulation formulas for the area to be estimated. The majority of students were graded as Good, with only a small number receiving an Excellent rating, indicating that there were minor errors in the process that teachers could easily add to their knowledge and correct. There are a number of students ranging from satisfactory to needs improvement for whom instructors should reconsider this sub-competence development approach.

S3 is competency in writing a simulation algorithm to estimate the area between curves. The majority of the students were found to be in need of improvement. Only a small number of students performed the activities at a satisfactory or higher level, despite the fact that they were able to complete the process and achieve good simulation results. However, developing this sub-competency is absolutely necessary. This is due to the fact that it is a critical factor that influences the development of other advanced competencies.

S4 is competency in coding a Python for creating simulation to estimate an area. It was discovered that the majority of the students performed at an excellent level, with only a small number performing at a satisfactory level, which was a minor error that teachers could easily correct. Most students agree that writing Python is enjoyable. As a result, there is a lot of motivation behind this activity. Students are consulting with one another. A meeting with the teacher is required. The activities promote knowledge sharing. As a result, the performance test results in this sub-competency section are favorable.

S5 is competency in drawing conclusions from simulation results based on estimating the area between curves. It was discovered that all students had competency levels of satisfactory or higher, which, based on the results of previous activities, affected this level of sub-competency.

The results of the assessment of the students' competency level in each sub-competence can be assessed as a score using the rubric criteria to find the mean to represent the overall picture of the student's level in each of the sub-competences in simulation for estimating the area between curves with Python, as shown in Figure 8.

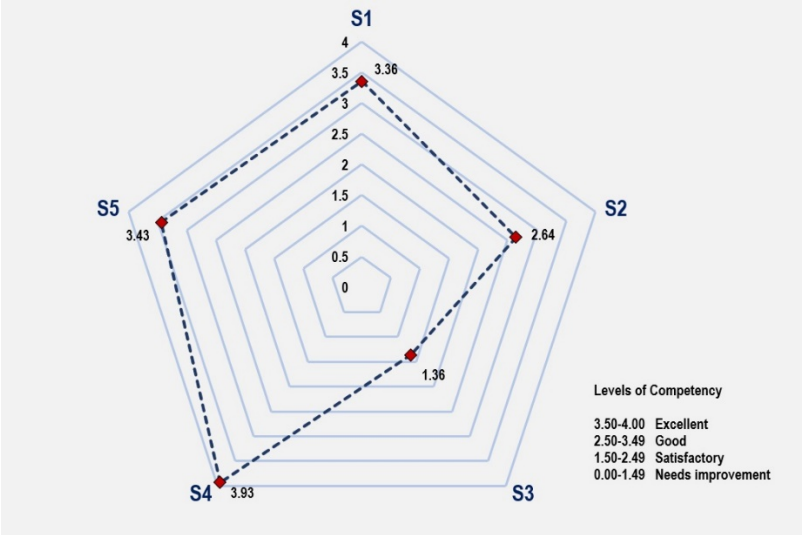


Figure 8. The mean score for competency levels of students for each sub-competency of simulation for estimating the area between curves with Python

Figure 8 depicts students' simulation competency for estimating the area between curves with Python. Overall, the sub-competency S4 had a mean score of 3.93, higher than 3.5, indicating excellent competency in coding Python for creating simulations to estimate an area, whereas the sub-competency S1, S2, and S5 had mean scores of 3.36, 2.64, and 3.43, respectively, between 2.5 and 3.5. These results indicate that the competency in analyzing a graph of an area to be estimated, creating a simulation formula to estimate the area, and drawing conclusions from simulation results is Good. Finally, the sub-competency S3 averaged 1.36, indicating that competence in writing the simulation algorithm to estimate the area between curves is lacking and needs to be developed further.

The results demonstrate the success of using simulation enhancement activities to promote simulation competency for students estimating the area between curves with Python. Consequently, for starters, students in Science Classrooms in University-Affiliated School Project perform academically better than average students. The second result is the use of digital technology to assist in the planning of a good scaffolding strategy, which is consistent with the findings of several studies that describe the effectiveness of digital technology in promoting good learning outcomes in mathematics (Borba *et al.*, 2016; Clark-Wilson, Robutti and Thomas, 2020; Greefrath, 2011; Schukajlow, Kolter and Blum 2015; Stender and Kaiser, 2015; Tropper, Leiss and Hänze, 2015). Finally, using Python in simulation is an important tool provided by the Google Collaboratory. It is more conducive to student learning because it is more convenient and efficient. It is similar to a mathematical tool program whose researchers have previously reached conclusions about the promotion of student learning (Sinclair and Jackiw, 2010; Urgena and Lapinid, 2017).

The results of the evaluation of the simulation for estimating the area between curves in Python based on the learners' enjoyment, value, interest, and self-efficacy are presented in Table 4.

Table 4. The assessment results of learning activities on the simulation for estimating the area between curves with Python on learners' enjoyment, value, interest, and self-efficacy.

items	Evaluation lists	Mean	Standard deviation	Results
Q1	I would enjoy solving simulation problems to estimate the area between curves.	4.39	0.89	agree
Q2	I think it is important to be able to solve simulation problems to estimate the area between curves.	4.30	0.76	agree
Q3	It would be interesting to investigate simulation problems in order to estimate the area between curves.	4.13	1.06	agree
Q4	I am confident in my ability to solve simulation problems to estimate the area between curves.	3.91	1.12	agree

According to Table 4, the students agreed that the activity increased their enjoyment, value, interest, and self-efficacy in creating a simulation in Python to estimate the area between curves. This indicates that the simulation activities for estimating the area between curves with Python have a positive effect on the four desired emotional characteristics of the student.

Python simulation for estimating the area between curves Activities that emphasize learners' group processes and strategies for providing assistance and empowering students are utilized. Multiple studies have concluded that this type of activity has a positive impact on students' attitudes (Davadas and Lay, 2018; Schukajlow *et al.*, 2012).

Acknowledgements

The financial support from the Faculty of Science, Ubon Ratchathani University is gratefully acknowledged.

References

- Albright, B. and Fox, W. P. (2019). **Mathematical Modeling with Excel** (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC
- Barros, F. J. (200). Deterministic simulation of hybrid flow components. In **11th IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications (DS-RT'07)** (pp. 252-258).
- Blum, W. and Leiß, D. (2006). How do students and teachers deal with modelling problems? In C. Haines, P. Galbraith, W. Blum and S. Khan (Eds.), **Mathematical modelling (ICTMA12): Education, engineering and economics** (pp. 222–231). Horwood.
- Borba, M. C., Askar, P., Engelbrecht, J., Gadanidis, G., Llinares, S. and Aguilar, M. S. (2016). Blended learning, e-learning and mobile learning in mathematics education. **ZDM**, 48(5), 589-610.
- Brnic, M. and Greefrath, G. (2020). Learning mathematics with a digital textbook and its integrated digital tools: The KomNetMath project. In **Proceedings of the Conference on Technology in Mathematics Teaching-ICTMT 14** (p. 73).
- Cecconi, F. R., Manfren, M., Tagliabue, L. C., Ciribini, A. L. C. and De Angelis, E. (2017). Probabilistic behavioral modeling in building performance simulation: A Monte Carlo approach. **Energy and Buildings**, 148, 128-141.
- Chowdhury, R. P. and Liu, X. (2014). Deterministic Simulation of Neutron Radiography and Tomography. **Transactions**, 111(1), 525-526.
- Clark-Wilson, A., Robutti, O. and Thomas, M. (2020). Teaching with digital technology. **ZDM**, 52(7), 1223-1242.

- Davadas, S. D. and Lay, Y. F. (2018). Factors Affecting Students' Attitude toward Mathematics: A Structural Equation Modeling Approach. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1), 517-529.
- English, L. D. (2012). Data modelling with first-grade students. *Educational Studies in Mathematics*, 81(1), 15-30.
- Farihah, U. (2019). Student modelling in solving the polynomial functions problems using Geogebra approach. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (pp. 012104). IOP Publishing.
- Ferri, R. B. (2017). **Learning how to teach mathematical modeling in school and teacher education**. Springer.
- Frejd, P. and Ärlebäck, J. B. (2017). Initial results of an intervention using a mobile game app to simulate a pandemic outbreak. In G. Stillman, W. Blum and G. Kaiser (Eds.), **Mathematical modelling and applications: International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling** (pp. 283-292). Springer.
- Galbraith, P., Holton, D. and Turner, R. (2020). Rising to the challenge: Promoting mathematical modelling as real-world problem solving. In G. Stillman, G. Kaiser and C. Lampen (Eds.), **Mathematical modelling education and sense-making: International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling** (pp. 23-40). Springer.
- Gandrud, C. and Williams, L. K. (2017). Simulating Probabilistic Long-Term Effects in Models with Temporal Dependence. *R Journal*, 9(2).
- Giordano, F. R., Fox, W. P. and Horton, S. B. (2013). **A first course in mathematical modeling**. Cengage Learning.
- Gordon, S. I. and Guilfoos, B. (2017). **Introduction to Modeling and Simulation with MATLAB® and Python** (1st ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Greefrath, G. (2011). Using technologies: New possibilities of teaching and learning modelling – Overview. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri and G. Stillman (Eds.), **Trends in teaching and learning of mathematical modelling** (Vol. 1, pp. 301-304). Springer.
- Greefrath, G. and Siller, H. S. (2017). Modelling and simulation with the help of digital tools. In G. Stillman, W. Blum and G. Kaiser (Eds.), **Mathematical modelling and applications: International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling** (pp. 529-539). Springer.
- Greefrath, G., Hertleif, C. and Siller, H. S. (2018). Mathematical modelling with digital tools—a quantitative study on mathematising with dynamic geometry software. *ZDM Mathematics Education*, 50, 233–244.
- Hartmann, L. M., Krawitz, J. and Schukajlow, S. (2021). Create your own problem! When given descriptions of real-world situations, do students pose and solve modelling problems?. *ZDM Mathematics Education*, 53(4), 919–935.
- Kazak, S., Pratt, D. and Gökce, R. (2018). Sixth grade students' emerging practices of data modelling. *ZDM Mathematics Education*, 50(7), 1151–1163.
- Kin, W. and Chan, V. (2011). Foundations of simulation modeling. **Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science**. New York, USA.: John Wiley & Sons
- Kotelawala, U. (2011). Stochastic case problems for the secondary classroom with reliability theory. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri and G. Stillman (Eds.), **Trends in teaching and learning of mathematical modelling: International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling** (Vol. 1, pp. 387-396). Springer.
- Krawitz, J. and Schukajlow, S. (2018). Do students value modelling problems, and are they confident they can solve such problems? Value and self-efficacy for modelling, word, and intra-mathematical problems. *ZDM*, 50(1), 143-157.

- Krutikhina, M. V., Vlasova, V. K., Galushkin, A. A. and Pavlushin, A. A. (2018). Teaching of Mathematical Modeling Elements in the Mathematics Course of the Secondary School. **Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education**, 14(4), 1305-1315.
- Leung, I. K. C. (2013). Beyond the modelling process: An example to study the logistic model of customer lifetime value in business marketing. In G. Stillman, G. Kaiser, W. Blum and J. Brown (Eds.), **Teaching mathematical modelling: Connecting to research and practice. International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling** (pp. 421-430). Springer.
- Lingefjård, T. and Holmquist, M. (2005). To assess students' attitudes, skills and competencies in mathematical modeling. **Teaching Mathematics and Its Applications: International Journal of the IMA**, 24(2-3), 123-133.
- Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. In **Proceedings of the 29th conference on Winter simulation** (pp. 7-13).
- Ortega, M. and Puig, L. (2017). Using modelling and tablets in the classroom to learn quadratic functions. In G. Stillman, W. Blum and G. Kaiser (Eds.), **Mathematical modelling and applications: International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling** (pp. 565-575). Springer.
- Paler, A., Kinseher, J., Polian, I. and Hayes, J. P. (2013). Approximate simulation of circuits with probabilistic behavior. In **Proceedings of the 2013 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFTS)** (pp. 95-100). IEEE.
- Papageorgiou, A. and Paskov, S. H. (1999). Deterministic simulation for risk management. **The Journal of Portfolio Management**, 25(5), 122-127.
- Patel, A. and Pfannkuch, M. (2018). Developing a statistical modeling framework to characterize Year 7 students' reasoning. **ZDM Mathematics Education**, 50(7), 1197-1212.
- Rodríguez Gallegos, R. (2015). A differential equations course for engineers through modelling and technology. In G. Stillman, W. Blum and M. Salett Biembengut (Eds.), **Mathematical modelling in education research and practice: International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling** (pp. 161-170). Springer.
- Sánchez, J. Á. and Arroyo, F. (2019). Simulating probabilistic networks of polarized evolutionary processors. **Procedia Computer Science**, 159, 1421-1430.
- Schönbrodt, S., Wohak, K. and Frank, M. (2022). Digital tools to enable collaborative mathematical modeling online. **Modelling in Science Education and Learning**, 15(1), 151-174.
- Schukajlow, S., Kolter, J. and Blum, W. (2015). Scaffolding mathematical modelling with a solution plan. **ZDM**, 47(7), 1241-1254.
- Schukajlow, S., Krug, A. and Rakoczy, K. (2015). Effects of prompting multiple solutions for modelling problems on students' performance. **Educational studies in Mathematics**, 89, 393-417.
- Schukajlow, S., Leiss, D., Pekrun, R., Blum, W., Müller, M. and Messner, R. (2012). Teaching methods for modelling problems and students' task-specific enjoyment, value, interest and self-efficacy expectations. **Educational studies in mathematics**, 79, 215-237.
- Shahbari, J. A. and Peled, I. (2017). Modelling in primary school: Constructing conceptual models and making sense of fractions. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 15, 371-391.
- Sinclair, N. and Jackiw, N. (2010). Modeling practices with The Geometer's Sketchpad. In R. Lesh, P. L. Galbraith, C. R. Haines, A. Hurford (Eds.), **Modeling students' mathematical modeling competencies** (pp. 541-554). Springer.
- Stender, P. and Kaiser, G. (2015). Scaffolding in complex modelling situations. **ZDM**, 47(7), 1255-1267.
- Stillman, G. (2010). Implementing applications and modelling in secondary school: Issues for teaching and learning. In **Mathematical Applications And Modelling: Yearbook 2010, Association of Mathematics Educators** (pp. 300-322).

- Tobrawa, S., Münch, G. V., Denkena, B. and Dittrich, M. A. (2022). Design of simulation models. In J. Stjepandić, M. Sommer, B. Denkena and M. A. Dittrich (Eds.), **DigiTwin: An approach for production process optimization in a built environment** (pp. 181-204). Springer.
- Tropper, N., Leiss, D. and Hänze, M. (2015). Teachers' temporary support and worked-out examples as elements of scaffolding in mathematical modeling. **ZDM**, 47(7), 1225-1240.
- Urgena, J. N. A. and Lapinid, M. R. C. (2017). The Use of GeoGebra Applets: Students' Attitudes and Achievement in Learning Quadratic Functions, Equations and Inequalities. **Advanced Science Letters**, 23(2), 1118-1121.
- Volosencu, C. and Ryoo, C. S. (2022). Simulation Modeling. **IntechOpen**.
- Wake, G. (2015). Preparing for workplace numeracy: a modelling perspective. **ZDM**, 47, 675–689.
- Zárate Ceballos, H., Parra Amaris, J.E., Jiménez Jiménez, H., Romero Rincón, D.A., Agudelo Rojas, O. and Ortiz Triviño, J.E. (2021). **Introduction to Simulation. In: Wireless Network Simulation**. Apress, Berkeley, CA.
- Zöllner, C., Barkowsky, M., Maximova, M. and Giese, H. (2021). On the Complexity of Simulating Probabilistic Timed Graph Transformation Systems. In **International Conference on Graph Transformation** (pp. 262-279). Springer, Cham.



Mathematical Learning Achievement of Grade-8 Students on The Pythagorean Theorem Using Inductive Approaches

Suriyun Khatbanjong^{1*} Khuzaimah Da-oh²

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

²Bachelor of Education in Mathematics, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University

*Email: suriyun.k@ru.ac.th

Received <3 March 2024>; Revised <27 May 2024>; Accepted <29 May 2024>

Abstract

This research aimed to study mathematical learning outcomes of Grade-8 students on the Pythagorean theorem using inductive approaches to achieve the 80/80 efficiency criteria. Second, the study aimed to compare mathematical learning outcomes of Grade-8 students on the Pythagorean theorem using inductive approaches before and after learning. The third objective is to study satisfaction levels towards the study. The sample was obtained from simple random sampling among 30 Grade-8 students in a school in Bangkok by drawing lots. The research tools include a learning plans, a test on mathematical learning outcomes, and a questionnaire on students' satisfaction. The statistics used were the mean ($\bar{x}$), the standard deviation (S.D.), and the dependent sample t-test. The results revealed that the efficiency level exceeded. Moreover, the Mathematical Learning Achievement after the study was higher than before, with a statistical significance of .05. Lastly, there was an overall high level of satisfaction with the average of 4.89.

Keywords: Mathematical learning outcomes, Pythagorean theorem, Inductive approaches

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัสของนักเรียนชั้น
มัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย

สุริยัน เขตบรรจง^{1,*} และ ชูชัยมีห์ ดาโอะ²

¹ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

²หลักสูตรศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

*Email: suriyun.k@ru.ac.th

รับบทความ: 3 มีนาคม 2567 แก้ไขบทความ: 27 พฤษภาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 29 พฤษภาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 2) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ระหว่างหลังเรียนและก่อนเรียน 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มแบบง่ายด้วยวิธีจับฉลากเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนมัธยมสุวิทย์เสรีอนุสรณ์ จำนวน 30 คน เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และสถิติการทดสอบค่าที (t -test) แบบ dependent ผลการวิจัยพบว่า 1) ประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 2) การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ระหว่างหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) ระดับความพึงพอใจต่อการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย 4.89

คำสำคัญ: ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ทฤษฎีบทพีทาโกรัส วิธีอุปนัย

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาความคิดมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 ทำให้มนุษย์มีความคิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วนรอบคอบ ช่วยให้การคาดการณ์วางแผนตัดสินใจ แก้ปัญหาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องเหมาะสม นอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2012) ความเข้าใจในเนื้อหาหลักการคณิตศาสตร์เพียงเท่านั้นยังไม่เพียงพอ ครูคณิตศาสตร์จึงจำเป็นต้องสอนให้เด็กเห็นคุณค่าและเกิดทักษะในการคิดคำนวณ จนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้สิ่งอื่นต่อไป การพัฒนาการเรียนการสอนการแก้ปัญหา กระบวนการแก้ปัญหาเป็นทักษะที่ครูสามารถนำมาสอนเพื่อพัฒนานักเรียนให้เป็นผู้ที่มีความสามารถในการแก้ปัญหา โดยจัดบรรยากาศของการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมและพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียน เพื่อให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียน (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2012) การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนคณิตศาสตร์เป็นศาสตร์อย่างหนึ่ง ซึ่งมีเทคนิควิธีการที่หลากหลาย เพื่อพัฒนาความสามารถในการเรียนคณิตศาสตร์ของเด็ก การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ จึงจำเป็นต้องเน้นการพัฒนาความสามารถของนักเรียน ในการแก้ปัญหาหรือโจทย์ปัญหา ควรเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียนทั้งในและนอกโรงเรียน ของนักเรียน (Onnuam, 2008) การจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ ถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ และเป็นทักษะที่ต้องเน้นเพื่อให้นักเรียนรู้จักการแก้ปัญหา กิจกรรมการเรียนการสอนที่จะจัดให้กับผู้เรียนจะต้องเน้นการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบซึ่งผู้แก้ปัญหามustต้องใช้ความรู้ ความคิด และประสบการณ์เดิมประมวลเข้ากับประสบการณ์ใหม่ที่กำหนดในปัญหา (Naoyenphon, 2011)

สภาพปัญหาดังกล่าวยังคงเป็นปัญหาที่พบมากในปัจจุบัน เช่นเดียวกับปัญหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จากการรายงานผลสอบ O-NET ของโรงเรียนมัธยมสุวิทย์เสรีอนุสรณ์ ในปีการศึกษา 2563 พบว่า คะแนนวิชาคณิตศาสตร์ระดับเขตได้คะแนนเฉลี่ย 23.85 ระดับจังหวัดได้คะแนนเฉลี่ย 23.74 ระดับภาคได้คะแนนเฉลี่ย 26.65 และระดับประเทศ 26.59 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (National Institute of Educational Testing Service, 2020) จากผลการประเมินดังกล่าวจะเห็นว่าวิชาคณิตศาสตร์เป็นวิชาที่สมควรที่จะได้รับการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัญหาที่ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ค่อนข้างต่ำ (Plangprasopchok, Boomprajak and Pooudom, 2008) การพัฒนานักเรียนไม่ว่าระดับใด สาขาวิชาใดสิ่งที่สำคัญที่สุดได้แก่ครูผู้สอน ดังนั้นบทบาทหน้าที่ของครูที่สำคัญที่สุดคือต้องสอนให้เก่ง สอนแล้วให้นักเรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้เองโดยครูเป็นเพียงผู้ชี้แนะนักเรียนให้มีความเข้าใจสามารถคิดขยายความรู้ไปอีกจนถึงขั้นเกิดความคิดรวบยอด (Concept) ในเรื่องที่เรียน (Phattiyathani, 2008) สำหรับเนื้อหาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ยากและเป็นปัญหาในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนนั้น จากการพิจารณาคะแนนสอบของนักเรียน และจากการสอบถามครูผู้สอนสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลายคน พบว่า เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส เป็นเรื่องที่นักเรียนได้คะแนนต่ำ

การเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัยเป็นการจัดการเรียนการสอนแบบหนึ่งที่สามารถพัฒนานักเรียนให้ สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง โดยเน้นที่ผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่ง Lardizabal (1969) ได้ให้ความหมายของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยไว้ว่าเป็นการสอนผ่านขั้นตอนการอุปนัยเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริง หลักการหรือรูปแบบทั่วไป จากการศึกษา สังเกต และ เปรียบเทียบตัวอย่างหรือสถานการณ์ จนค้นพบลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แล้วนำมาสร้างเป็นรูปแบบทั่วไปได้ ซึ่ง Khammanee (2012) กล่าวว่า การสอนแบบอุปนัยเป็นการสอนที่เริ่มต้นด้วยการยกตัวอย่างหลาย ๆ ตัวอย่างเพื่อให้ นักเรียนเห็นรูปแบบ นักเรียนต้องใช้การสังเกตเปรียบเทียบรูปแบบที่เหมือนกัน มีลักษณะร่วมกัน นำไปสู่ข้อสรุป ซึ่งเป็นการค้นพบด้วยการสังเกตฝึกสัมผัส ฝึกทักษะ กระบวนการคิด การให้เหตุผล ช่างสังเกตและสามารถหาข้อสรุปได้ด้วยตนเอง ผู้วิจัยในฐานะผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ จึงมีความสนใจที่จะสร้างนวัตกรรมการสอน เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย เพื่อช่วยให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัย จึงได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 นำมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และคาดหวังว่าหลังการเรียนการสอน จะช่วยพัฒนาผู้เรียนไปสู่คุณลักษณะอันพึงประสงค์สามารถคิดแบบองค์รวม เรียนรู้ร่วมกับผู้อื่น ทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างราบรื่น สามารถคิดเป็น ลงมือปฏิบัติได้ แก้ปัญหาเป็น และสามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการเรียนการสอน ส่งผลให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ให้สูงขึ้น

ตัวแปรต้น

- แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย Lardizabal (1969) โดยมีขั้นตอนการสอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียมการ การเตรียมตัวผู้เรียน ทบทวนความรู้เดิมหรือปูพื้นฐานความรู้

ขั้นที่ 2 ขั้นเสนอตัวอย่าง ครูนำเสนอตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ เหตุการณ์ ปรากฏการณ์ หรือแนวคิดให้ผู้เรียนได้สังเกตลักษณะและคุณสมบัติของตัวอย่างเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบสรุปเป็นหลักการ แนวคิด หรือกฎเกณฑ์ ซึ่งการนำเสนอตัวอย่างควรเสนอหลาย ๆ ตัวอย่างให้มากพอที่ผู้เรียนสามารถสรุปเป็นหลักการหรือหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ได้

ขั้นที่ 3 ขั้นเปรียบเทียบ ขั้นที่ผู้เรียนทำการสังเกต ค้นคว้า วิเคราะห์ รวบรวม เปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันขององค์ประกอบในตัวอย่าง แยกแยะข้อแตกต่าง มองเห็นความสัมพันธ์ในรายละเอียดที่เหมือนกัน ต่างกันในขั้นนี้หากตัวอย่างที่ให้แกผู้เรียนเป็นตัวอย่างที่ดี ครอบคลุมลักษณะหรือคุณสมบัติสำคัญ ๆ ของหลักการ ทฤษฎีก็ย่อมจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถศึกษาและวิเคราะห์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้อย่างรวดเร็ว แต่หากผู้เรียนไม่ประสบความสำเร็จ ครูอาจให้ข้อมูลเพิ่มเติม หรือใช้วิธีการอื่นให้ผู้เรียนได้คิดค้นต่อไป

ขั้นที่ 4 ขั้นกฎเกณฑ์ ให้ผู้เรียนนำข้อสังเกตต่าง ๆ จากตัวอย่างมาสรุปเป็นหลักการ กฎเกณฑ์หรือนิยามด้วยตัวผู้เรียนเอง

ขั้นที่ 5 ขั้นนำไปใช้ ครูเตรียมตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ เหตุการณ์ ปรากฏการณ์หรือความคิดใหม่ ๆ ที่หลากหลายมาให้ผู้เรียนใช้ในการฝึกความรู้ ข้อสรุปไปใช้ หรือ ครูอาจให้โอกาสผู้เรียนช่วยกันยกตัวอย่างจากประสบการณ์ของผู้เรียนเองเปรียบเทียบก็ได้ เป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในชีวิตประจำวัน และจะทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นการทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนว่าหลักการที่ไดเรียนนั้น สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาและทำแบบฝึกหัดได้หรือไม่หรือเป็นการประเมินว่าผู้เรียนได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่นั่นเอง

ตัวแปรตาม

- ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย
- ความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยผู้วิจัยได้ใช้แนวคิดของ Lardizabal (1969) การเรียนรู้โดยวิธีอุปนัย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ระหว่างหลังเรียนและก่อนเรียน
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนมัธยมสุวิทย์เสรีอนุสรณ์ ที่เรียนวิชาคณิตศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 321 คน

กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่มแบบง่ายด้วยวิธีจับฉลากเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2/6 โรงเรียนมัธยมสุวิทย์เสรีอนุสรณ์ ที่เรียนคณิตศาสตร์ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 30 คน

ตัวแปรต้น คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยวิธีอุปนัย

ตัวแปรตามคือ 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

2) ความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีอุปนัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้ 1) ทฤษฎีบทพีทาโกรัส 2) บทกลับของทฤษฎีบทพีทาโกรัส และ 3) การนำไปใช้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอนโดยมีดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมี 3 ชนิดได้แก่ แผนการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน โดยมีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

การสร้างแผนการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์

ศึกษาวิธีการสร้างแผนการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยวิเคราะห์มาตรฐานการเรียนรู้ คุณภาพผู้เรียน และตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 แล้วเขียนแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย จำนวน 3 แผนเวลาเรียน 8 ชั่วโมง ดังนี้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง บทกลับของทฤษฎีบทพีทาโกรัส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง การนำไปใช้ ใช้เวลา 3 ชั่วโมง

นำแผนการศึกษาค้นคว้าผลการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อปรับปรุงแก้ไขแล้วนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ ด้านการสอนคณิตศาสตร์ ด้านหลักสูตร และการสอน และด้านการวัดผลประเมินผล จำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมสอดคล้อง และความเป็นไปได้ระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา กิจกรรมการเรียนการสอน และการวัดผลประเมินผล โดยให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาถึงความเห็นและให้คะแนน โดยมีค่าความเที่ยงตรง (Index of item Objective Congruence: IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 หลังจากนั้นปรับปรุงแก้ไขการจัดกิจกรรมการเรียนตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญและนำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส โดยใช้วิธีอุปนัย ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ใช้กลุ่มตัวอย่างของการวิจัย โดยกำหนดการทดลองเดี่ยวจำนวนนักเรียน 3 คน ซึ่งเป็นนักเรียนที่เรียนเก่งจำนวน 1 คน ปานกลางจำนวน 1 คน และอ่อนจำนวน 1 คน เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 60/60 จากนั้นปรับปรุงแก้ไข แล้วนำไปทดลองกลุ่มจำนวนนักเรียน 9 คน ซึ่งเป็นนักเรียนที่เรียนเก่งจำนวน 3 คน ปานกลางจำนวน 3 คน และอ่อนจำนวน 3 คน เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 70/70 เพื่อหาข้อบกพร่องเกี่ยวกับเวลา สื่อการเรียนการสอน เนื้อหาและกิจกรรมแล้วนำข้อบกพร่องจากการทดลองมาใช้ปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำไปทดลองสนาม เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ตามที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ให้เป็น E_1/E_2 โดย E_1 คือ การทำแบบฝึกหัด และแบบทดสอบย่อย 1-3 และ E_2 คือ การทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ตาม Promwong (2013) เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียมการ การเตรียมตัวผู้เรียน ทบทวนความรู้เดิมหรือปูพื้นฐานความรู้

ขั้นที่ 2 ขั้นเสนอตัวอย่าง ครูนำเสนอตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ เหตุการณ์ ปรากฏการณ์ หรือแนวคิดให้ผู้เรียนได้สังเกตลักษณะและคุณสมบัติของตัวอย่างเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบสรุปเป็นหลักการ แนวคิด หรือกฎเกณฑ์ ซึ่งการนำเสนอตัวอย่างควรเสนอหลาย ๆ ตัวอย่างให้มากพอให้ผู้เรียนสามารถสรุปเป็นหลักการหรือหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ได้

ขั้นที่ 3 ขั้นเปรียบเทียบ ขั้นที่ผู้เรียนทำการสังเกต ค้นคว้า วิเคราะห์ รวบรวม เปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันขององค์ประกอบในตัวอย่าง แยกแยะข้อแตกต่าง มองเห็นความสัมพันธ์ในรายละเอียดที่เหมือนกัน ต่างกันในขั้นนี้หากตัวอย่างที่ให้แก่วิธีการเป็นตัวอย่างที่ดี ครอบคลุมลักษณะหรือคุณสมบัติสำคัญ ๆ ของหลักการ ทฤษฎีก็ย่อมจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถศึกษาและวิเคราะห์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้อย่างรวดเร็ว แต่หากผู้เรียนไม่ประสบความสำเร็จ ครูอาจให้ข้อมูลเพิ่มเติม หรือใช้วิธีการอื่นให้ผู้เรียนได้คิดค้นต่อไป

ขั้นที่ 4 ขั้นกฎเกณฑ์ ให้ผู้เรียนนำข้อสังเกตต่าง ๆ จากตัวอย่างมาสรุปเป็นหลักการ กฎเกณฑ์หรือนิยามด้วยตัวผู้เรียนเอง

ขั้นที่ 5 ขั้นนำไปใช้ ครูเตรียมตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ เหตุการณ์ ปรากฏการณ์หรือความคิดใหม่ ๆ ที่หลากหลายมาให้ผู้เรียนใช้ในการฝึกความรู้ ข้อสรุปไปใช้ หรือ ครูอาจให้โอกาสผู้เรียนช่วยกันยกตัวอย่างจากประสบการณ์ของผู้เรียนเองเปรียบเทียบก็ได้ เป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในชีวิตประจำวัน และจะทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นการทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนว่าหลักการที่ได้รับนั้น สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาและทำแบบฝึกหัดได้หรือไม่หรือเป็นการประเมินว่าผู้เรียนได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่นั่นเอง

การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ศึกษาวิธีสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ ให้ครอบคลุมเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส โดยมีค่าความเที่ยงตรง (Index of item Objective Congruence: IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 และนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ได้ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่กำลังเรียนอยู่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่

ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส มาแล้ว จำนวน 30 คน จากนั้นนำผลการทดสอบไปหาค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) เป็นรายข้อจากนั้นคัดเลือกข้อสอบให้เหลือ 20 ข้อ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.858 มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.25-0.81 มีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.26-0.91 แล้วนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

การสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ

ศึกษาวิธีการสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ จากตำราเกี่ยวกับแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจ และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยสร้างแบบสอบถามเพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ให้ซึ่งเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) ที่ให้คะแนน 5 ระดับ คือ น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด จำนวน 10 ข้อ แล้วนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและสอดคล้อง จากนั้นนำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจไปปรับปรุงแก้ไข ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำมาหาค่าความเที่ยงตรง (Index of item Objective Congruence: IOC) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 และมีค่าความเชื่อมั่น 0.96 แล้วนำมาเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา แล้วนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

การดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตัวเองโดยนำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นทำการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียน และวัดความพึงพอใจจากแบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง โดยนำผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย หลังเรียนและก่อนเรียนมาคำนวณ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) สถิติการทดสอบค่าที (t -test) แบบ dependent และนำผลจากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย โดยใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน มาคำนวณ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) ตามลำดับ

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเรื่องการแผนการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย พบว่า

1. ผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย พบว่านักเรียนได้คะแนนจากการร่วมกิจกรรม ระหว่างเรียนและหลังเรียนมีคะแนนมากกว่า 80/80 ของเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ซึ่งมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ดังแสดงผลตารางที่ 1 และผลการหาประสิทธิภาพการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ดังแสดงตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีอุปนัย

การหาประสิทธิภาพกิจกรรมการเรียน	E ₁	E ₂	E ₁ /E ₂
การหาประสิทธิภาพแบบเดี่ยว 60/60	62.63	61.35	62.63/61.35
การหาประสิทธิภาพแบบกลุ่ม 70/70	73.71	71.98	73.71/71.98
การหาประสิทธิภาพแบบสนาม 80/80	82.51	81.60	82.51/81.60

ตารางที่ 2 ผลการหาประสิทธิภาพการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีอุปนัย

คะแนน	n	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
แบบฝึกหัดและแบบทดสอบย่อยระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	30	60	49.94	83.25
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์หลังเรียน	30	20	16.13	80.65
ประสิทธิภาพการจัดกิจกรรมการเรียนรู้		E ₁ / E ₂ =83.25/80.65		

2. คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนมีค่าเท่ากับ 8.30 คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 16.13 คะแนนเต็ม 20 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนและก่อนเรียน โดยใช้สถิติการทดสอบค่าที (t -test) แบบ dependent พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังแสดงผลตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีอุปนัย ระหว่างหลังเรียนและก่อนเรียน

กลุ่มทดลอง	n	($\bar{x}$)	S.D.	t	df	sig
ก่อนเรียน	30	8.30	1.69	27.66*	29	.00
หลังเรียน	30	16.13	0.39			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ระดับความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย 4.89 ดังแสดงตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีอุปนัย

รายการ	n = 30		
	($\bar{x}$)	S.D.	แปลผล
1. นักเรียนเกิดทักษะในการคิด ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง จากการแก้โจทย์ปัญหาด้วยการจัดการเรียนรู้	5.00	0.00	มากที่สุด
2. กิจกรรมสอดคล้องกับเนื้อหา	4.92	0.26	มากที่สุด
3. นักเรียนรู้สึกรู้ว่าการแก้โจทย์ปัญหาเรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ยากขึ้นจากการใช้วิธีอุปนัย	4.92	0.18	มากที่สุด
4. นักเรียนสามารถเรียนรู้เข้าใจด้วยตนเองมากขึ้นจากกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย	4.72	0.38	มากที่สุด
5. นักเรียนมีความรับผิดชอบต่องานของตนเองมากขึ้น	4.90	0.23	มากที่สุด
6. นักเรียนมีการวางแผน กระบวนการคิดและการทำงานดีขึ้น	4.88	0.33	มากที่สุด
7. กิจกรรมสอดคล้องกับเนื้อหาและการจัดการเรียนเป็นไปตามขั้นตอนจากง่ายไปหายากโดยใช้วิธีอุปนัย	4.92	0.28	มากที่สุด
8. คำถามของครูทุกขั้นตอนทำให้นักเรียนได้คิดหาคำตอบด้วยตนเอง	4.86	0.20	มากที่สุด
9. สื่อการสอนกระตุ้นให้อยากเรียนและมีสมาธิต่อการเรียน	4.90	0.01	มากที่สุด
10. เวลาในการทำแบบสอบถามมีความเหมาะสม	4.88	0.08	มากที่สุด
รวมเฉลี่ย	4.89	0.13	มากที่สุด

อภิปรายผล

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.51/81.60 หมายความว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย ทำให้นักเรียนมีคะแนนจากการทำแบบทดสอบย่อย และแบบฝึกหัด โดยเฉลี่ยร้อยละ 82.51 และทำให้นักเรียนมีคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนโดย เฉลี่ย 81.60 และผลการหาประสิทธิภาพการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย มีค่า 83.25/80.65 แสดงว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 เนื่องจากในขั้นตอนการพัฒนา ผู้วิจัยได้นำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ไปทดสอบหาประสิทธิภาพ ก่อนการทดลองภาคสนามซึ่งสอดคล้องกับ Promwong (2013) กล่าวว่า การผลิตสื่อหรือชุดกิจกรรมการสอนนั้น ก่อนนำไปใช้จริงจะต้องนำสื่อไปทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อดูว่าสื่อหรือชุดกิจกรรมการสอนทำให้ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นหรือไม่ มีประสิทธิภาพในการช่วยให้กระบวนการเรียนการสอนดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์หรือไม่ และผู้เรียนมีความพึงพอใจจากสื่อ หรือชุดกิจกรรมการสอนในระดับใดนั้น ผู้ผลิตสื่อหรือชุดกิจกรรมการสอน จำเป็นต้องนำสื่อหรือชุดกิจกรรมการสอน ไปหาคุณภาพเรียกว่าการทดสอบประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Sanguansin (2004) การสร้างชุดกิจกรรมปฏิบัติการ คณิตศาสตร์ โดยเทคนิคการสอนแบบอุปนัย-นิรนัย เรื่อง พหุนามของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปี

ที่ 3 พบว่า ชุดกิจกรรมปฏิบัติการคณิตศาสตร์ โดยเทคนิคการสอนแบบอุปนัย-นิรนัย มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนภายหลังได้รับการสอนด้วย ชุดกิจกรรมปฏิบัติการคณิตศาสตร์โดยเทคนิคการสอนแบบอุปนัย-นิรนัย สูงกว่าก่อนได้รับการสอน และจากการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด แสดงว่า แผนการจัดการเรียนรู้วิธีอุปนัยอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่สร้างขึ้นได้ผ่าน ขั้นตอน กระบวนการสร้างอย่างเป็นระบบและวิธีการที่เหมาะสม โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้มีการดำเนินการโดยการศึกษาโครงสร้างหลักสูตร วิเคราะห์หลักสูตร ศึกษาวิธีการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ แล้วนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นเสนอต่อคณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญ เพื่อพิจารณาตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้อง เหมาะสม ประกอบการเสนอแนะเพื่อปรับปรุงแก้ไข นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปทดลองใช้ เพื่อหา คุณภาพก่อนที่จะนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ทำให้แผนการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

2. จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจากการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย มีความชัดเจนในขั้นตอนและกระบวนการคิดวิเคราะห์ทำให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาได้ง่ายขึ้นมากกว่าจากการเรียนแบบปกติ จึงส่งผลให้นักเรียนเข้าใจง่ายขึ้น ทั้งนี้ในการสอนของครูผู้สอนก็ได้คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล และมีคำถามในลักษณะกระตุ้นให้นักเรียนสามารถหาคำตอบด้วยตัวของนักเรียนเองซึ่งไม่ใช่เป็นการท่องจำจากคำตอบที่ครูให้ ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถค้นพบคำตอบด้วยตัวของนักเรียนเอง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ Wilson (1971) ที่กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์คือผลสำเร็จของการเรียนรู้ในวิชาคณิตศาสตร์ที่ประเมินเป็นลักษณะความสามารถนั่นเอง ซึ่งส่งผลให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจกับการแก้ปัญหาจากสถานการณ์จริงที่เผชิญอยู่ได้อย่างยาวนานในการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย ผู้วิจัยได้ค้นพบจากขั้นตอนการสอนในแต่ละขั้นตอนซึ่งมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนดังนี้ ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียมการ ครูทบทวนเนื้อหาความรู้เดิมให้แก่เด็กนักเรียนที่เคยเรียนมาแล้ว จากนั้นครูสอนเนื้อหาใหม่ นำประเด็นความรู้ใหม่เสนอต่อหน้าชั้นเรียนเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และเกิดความเข้าใจในเนื้อหาที่กำลังเรียนซึ่งครูตั้งคำถาม โดยใช้สื่อการสอนประเภทต่าง ๆ เช่น ภาพ สัญลักษณ์ วัตถุสิ่งของ เป็นต้น เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น เริ่มจากการเรียนรู้จากสื่อรูปธรรม นอกจากนี้ครูผู้สอนยังได้สร้างความมั่นใจของเหตุผลที่นักเรียนแสดงออกมาโดยการเพิ่มเติมให้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ ทำให้นักเรียนเกิดความมั่นใจในการอภิปรายแสดงเหตุผลในการตอบคำถาม หรือทำกิจกรรมในขั้นนี้ ทำให้เกิดความรู้อย่างแท้จริง ก่อนที่จะเรียนเนื้อหาต่อไปซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ส่งเสริมให้เกิดการสอดแทรกการให้เหตุผลของ National Institute of Educational Testing Service (2020) ได้ระบุว่าประโยชน์ของการสอดแทรกการให้เหตุผลในกิจกรรมการเรียนการสอน เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจ เนื้อหาและแนวคิด อย่างถ่องแท้ อีกทั้งเป็นการทบทวนความรู้เดิมช่วยเสริมสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องอยู่แล้วให้สมบูรณ์และแก้ไขความเข้าใจที่ผิด ขั้นที่ 2 ขั้นเสนอตัวอย่าง เป็นขั้นที่มีการนำเสนอหลาย ๆ ตัวอย่างโดยครูผู้สอน เพื่อให้นักเรียนได้พิจารณาจากตัวอย่างที่เป็นสถานการณ์ทางคณิตศาสตร์ ครูผู้สอนมีการตั้งคำถามกระตุ้นเพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจ มีการใช้เอกสารประกอบการสอนเพื่อแนะแนวทางศึกษา วิเคราะห์หาข้อมูลเพิ่มเติม จากตัวอย่างที่หลากหลายสู่ข้อสรุปของตนเอง การจัดหมวดหมู่และลักษณะของความสัมพันธ์จากการศึกษาตัวอย่าง มีการส่งเสริมให้นักเรียนได้สังเกต คิดวิเคราะห์รูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดข้อสรุป หากนักศึกษาเกิดข้อสงสัยหาข้อสรุปไม่ได้ ครูผู้สอนได้มีการดำเนินการถามและแนะแนวทางเพื่อให้นักเรียนได้คิดวิเคราะห์ ทำให้นักเรียนสามารถเขียนความรู้ในเอกสารแนะแนวทางได้ โดยมีการแสดงเหตุผลแนวคิดของตนเองในเอกสาร มีการจัดหมวดหมู่ของตัวอย่างตามหลักการและเหตุผลของเนื้อหาเรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ขั้นที่ 3 ขั้นเปรียบเทียบ เป็นขั้นที่ครูผู้สอนได้ให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาลักษณะร่วม และบันทึกผลที่ได้ลงในเอกสารแนะแนวทาง จัดหมวดหมู่ที่เหมือนหรือต่างกันเพื่อนำไปสู่การสรุปองค์ความรู้ การอภิปรายกลุ่มย่อย กลุ่มใหญ่ การใช้เวลาในการคิดวิเคราะห์ การตั้งคำถามเสนอแนะแนวทางแต่ไม่ใช้การบอกคำตอบ เป็นการจุดประกายความคิดให้กับนักเรียน การใช้เวลาในการเปรียบเทียบจากความสนใจในเนื้อหาเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ทำให้นักเรียนสามารถนำความรู้จากการศึกษาตัวอย่างหลาย ๆ ตัวอย่าง แล้วนำมาเปรียบเทียบจัดหมวดหมู่ จากลักษณะร่วมเพื่อให้เกิดข้อสรุปของตนเองโดยแสดงเหตุผล เพราะเหตุใด และการอธิบาย ซึ่งเป็นลักษณะของการใช้เหตุผลที่เกี่ยวกับสถานการณ์ และเป็นการให้ความสำคัญในการฟังความคิดเห็นของนักเรียน ได้ฝึกการรับฟัง ทำความเข้าใจเหตุผลของผู้อื่น เพื่อให้นักเรียนได้มีโอกาส อภิปรายและเปรียบเทียบคำตอบที่ต่างกันของปัญหาและได้อธิบายเกี่ยวกับปัญหาเหล่านั้นผู้สอนปรับแนวการอภิปรายให้สอดคล้องกับแนวคิดของนักเรียน ช่วยสรุปและชี้แจงให้นักเรียนเข้าใจว่า เหตุผลของนักเรียนถูกต้องตามหลักเกณฑ์หรือไม่ ขาดตกบกพร่องอย่างไร ครูผู้สอนจะต้องใจเย็นและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นอย่างเป็นอิสระ ขั้นที่ 4 ขั้นกฎเกณฑ์ เป็นขั้นที่ครูผู้สอนได้ให้นักเรียนนำข้อสังเกตต่าง ๆ จากตัวอย่างมาสรุปเป็นหลักการ กฎเกณฑ์ หรือนิยามด้วยตัวนักเรียนเองและมีการตรวจสอบข้อสรุป หลักการ

กฎเกณฑ์ นิยาม เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นโดยสร้างแรงกระตุ้นให้นักเรียนแสดงผล โดยใช้การตั้งคำถาม เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสอนเพื่อให้คิด การวิเคราะห์ แล้วแสดงผล ทำให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการคิดและแสดงผลในความรู้ที่ได้ศึกษาข้อสรุปของตนเอง ขั้นที่ 5 ขั้นนำไปใช้ เป็นขั้นที่ครูเตรียมตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ เหตุการณ์ ปรากฏการณ์ หรือความคิดใหม่ ๆ ที่หลากหลายมาให้ผู้เรียนใช้ในการฝึกความรู้ ข้อสรุปไปใช้ หรือ ครูอาจให้โอกาสผู้เรียนช่วยกันยกตัวอย่างจากประสบการณ์ของผู้เรียนเองเปรียบเทียบก็ได้ เป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในชีวิตประจำวัน และจะทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นการทดสอบความเข้าใจของผู้เรียนว่าหลักการที่ได้อ่านนั้น สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาและทำแบบฝึกหัดได้หรือไม่หรือเป็นการประเมินว่าผู้เรียนได้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่แน่นอน โดยในขั้นนี้นักเรียนได้นำความรู้ที่ตนเองสรุปได้จากการศึกษาเอกสารแนะแนวทาง จากการอภิปราย พูดคุย ทดลอง สืบค้นมาเพื่อใช้ในการทำใบงาน ซึ่งในแต่ละใบงานให้นักเรียนแสดงผลในการตอบ การฝึกความสามารถในการให้เหตุผลขั้นตอนนี้ จึงต้องมีความรู้พื้นฐานมาจากข้อสรุปมาแสดงผลเพื่อสนับสนุนคำตอบ อีกทั้งใบงานสำหรับขั้นนำไปใช้มีลำดับความยากง่าย โดยเป็นเนื้อหาที่ไม่สลับซับซ้อน นำไปสู่ปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งจะทำให้การแสดงผลของนักศึกษามีการพัฒนาเป็นลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการประเมินสมรรถนะผู้เรียนของ PISA ซึ่งได้มีการประเมินด้านความฉลาดรู้ 3 ด้านได้แก่ ความฉลาดรู้ด้านการอ่าน ความฉลาดรู้ด้านคณิตศาสตร์ ความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology IPST, 2018) โดยใช้วิธีอุปนัย มีกระบวนการคิดและการร่วมกันคิดภายในชั้นเรียนระหว่างนักเรียนกับครูทำให้นักเรียนทุกคนได้ฝึกคิดอย่างเป็นระบบตามลำดับขั้นตอน จึงทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์จากการทดสอบหลังเรียนในเรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส มีคะแนนสูงกว่าการทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. จากการวัดความพึงพอใจต่อการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด 4.89 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ นักเรียนเกิดทักษะในการคิด ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง จากการแก้ไขโจทย์ปัญหาด้วยการจัดการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 5.00 ซึ่งเป็นดัง Bruner (1993) ที่เสนอแนะว่าให้คำนึงถึงความพร้อมของผู้เรียนในแง่ของการจัดประสบการณ์ของการเรียนให้มีลำดับความหมายและความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม และข้อที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ นักเรียนสามารถเรียนรู้เข้าใจด้วยตนเองมากขึ้นจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย มีค่าเฉลี่ย 4.72 ซึ่งในส่วนนี้อาจเป็นเพราะว่าขั้นตอนการเรียนรู้แบบวิธีอุปนัยอาจทำให้นักเรียนเกิดการสับสนได้หากครูผู้สอนไม่ได้นำวิธีการสอนแบบอุปนัยมาช่วย ๆ ของครูผู้สอนจะส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในกระบวนการเรียนแบบวิธีอุปนัยยังไม่มากพอ ที่จะนำมาแก้ปัญหาในชั้นเรียนด้วยตนเอง จากการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ ส่งเสริมให้นักเรียนมีความสนใจกระตือรือร้นในการถามตอบกับครูผู้สอนและนักเรียนได้เรียนรู้กับเพื่อน ๆ ในห้องเรียนอย่างมีอิสระทำให้นักเรียนมีความสุขสนุกสนานในการเรียนรู้จากกิจกรรมที่ครูผู้สอนจัดให้กับนักเรียนตลอดจนครูได้เสริมแรงด้วยการมอบของรางวัลแก่นักเรียนเพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนอยากที่จะเรียนรู้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีเสริมแรงของ Skinner (1957) ดังที่ว่า การเสริมแรงทางบวกเป็นการให้สิ่งตอบแทนในสิ่งที่บุคคลอยากได้เช่น มอบรางวัล ค่ายกย่องชมเชย สิ่งของ เป็นต้น เพื่อจูงใจให้ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจที่จะอยากเรียนรู้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมใหม่ไปสู่พฤติกรรมอันพึงประสงค์ของผู้เรียน จึงส่งผลให้นักเรียนมีความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีความพึงพอใจต่อการเรียน เพราะว่ามันผู้ต้องการได้รับการยกย่องจึงจะส่งผลให้ประสบความสำเร็จดังที่ Maslow (1970) ได้กล่าวว่า ความต้องการของมนุษย์คือความต้องการที่ได้รับการยกย่อง ความต้องการที่จะประสบความสำเร็จในชีวิต นอกจากนี้ครูผู้สอนยังคอยชี้แนะแนวทางและกระตุ้นการตอบคำถามเพื่อให้นักเรียนสามารถค้นพบคำตอบด้วยตนเองในการจัดการเรียนการสอนโดยใช้วิธีอุปนัย จึงส่งผลให้นักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัยอยู่ในระดับมากที่สุด

4. จากการอภิปรายผลการวิจัยทั้ง 3 ข้อ ที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้การวิจัยการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยใช้วิธีอุปนัย มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 80/80 นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีความพึงพอใจโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด 4.89 เนื่องจากผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ภายใต้เนื้อหาสาระ วัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่ครอบคลุมทุกขั้นตอน ซึ่งในแผนการสอนมีความชัดเจนทุกขั้นตอน และคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคล จึงทำให้ผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในการวิจัยครั้งนี้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย เป็นวิธีการสอนที่ผู้เรียนจะต้องคิดหาคำตอบด้วยตนเอง หากผู้เรียนขาดทักษะพื้นฐานในการคิด อาจได้ข้อสรุปที่ไม่ถูกต้องได้ ผู้สอนควรตรวจสอบ ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน ก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย เพื่อเป็นการประเมินความรู้ของผู้เรียน

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย ในเนื้อหาคณิตศาสตร์อื่น ๆ เช่น อัตราส่วนและร้อยละ เส้นขนาน เลขยกกำลัง หรือความเท่ากันทุกประการ เป็นต้น

2.2 ศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้วิธีอุปนัย ที่มีต่อทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ด้านอื่น ๆ เช่น ทักษะและกระบวนการแก้ปัญหา การสื่อสาร การเชื่อมโยง หรือความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ เป็นต้น

2.3 ควรรวบรวมการสอนกลุ่มทักษะคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัส โดยการจัดเรียงลำดับเนื้อหาใหม่สร้างขึ้นไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างอื่น หรือโรงเรียนอื่นเพื่อตรวจสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วย

References

- Bruner, J. S. (1993). **Explaining and interpreting two ways of using mind**. In G. Harman (2nd ed.). **Conceptions of the human mind: Essays in Honor of George A. Miller**.
- Bureau of Academic Affairs and Educational Standards. (2012). **Guideline for learning management in mathematics thinking**. Bangkok: Chumnumkasetakorn printing.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology IPST. (2018). **Mathematical skills and processes** (in Thai). Bangkok: Academic development.
- Khammanee, T. (2012). **Science of teaching: Knowledge for effective learning process Management**. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Lardizabal, A. (1969). **Methods and principles of teaching**. Phoenix Press.
- Maslow, A. H. (1970). **Motivation and personality**. Harper and Row.
- Naoyenphon, P. (2011). **The research of teaching and learning mathematics in processing package on the experience of mathematics learning** (in Thai). Bangkok: Sukhothai Thammathirat Open University.
- National Institute of Educational Testing Service. (2020). **Report on the results of the test the national level basic O-Net Grade 6, Year 2019** (in Thai). Bangkok: Public Organization.
- Onnuam, D. (2008). Mathematics instruction focusing on the processes (in Thai). **Mathematics Journal**, 3(9), 51-65.
- Phattiyathani, S. (2008). **Statistical methods for research (4th ed.)**. Bangkok: Prasankarnpim printing.
- Plangprasopchok, S., Boomprajak, S. and Pooudom, C. (2008). The survey of the problems of Thai students in mathematics (in Thai). **Journal of Mathematics**, 54(2), 20-28.
- Promwong, C. (2013). Efficiency testing of media or instructional packages (in Thai). **Silpakorn Educational Research Journal**, 5(1), 7-20.
- Sanguansin, N. (2004). Creating a set of mathematics activities using inductive and deductive teaching techniques subject polynomials in Mathayom 3 level. **Master's Thesis**. Songkla: Prince of Songkla University.
- Skinner, B. F. (1957). **Verbal behavior**: Appleton-Century-Crofts.
- Wilson, G. W. (1971). **Evaluation of learning in secondary school mathematics in Handbook on formative and summative evaluation of student learning**. Edited by Benjamin S. Bloom. U.S.A.: McGraw-Hill.



Development of MACRO Model Learning Activities with Think-Talk-Write Technique to Promote Mathematical Understanding of Grade-11 Students

Naphatsakorn Photharam^{1,*} and Montri Thongmoon²

¹*Teaching of Science and Mathematics Program, Faculty of Education, Mahasarakham University*

²*Faculty of Science, Mahasarakham University*

**Email: 65010554022@msu.ac.th*

Received <19 April 2024>; Revised <2 June 2024>; Accepted <17 June 2024>

Abstract

The purposes of this research were 1) to develop lesson plans on MACRO Model Learning Activities with Think-Talk-Write Technique on sequences and series with the efficiency 75/75 criteria, 2) to compare the mathematical understanding using MACRO Model Learning Management with Think-Talk-Write Technique on sequences and series between before class and after class, and 3) to compare the learning achievement using MACRO Model Learning Management with Think-Talk-Write Technique on sequences and series with the criteria of 75 percent. The research sample group consisted of 42 Grade-11 students at Kalasinpittayasan School in the academic year 2023, selected by cluster random sampling technique. The research instruments were as follows: 1) 10 lesson plans on MACRO Model Learning Activities with Think-Talk-Write Technique on sequences and series. 2) 5 items of the subjective test to assess mathematical understanding of sequences and series. 3) 30 four-option of mathematics learning achievement test. Statistics used in the research included: a percentage, a mean, a standard deviation, formulary of the efficiency of learning activity, t-test for one sample and t-test dependent sample. The research findings were as follows: 1) The lesson plans on MACRO Model Learning Management with Think-Talk-Write Technique, which enhance the mathematical understanding of sequences and series were found that the efficiency were 77.56/76.90 according to the 75/75 criteria, 2) The mathematical understanding of sequences and series after participating in the learning activities based on MACRO Model Learning Management with Think-Talk-Write Technique was statistically higher than before class at .05 level, and 3) The mathematics learning achievement of sequences and series after participating in the learning activities based on MACRO Model Learning Management with Think-Talk-Write Technique was statistically higher than the 75-percent criterion at .05 level.

Keywords: MACRO Model, Think Talk Write, Mathematical Understanding

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เพื่อส่งเสริมความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

นักสกร โพธาราม^{1*} และมนตรี ทองมูล²

¹สาขาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*Email: 65010554022@msu.ac.th

รับบทความ: 19 เมษายน 2567 แก้ไขบทความ: 2 มิถุนายน 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 17 มิถุนายน 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายคือ 1) เพื่อพัฒนาแผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75 2) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน 3) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ลำดับและอนุกรม ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม กับเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 42 คน โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ ปีการศึกษา 2566 ซึ่งได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม จำนวน 10 แผน 2) แบบทดสอบวัดความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ แบบอัตนัย จำนวน 5 ข้อ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สูตรหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ และสถิติทดสอบที (t-test for one sample และ t-test dependent sample) ผลการวิจัยปรากฏดังนี้ 1) แผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 77.56/76.90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่กำหนดไว้ 2) ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม พบว่าความเข้าใจทางคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) นักเรียนที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ: MACRO Model Think Talk Write ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 การจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยความเข้าใจอย่างถ่องแท้และส่งเสริมให้นักเรียนสร้างความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาคณิตศาสตร์ด้วยการนำเสนอความคิดเห็น การพูดคุย การโต้แย้ง การลงมือปฏิบัติ การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ กิจกรรมต่าง ๆ (Perkins, 1993) ไปพร้อม ๆ กับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้คิดและมองเห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างคณิตศาสตร์กับสิ่งที่อยู่ในธรรมชาติ ซึ่งการเรียนรู้เพื่อให้สามารถนำความรู้ไปใช้นั้นจำเป็นต้องรู้กระบวนการที่เกิดขึ้นในตัวเองของผู้เรียนที่เน้นวิธีการเรียนรู้ด้วยตนเอง เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถคิดไตร่ตรองได้อย่างสร้างสรรค์ และนำความรู้ที่ได้รับไปบูรณาการในการดำรงชีวิต

จากผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินั้นพื้นฐาน (O-Net) ที่มีผลการประเมินวิชาคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีค่าเฉลี่ยเทียบกับคะแนนเต็ม 100 คะแนน พบว่าจากปีการศึกษา 2565 มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 21.61 และเกณฑ์ของผลการทดสอบมีมาตรฐานขั้นต่ำที่คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 50 (Academic Kalasinpittayasan School, 2023) ซึ่งผลการทดสอบของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานและแสดงให้เห็นถึงปัญหาของการเรียนคณิตศาสตร์ที่เรียนโดยการขาดความเข้าใจ การเรียนคณิตศาสตร์ด้วยความเข้าใจเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนและนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม และ รายงานการประเมินตนเอง (Self – Assessment Report) ประจำปีการศึกษา 2565 ของโรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ในด้านการจัดกระบวนการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ครูจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักเรียนแสวงหาความรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง จัดบรรยากาศสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้ ให้นักเรียนเรียนรู้จากการคิด ได้ปฏิบัติจริงด้วยวิธีการและแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย สามารถเสนอแนวคิดของตนเองได้อย่างสร้างสรรค์ ใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้ ออกแบบ สร้างสรรค์งาน สื่อสาร นำเสนอ เผยแพร่ผลงานได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Mekanong (2004) ที่กล่าวว่า ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์เป็นปัจจัยที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและนำความรู้ไปใช้กับสถานการณ์หรือปัญหาที่ซับซ้อน การเรียนคณิตศาสตร์ด้วยการจำปราศจากความเข้าใจจะทำให้เกิดความไม่แน่ใจในการใช้ความรู้สำหรับแก้ปัญหา ซึ่งการเรียนคณิตศาสตร์ด้วยการท่องจำ จะทำให้ปัญหาการเรียนคณิตศาสตร์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์จึงไม่ใช่การสอนที่มุ่งเฉพาะทักษะการคิดคำนวณ และบอกขั้นตอนวิธีให้ทำตาม จะทำให้นักเรียนขาดโอกาสและอิสระในการคิดด้วยตนเอง นักเรียนไม่สามารถคิดเป็นทำเป็น รวมถึงการเชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ด้วยตนเอง นักเรียนควรศึกษาให้เกิดความเข้าใจในการเรียนคณิตศาสตร์

ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญที่มุ่งเน้นให้เกิดขึ้นกับนักเรียน เพราะความเข้าใจทางคณิตศาสตร์เป็นการสร้าง การพิสูจน์ การค้นพบที่เป็นพื้นฐานในการสร้างองค์ความรู้และการเชื่อมโยง ในการเรียนหรือทักษะกระบวนการในระดับสูงขึ้นไป จะทำให้นักเรียนสามารถมีความคิดที่ลึกซึ้ง มีการสื่อสาร คิดอย่างสร้างสรรค์ Narkorn (2006) กล่าวว่า ความรู้ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์นั้นทำให้นักเรียนสามารถดำเนินการทางคณิตศาสตร์โดยใช้ยุทธวิธีหรือประยุกต์ความเข้าใจนั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาและตัดสินใจกับสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างมีเหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับสมาคมคณิตศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกา (National Council of Teachers of Mathematics, 2000) กล่าวว่า นักเรียนจะประสบความสำเร็จในการเรียนคณิตศาสตร์ นักเรียนจะต้องเรียนคณิตศาสตร์ด้วยความเข้าใจ โดยสามารถสร้างความรู้ใหม่จากประสบการณ์และความรู้ที่มีอยู่เดิม ซึ่งการเรียนคณิตศาสตร์ด้วยความเข้าใจเป็นสิ่งที่ช่วยให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการเรียนคณิตศาสตร์และแก้สถานการณ์ปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างมีเหตุผล การเรียนการสอนคณิตศาสตร์นั้นผู้สอนจำเป็นต้องสอนคณิตศาสตร์เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจ โดยความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ จะตรงกันข้ามกับการท่องจำ (Rote Learning) เป็นการเรียนรู้เพื่อให้สามารถนำความรู้ไปใช้นั้น จำเป็นต้องรู้กระบวนการที่เกิดขึ้นในตัวของผู้เรียนที่เน้นวิธีการเรียนรู้ด้วยตนเอง เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถคิดไตร่ตรองได้อย่างสร้างสรรค์ ช่วยพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม และนำความรู้ที่ได้รับไปบูรณาการในการดำรงชีวิตได้อย่างมีความสุข ตามหลักการของทฤษฎีนี้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้จากการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่พบเห็นกับความรู้ความเข้าใจเดิม นำความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเหตุการณ์ และปรากฏการณ์ที่พบเห็นมาสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่ (Hiebert and Carpenter, 1992)

Usiskin (2001) กล่าวถึงความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ว่า เป็นความสามารถในการเรียนรู้ที่ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจทางคณิตศาสตร์อย่างลึกซึ้ง จนเกิดความเข้าใจในทักษะและกระบวนการ การเชื่อมโยงระหว่างคณิตศาสตร์กับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน และสามารถนำเสนอคณิตศาสตร์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งทำให้นำไปสู่ความคิดสร้างสรรค์ในระดับสูง การสร้างกระบวนการ การพิสูจน์ การค้นพบ การนำไปใช้และการพัฒนาการนำเสนอใหม่ ๆ ซึ่ง Usiskin (2001) ได้แบ่งความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้ ลักษณะที่ 1 ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการ (Skill – Algorithm Understanding) หรือที่เรียกว่า ความเข้าใจทักษะ นักเรียนจะแสดงความเข้าใจในลักษณะนี้เมื่อได้ลงมือทำงาน ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการประกอบด้วย ความชำนาญในการตัดสินใจ การคิดรูปแบบที่ง่ายกว่าการคิดในรูปแบบเดิม หรือใช้วิธีการที่แตกต่างกันในการแก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกัน ความสามารถในการตรวจสอบขั้นตอนวิธีการ หรือกระบวนการที่นำมาซึ่งผลลัพธ์

การสร้างขั้นตอนวิธีการหรือกระบวนการใหม่สำหรับการหาคำตอบ ลักษณะที่ 2 ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติคณิตศาสตร์ (Properties – Mathematics Understanding) เป็นความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ เป็นความเข้าใจแสดงถึงรูปแบบทั่วไปของสิ่งที่นักเรียนเผชิญ สื่อได้ด้วยภาษาที่ถูกต้อง ได้ถ่ายทอดความเข้าใจให้กับนักเรียน งานที่แสดงถึงความเข้าใจสมบัติคณิตศาสตร์นี้ ได้แก่ งานระดับล่าง เช่น การระบุสมบัติทางคณิตศาสตร์ งานระดับกลาง เช่น การอธิบายความสำคัญของสมบัติ งานระดับสูง เช่น การเขียนพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ ลักษณะที่ 3 ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำไปใช้ (Use – Application Understanding) ซึ่งเป็นความเข้าใจที่แท้จริง เพราะนักเรียนจะต้องนำความรู้ที่มีอยู่ไปใช้อย่างสมเหตุสมผล นักเรียนต้องรู้ว่าเมื่อใดควรใช้คณิตศาสตร์ ใช้อะไร และใช้อย่างไร ความเข้าใจลักษณะนี้รวมการใช้งานของคณิตศาสตร์ทุกประเภท ลักษณะที่ 4 ความเข้าใจในการนำเสนอ (Understanding through Representation) นักเรียนที่มีความเข้าใจต้องสามารถนำเสนอสิ่งที่ตนเข้าใจให้ผู้อื่นทราบด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีโดยจะใช้สื่อ วัสดุอุปกรณ์ประกอบการนำเสนอ ซึ่งอาจจะนำเสนอในรูปแบบที่เป็นรูปธรรมหรือนามธรรมก็ได้ ทั้งนี้จะเน้นที่ความสามารถในการถ่ายทอดสิ่งที่ตนเข้าใจให้ผู้อื่นได้เข้าใจด้วย

ปัจจุบันการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาคณิตศาสตร์มักพบปัญหาเรื่องความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนอยู่เสมอ เนื่องจากความเข้าใจทางคณิตศาสตร์เกิดขึ้นในตัวของผู้เรียนเอง โดยผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ใหม่จากการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่พบเห็นกับความรู้ความเข้าใจเดิม และสามารถนำเสนอความรู้ที่ตนเข้าใจให้ผู้อื่นรับรู้ได้ด้วย การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model จะช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ สร้างองค์ความรู้ของตนเอง และสามารถเผยแพร่ความรู้ของตนเองให้ผู้อื่นได้ Wannasian (2015) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้สำหรับศตวรรษที่ 21 โดยใช้กระบวนการทางปัญญา (กระบวนการคิด) การจัดการเรียนรู้ที่ฝึกให้ผู้เรียนกล้าตั้งคำถาม กล้าคิด กล้าตัดสินใจ กล้าแสดงออก เปลี่ยนการเรียนจากแบบรับฟังอย่างเดียว (passive) เป็นการเรียนรู้ด้วยตนเอง (active) ให้ผู้เรียนได้มีโอกาสได้ความรู้โดยตรงจากการลงมือกระทำด้วยตนเอง ได้ตกผลึกความรู้เป็นของตัวเอง เป็นความรู้ใหม่ผ่านกระบวนการเรียนรู้ที่ถูกต้อง ผู้เรียนจะจดจำความรู้นี้ได้นาน และได้ใช้กระบวนการทางสังคม (กระบวนการกลุ่ม) ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ ได้ร่วมมือทำงานเป็นทีมและมีส่วนร่วมในการเรียน รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model มีองค์ประกอบ ดังนี้ 1) M (motivation) การสร้างแรงจูงใจ ความสนใจ และความต้องการในการเรียนรู้ 2) A (active learning) การเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้มีโอกาสได้ความรู้โดยตรงจากการลงมือทำด้วยตนเอง ด้วยวิธีการเรียนรู้ที่หลากหลาย จากแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย เป็นการเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ 3) C (conclusion) ผู้เรียนสรุปองค์ความรู้หรือสังเคราะห์สิ่งที่ได้เรียนรู้ตามความคิด และภาษาของตนเอง 4) R (reporting) ผู้เรียนสื่อสารและนำเสนอผลการเรียนรู้ด้วยภาษา วิธีการที่เหมาะสม และ 5) O (obtain) ผู้เรียนนำผลการเรียนรู้ที่ได้รับไปใช้ประโยชน์ต่อการเผยแพร่ความรู้สู่ครอบครัว ชุมชน และสังคมด้วยวิธีการที่เหมาะสม และเทคนิค Think-Talk-Write เป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจประกอบการจัดการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมและส่งเสริมให้นักเรียนได้มีโอกาสแสดงแนวคิดของตนเองผ่านการพูด และการเขียน ในประเด็นที่สงสัยหรือต้องการหาคำตอบ และมีโอกาสตรวจสอบความถูกต้องของแนวคิดตนเองผ่านการอภิปรายร่วมกับผู้อื่น และได้จัดบันทึกข้อสรุปจากสิ่งที่ได้อย่างถูกต้อง การสอนโดยใช้เทคนิค Think-Talk-Write นอกจากช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียน ยังส่งเสริมทางด้านการคิดแก้ปัญหา การพูดและการเขียน ช่วยให้นักเรียนได้แสดงแนวคิด ความเข้าใจของตนเอง เทคนิคนี้อยู่บนพื้นฐานของการเข้าใจในการเรียน (Dila, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับ Usiskin (2001) ให้ความเห็นว่า หากเราเข้าใจเรื่องใดและสามารถแสดงให้คนอื่นทราบได้ว่าเรารู้ในเรื่องนั้น ๆ คนเหล่านั้นก็จะเข้าใจเรื่องนั้นด้วย ในทางตรงกันข้าม หากเรารู้สิ่งที่คนอื่นไม่รู้ เราสามารถบอกได้ว่าพวกเขายังไม่เข้าใจอย่างแท้จริง

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ และนำความรู้ที่ได้ไปใช้และเผยแพร่ โดยผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาคณิตศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัยและสมมติฐานการวิจัย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75
2. เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม กับเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม

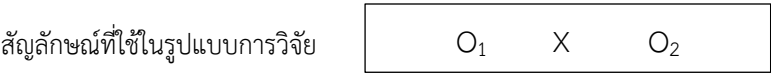
สมมติฐานการวิจัย

- 1. ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
- 2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi – experimental research) ดำเนินการวิจัยตามแบบแผนการวิจัย One Group Pretest – Posttest Design



- O₁ หมายถึง การทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้ (Pretest)
- X หมายถึง การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write
- O₂ หมายถึง การทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้ (Posttest)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากาฬสินธุ์ ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 มีจำนวน 9 ห้อง จำนวน 559 คน คละความสามารถ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/4 โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากาฬสินธุ์ ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) แบบคละความสามารถ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เพื่อส่งเสริมความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์รายวิชาคณิตศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง ลำดับและอนุกรม จำนวน 10 แผน แผนละ 2 คาบ ผลคะแนนค่าความเที่ยงตรงโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน พบว่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.59 อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด

ตารางที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 10 แผน

แผนการจัดการเรียนรู้	เนื้อหา
แผนการจัดการเรียนรู้ 1	ลำดับ
แผนการจัดการเรียนรู้ 2	พจน์ทั่วไปของลำดับ
แผนการจัดการเรียนรู้ 3	ลำดับเลขคณิต
แผนการจัดการเรียนรู้ 4	พจน์ทั่วไปของลำดับเลขคณิต
แผนการจัดการเรียนรู้ 5	ลำดับเรขาคณิต
แผนการจัดการเรียนรู้ 6	พจน์ทั่วไปของลำดับเรขาคณิต
แผนการจัดการเรียนรู้ 7	อนุกรมเลขคณิต
แผนการจัดการเรียนรู้ 8	ผลบวกพจน์ต่างๆของอนุกรมเลขคณิต
แผนการจัดการเรียนรู้ 9	อนุกรมเรขาคณิต
แผนการจัดการเรียนรู้ 10	ผลบวกพจน์ต่าง ๆ ของอนุกรมเรขาคณิต

2. แบบทดสอบวัดความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบทดสอบอัตนัย จำนวน 5 ข้อ โดยให้คะแนนข้อละ 8 คะแนน คะแนนเต็ม 40 คะแนน ซึ่งในแต่ละข้อจะวัดทั้ง 4 ลักษณะของความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ คือ ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการ ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติคณิตศาสตร์ ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำไปใช้ และความเข้าใจในการนำเสนอ แต่ละลักษณะคะแนนเต็ม 2 คะแนน ที่มีเนื้อหา เรื่อง ลำดับและอนุกรม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.80 – 1.00 มีค่าความยากง่าย (P) มีค่าตั้งแต่ 0.25 – 0.59 มีค่าอำนาจจำแนก (D) มีค่าตั้งแต่ 0.31 – 0.57 และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับเท่ากับ 0.70

3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ เรื่อง ลำดับและอนุกรม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.60 – 1.00 มีค่าความยากง่าย (P) มีค่าตั้งแต่ 0.25 – 0.75 มีค่าอำนาจจำแนก (D) มีค่าตั้งแต่ 0.24 – 0.70 และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับเท่ากับ 0.79

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบก่อนเรียน (pre-test) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม และแบบทดสอบวัดความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม

2. ผู้วิจัยดำเนินการสอนด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/4 จำนวน 10 แผน

3. ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบหลังเรียน (post-test) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม และแบบทดสอบวัดความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม ซึ่งแบบทดสอบก่อนเรียน (pre-test) และ แบบทดสอบหลังเรียน (post-test) เป็นแบบทดสอบชุดเดียวกัน

4. นำคะแนนหลังเรียนที่ได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดความเข้าใจคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม มาวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. หาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75

2. หาค่าอำนาจจำแนก ค่าความเที่ยงตรง และค่าความเชื่อมั่น ของแบบทดสอบวัดความเข้าใจทางคณิตศาสตร์

3. หาค่าอำนาจจำแนก ค่าความเที่ยงตรง และค่าความเชื่อมั่น ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4. เปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

5. วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม กับเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ผลการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพ (E_1/E_2) โดยคำนวณหา E_1 จากแบบทดสอบท้ายแผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 10 แผน และคำนวณค่า E_2 จากการทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ (40 คะแนน) และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (30 คะแนน) เรื่อง ลำดับและอนุกรม โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

การทดสอบ	ด้านกระบวนการ (E ₁)	ด้านผลลัพธ์ (E ₂)
ประสิทธิภาพ	77.56	76.90
การแปลผล	สูงกว่าเกณฑ์	สูงกว่าเกณฑ์

จากตารางที่ 2 พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีประสิทธิภาพด้านกระบวนการ (E₁) เท่ากับ 77.56 และประสิทธิภาพด้านผลลัพธ์ (E₂) เท่ากับ 76.90 ดังนั้นแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write มีประสิทธิภาพ (E₁/E₂) เท่ากับ 77.56/76.90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่กำหนดไว้

2. ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

ผู้วิจัยได้ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ซึ่งเป็นแบบทดสอบอัตนัย จำนวน 5 ข้อ โดยให้คะแนนข้อละ 8 คะแนน คะแนนเต็ม 40 คะแนน ซึ่งในแต่ละข้อจะวัดทั้ง 4 ลักษณะของความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ คือ ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการ ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติคณิตศาสตร์ ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำไปใช้ และความเข้าใจในการนำเสนอ แต่ละลักษณะคะแนนเต็ม 2 คะแนน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ t-test Dependent Sample ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม

การทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	Mean	S. D.	ค่าเฉลี่ยของผลต่าง	S. D. ค่าเฉลี่ยผลต่าง	t	Sig.
ก่อนเรียน	42	40	8.24	3.69	22.33	3.91	37.00*	0.000
หลังเรียน	42	40	30.57	3.19				

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 พบว่าความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.24 คะแนน และหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.57 คะแนน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าคะแนนหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม กับเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง ลำดับและอนุกรม โดยนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง ลำดับและอนุกรม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ t-test for one Sample ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม

คะแนนเต็ม	N	คะแนนเกณฑ์ร้อยละ 75	$\bar{x}$	% of Mean	S. D.	df	t	Sig.
30	42	22.50	23.10	76.98	1.84	41	2.09*	0.0214

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4 พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม หลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.10 คะแนน

และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนสอบหลังการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 75 พบว่าคะแนนหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผล

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีประสิทธิภาพด้านกระบวนการ (E_1) เท่ากับ 77.56 และประสิทธิภาพด้านผลลัพธ์ (E_2) เท่ากับ 76.90 ดังนั้นแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 77.56/76.90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่กำหนดไว้

จากการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ผ่านขั้นตอนกระบวนการสร้างอย่างเป็นระบบและถูกต้องเหมาะสม โดยได้ทำการศึกษาโครงสร้างหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา จุดประสงค์การเรียนรู้ มาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด รวมถึงศึกษาเอกสาร วิทยุและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model และเทคนิค Think-Talk-Write ดังที่ Wannasian (2015) ได้กล่าวถึงแนวคิดในการจัดการเรียนรู้สำหรับศตวรรษที่ 21 คือ สอนน้อยลงทำให้เรียนรู้ได้มากขึ้น (Teach Less , Learn More) ครูใช้วิธีสอนแบบบรรยายหรือ ครูคอยบอกเล่าให้น้อยลง แต่สนับสนุนให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองเพิ่มขึ้น ส่วนอีกแนวคิดคือ การเรียนรู้โดย Active Learning โดยมุ่งจัดการเรียนรู้ในลักษณะที่ให้ผู้เรียนได้มีโอกาสเรียนรู้ด้วยตนเองมากที่สุดโดยผ่านการศึกษา ค้นคว้า ทดลอง ลงมือปฏิบัติ คิด แก้ปัญหา ริเริ่มสร้างสรรค์ ทำงานเป็นกลุ่ม นักเรียนสรุปความรู้และสามารถนำเสนอได้อย่างเหมาะสม แสดงได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับ Thimkaew and Onthanee (2023) ได้ศึกษาการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาตามสภาพจริงเป็นฐานร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เพื่อส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผล และความสามารถในการสื่อสารและการสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาตามสภาพจริงเป็นฐานร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เพื่อส่งเสริมความสามารถในการให้เหตุผล และความสามารถในการสื่อสารและการสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 76.67/77.31 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และ Netthip, Chomphucome and Kruekamai (2023) ได้ศึกษาการพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยใช้ MACRO Model ร่วมกับการสะท้อนคิด เพื่อส่งเสริมผลการเรียนรู้และทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษาเชียงใหม่ เขต 3 เพื่อสร้างและพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้ MACRO Model ร่วมกับการสะท้อนคิด พบว่าชุดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 83.75/80.00



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลงานของนักเรียนที่นำไปเผยแพร่ในแอปพลิเคชัน Clearnote

2. ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.24 คะแนน และหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.57 คะแนน และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าคะแนนหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และผลการวิเคราะห์ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 ลักษณะ คือ ลักษณะที่ 1 ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.45 ลักษณะที่ 2 ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติคณิตศาสตร์ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 8.88 ลักษณะที่ 3 ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำไปใช้ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.90 และลักษณะที่ 4 ความเข้าใจในการนำเสนอ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.17 จะเห็นได้ว่าความเข้าใจในลักษณะที่ 2 ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติทางคณิตศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด นั่นคือนักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติทางคณิตศาสตร์สามารถเขียนระบุ หรืออธิบายสมบัติทางคณิตศาสตร์ได้ชัดเจน และถูกต้องได้มากที่สุด ลักษณะที่ 3 ความเข้าใจเกี่ยวกับการนำไปใช้ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.90 นั่นคือนักเรียนสามารถนำความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ ลักษณะที่ 4 ความเข้าใจในการนำเสนอ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.17 นั่นคือนักเรียนสามารถนำเสนอกระบวนการ ลำดับขั้นตอน

และสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ได้ชัดเจนถูกต้องและสมเหตุสมผล และความเข้าใจในลักษณะที่ 1 ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีการนั้นมีคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด หากพิจารณาจากลักษณะความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ในลักษณะที่ 2, 3 และ 4 จะเห็นได้ว่านักเรียนสามารถอธิบายสมบัติทางคณิตศาสตร์ได้อย่างชัดเจน นำความรู้ที่ได้รับไปใช้กับสถานการณ์ที่กำหนดได้อย่างเหมาะสม และสามารถเขียนนำเสนอแสดงกระบวนการ ขั้นตอน ได้ชัดเจน ถูกต้องและสมเหตุสมผล จะเห็นได้ว่าการแสดงขั้นตอนวิธีการนักเรียนบางส่วนสามารถแสดงขั้นตอน วิธีการ หรือกระบวนการ ได้สมบูรณ์ และแสดงคำตอบได้ถูกต้อง นักเรียนบางส่วนสามารถแสดงขั้นตอน วิธีการ ได้สมบูรณ์ แต่มีการคำนวณผิดพลาดและคำตอบที่ได้ผิดพลาด จึงทำให้คะแนนเฉลี่ยในลักษณะที่ 1 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด จากการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม เป็นการจัดการเรียนรู้ที่สามารถส่งเสริมความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนได้โดยมีการจัดกระบวนการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้ความรู้จากการลงมือทำด้วยตนเอง ได้สื่อสาร พูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดร่วมกับเพื่อนในชั้นเรียน เกิดการเรียนรู้ และนำเสนอผลการเรียนรู้ที่ได้ตกผลึกความรู้เป็นของผู้เรียนเอง และได้เผยแพร่ความรู้ที่ได้รับ ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ และสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจะทำให้นักเรียนได้ตกตะกอนความคิดของตนเอง ส่งผลให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียน และนำความรู้ไปเผยแพร่ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Rozana, Makmuri and Hakim (2020) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานและการจัดการเรียนรู้แบบ Think-Talk-Write เพื่อส่งเสริมความสามารถการใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ และเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานและการจัดการเรียนรู้แบบ Think-Talk-Write พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานมีความสามารถในการใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ Think-Talk-Write มีความสามารถในการใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน และนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ Think-Talk-Write ไม่มีความแตกต่างกัน การจัดการเรียนรู้ทั้งสองรูปแบบสามารถส่งเสริมความสามารถในการใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ได้ และ Jusniani, Setiawan and Inayah (2020) ได้ศึกษาทักษะการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ Think-Talk-Write และ interactive media พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ Think-Talk-Write และ interactive media มีทักษะการสื่อสารที่สูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ นั่นคือการจัดการเรียนรู้แบบ Think-Talk-Write ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกให้นักเรียนได้ค้นพบ แนวคิดหลักการของตนเอง แทนที่จะเป็นผู้บรรยายหรือควบคุมกิจกรรมทั้งหมดในห้องเรียน โดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างแรงจูงใจ (Motivation) ครูผู้สอนสร้างแรงจูงใจในการเรียน ทบทวนความรู้และนำเข้าสู่บทเรียน โดยจัดกิจกรรม เช่น การตั้งคำถามกระตุ้นความสนใจ การยกตัวอย่างสถานการณ์ใกล้ตัว เป็นต้น ขั้นที่ 2 ขั้นการเรียนรู้ Active Learning ครูผู้สอนให้ความรู้พื้นฐานหรือบทเรียนใหม่ให้ผู้เรียนได้คิดและเข้าใจถึงกระบวนการสร้างองค์ความรู้ (Think) จากนั้นจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นของตนเองกับเพื่อน ๆ ในชั้นเรียน (Talk) และนำความรู้ที่ได้มาจดบันทึกเป็นความเข้าใจของตนเอง (Write) โดยผู้เรียนจะศึกษาค้นคว้าตามประเด็นความรู้ หรือหัวข้อที่ตกลงกัน ขั้นที่ 3 ขั้นสรุปองค์ความรู้ (Conclusion) ครูและผู้เรียนร่วมกันตรวจสอบและสรุปเนื้อหาที่ได้จากการเรียน และทำกิจกรรมร่วมกันเป็นความรู้ใหม่ โดยใช้วิธีการเขียนด้วยแผนผังความคิด เขียนบรรยาย จดบันทึก วาดภาพ เป็นต้น ขั้นที่ 4 ขั้นรายงานและนำเสนอ (Reporting) ขั้นนี้จะให้ผู้เรียนแสดงผลงานที่ได้จากการทำกิจกรรมร่วมกันและสรุปเป็นความเข้าใจของผู้เรียนในขั้นที่ 3 ขั้นนี้จะช่วยให้ผู้เรียนได้มีโอกาสแสดงผลงานของตนเองให้ผู้อื่นรับรู้ และช่วยให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบความเข้าใจของตนเอง ขั้นที่ 5 ขั้นการเผยแพร่ความรู้ (Obtain) เป็นขั้นของการส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนทักษะ นำความรู้ความเข้าใจของตนเองไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ และเผยแพร่ความรู้ผ่านสื่อสังคมออนไลน์

National Council of Teachers of Mathematics (2000) กล่าวว่า นักเรียนจะเกิดการเรียนรู้และสามารถที่จะสร้างความเข้าใจได้ควรที่จะส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) โดยผู้สอนสร้างความสนใจ และกระตุ้นให้คิดค้นวิธีทำขึ้นมาเองเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเอง และเมื่อผู้เรียนได้คำตอบแล้ว ผู้สอนก็จะยังไม่เฉลยในทันที แต่จะให้ผู้เรียนได้ร่วมกันแลกเปลี่ยนความรู้ร่วมกัน ทำให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และได้รับรู้ว่าตนเองสามารถคิดและหาคำตอบได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังช่วยให้นักเรียนได้ใช้ความคิดไตร่ตรองหาข้อสรุป วิธีการดำเนินการหรือกระบวนการหาคำตอบ โดยการใช้สมบัติทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง และได้จดสรุปเป็นความเข้าใจของตนเอง เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับ Usiskin (2001) ที่กล่าวว่า หากเราเข้าใจเรื่องใดและสามารถแสดงให้คนอื่นทราบได้ว่าเรารู้ในเรื่องนั้น ๆ คนเหล่านั้นก็จะเข้าใจเรื่องนั้นด้วย ในทางตรงกันข้ามหากเรารู้สิ่งที่ไม่รู้ เราสามารถบอกได้ว่าพวกเขายังไม่เข้าใจอย่างแท้จริง และ Narkorn (2006) การพัฒนาให้นักเรียนเกิดความรู้ ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์นั้นทำให้นักเรียนสามารถดำเนินการทางคณิตศาสตร์โดยใช้

ยุทธวิธีหรือประยุกต์ความเข้าใจนั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาและตัดสินใจกับสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างมีเหตุผล และสามารถนำเสนอสิ่งที่ตนเข้าใจให้ผู้อื่นทราบด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งหรือหลายวิธีโดยจะใช้สื่อ วัสดุอุปกรณ์ประกอบการนำเสนอ ซึ่งอาจจะนำเสนอในรูปแบบที่เป็นรูปธรรมหรือนามธรรมก็ได้

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม หลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.10 คะแนน และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนสอบหลังการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 75 พบว่าคะแนนหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย ทั้งนี้เป็นเพราะนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write มีประสิทธิภาพ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่อยู่บนพื้นฐานของความเข้าใจในการเรียนซึ่งสอดคล้องกับ Ibrahim, Dassa and Dinar (2017) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือ โดยใช้เทคนิค Think-Talk-Write เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมของนักเรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ พบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือ ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write นักเรียนร่วมห้องได้คะแนน 35.05 และมีผลการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มสูง มีคะแนนเฉลี่ย 83.50 ส่วน Chaiseeha and Intasena (2022) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิค Think-Talk-Write เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง สถิติ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ 77.18/76.14 ซึ่งนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คิดเป็นร้อยละ 76.14 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือทำ ได้คิดหาคำตอบที่เป็นไปได้ และสร้างความรู้ด้วยตนเอง โดยครูสร้างความสนใจโดยใช้กิจกรรมหรือใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจในเนื้อหา ให้นักเรียนได้เป็นผู้คิดมากขึ้นโดยครูจะยังไม่บอกคำตอบไปตรง ๆ ฝึกให้นักเรียนได้สื่อสาร พูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดร่วมกับเพื่อนในชั้นเรียนหรือสะท้อนความคิดของตนเองร่วมกับผู้อื่น เพื่อให้เกิดความเข้าใจในความรู้พื้นฐาน นักเรียนจะสามารถตรวจสอบความเข้าใจของตนเองได้จากการแลกเปลี่ยนความรู้กับเพื่อนในชั้นเรียน แล้วนำมาเขียนสรุปเป็นองค์ความรู้ของตนเองตามความเข้าใจ สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ที่ซับซ้อนได้อย่างเหมาะสม นำเสนอผลการเรียนรู้ที่ได้ตลกผลึกความรู้เป็นของผู้เรียนเอง และได้เผยแพร่ความรู้ที่ได้รับเป็นภาษาของตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับ Mekanong (2004) ที่กล่าวว่า ความเข้าใจทางคณิตศาสตร์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และการนำความรู้ที่มีอยู่ไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์หรือปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างเหมาะสม

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 77.56/76.90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 75/75 ที่กำหนด
2. ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม พบว่าความเข้าใจทางคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม คิดเป็นร้อยละ 76.98 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้
 - 1.1 ในการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เรื่อง ลำดับและอนุกรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นจัดกระบวนการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้ความรู้จากการลงมือทำด้วยตนเอง ได้สื่อสาร พูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดร่วมกับเพื่อนในชั้นเรียนและนำเสนอผลการเรียนรู้ที่ได้ตลกผลึกความรู้เป็นของผู้เรียนเอง และได้เผยแพร่ความรู้ที่ได้รับ ดังนั้นครูจะต้องกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน และจัดบรรยากาศในชั้นเรียนเพื่อให้ผู้เรียนสะดวกต่อการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดร่วมกัน
 - 1.2 ในระหว่างการจัดการเรียนรู้จะต้องแบ่งเวลาให้นักเรียนได้ศึกษา พิจารณาตัวอย่างที่ครูนำเสนอ เพื่อให้ นักเรียนได้ร่วมกันคิด วิเคราะห์ตัวอย่าง รายละเอียดของเนื้อหา เพื่อนำไปสู่การสรุปเป็นความรู้

1.3 เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เน้นให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ครูผู้สอนทำหน้าที่อำนวยความสะดวก เป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำ และสร้างความสนใจโดยใช้การจัดกิจกรรม หรือใช้คำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ ให้นักเรียนคิดมากกว่าการบอกคำตอบกับนักเรียนไปตรง ๆ เพื่อฝึกให้นักเรียนรู้จักคิด และกล้าที่จะแสดงความคิดเห็น แลกเปลี่ยนความรู้ภายในกลุ่มระหว่างทำกิจกรรม

1.4 ในขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการเรียนรู้ คือขั้นการเผยแพร่ความรู้ ควรเลือกแพลตฟอร์มในการเผยแพร่ความรู้ที่เข้าถึงได้ง่าย และใช้งานง่าย สะดวก เหมาะสมกับนักเรียน

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write เพื่อพัฒนาความสามารถหรือทักษะกระบวนการในด้านอื่น ๆ เช่น การเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์ และการสื่อสาร สื่อความหมายทางคณิตศาสตร์ และการนำเสนอ เป็นต้น

2.2 ควรมีการศึกษารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ MACRO Model ร่วมกับเทคนิค Think-Talk-Write ในเนื้อหาคณิตศาสตร์อื่น ๆ สามารถพัฒนาความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ได้หรือไม่

References

- Academic Kalasinpittayasan School. (2023). **Self-Assessment Report : SAR** (in thai). Kalasin: Kalasinpittayasan School.
- Chaiseeha, N. and Intasena, A. (2022). Learning management using Think Talk Write Learning Activities techniques to improve Mathematical problem solving ability for Mathayomsuksa 2 students (in Thai). **Journal of Roi Kaensarn Academi**, 7(11), 145-159.
- Dila, D. O. (2012). Think Talk Write strategies. Retrieved 23 December 2023, from dila' s story: http://syahputri90dila.blogspot.com/2012/01/metope-pembelajaran-bahawalpur-inggris_12.html
- Hiebert, J. and Carpenter, T. P. (1992). Learning and Teaching with Understanding. In D.A. Grouws (Ed.), **Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning** (pp. 65-97). New York: MacMillan.
- Ibrahim, M. I., Dassa, A. and Dinar, M. (2017). Pengaruh Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Think-Talk-Write (TTW) Terhadap Partisipasi Siswa dan Hasil Belajar Siswa dalam Pelajaran Matematika. **Issues in Mathematics Education**. 1(1), 26-32.
- Jusniani, N., Setiawan, E. and Inayah, S. (2020). Secondary School Students' Mathematical Communication Through Think-Talk-Write (TTW) Learning Model and Interactive Media. **Journal of Physics: Conference Series**, 1477, 1-5.
- Makanong, A. (2004). **Mathematical process skill: Development for Development** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Narkorn, P. (2006). The Development of mathematical process and skills (in Thai). **Journal of Education Khonkaen University**, 29, 38-47.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). **Principle and standards for school mathematics**. Reston. VA: NCTM.
- Netthip, S., Chomphucome, P. and Kruekamai, W. (2023). Development of Mathematical Learning Activity Packages using the MACRO Model with Reflection to promote learning Outcomes and Analytical Thinking skills of Prathomsuksa 6 students under the Ching Mai primary education area office 3 (in thai). **Journal of Graduate Studies Valaya Alongkron Rajabhat University**, 17(1), 178-194.
- Perkins, E. (1993). Portfolio Assessment in Social Studies : A Program That offers a Systematic Approach. **Social-Studies Review**, 32(3), 44-47.
- Rozana, I., Makmuri, M. and Hakim, L. E. (2020). Problem-based and thinking talk write learning model, mathematical reasoning, and transformation geometry. **Journal of Physics: Conference Series**, 1663, 1-9.

- Thimkaew, C. and Onthanee, A. (2023). Development of Learning Activities by using Authentic Problem Based Learning with Think-Talk-Write Technique to Enhance Mathematical Reasoning and Mathematical Communication and Interpretation for Grade 12 students (in Thai). **Journal of Roi Kaensarn Academi**, 8(10), 482-508.
- Usiskin Z. (2001). Trends in Mathematics educations. In Document for conference, **Trends in mathematics education (pp. 14-22)**. CT: Bangkok
- Wannasian, D. (2015). **MACRO Model: Learning management model for the 21st Century Skills** (in Thai). Retrieved 29 March 2023. from **Anyflip**: <https://anyflip.com/iuaa/elyg/basic>



Enhancing teachers understanding of formative assessment thought online training program

Sanikan Saneewong^{1,*}

¹*Compulsory Science Division, The Institute for the Promotion of teaching Science and Technology, Bangkok 10110*

**Email: ssane@ipst.ac.th*

Received <10 July 2024>; Revised <2 September 2024>; Accepted <4 September 2024>

Abstract

The purpose of this research was to study the impact of online training program on the topic of formative assessment on teachers' understanding of the concept of formative assessment, their capacity to create learning plans based on student work using formative assessment, and their perceptions of this program. The sample group used in this study was 5 teachers who participated and met the requirements for the online training program. There are 3 secondary science teachers, 1 primary science teacher and 1 secondary mathematics teacher. Documents data and questionnaires regarding teachers' opinions were gathered. Content analysis was used to analyze qualitative data, and mean and standard deviation (S.D.) were used to analyze quantitative data. The results of the research found that teachers: 1) comprehend formative assessment better; 2) can analyze teaching and learning scenarios and offer recommendations for modifying instruction to include more formative assessments; and 3) can reflect on their instruction and adjusting to incorporate more formative assessments. Additionally, teachers who took part in this training expressed strong agreement with their opinions regarding online training courses ($\bar{x} = 3.79$, S.D. = 0.42).

Keywords: Assessment, Formative assessment, Assessment for learning, Online training program

การส่งเสริมความเข้าใจของครูเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียน ผ่านการอบรมในรูปแบบออนไลน์

ศานิกานต์ เสนิงค์^{1,*}

¹สาขาวิทยาศาสตร์ภาคบังคับ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จังหวัดกรุงเทพฯ 10110

*Email: ssane@ipst.ac.th

รับบทความ: 10 กรกฎาคม 2567 แก้ไขบทความ: 2 กันยายน 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 4 กันยายน 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการอบรมออนไลน์ในหัวข้อการประเมินระหว่างเรียน หรือการประเมินเพื่อการพัฒนา ที่ส่งเสริมความเข้าใจของครูเกี่ยวกับการประเมินในรูปแบบนี้ ความสามารถของครูในการวางแผนการจัดการการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนโดยใช้การประเมินระหว่างเรียนและความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดอบรมออนไลน์ของครูที่มีต่อหลักสูตรนี้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นครูผู้สอนที่เข้าร่วมและผ่านตามเกณฑ์การอบรมออนไลน์ จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ ในระดับมัธยมศึกษา จำนวน 3 คน เป็นครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ ในระดับประถมศึกษา จำนวน 1 คน และเป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ ในระดับมัธยมศึกษา จำนวน 1 คน เก็บข้อมูลจากเอกสารใบงานของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาที่ส่งเข้ามาในระบบอบรมออนไลน์ของหลักสูตร และแบบสอบถามหลังจากจบหลักสูตร วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) และข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ผลการวิจัยพบว่า ครูที่ผ่านการอบรมในหลักสูตรนี้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนเพิ่มมากขึ้น สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ตัวอย่างเกี่ยวกับการเรียนการสอนและสามารถให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับการเรียนการสอนให้มีการประเมินระหว่างเรียนเพิ่มขึ้น รวมทั้งสามารถสะท้อนการสอนของตนเองและปรับให้มีการประเมินระหว่างเรียนเพิ่มขึ้น และครูที่ผ่านการอบรมมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดอบรมออนไลน์หลักสูตรการประเมินระหว่างเรียนในด้านเนื้อหาของหลักสูตร การออกแบบหลักสูตร สื่อประกอบการอบรม และความคิดเห็นที่มีต่อการประเมินตนเองภายหลังจากการเข้าอบรม อยู่ในระดับสูงมาก ($\bar{X} = 3.79$, S.D. = 0.42)

คำสำคัญ: การประเมิน การประเมินระหว่างเรียน การประเมินเพื่อการพัฒนา การอบรมในรูปแบบออนไลน์

บทนำ

เป้าหมายการศึกษาในปัจจุบันเน้นไปที่การเตรียมคนให้มีสมรรถนะสำหรับการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 โดยต้องพัฒนาคนให้เป็นผู้ที่สามารถแก้ปัญหาด้วยตนเอง เข้าใจการเรียนรู้ และขับเคลื่อนการเรียนรู้ของตนเองให้เกิดนวัตกรรมใหม่ ๆ (Bybee, 2013) กระทรวงศึกษาธิการจึงได้มีนโยบายในการส่งเสริมและพัฒนาศึกษาเพื่อให้นักเรียนมีสมรรถนะ (competency) พร้อมทั้งขับเคลื่อนประเทศให้ก้าวต่อไปในสังคมโลกาภิวัตน์ การจัดการเรียนรู้จึงมีความมุ่งหวังให้นักเรียนนำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อสร้างหรือพัฒนาสิ่งที่สอดคล้องกับสถานการณ์ในโลกปัจจุบัน รวมทั้งนำไปสู่การแข่งขันในระดับโลก (Office of the Secretariat of the Education Council Ministry of Education, 2019) การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมสมรรถนะต้องอาศัยการประเมินเป็นส่วนสำคัญ โดยการประเมิน (assessment) เป็นกระบวนการตรวจสอบการเรียนรู้ของนักเรียน ด้วยวิธีการวัดและเครื่องมือที่หลากหลายเพื่อให้ได้ข้อมูลมาวินิจฉัยและประเมินคุณภาพของนักเรียน การจัดการเรียนรู้ของครู รวมทั้งการประเมินความเหมาะสมของจุดมุ่งหมายและเนื้อหาสาระของหลักสูตร โดยการประเมินรูปแบบหนึ่งที่สำคัญต่อการพัฒนาสมรรถนะของนักเรียน คือ การประเมินระหว่างเรียน หรือ การประเมินเพื่อการพัฒนา (formative assessment) (Keeley, 2008)

การประเมินระหว่างเรียนเป็นกระบวนการประเมินที่มีหลายขั้นตอน และดำเนินการอย่างต่อเนื่องตลอดการเรียนการสอน การประเมินรูปแบบนี้เป็นการประเมินเพื่อใช้ผลจากการประเมินในการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน โดยครูใช้วิธีการและเครื่องมือประเมินที่หลากหลาย รวมถึงการเก็บข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างเป็นทางการและไม่เป็นทางการ แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลว่านักเรียนเกิดการเรียนรู้ หรือเกิดการพัฒนาการเรียนรู้หรือไม่ นักเรียนมีความรู้ความสามารถ ทักษะ กระบวนการและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้ในจัดการเรียนการสอนหรือไม่ หากนักเรียนยังไม่สามารถบรรลุจุดประสงค์ของการเรียนรู้ ครูต้องหาวิธีการที่จะช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ โดยครูให้ข้อมูลสะท้อนกลับ หรือ ข้อมูลย้อนกลับ (feedback) ที่มีคุณภาพแก่นักเรียน เช่น การให้ข้อเสนอแนะ ข้อเสนอแนะที่ดีมีการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับความรู้ใหม่เกี่ยวกับความรู้ ระดับความสามารถของผู้เรียน จุดเด่น จุดที่ควรปรับปรุงหรือพัฒนา ตลอดจนเสนอแนะวิธีการเพื่อให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาการเรียนรู้ของตนเองต่อไป โดยการให้ข้อมูลสะท้อนกลับสามารถเกิดขึ้นในรูปแบบของการพูดคุยระหว่างครูกับนักเรียนเป็นกลุ่มหรือรายบุคคล (Bell and Cowie, 2001; MacMillan, 2014) และครูยังสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้เป็นการตรวจสอบตนเองว่าแผนการสอนที่เตรียมมาในครั้งนี้เหมาะสมหรือไม่ ควรปรับปรุงอย่างไร กระบวนการจัดการเรียนรู้เป็นอย่างไร มีจุดใดที่ต้องปรับปรุงแก้ไขต่อไป ซึ่งจะเป็นการพัฒนาการเรียนการสอนของตนเองเพื่อให้นักเรียนเกิดความก้าวหน้าในการเรียนรู้ตามมาตรฐานหรือตัวชี้วัด (Bell and Cowie, 2001; Hattie and Timperley, 2007; Popham, 2008)

การประเมินระหว่างเรียนมีความสำคัญในการส่งเสริมให้นักเรียนไปถึงเป้าหมายการเรียนรู้ในทุกสาระวิชาโดยเฉพาะในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มีงานวิจัยที่ระบุว่า การประเมินระหว่างเรียนช่วยให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ในเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองได้ดีขึ้น (Duschl, 2003; Ruiz-Primo and Furtak, 2007) และยังช่วยให้ครูได้ทำความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดีขึ้น (Furtak, 2012) นอกจากนี้การใช้การประเมินระหว่างเรียนส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนในวิชาคณิตศาสตร์ดีขึ้น (Andersson and Palm, 2017; Wiliam *et al.*, 2004) ถึงแม้การประเมินระหว่างเรียนจะมีความสำคัญแต่หลาย ๆ ประเทศในแถบเอเชียยังคงให้ความสำคัญกับการประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนรู้ (summative assessment) มากกว่าการประเมินระหว่างเรียนเนื่องจากกระบวนการศึกษาที่เน้นการสอบและการให้คะแนนเป็นหลัก (Brown *et al.*, 2009; Carless, 2012; Han and Yang, 2001; Poole and Adamson, 2016; Tuan, 2010; Watkins and Biggs, 1996) ยิ่งไปกว่านั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนของครูไทย ยังพบว่าครูไทยมีความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนหลากหลายและแตกต่างกัน โดยครูบางส่วนมีความเข้าใจธรรมชาติและเป้าหมายของการประเมินระหว่างเรียนเป็นอย่างดี ในขณะที่บางส่วนมีความเข้าใจการประเมินระหว่างเรียนคลาดเคลื่อน โดยมีความเข้าใจว่าการประเมินระหว่างเรียนจะต้องเกิดขึ้นเฉพาะในชั้นการสอนเท่านั้น ไม่สามารถเกิดในชั้นนำหรือชั้นสรุปได้ และเข้าใจว่าการประเมินระหว่างเรียนมีจุดประสงค์และรูปแบบเดียวกับการประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนรู้ วิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนที่ครูเลือกใช้ยังไม่หลากหลาย โดยครูใช้การสังเกตการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนและการตอบคำถามของนักเรียน รวมถึงการทำข้อสอบเป็นหลัก นอกจากนี้เมื่อครูได้รับทราบผลการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนแล้วครูไม่ได้มีการนำข้อมูลสารสนเทศเหล่านั้นไปให้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อส่งเสริมและเสนอแนะแนวทางการเรียนรู้นักเรียน หรือนำไปปรับเปลี่ยนพัฒนาการเรียนการสอนของตนเองเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียน และนอกจากนี้ครูยังไม่เห็นถึงประโยชน์ของการประเมินระหว่างเรียนในแง่ของการส่งเสริม พัฒนา กระตุ้น และเพิ่มแรงจูงใจในการเรียนของผู้เรียน รวมไปถึงประโยชน์ในแง่ของการพัฒนาตนเองของครู (Saneewong, 2020)

จากเป้าหมายของการศึกษาในปัจจุบัน รวมไปถึงความสำคัญของการประเมินระหว่างเรียนและข้อมูลเกี่ยวกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของครูไทยตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น หลาย ๆ องค์กรและสถาบันการศึกษาได้มีจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการแบบเผชิญหน้ากัน (face to face) ในหัวข้อการประเมินระหว่างเรียนขึ้น แต่เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้ไม่สามารถจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการแบบเผชิญหน้ากันได้ ประกอบกับรูปแบบการพัฒนาวิชาชีพของครูและบุคลากรทางการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงโดยเน้นการเรียนรู้ด้วยตัวเองผ่านสื่อออนไลน์มากขึ้น ทางสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จึงได้จัดทำหลักสูตรอบรมครูออนไลน์ในหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียน เผยแพร่ให้ครูผู้สอนเกิดความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องและสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของการประเมินระหว่างเรียนในการพัฒนาการเรียนการสอน การอบรมครูในรูปแบบออนไลน์ทำให้ครูผู้เข้ารับการอบรมมีความเป็นอิสระในการพัฒนาตนเอง (independence) เข้าถึงได้ง่าย (accessible) มีความยืดหยุ่น (flexible) ในเรื่องของเวลาและสถานที่ รวมทั้งสามารถเรียนรู้ได้ตามความเร็วเหมาะสมกับบริบทของตนเอง (self-paced learning) (Fajri *et al.*, 2021) แต่การอบรมในรูปแบบออนไลน์ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การพูดคุย อภิปราย ชักถามปัญหาอาจทำไม่ได้อย่างทันท่วงทีเนื่องจากผู้อบรมและผู้เข้ารับการอบรมไม่ได้อยู่ในสถานที่เดียวกัน ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบออนไลน์จึงต้องจัดโครงสร้างของลำดับเนื้อหาของการเรียนรู้ที่มีความชัดเจน มีการอธิบายรายละเอียดของหลักสูตร จุดมุ่งหมายของหลักสูตร มีสื่อประกอบการอบรมที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้แก่ผู้เข้ารับการอบรม มีกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ มีการประเมินและการสะท้อนผลงานของผู้เข้ารับการอบรม และมีการช่องทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้เข้ารับการอบรมและวิทยากร (Bragg, Walsh and Heyeres, 2021; Martin, Bolliger and Flowers, 2021; Watson, Castano Bishop, and Ferdinand-James, 2017) ผู้วิจัยเป็นทีมในการออกแบบและพัฒนาหลักสูตร โดยอาศัยข้อมูลจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินระหว่างเรียน และความเข้าใจของครูเกี่ยวกับการประเมินในรูปแบบนี้ (Bell and Cowie, 2001; Hattie and Timperley, 2007; MacMillan, 2014; Saneewong, 2020) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนออกแบบการจัดการเรียนรู้ในหลักสูตรอบรม มีการระบุจุดมุ่งหมายของหลักสูตร มีการจัดลำดับเนื้อหาของการเรียนรู้ที่ชัดเจน โดยในหลักสูตรจะมีการตรวจสอบความรู้เดิมของครูที่เข้ารับการอบรมก่อนเริ่มเรียน จากนั้นครูจะได้เรียนรู้เนื้อหาในแต่ละบทเรียน ซึ่งจะมีการบรรยายเนื้อหา มีการแสดงตัวอย่างสถานการณ์ของการใช้การประเมินระหว่างเรียนในชั้นเรียน มีสื่อประกอบการอบรมที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ เปิดโอกาสให้ผู้เข้ารับการอบรมได้นำความรู้ที่ได้ไปผสมผสานในการทำงานของตนเอง เช่น การสะท้อนการสอนในชั้นเรียนของตนเอง การปรับแผนการสอน รวมทั้งมีแบบฝึกหัดและแบบทดสอบที่เป็นการทบทวนความเข้าใจในเนื้อหา ซึ่งครูจะต้องตอบคำถามที่เป็นคำถามปรนัยและส่งคำตอบเข้ามาในระบบและทางวิทยากรจะมีการตรวจและสะท้อนผลงานของผู้เข้ารับการอบรม ซึ่งหลักสูตรนี้ประกอบด้วย 5 บทเรียน คือ

บทเรียนที่ 1 เป็นการให้ข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างหลักสูตร การจัดการเรียนรู้และการประเมิน รวมไปถึงความหมายของการประเมิน การประเมินในรูปแบบต่าง ๆ

บทเรียนที่ 2 เป็นการให้ข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนที่สอดคล้องกับเป้าหมายของการเรียนรู้

บทเรียนที่ 3 เป็นการให้ความหมาย รูปแบบ ลักษณะ และประโยชน์ของการประเมินระหว่างเรียนในแง่ของครูผู้สอนและนักเรียน รวมทั้งแนวทางในการนำการประเมินระหว่างเรียนไปปฏิบัติในห้องเรียน

บทเรียนที่ 4 เป็นการให้ความหมาย ลักษณะ ตัวอย่างวิธีการ รูปแบบ และประโยชน์ของการให้ข้อมูลสะท้อนกลับ รวมไปถึงข้อคำนึงถึงและข้อควรหลีกเลี่ยงในการให้ข้อมูลสะท้อนกลับ

บทเรียนที่ 5 เป็นการนำความรู้ที่ได้เรียนรู้มาจากทั้ง 4 บทเรียนมาวิเคราะห์ วางแผนการจัดการการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนเพื่อพัฒนานักเรียนเจ้าของผลงาน หรือนักเรียนกลุ่มถัดไป

ผู้วิจัยมีความสนใจมุ่งศึกษาผลของการออกแบบหลักสูตรอบรมออนไลน์ในหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียนที่มีต่อความรู้ ความเข้าใจและความสามารถในการวางแผนการจัดการเรียนการสอนโดยใช้การประเมินระหว่างเรียน และความคิดเห็นของครูผู้เข้ารับการอบรมเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาหลักสูตรให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัยและคำถามวิจัย

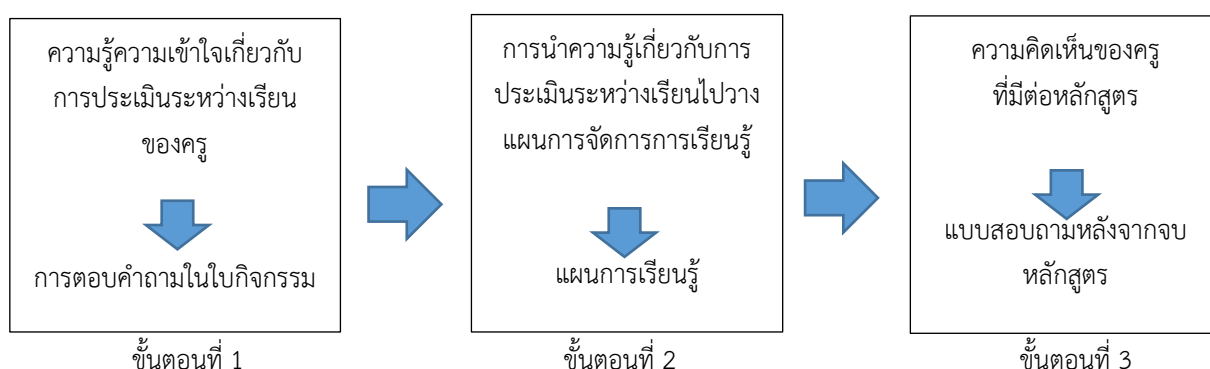
วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการอบรมออนไลน์ในหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียนว่าสามารถส่งเสริมความเข้าใจและความสามารถของครูในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนได้หรือไม่ คำถามวิจัย ประกอบด้วย

1. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนของครูเป็นอย่างไรหลังจากที่ผ่านการอบรมออนไลน์

2. ความสามารถของครูในการวางแผนการจัดการการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนโดยใช้การประเมินระหว่างเรียนเป็นอย่างไรหลังจากที่ผ่านการอบรมออนไลน์
3. ความคิดเห็นของครูที่มีต่อหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียนเป็นอย่างไรหลังการอบรม

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นในการศึกษาประสิทธิภาพของการอบรมออนไลน์ในหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียน โดยศึกษา วิเคราะห์ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียน ความสามารถของครูในการวางแผนการจัดการการเรียนรู้ และความคิดเห็นต่อหลักสูตรหลังจากการอบรม โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยของกลุ่มตีความ (Interpretivist) (Creswell and Miller, 2000) ที่ให้ความสำคัญกับการทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยการตีความหมายและให้ความหมายกับสิ่งที่พบเห็น การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษาว่าครูมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใดหลังจากผ่านการอบรม จากการตอบคำถามในใบกิจกรรมของบทเรียนที่ 1 และ 3 เกี่ยวการประเมินระหว่างเรียนและการปรับแนวทางการสอนจากสถานการณ์ตัวอย่าง และให้ข้อเสนอแนะโดยให้มีการใช้การประเมินระหว่างเรียนมากขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 เป็นศึกษาว่าครูสามารถนำความรู้เกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนที่ได้เรียนในหลักสูตรไปใช้ในการวางแผนการจัดการการเรียนรู้ของตนเองจากผลงานนักเรียนได้หรือไม่ จากการตอบคำถามในใบกิจกรรมบทเรียนที่ 5 และในขั้นตอนที่ 3 เป็นการศึกษาความคิดเห็นของครูที่มีต่อหลักสูตร จากแบบสอบถามหลังจากจบหลักสูตร ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การดำเนินการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยนี้ คือ ครูที่ลงทะเบียนเข้าร่วมการอบรมในหลักสูตรนี้จำนวน 50 คน และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ครูที่ผ่านเกณฑ์การอบรมออนไลน์ในหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียน ของ สสวท. จำนวน 5 คน โดยการสุ่มตัวอย่างใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) ครูผู้เข้าร่วมวิจัยทั้ง 5 คน มีความหลากหลายทั้งในด้านวิชาที่สอนและระดับชั้น โดยเป็นครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ ในระดับมัธยมศึกษา จำนวน 3 คน เป็นครูผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ ในระดับประถมศึกษา จำนวน 1 คน และเป็นครูผู้สอนวิชาคณิตศาสตร์ ในระดับมัธยมศึกษา จำนวน 1 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. หลักสูตรอบรมออนไลน์หัวข้อการประเมินระหว่างเรียน ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัยและทีมนักวิชาการ และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ความเหมาะสมและความสอดคล้องของรายละเอียดต่าง ๆ ในแต่ละบทเรียนโดยผู้เชี่ยวชาญจากภายนอก โดยเอกสารใบงานที่ใช้ในการวิจัยจะมาจากบทเรียนที่ 1 3 และ 5 เป็นหลักโดย

บทเรียนที่ 1 เป็นการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจของครูเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้

บทเรียนที่ 3 เป็นการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจของครูเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียน จากกรณีศึกษาตัวอย่างสถานการณ์การสอนของครู 2 คน รวมทั้งการสะท้อนการสอนของตนเอง และเสนอแนะแนวทางปรับปรุงแนวทางการสอนของสถานการณ์และการสอนของตนเองให้มีการใช้การประเมินระหว่างเรียนเพิ่มขึ้น

บทเรียนที่ 5 เป็นการศึกษาการนำความรู้ที่ได้เรียนรู้มาจากทั้ง 4 บทเรียนของครูมาวิเคราะห์ วางแผนการจัดการการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนโดยเพิ่มเติมการใช้การประเมินระหว่างเรียน

2. แบบประเมินความคิดเห็นของครูที่มีต่อหลักสูตรอบรมออนไลน์การประเมินระหว่างเรียน ที่มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนการประมาณค่า (Rating Scale) ตามวิธีชองลิเคิร์ต (Likert) ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัยและทีมนักวิชาการและผ่านการตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญจากภายนอก

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารใบงานของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาที่ส่งเข้ามาในระบบอบรมออนไลน์ของหลักสูตร และแบบสอบถามหลังจากจบหลักสูตร โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เอกสารใบงานของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสารใบงานการตอบคำถามในบทเรียนที่ 1 3 และ 5 เป็นหลัก เพื่อศึกษาความรู้ความเข้าใจของกลุ่มที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนและความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้เรียนมาในการออกแบบแผนการสอนของตนเองที่มีการนำการประเมินระหว่างเรียนไปใช้ หลังจากผ่านการอบรมออนไลน์

2. แบบสอบถามหลังจากจบหลักสูตร ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามหลังจากการอบรม ซึ่งเป็นเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริคส์แบบแยกย่อย (analytic scoring rubrics) 5 ระดับ โดย 4 (เห็นด้วยอย่างมาก) 3 (เห็นด้วย) 2 (ค่อนข้างเห็นด้วย) 1 (ไม่เห็นด้วย) และ 0 (ไม่เห็นด้วยอย่างมาก) ของแต่ละประเด็น ได้แก่ ด้านเนื้อหา การออกแบบหลักสูตร สื่อประกอบการอบรม ความคิดเห็นที่มีต่อการประเมินตนเองภายหลังจากการเข้ารับการอบรม รวมทั้งข้อเสนอแนะอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาหลักสูตร

การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้เรียนของครูเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนจากเอกสารใบงานมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) (Hsieh and Shannon, 2005) และข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับความคิดเห็นต่อหลักสูตรจากแบบสอบถามหลังจากจบหลักสูตรโดยใช้ค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยเกณฑ์การประเมินค่าเฉลี่ยของระดับความคิดเห็นใช้ความต่อเนื่องของระดับเป็นแนวทางเทียบผลการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยของคะแนนดังนี้ (Wright and Master, 1982) ดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 3.50-4.00 หมายถึง มีความคิดเห็นต่อหลักสูตรการอบรมในระดับสูงมาก
- ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง มีความคิดเห็นต่อหลักสูตรการอบรมในระดับมาก
- ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง มีความคิดเห็นต่อหลักสูตรการอบรมในระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 0.50-1.49 หมายถึง มีความคิดเห็นต่อหลักสูตรการอบรมในระดับต่ำ
- ค่าเฉลี่ย 0.00-0.49 หมายถึง มีความคิดเห็นต่อหลักสูตรการอบรมในระดับต่ำมาก

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนของครูหลังจากผ่านการอบรม

เอกสารใบงานการตอบคำถามในบทเรียนที่ 1

ก่อนเริ่มเรียนในหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียน ครูที่ลงทะเบียนเข้าเรียนจะต้องตอบคำถามในแบบทดสอบก่อนเรียนของหลักสูตรเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้โดยทั่วไปในมุมมองของตนเองว่าเป็นอย่างไรจากการศึกษาเอกสารใบงานการตอบคำถาม พบว่าครูมีมุมมองเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ที่หลากหลาย โดย

- ในด้านความหมายของการประเมินการเรียนรู้ ร้อยละ 40 ของครู (ครู 2 ใน 5 คน) มีมุมมองของการประเมินการเรียนรู้มุ่งเน้นไปที่การประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนรู้ (summative assessment) เน้นประเมินเพื่อตัดสินผลการเรียนหลังจากที่นักเรียนเรียนบทเรียนจบแล้ว ดังตัวอย่างคำตอบ
“การประเมินการเรียนรู้ คือ การตรวจสอบความรู้ ทักษะ เจตคติ ของนักเรียนที่ได้หลังจากการเรียนแล้ว” (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1) และ
“เพื่อวัดว่าผู้เรียนได้ความรู้จากสิ่งที่เรียนรู้น้อยเพียงใด บรรลุตามวัตถุประสงค์หรือไม่” (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 2)
- ในขณะที่ครูร้อยละ 60 (ครู 3 ใน 5 คน) มีความเข้าใจว่าการประเมินการเรียนรู้เป็นวิธีการหนึ่งในการพัฒนาผู้เรียนซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของการประเมินระหว่างเรียน ดังตัวอย่างคำตอบ
“การประเมิน เป็นการรวบรวมข้อมูล/สารสนเทศ จากการประเมินผู้เรียน จากแบบฝึก แบบทดสอบ การสัมภาษณ์ การสังเกต หรืออื่น ๆ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำไปพัฒนาผู้เรียนให้เหมาะสมกับความแตกต่าง” (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 3)

“การประเมินการเรียนรู้ เป็นกระบวนการในการรวบรวมข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับผลการปฏิบัติของผู้เรียน และนำมาตีความหมาย แล้วทำการตัดสินใจและพัฒนาผู้เรียนตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของหลักสูตร โดยสามารถพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนในระหว่างเรียน และการตัดสินใจเกี่ยวกับระดับผลการเรียนรู้ของผู้เรียน (summative assessment)” (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 4)

- ในด้านของวิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนในกระบวนการประเมินการเรียนรู้ ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) มีการใช้วิธีการที่หลากหลาย แต่วิธีการที่ครูส่วนใหญ่ใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียน คือ การสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนในห้องเรียน การตรวจจากแบบฝึกหัดของนักเรียน การประเมินชิ้นงานและการทำข้อสอบ
- ในด้านบทบาทของครูและนักเรียนและประโยชน์ที่ครูและนักเรียนได้รับจากกระบวนการประเมินการเรียนรู้ ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) มีความคิดเห็นว่าการประเมินเป็นบทบาทของครูเท่านั้น โดยครูเป็นผู้ประเมินเพื่อให้ได้ข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียน เพื่อตัดสินใจหรือสรุปผลการเรียนรู้ และเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน แต่ไม่มีการกล่าวถึงบทบาทของนักเรียนในกระบวนการประเมิน และคำตอบของครูไม่มีการกล่าวถึงวิธีการหรือแนวทางที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินไปพัฒนาหรือช่วยเหลือให้นักเรียนให้มีการเรียนรู้ที่ดีขึ้นว่าจะทำได้อย่างไร รวมทั้งไม่มีการกล่าวถึงการให้ข้อมูลสะท้อนกลับที่เป็นประโยชน์กับนักเรียน

จากคำตอบของครูทั้ง 5 คนสะท้อนให้เห็นว่าครูมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้บ้างประเด็นเหมือนกันและบางประเด็นแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากประสบการณ์ที่ครูเคยได้เรียน ประสบการณ์ในการสอนที่แตกต่างกัน และรูปแบบของการเรียนการสอนในบริบทของประเทศไทยซึ่งส่งผลต่อความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ โดยมุมมองของครูเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้มุ่งเน้นไปที่การประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนรู้ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Baumgart and Halse (1999) ที่พบว่าครูไทยคุ้นเคยกับการประเมินผลการเรียนของนักเรียนในรูปแบบของการสอบปลายภาคเรียน และการสอบแบบมีตัวเลือก เพื่อตัดสินว่านักเรียนได้เรียนรู้ตามจุดประสงค์การเรียนรู้หรือไม่ และความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของครูในการประเมินการเรียนรู้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบริบทของห้องเรียนในประเทศในแถบเอเชีย ที่พบว่าครูจะมีบทบาทหลักในห้องเรียน เป็นหลักในการจัดการเรียนการสอน ในขณะที่นักเรียนไม่ค่อยมีบทบาทในการเรียนการสอนและเป็นผู้รับฟังการสอนจากครู (Biggs, 1993)

หลังจากที่ทำแบบทดสอบก่อนเรียนแล้ว ครูผู้เข้ารับการอบรมจะได้เริ่มเรียนในบทเรียนที่ 1 โดยครูจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างหลักสูตร การจัดการเรียนรู้และการประเมิน เพื่อให้เข้าใจความสำคัญและกระบวนการของการประเมิน รวมไปถึงความหมายของการประเมิน การประเมินในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงการประเมินระหว่างเรียน และในบทเรียนที่ 2 ครูจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับวิธีการและเครื่องมือที่หลากหลายที่สามารถใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อให้ครูทุกคนที่มีพื้นฐานความรู้แตกต่างกันได้เข้าใจตรงกัน จากนั้นครูจะเรียนรู้เกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนอย่างลึกซึ้งในบทเรียนที่ 3

เอกสารใบงานการตอบคำถามในบทเรียนที่ 3

ก่อนจะเรียนในบทเรียนที่ 3 ครูจะต้องทำแบบทดสอบก่อนเรียน ซึ่งเป็นการตรวจสอบความรู้เดิมที่ครูมีเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียน โดยครูจะต้องเลือกข้อความที่เกี่ยวข้องกับการประเมินระหว่างเรียนตามความเข้าใจของตนเอง ซึ่งครูที่เข้ารับการอบรมทั้ง 5 คนจะมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนมาบ้างแล้วจากบทเรียนที่ 1 แต่จากการศึกษาเอกสารใบงานการตอบคำถามก่อนเรียนในบทเรียนที่ 3 พบว่าร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) ยังคงมีความรู้ความเข้าใจการประเมินระหว่างเรียนอย่างหลากหลาย โดยมีความเข้าใจบางอย่างที่คล้ายกันและบางอย่างที่แตกต่างกัน โดย

- ด้านความหมายและจุดประสงค์ของการประเมินระหว่างเรียน ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) มีความเข้าใจตรงกันว่าการประเมินระหว่างเรียนเป็นการประเมินที่เน้นในการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน แต่ครูร้อยละ 40 (ครู 2 ใน 5 คน) ที่มีความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้มุ่งเน้นไปที่การประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนยังมีความเข้าใจว่านอกจากการประเมินระหว่างเรียนจะช่วยในการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน ยังใช้ในการกำหนดระดับคะแนนของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1) และการประเมินระหว่างเรียนใช้ในการตัดสินว่านักเรียนจัดอยู่ในกลุ่มเก่ง ปานกลาง หรืออ่อนด้วย (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 2) นอกจากนี้ครูร้อยละ 60 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 2, 3 และ 5) ยังมีความเข้าใจว่าการประเมินระหว่างเรียนไม่สามารถใช้เพื่อประเมินความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อนที่จะเรียนเนื้อหาได้

• **ด้านกระบวนการของการประเมินระหว่างเรียน** ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) มีความเข้าใจตรงกันว่า การประเมินระหว่างเรียนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการเรียนการสอน ไม่ใช่เครื่องมือหรือวิธีการประเมิน รวมไปถึงการประเมินระหว่างเรียนจะต้องมีการให้ข้อมูลสะท้อนกลับที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนรู้แก่นักเรียน

• **ด้านของวิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนในกระบวนการประเมินระหว่างเรียน** ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) มีความเข้าใจตรงกันว่าวิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการประเมินระหว่างเรียนสามารถใช้ได้หลากหลายวิธี

• **ด้านบทบาทของครูและนักเรียนและประโยชน์ที่ครูและนักเรียนได้รับจากกระบวนการประเมินระหว่างเรียน** ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) มีความเข้าใจตรงกันว่ากระบวนการประเมินระหว่างเรียนเป็นบทบาทของครู ทำให้ครูทราบถึง การเรียนรู้ของนักเรียนว่านักเรียนมีความเข้าใจเรื่องใดเรียนอย่างไร และจะต้องเรียนรู้เพิ่มเติมในเนื้อหาอะไร จึงจะไปสู่เป้าหมาย ของการเรียนรู้ นอกจากนี้ครูร้อยละ 40 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1 และ 2) ยังมีความเข้าใจว่าการประเมินระหว่างเรียนไม่สามารถช่วยให้นักเรียนเกิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองได้ และครูร้อยละ 20 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 2) มีความเข้าใจว่า การประเมินระหว่างเรียนไม่สามารถช่วยให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจอยากที่จะเรียนรู้

คำตอบของครูในแบบสอบถามก่อนเรียนบทเรียนที่ 3 ทำให้ทราบได้ว่าครูมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการประเมิน ระหว่างเรียน ว่าการประเมินระหว่างเรียนเป็นกระบวนการไม่ใช่เครื่องมือหรือวิธีการประเมิน (Popham, 2008) การให้ข้อมูล สะท้อนกลับแก่นักเรียนเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินระหว่างเรียน (Black and Wiliam, 2003; Sadler, 1989) และการเก็บ รวบรวมข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนสามารถทำได้หลากหลายวิธี (Bennett, 2011) ซึ่งความเข้าใจที่ถูกต้องนี้อาจมาจาก ความรู้เดิมของครู และอาจมาจากการศึกษาในบทเรียนที่ 1 ที่มีการกล่าวถึงการประเมินระหว่างเรียนมาบ้างแล้ว อย่างไรก็ตาม ยังมีครูที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความหมายและจุดประสงค์ของการประเมินระหว่างเรียน โดยครูร้อยละ 20 (ครูผู้เข้า รับการอบรมคนที่ 1 และ 2) ยังมีความเข้าใจว่าการประเมินระหว่างเรียนใช้ในการประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนรู้ และตัดสินการ เรียนรู้ของนักเรียน ซึ่งคำตอบของครูทั้ง 2 คนนี้สอดคล้องกับแนวคำตอบในใบกิจกรรมในบทเรียนที่ 1 นอกจากนี้แนวคำตอบ ของครู 2 คน นี้ยังทำให้ทราบว่าครูยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่านักเรียนไม่ได้รับประโยชน์จากการประเมินระหว่างเรียน โดยการประเมินระหว่างเรียนไม่สามารถช่วยให้นักเรียนเกิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองได้ และไม่สามารถสร้างแรงจูงใจในการ เรียนรู้ให้กับนักเรียนได้ ซึ่งแนวคำตอบนี้สอดคล้องกับแนวคำตอบใบกิจกรรมในบทเรียนที่ 1 เช่นกัน

จากการตอบคำถามของครูจะพบว่าหากครูมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ไปในทิศทางของการ ประเมินเพื่อตัดสิน ครูจะมีแนวโน้มเข้าใจการประเมินระหว่างเรียนว่าเป็นการประเมินเพื่อตัดสินการเรียนรู้ของนักเรียน จัดกลุ่ม ของนักเรียนตามผลการเรียนรู้ และมีการนำคะแนนมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินเช่นกัน และมีมุมมองว่าครูมีบทบาทสำคัญและ ได้รับประโยชน์จากการประเมินระหว่างเรียนเท่านั้น โดยที่นักเรียนไม่ได้รับประโยชน์และการพัฒนาการเรียนรู้จากการประเมิน ระหว่างเรียน

นอกจากนี้แนวคำตอบของครูที่ระบุว่าครูมีบทบาทสำคัญและได้รับประโยชน์จากการประเมินระหว่างเรียนเท่านั้น สะท้อนให้เห็นว่าถึงแม้ครูจะเข้าใจว่าการประเมินระหว่างเรียนมุ่งเน้นเพื่อการพัฒนาทั้งนักเรียนและครู แต่เมื่อถามถึงบทบาท ของครูและนักเรียนในห้องเรียน ครูยังคงมีแนวคิดที่ฝังลึกว่าการเรียนการสอนเป็นบทบาทและหน้าที่ของครูเท่านั้น โดยแนวคิดนี้ อาจมาจากรูปแบบ และบริบทการเรียนการสอนในห้องเรียนของไทยที่อาจยังไม่ค่อยสนับสนุนให้นักเรียนได้มีบทบาทมากนัก โดยแนวคิดนี้อาจส่งผลต่อการเลือกใช้วิธีการเก็บข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียน และการใช้การประเมินระหว่างเรียนในห้องเรียน ของครู

เอกสารใบงานการวิเคราะห์สถานการณ์การสอนของครูวันดีและครูสองในบทเรียนที่ 3

สถานการณ์การสอนของครูวันดี

หลังจากที่ทำแบบทดสอบก่อนเรียนในบทเรียนที่ 3 แล้ว ครูจะได้เรียนรู้เนื้อหาเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียน อย่างลึกซึ้ง เกี่ยวกับความหมาย รูปแบบ จุดประสงค์ รวมไปถึงบทบาทและประโยชน์ของการประเมินระหว่างเรียนทั้งในแง่มุม ของครูที่เป็นผู้ประเมินและนักเรียนที่เป็นผู้รับการประเมิน และการประเมินที่นักเรียนมีส่วนร่วม ครูจะได้วิเคราะห์ตัวอย่าง สถานการณ์สมมติที่เป็นตัวอย่างการสอนนักเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์ของครูวันดีและครูสอง เรื่องการเปลี่ยนสถานะของพืชมสน ตอบคำถาม และระบุว่าการประเมินเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้จากตัวอย่างสถานการณ์สมมตินั้นสอดคล้องกับลักษณะ ของการประเมินระหว่างเรียนหรือไม่ และจากการใช้การประเมินนั้นทำให้ได้รับข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ของนักเรียน หรือไม่ และจะปรับปรุงให้มีการใช้การประเมินระหว่างเรียนในสถานการณ์อย่างไรบ้าง โดยสถานการณ์สมมติของครูวันดีและครู สองเป็นตัวอย่างของครูสองคนที่มีการใช้การประเมินระหว่างเรียนในมุมมองที่แตกต่างกัน และมีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ประเมินได้ และใช้ข้อมูลเหล่านั้นแตกต่างกัน โดยสถานการณ์การสอนในห้องเรียนของครูวันดี ครูวันดีมีการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียน

โดยใช้คำถามในขั้นนำ ขั้นสอน และขั้นสรุป เมื่อถามคำถามแล้วพบว่านักเรียนทุกคนในห้องเรียนเงียบและไม่แสดงความคิดเห็น ครูวันดีจะเปลี่ยนลักษณะคำถามเป็นคำถามที่ให้นักเรียนการเติมคำในช่องว่าง เช่น “น้ำแข็งเปลี่ยนจากของแข็งเป็น _____” เพื่อช่วยให้นักเรียนตอบได้ บางครั้งครูวันดีถามคำถามแล้วพบว่าไม่มีทั้งนักเรียนที่ตอบถูกและตอบผิด ครูวันดีประเมินว่านักเรียนเข้าใจถูกต้องเพราะมีนักเรียนบางคนที่ตอบถูกและไม่ได้อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเข้าใจผิดของนักเรียน บางครั้งครูวันดีถามคำถามและเฉลยคำตอบนั้นเอง หรือในบางครั้งครูวันดีข้ามการถามคำถามแต่ประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนด้วยการสังเกตพฤติกรรม และสรุปว่านักเรียนทั้งหมดไม่พูดคุยในห้องเรียน ตั้งใจเรียนและเรียนรู้ได้ตามจุดประสงค์

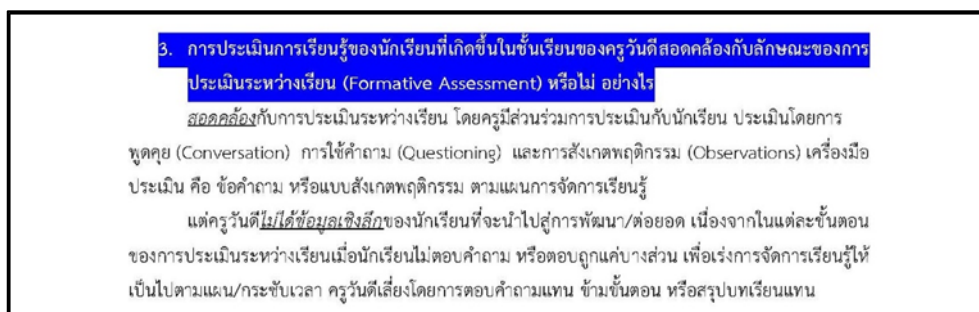
เมื่อศึกษาเอกสารใบงานสถานการณ์สมมติของครูวันดี พบว่าครูแสดงให้เห็นได้ว่ามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบก่อนเริ่มเรียนในบทเรียนที่ 3 โดย

● **ลักษณะที่สอดคล้องกับการประเมินระหว่างเรียน**

- **ด้านกระบวนการของการประเมินระหว่างเรียน** ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) ระบุว่า การประเมินระหว่างเรียนสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และในทุกขั้นตอนของการสอน
- **ด้านของวิธีการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนในกระบวนการประเมินระหว่างเรียน** ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ได้ว่า ครูวันดีมีการใช้วิธีการในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียนหลากหลายวิธี โดยการใช้คำถามและการสังเกตพฤติกรรม
- **ด้านบทบาทของครูและนักเรียนและประโยชน์ที่ครูและนักเรียนได้รับจากกระบวนการประเมินระหว่างเรียน** ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ได้ว่า ครูวันดีมีการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนรู้ แต่นักเรียนก็ยังไม่มีส่วนร่วมเท่าที่ควร

ครูร้อยละ 60 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1 4 และ 5) ระบุว่า การสังเกตพฤติกรรมเป็นวิธีการที่ทำให้ทราบถึงการเรียนรู้ของนักเรียน โดยหากนักเรียนตั้งใจเรียน สบตาครู และไม่เล่นกับเพื่อนในชั้นเรียนจะสะท้อนได้ว่านักเรียนเข้าใจสิ่งที่สอนได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Saneewong (2020) ที่พบว่าครูไทยประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนด้วยการสังเกตพฤติกรรมการตั้งใจเรียน และยังสอดคล้องกับแนวคำตอบก่อนเรียนของบทที่ 3 ที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของครูในห้องเรียน และกระบวนการเรียนการสอน ทำให้ครูมีแนวโน้มใช้การประเมินการเรียนรู้ด้วยการสังเกตจากพฤติกรรมและนำไปตัดสินใจการเรียนรู้ของนักเรียนแทนวิธีการอื่น ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียน

นอกจากนี้ครูร้อยละ 40 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 2 และ 3) สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ได้อีกว่าถึงแม้ครูวันดีจะใช้วิธีการที่หลากหลายแต่ครูวันดีไม่ได้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียนรายบุคคล ข้อมูลที่ครูวันดีได้นั้นไม่สามารถนำไปพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนหรือพัฒนาการสอนของตนเองได้เลย ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกได้ว่าครูวันดีมีการใช้การประเมินระหว่างเรียนในห้องเรียนเพราะกระบวนการที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อพัฒนาผู้เรียนและพัฒนาการสอนยังไม่เกิดขึ้นจากการตอบคำถามแสดงให้เห็นว่าครูคนที่ 2 และ 3 มีความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการประเมินระหว่างเรียนว่าไม่ใช้การประเมินเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียนเท่านั้น แต่หากจะต้องมีการนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการพัฒนาการเรียนของนักเรียน และการสอนของครูต่อไป (Bell and Cowie, 2001; Black and Wiliam, 1998; Popham 2008; Shepard, 2008; Sumantri and Satriani, 2016; Volante and Beckett, 2011; Wiliam and Thompson, 2008) ตัวอย่างการวิเคราะห์สถานการณ์ของครูวันดี ดังในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการวิเคราะห์สถานการณ์ของครูวันดีของผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 3

ครูผู้เข้ารับการอบรมยังเสนอแนะแนวทางการปรับเปลี่ยนวิธีการเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ของนักเรียน เมื่อนักเรียนไม่ตอบคำถามทำให้ครูวันดีไม่สามารถทราบถึงความคิด ความเข้าใจของนักเรียนได้ โดยอาจปรับเป็นการให้นักเรียนทำ

แบบทดสอบ (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1) เขียนข้อความตอบคำถาม เพราะนักเรียนอาจจะไม่กล้าตอบในห้องเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 2) ปรับคำถามให้นักเรียนเกิดความคิดเชื่อมโยงกับความรู้เดิม ชักชวนให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น ช่วยกันตอบคำถาม หรือใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น แผนผังความคิด (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 3) ปรับคำถามให้ง่ายขึ้น ใช้คำถามไม่กำกวม ใช้เทคนิคการเสริมแรง (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 4) สร้างบรรยากาศในห้องเรียนให้มีความสะดวกใจในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และเพื่อลดความกดดันของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 5) จากแนวทางการปรับเปลี่ยนวิธีการของครูวันดีแสดงให้เห็นว่าครูที่มีมุมมองของการประเมินการเรียนรู้ที่เน้นไปเพื่อตัดสินการเรียนรู้ของนักเรียนมีแนวคิดที่จะปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจสอบการเรียนรู้โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการประเมินเพื่อตัดสิน ในขณะที่ครูที่มีแนวคิดการประเมินไปในการทางการพัฒนาการเรียนการสอน มีแนวคิดที่จะปรับบรรยากาศในห้องเรียนให้ปลอดภัยสำหรับนักเรียนในการตอบคำถาม ลดความกดดันจากการตอบคำถามผิด เพื่อสนับสนุนให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนการสอนมากขึ้น และทำให้ครูสามารถรวบรวมข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนได้

สถานการณ์การสอนของครูสอง

สถานการณ์การสอนในห้องเรียนของครูสอง ครูสองมีการเตรียมตัวและกำหนดสิ่งที่จะประเมินรวมไปถึงตัวอย่างคำถามไว้สำหรับประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งในชั้นนำ ชั้นสอน และชั้นสรุป เมื่อถามคำถามแล้วพบว่านักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ครูสองนำนักเรียนทบทวนสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ไปแล้วเพื่อแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนี้ และบางครั้งครูสองจัดบันทึกความเข้าใจคลาดเคลื่อนนี้ไว้เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้และกิจกรรมในครั้งถัดไป ระหว่างการทำกิจกรรมครูสองสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนในระหว่างการทำกิจกรรมรวมไปถึงการพูดคุยอภิปรายกันในกลุ่มว่านักเรียนมีประเด็นที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนครูสองนำประเด็นนั้นมาอภิปรายให้ห้องเรียน ในการอภิปรายผลการทำกิจกรรมครูสองกระตุ้นให้นักเรียนตอบคำถาม เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แย้งอย่างมีเหตุผล ร่วมกันสรุปความรู้ที่ได้เรียน ทบทวนการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ด้วยตนเอง

ในการวิเคราะห์สถานการณ์การสอนของครูสอง ครูสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการสอนขั้นตอนใดที่สอดคล้องกับลักษณะของการประเมินระหว่างเรียน และยิ่งขาดลักษณะใดของการประเมินระหว่างเรียน รวมทั้งสามารถเสนอแนะแนวทางการปรับเปลี่ยนการสอนและการประเมินให้สอดคล้องกับการประเมินเพื่อพัฒนาเพิ่มขึ้น ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) ตอบคำถามไปในแนวทางเดียวกันว่าตัวอย่างสถานการณ์การสอนของครูสองมีการใช้การประเมินระหว่างเรียนค่อนข้างมาก มีการวางแผนและกำหนดเป้าหมายของการเรียนและสิ่งที่จะประเมิน มีการใช้วิธีการที่หลากหลายและปรับเปลี่ยนวิธีการเฉพาะหน้า เมื่อนักเรียนไม่สามารถตอบคำถามได้ เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในห้องเรียน การเรียนการสอนของครูสองมีการใช้การประเมินระหว่างเรียนตลอดเวลาเริ่มตั้งแต่ชั้นสอนเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมก่อนจะเริ่มเรียนเนื้อหา และไม่ได้ใช้การประเมินระหว่างเรียนเพื่อตัดสินการเรียนรู้ของนักเรียน ครูยังเสนอแนะแนวทางในการปรับให้การประเมินระหว่างเรียนสมบูรณ์มากขึ้นในสถานการณ์ในห้องเรียนของครูสอง โดยร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) เสนอแนะว่าควรเพิ่มการให้ข้อมูลสะท้อนกลับกับนักเรียนเพื่อช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ นอกจากนี้ครูร้อยละ 20 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 3) ยังเสนอแนะแนวทางเพื่อให้นักเรียนได้มีบทบาทมากขึ้นในกระบวนการประเมินโดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการกำหนดเกณฑ์ที่จะประเมิน รวมถึงให้นักเรียนฝึกการประเมินตนเอง (self-assessment) และการประเมินโดยเพื่อน (peer-assessment) และให้ข้อมูลสะท้อนกลับที่เป็นประโยชน์แก่เพื่อนในการพัฒนาการเรียนการสอน จากแนวคำตอบทำให้ทราบได้ว่าครูเริ่มมีความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของนักเรียนในการประเมินระหว่างเรียนและการให้ข้อมูลสะท้อนกลับอย่างชัดเจนมากขึ้น โดยหากนักเรียนไม่มีส่วนร่วมในการประเมินระหว่างเรียนครูจะไม่สามารถประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนได้และไม่สามารถให้ข้อมูลสะท้อนกลับที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนากับนักเรียนได้ ตัวอย่างการวิเคราะห์สถานการณ์ของครูสอง ดังในภาพที่ 3

การจัดการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในห้องเรียนของครูสองยังขาดการให้ข้อมูลสะท้อนกลับแก่นักเรียนที่จะเป็นแนวทางและส่งเสริมการเรียนรู้ในอนาคตหากมีเวลาพอหรือนอกเวลาเรียนควรให้ข้อเสนอแนะที่เป็นส่วนตัวแก่นักเรียนอันจะนำไปสู่พัฒนาการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น

โดยรวมแล้วครูสองมีแนวทาง และกระบวนการประเมินระหว่างเรียนในห้องเรียนได้ค่อนข้างครบถ้วน แม้จะมีการเตรียมการวางแผนที่ดี แต่อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่อาจไม่เป็นไปตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบไว้บ้างขึ้นอยู่กับบริบทแต่ละชั้นเรียน ความรู้ความสามารถและพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนแต่ละกลุ่ม

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์สถานการณ์ของครูสองของผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 5

เอกสารใบงานการประเมินและสะท้อนการสอนของตนเองในบทเรียนที่ 3

ในบทเรียนที่ 3 ครูจะได้มีโอกาสในการประเมินและสะท้อนการสอนของตนเองว่าได้มีการใช้การประเมินระหว่างเรียนหรือไม่ อย่างไร และระบุนว่าการสอนของตนเองยังขาดในประเด็นใดที่เกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียน ซึ่งการที่ครูได้มีโอกาสในการสะท้อนการสอนและความคิดของตนเองนั้น จะช่วยให้ครูได้เปลี่ยนแปลงการสอนของตนเอง (Leitch and Day, 2000) จะส่งผลให้ครูพร้อมที่เรียนรู้ตลอดเวลา (Anderson, 2019; Schön, 2017) ครูจะได้มีย้อนกลับไปพิจารณาตัวเองและวิเคราะห์ว่าการสอนของตนเองนั้นดีหรือไม่ดี อย่างไร เพราะอะไร และยังต้องปรับปรุงอะไรเพิ่มเติมอีกบ้างเพื่อให้การสอนสมบูรณ์ จากการสะท้อนการสอนของตนเองของครู พบว่าร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) สะท้อนว่ามีการใช้การประเมินระหว่างเรียนในห้องเรียนแต่ยังไม่สมบูรณ์ โดยครูร้อยละ 60 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1 4 และ 5) สะท้อนสิ่งที่ตนเองยังทำได้ไม่สมบูรณ์ว่าตนเองยังไม่ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมมากนัก และเสนอแนวทางในการปรับการเรียนการสอนให้มีการประเมินระหว่างเรียนเพิ่มมากขึ้นโดยจะเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการประเมินเพิ่มมากขึ้นโดยใช้การประเมินตนเองและการประเมินโดยเพื่อน แสดงให้เห็นว่าครูตระหนักถึงความสำคัญของครูและนักเรียนที่จะต้องมีส่วนร่วมในการประเมินระหว่างเรียน จากเดิมที่ครูสะท้อนว่าบทบาทการประเมินเป็นของครูเท่านั้น ไม่มีการกล่าวถึงบทบาทของนักเรียน นอกจากนี้ครูยังสามารถสะท้อนการสอนของตนเองได้ว่ายังขาดการให้ข้อมูลสะท้อนกลับ และเสนอแนะแนวทางในการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน แสดงให้เห็นว่าครูมีความเข้าใจเกี่ยวกับประโยชน์ของการให้ข้อมูลสะท้อนกลับ และมองว่าการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินระหว่างเรียน (Black and Wiliam, 2003; Sadler, 1989) และนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการสอนของตนเอง นอกจากนี้ครูร้อยละ 40 (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 2 และ 3) สะท้อนว่าตนเองยังขาดการเตรียมเครื่องมือที่จะใช้ในการประเมิน ขาดการเตรียมคำถาม รวมไปถึงประเด็นในการประเมิน และเกณฑ์ในการประเมินนักเรียนยังไม่ชัดเจน แสดงให้เห็นว่าครูตระหนักถึงการวางแผน การเตรียมความพร้อม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการใช้การประเมินระหว่างเรียนในห้องเรียน ตัวอย่างการวิเคราะห์ ประเมินและสะท้อนการสอนในห้องของครูดังในภาพที่ 4

ฉันคิดว่า การประเมินในห้องเรียนของฉันเองยังมีบางประเด็นที่ไม่สอดคล้องกับลักษณะของการประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment) ยกตัวอย่าง เช่น ขาดการเตรียมเครื่องมือ กำหนดเกณฑ์หรือบริบทที่จะใช้ในการประเมินระหว่างเรียน หรือการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนประเมินตนเอง หรือประเมินผลงานหรือชิ้นงานของตนเองยังน้อยอยู่ อีกทั้งการให้ข้อมูลสะท้อนกลับกับผู้เรียนรายบุคคล ส่วนตัวฉันจะเป็นลักษณะของการตรวจงานหรือชิ้นงานและมีการแก้ไขข้อความหรือประเด็นที่นักเรียนยังเข้าใจไม่ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนซึ่งยังขาดการติดตาม เน้นย้ำเพื่อให้เกิดการแก้ไข และขาดการสื่อสารแบบ 2 ทาง ทำให้บางครั้งนักเรียนไม่ได้มีการแก้ไขตรงจุดที่ยังบกพร่อง

แนวทางการปรับการประเมิน

มีการปรับกระบวนการประเมินระหว่างเรียนโดยครูและนักเรียนมีบทบาทร่วมกันมากยิ่งขึ้น เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีการประเมินตนเอง ใช้รูปแบบการประเมินการเรียนรู้ที่หลากหลาย นักเรียนมีส่วนร่วมในการนำเสนอเครื่องมือหรือวิธีการในการประเมินระหว่างเรียน

นอกจากนี้ควรให้ความสำคัญกับการให้ข้อมูลสะท้อนกลับกับนักเรียน และมีการติดตาม สื่อสารกับนักเรียนรายบุคคลเพื่อให้นักเรียนได้ทราบถึงสิ่งที่ตนเองยังต้องพัฒนา นอกจากนี้ควรมีการนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ แปลความหมายเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดการเรียนการสอนในครั้งถัดไป ให้เหมาะสมกับความรู้ความสามารถและความแตกต่างของผู้เรียนแต่ละคน

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการวิเคราะห์ ประเมินและสะท้อนการสอนของผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 5

จากการตอบคำถามของครูตั้งแต่ออกเริ่มเรียนในหลักสูตรจนจบบทเรียนที่ 3 ซึ่งเป็นเนื้อหาเชิงลึกของการประเมินระหว่างเรียนทำให้ทราบว่าครูมีความเข้าใจเพิ่มขึ้นและชัดเจนขึ้นเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียน ทั้งในด้านจุดประสงค์ กระบวนการ วิธีการ บทบาทและประโยชน์ของการประเมินระหว่างเรียนที่มีต่อครูและนักเรียน โดยแนวคำตอบของครูที่มีมุมมองเกี่ยวกับการประเมินที่เน้นไปที่การประเมินเพื่อตัดสินการเรียนรู้มีแนวโน้มปรับเปลี่ยนไปในทิศทางของการประเมินระหว่างเรียนเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนมากขึ้น และแนวคำตอบของครูที่มีมุมมองเกี่ยวกับการประเมินที่เน้นไปที่การพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนมีแนวโน้มไปในทิศทางของการประเมินระหว่างเรียนที่ชัดเจนมากขึ้นทั้งในแง่ของกระบวนการ บทบาทของครูและนักเรียนรวมถึงประโยชน์ที่ครูและนักเรียนได้รับจากการประเมินระหว่างเรียน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้าใจของครูเกี่ยวกับการประเมินการเรียนรู้ การประเมินระหว่างเรียนก่อนและหลังเรียนในหลักสูตร

หัวข้อ	การประเมินการเรียนรู้	การประเมินระหว่างเรียน	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
1. ในด้านจุดประสงค์	● เพื่อตัดสินการเรียนรู้ของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1 และ 2 ● เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 3 4 และ 5)	● เพื่อตัดสินการเรียนรู้ของนักเรียน และจัดกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มเก่ง ปานกลาง หรืออ่อน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1 และ 2) ● เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)	● เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)
2. ในด้านกระบวนการ	● -	● ไม่มีการให้ข้อมูลสะท้อนกลับแก่นักเรียน ● ไม่มีการนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินไปใช้เพื่อพัฒนาและส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน และพัฒนาการสอนของครู (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)	● เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการเรียนการสอน ● มีการให้ข้อมูลสะท้อนกลับที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนรู้แก่นักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)
3. ในด้านวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียน	● ใช้วิธีการในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ได้อย่างหลากหลายวิธี (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)	● ใช้วิธีการในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ได้อย่างหลากหลายวิธี (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)	● ใช้วิธีการในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเรียนรู้ได้อย่างหลากหลายวิธี (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)
4. ในด้านบทบาทของครูและนักเรียนและประโยชน์ที่ครูและนักเรียนได้รับ	● เป็นบทบาทของครูเท่านั้น และมีประโยชน์ต่อครูทำให้ครูทราบถึงการเรียนรู้ของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)	● เป็นบทบาทของครูเท่านั้น และมีประโยชน์ต่อครูทำให้ครูทราบถึงการเรียนรู้ของนักเรียน (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5) ● ไม่สามารถใช้เพื่อประเมินความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อนที่จะเรียนเนื้อหาได้ ● ไม่สามารถช่วยให้นักเรียนเกิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองได้ ● ไม่สามารถทำให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจอยากที่จะเรียนรู้ (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1 และ 2)	● เป็นบทบาทร่วมกันของทั้งครูและนักเรียน ● นักเรียนมีบทบาทในการเป็นทั้งผู้ประเมินและผู้ถูกประเมิน ● ช่วยให้นักเรียนเกิดการพัฒนาการเรียนรู้ ● ครูสามารถใช้ข้อมูลในการพัฒนาการสอนของตนเอง (ครูผู้เข้ารับการอบรมคนที่ 1-5)

2. ความสามารถของครูในการวางแผนการจัดการการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนโดยใช้การประเมินระหว่างเรียนหลังจากที่ผ่านการอบรม

หลักจากครูผู้เข้ารับการอบรมได้เรียนในหลักสูตรครบทั้ง 4 บทเรียน ครูจะได้นำความรู้ที่ได้เรียนมาใช้ในการวางแผนแผนการจัดการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนของตนเอง โดยครูจะต้องทบทวน วิเคราะห์และยกตัวอย่างการเรียนการสอนจริงในห้องเรียนของตนเอง รวมทั้งยกตัวอย่างผลงานของนักเรียน โดยครูจะต้องทำการประเมินว่านักเรียนได้แสดงแนวคิดทักษะ หรือเจตคติ หรือสมรรถนะ ได้ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้หรือไม่ อย่างไร ถ้ายังไม่บรรลุตามจุดประสงค์การ

เรียนรู้ จะนำผลงานของนักเรียนมาพัฒนาการจัดการเรียนการสอนอย่างไรเพื่อพัฒนานักเรียนเจ้าของผลงาน หรือนักเรียนกลุ่มถัดไป เมื่อศึกษาเอกสารใบงานในบทเรียนที่ 5 พบว่าร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) สะท้อนว่าการเรียนการสอนที่ผ่านมา มีการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนจากผลงาน การอภิปรายในห้องเรียน และจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนระหว่างการทำงาน พบว่านักเรียนได้แสดงแนวคิด ทักษะ หรือเจตคติ หรือสมรรถนะเป็นไปตามจุดประสงค์การเรียนรู้ แต่ตนเองขาดการให้ข้อมูลสะท้อนกลับแก่นักเรียน และการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการประเมิน ทั้งเป็นผู้ประเมินผลงานตนเองและผลงานของเพื่อน โดยในปรับการเรียนการสอนในครั้งถัดไป ร้อยละ 100 ของครู (ครูทั้ง 5 คน) จะมีการให้ข้อมูลสะท้อนกลับที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนรู้แก่นักเรียน และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ประเมินผลงานตนเองและผลงานของเพื่อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าครูมีแนวคิดที่เปลี่ยนไปและมีความเข้าใจที่ถูกต้องว่าการประเมินระหว่างเรียนนั้นครูและนักเรียนจะต้องมีบทบาทร่วมกัน มีความเข้าใจว่าการให้ข้อมูลสะท้อนกลับเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินระหว่างเรียน โดยการใช้ข้อมูลสะท้อนกลับสามารถทำได้หลายวิธีทั้งให้นักเรียนเกิดการประเมินตนเอง กำกับตนเอง และได้พัฒนาตนเอง และการที่ครูได้วางแผนปรับปรุงแนวทางการสอนของตนเองเป็นการพัฒนาตนเองของครู ตัวอย่างการวิเคราะห์การวางแผนการจัดการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนดังในภาพที่ 5

ตัวอย่างผลงานนักเรียนเป็นผลงานรายงานการทำโครงการ "การประดิษฐ์โคมไฟจากกล่องกระดาษรี" จากการจัดการเรียนรู้รายวิชา เทคโนโลยี 2 (232103) หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 โครงการกับการแก้ปัญหา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมีจุดประสงค์การเรียนรู้ และทักษะและกระบวนการตามรายละเอียด คือ พัฒนาโครงการเพื่อแก้ปัญหาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังนี้ 1. นักเรียนสามารถตัดสินใจเลือกปัญหาจากสถานการณ์ที่สนใจเพื่อพัฒนาโครงการได้ 2. นักเรียนสามารถกำหนดกรอบแนวคิดและขอบเขตของปัญหาในการทำโครงการได้ 3. นักเรียนสามารถรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการได้ 4. นักเรียนสามารถออกแบบวิธีการแก้ปัญหาได้ 5. นักเรียนสามารถวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาได้ 6. นักเรียนสามารถทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานได้ 7. นักเรียนสามารถนำเสนอผลงานเชิงวิชาการในรูปแบบต่างๆ ได้ 	 จากการวิเคราะห์ผลงานนักเรียนในหน่วยการเรียนรู้ที่ 2 โครงการกับการแก้ปัญหา นักเรียนได้แสดงแนวคิด ทักษะ หรือเจตคติ หรือสมรรถนะ ได้ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ ในการประเมินนอกจากผู้สอนประเมินจากผลงานแล้ว ยังประเมินด้วยวิธีการอื่นที่หลากหลาย เช่น การสังเกตจากทำกิจกรรม การสังเกตจากการให้นักเรียนร่วมอภิปรายเพื่อหาข้อสรุปของกลุ่มเพื่อตัดสินใจเลือกปัญหาจากสถานการณ์สนใจ จากการสอบถาม การสัมภาษณ์ เป็นต้น แต่ยังคงขาดการให้ข้อมูลสะท้อนกลับ โดยการให้นักเรียนประเมินตนเองและประเมินเพื่อน ทั้งนี้ ถึงแม้จากการวิเคราะห์ผลงานของนักเรียนจะบรรลุวัตถุประสงค์ และทักษะกระบวนการที่เป็นจุดเน้นครบทุกข้อ ในส่วนของพัฒนาการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนานักเรียนเจ้าของผลงาน หรือนักเรียนกลุ่มถัดไปให้มีความเหมาะสมกับผู้เรียน ครูผู้สอนต้องให้ข้อมูลสะท้อนกลับ ในด้านผลงาน ด้านกระบวนการ ด้านการกำกับติดตามตนเอง และด้านการประเมินตนเองอย่างต่อเนื่อง โดยอาจใช้คำถาม เช่น นักเรียนพอใจกับชิ้นงานหรือผลงานที่ทำนี้หรือไม่ เพราะเหตุใด นักเรียนคิดว่าสิ่งที่ดีที่สุดในผลงานหรือชิ้นงานของนักเรียนคืออะไร นักเรียนคิดว่าเพราะอะไร ผลงานจึงไม่เป็นไปตามที่ตัวเองคาดหวังไว้ ถ้ามีโอกาสปรับปรุงชิ้นงานอีกครั้ง นักเรียนจะปรับปรุงหรือไม่ ถ้าปรับปรุงจะปรับปรุงอย่างไร เพื่อให้นักเรียนได้ปรับปรุง/พัฒนางาน/ต่อยอดผลงานให้มีคุณภาพ สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้ในชีวิตประจำวัน และครูอาจให้นักเรียนแต่ละกลุ่มมีโอกาสนำเสนอผลการทำกิจกรรมหน้าชั้นเรียนเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และให้นักเรียนประเมินเพื่อน
---	--

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการวางแผนการจัดการเรียนรู้จากผลงานนักเรียน

3. ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดอบรมออนไลน์ของครูที่มีต่อหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียน

ผลการศึกษาความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดอบรมออนไลน์ของครูที่มีต่อหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียนใน 5 ด้าน ได้แก่ เนื้อหาของหลักสูตร การออกแบบหลักสูตร สื่อประกอบการอบรม และความคิดเห็นที่มีต่อการประเมินตนเองภายหลังจากการเข้ารับการอบรม แสดงดังตารางที่ 2

ผลการศึกษาความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดอบรมออนไลน์ของครูที่มีต่อหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียน พบว่าครูผู้เข้ารับการอบรม 100 เปอร์เซ็นต์ (ครูทั้ง 5 คน) มีความคิดเห็นในภาพรวมอยู่ในระดับสูงมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.79 ด้านที่ครูเห็นด้วยในระดับสูงมากเป็นอันดับแรกมี 3 ด้าน ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากัน คือ 3.80 ได้แก่ ด้านเนื้อหาของหลักสูตร ด้านสื่อประกอบการอบรม และด้านความคิดเห็นที่มีต่อการประเมินตนเองภายหลังจากการเข้ารับการอบรม โดยการออกแบบหลักสูตร มีคะแนนเฉลี่ยรองลงมา คือ 3.77 นอกจากนี้ครูที่เข้ารับการอบรมได้เสนอแนะว่าอยากให้มีการประชุมกลุ่มเพื่อสรุปบทเรียนหรือแลกเปลี่ยนเรียนรู้ท้ายการอบรมระหว่างผู้เข้ารับการอบรมและวิทยากร

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดอบรมออนไลน์ของครูที่มีต่อหลักสูตรการประเมินระหว่างเรียน

ข้อ	ประเด็นคำถาม	$\bar{x}$	SD	ระดับความเห็น
ด้านเนื้อหาของหลักสูตร		3.80	0.41	สูงมาก
1.	มีการนำเสนอข้อความ ภาพ ไฟล์เสียงและวิดีโอเพียงพอดตลอดหลักสูตร	3.80	0.45	สูงมาก
2.	หลักสูตรประกอบด้วยเนื้อหาที่มีคุณภาพและมีความสอดคล้องกัน	3.80	0.45	สูงมาก
3.	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	3.80	0.45	สูงมาก
4.	ตัวอย่างประกอบที่นำเสนอมีคุณภาพ	3.80	0.45	สูงมาก
5.	เนื้อหาถูกจัดเรียงอย่างชัดเจนและเหมาะสม	3.80	0.45	สูงมาก
6.	เนื้อหาที่นำเสนอสามารถอธิบายให้เชื่อมโยงไปสู่ความรู้ ทักษะและแนวคิดที่เกี่ยวข้องได้อย่างเพียงพอ	3.80	0.45	สูงมาก
ด้านการออกแบบหลักสูตร		3.77	0.43	สูงมาก
7.	โครงสร้างของหลักสูตรที่ออกแบบขึ้นสามารถกระตุ้นความสนใจของฉัน	3.60	0.55	สูงมาก
8.	หลักสูตรนี้สนับสนุนให้มีการอภิปรายและตอบคำถาม	3.80	0.45	สูงมาก
9.	ผู้สอนออกแบบกิจกรรมได้น่าสนใจ	3.60	0.55	สูงมาก
10.	ผู้สอนออกแบบหลักสูตรที่แสดงให้เห็นถึงความรู้ในเชิงลึกของเรื่องนั้น ๆ	3.80	0.45	สูงมาก
11.	หลักสูตรใช้วิธีการสอนที่หลากหลายเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ของหลักสูตร (เช่น การอภิปรายกลุ่ม การนำเสนอของผู้เข้ารับการอบรม ฯลฯ)	4.00	0.00	สูงมาก
12.	หลักสูตรนี้ท้าทายให้ผู้เข้ารับการอบรมทำผลงานได้ดีที่สุด	3.80	0.45	สูงมาก
13.	ข้อมูลหรือรายละเอียดต่าง ๆ ในหลักสูตรสามารถเข้าใจได้ง่าย	3.80	0.45	สูงมาก
ด้านสื่อประกอบการอบรม		3.80	0.42	สูงมาก
14.	มีสื่อประกอบการเรียนการสอนที่ช่วยให้เรียนรู้และเข้าใจในเนื้อหาของหลักสูตรได้มากขึ้น	3.80	0.45	สูงมาก
15.	กิจกรรม/ภาระงาน (Assignment/Task เช่น แบบทดสอบออนไลน์ ข้อโต้แย้ง การจับคู่ / แนวคิดการเขียนบทสรุป ฯลฯ) ที่กำหนดขึ้นภายในหลักสูตรมีประโยชน์สำหรับการฝึกแนวคิด ฝึกทักษะ หรือช่วยส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหา	3.80	0.45	สูงมาก
ด้านความคิดเห็นที่มีต่อการประเมินตนเองภายหลังการเข้ารับอบรม		3.80	0.41	สูงมาก
16.	ฉันรู้สึกว่าการบรรลุผลการเรียนรู้ตามจุดมุ่งหมายของหลักสูตร	3.80	0.45	สูงมาก
17.	ฉันรู้สึกมั่นใจที่จะนำความรู้ที่ได้รับเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอน	3.80	0.45	สูงมาก
18.	ฉันมีความพึงพอใจกับหลักสูตรนี้	3.80	0.45	สูงมาก
19.	หลักสูตรนี้ช่วยฉันในการพัฒนาความรู้และทักษะที่เกี่ยวข้อง	3.80	0.45	สูงมาก
โดยรวม		3.79	0.42	สูงมาก

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ครูมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนมากขึ้นเมื่อเรียนจบหลักสูตร โดยก่อนเรียนครูเข้าใจว่าการประเมินระหว่างเรียนเป็นหน้าที่ของครูเท่านั้น หลังเรียนครูมีเข้าใจว่าทั้งครูและนักเรียนมีบทบาทร่วมกันในการประเมินระหว่างเรียน นักเรียนมีบทบาททั้งเป็นผู้ประเมินและผู้ถูกประเมิน การประเมินระหว่างเรียนช่วยให้นักเรียนเกิดการพัฒนาการเรียนรู้ ครูสามารถใช้วิธีการในการเก็บรวบรวมข้อมูลการเรียนรู้ของนักเรียนได้หลากหลายวิธี และข้อมูลจากการประเมินสามารถนำมาพัฒนาการสอนของตนเอง และการประเมินระหว่างเรียนเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาในทุกขั้นตอนของการสอน

ครูสามารถวางแผนการจัดการการเรียนรู้จากผลงานนักเรียนโดยใช้การประเมินระหว่างเรียนได้โดยครูสามารถวิเคราะห์ว่าแผนการสอนของตนเองยังขาดลักษณะของการประเมินระหว่างเรียนใดบ้างและเพิ่มเติมในประเด็นนั้นในแผนการสอนได้

ครูผู้เข้ารับการอบรมทั้ง 5 คน มีความคิดเห็นในภาพรวม และในทุกด้านซึ่งได้แก่ ด้านเนื้อหาของหลักสูตร การออกแบบหลักสูตร ด้านสื่อประกอบการอบรม และด้านความคิดเห็นที่มีต่อการประเมินตนเองภายหลังจากการเข้าอบรม อยู่ในระดับเห็นด้วยอย่างมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.79

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

แนวทางการพัฒนา และปรับปรุงหลักสูตรการอบรมการประเมินระหว่างเรียนเพื่อให้หลักสูตรสมบูรณ์ขึ้น โดย

- เพิ่มตัวอย่างสถานการณ์ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับเนื้อหาในวิชาคณิตศาสตร์ เนื่องจากในหลักสูตรมีเพียงตัวอย่างการสอนในวิชาวิทยาศาสตร์เพียงอย่างเดียว แต่ครูที่เข้ารับการอบรมในหลักสูตรนี้มีทั้งครูสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
- เพิ่มเติมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่จะช่วยสนับสนุนให้การประเมินระหว่างเรียนเกิดขึ้นในห้องเรียน เช่น การจัดบรรยากาศในห้องเรียนให้นักเรียนรู้สึกปลอดภัย สามารถแสดงความคิดเห็นหรือตอบคำถามได้อย่างมั่นใจ เนื่องจากครูที่เข้ารับการอบรมมีการสะท้อนเกี่ยวกับปัจจัยเหล่านี้
- เพิ่มเติมขั้นตอนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างผู้เข้ารับการอบรมและวิทยากร และการติดตามผลหลังการอบรมเกี่ยวกับการนำความรู้จากที่ได้เรียนไปใช้ในห้องเรียนจริง เนื่องจากครูได้เสนอแนะว่าอยากให้มีการประชุมกลุ่มเพื่อสรุปบทเรียนหรือแลกเปลี่ยนเรียนรู้ท้ายการอบรมระหว่างผู้เข้ารับการอบรมและวิทยากร
- อาจปรับหลักสูตรการอบรมเป็นแบบแบบการสอนผสมผสานระหว่างออนไลน์และการพบปะแบบ face to face เพื่อที่จะได้เปิดโอกาสให้ผู้เข้ารับการอบรมสอบถามประเด็นปัญหาที่พบ สิ่งที่ยังสงสัย หรือแลกเปลี่ยนประสบการณ์กับทางวิทยากร
- อาจพัฒนาหลักสูตรอบรมที่เกี่ยวข้องกับการให้ข้อมูลสะท้อนกลับแก่นักเรียน เนื่องจากครูสะท้อนว่าสิ่งที่ตนเองยังขาดมากที่สุด คือการให้ข้อมูลสะท้อนกลับแก่นักเรียน

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาค้างต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้กลุ่มเป้าหมายที่ศึกษามีจำนวนน้อย เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการเปิดหลักสูตรและการผ่านเกณฑ์ในหลักสูตรการอบรมทำให้มีกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนเพียง 5 คน ซึ่งทำให้ไม่เป็นตัวแทนที่ดีของประชากรและไม่สามารถอ้างอิงผลการวิจัยไปยังประชากรส่วนใหญ่ได้ ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรเปิดระยะเวลาในการอบรมให้นานขึ้นเพื่อให้ได้จำนวนผู้เข้ารับการอบรมที่ผ่านเกณฑ์มากขึ้น และมีกลุ่มเปรียบเทียบเพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่เกิดขึ้นด้วย นอกจากนี้การวิจัยครั้งนี้ทำให้ทราบว่าครูผู้เข้ารับการอบรมมีความเข้าใจ และมีความรู้เกี่ยวกับการประเมินระหว่างเรียนเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่ได้มีการติดตามผลหลังการอบรมเกี่ยวกับการนำความรู้จากที่ได้จากหลักสูตรไปใช้ในห้องเรียนจริง ทำให้ยังไม่สามารถอ้างอิงได้ว่าครูผู้เข้ารับการอบรมสามารถนำความรู้ไปใช้ได้จริง ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรเพิ่มขั้นตอนการวิจัยโดยติดตามผลหลังการอบรม และเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ครูผู้เข้ารับการอบรมเกี่ยวกับการนำความรู้จากการอบรมไปใช้ในห้องเรียนจริง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการอบรมว่าสามารถส่งเสริม และสนับสนุนการนำไปใช้ในห้องเรียนได้หรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในสิทธิส่วนบุคคล หลักคุณประโยชน์ และไม่ก่ออันตรายต่อผู้เข้าร่วมวิจัยและหลักความยุติธรรม และผู้วิจัยได้ทำการปกปิดชื่อ นามสกุล และโรงเรียนต้นสังกัดของผู้เข้าร่วมวิจัย รวมถึงไม่กล่าวหาตักเตือน ใดๆ ที่จะทำให้ผู้อ่านงานวิจัยทราบถึงข้อมูลเหล่านี้ผู้เข้าร่วมวิจัย

References

- Anderson, J. (2019). In search of reflection-in-action: An exploratory study of the interactive reflection of four experienced teachers. *Teaching and Teacher Education*, 86. 102879.
- Andersson, C. and Palm, T. (2017). The impact of formative assessment on student achievement: a study of the effects of changes to classroom practice after a comprehensive professional development programme. *Learning and Instruction*, 49, 92–102.

- Baumgart, N. and Halse, C. (1999). Approaches to learning across cultures: The role of assessment. **Assessment in Education: Principles, Policy & Practice**, 6(3), 321-339.
- Bell, B. and Cowie, B. (2001). **Formative assessment and science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bennett, R. E. (2011). Formative assessment: A critical review. **Assessment in Education: Principles, Policy & Practice**, 18(1), 5-25.
- Biggs, J. (1993). What do inventories of students' learning processes really measure? A theoretical review and clarification. **British Journal of Educational Psychology**, 63(1), 3-19.
- Black, P. and Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. **Assessment in Education: Principles, Policy & Practice**, 5(1), 7-74.
- Black, P. and Wiliam, D. (2003). 'In praise of educational research': Formative assessment. **British Educational Research Journal**, 29(5), 623-637.
- Bragg, L. A., Walsh, C. and Heyeres, M. (2021). Successful design and delivery of online professional development for teachers: A systematic review of the literature. **Computers & Education**, 166, 104158.
- Brown, G. T. L., Kennedy, K. J., Fok, P. K., Chan, J. K. S. and Yu, W. M. (2009). assessment for student improvement: Understanding Hong Kong teachers' conceptions and practices of assessment. **Assessment in Education: Principles, Policy & Practice**, 16(3), 347-363.
- Bybee, R. W. (2013). **The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities**. Virginia: NSTA Press.
- Carless, D. (2012). **From testing to productive student learning: Implementing formative assessment in Confucian-heritage settings**. London: Routledge.
- Creswell, J. W. and Miller, D. L. (2000). Determining validity in qualitative inquiry. **Theory into Practice**, 39(3), 124-130.
- Duschl, R. A. (2003). Assessment of inquiry. In J. M. Atkin and J. E. Coffey (Eds.), **Everyday assessment in the science classroom** (pp. 41-59): Washington, DC: National Science Teachers Association Press.
- Fajri, Z., Baharun, H., Muali, C., Shofiatun, Farida, L. and Wahyuningtiyas, Y. (2021). Student's Learning Motivation and Interest; The Effectiveness of Online Learning during COVID-19 Pandemic. **Journal of Physics: Conference Series**, 1899, 012178.
- Furtak, E. M. (2012). Linking a learning progression for natural selection to teachers' enactment of formative assessment. **Journal of Research in Science Teaching**, 49(9), 1181-1210.
- Han, M. and X. Yang. (2001). Educational assessment in China: Lessons from history and future prospects. **Assessment in Education: Principles, Policy & Practice**, 8(1), 5-10.
- Hattie, J. and Timperley, H. (2007). The power of feedback. **Review of Educational Research**, 77(1), 81- 112.
- Hsieh, H-F. and Shannon, S. E. (2005). Three Approaches to Qualitative Content Analysis. **Qualitative Health Research**, 15(9), 1277-1288.
- Keeley, P (2008). **Science formative assessment: 75 practical strategies for linking assessment, instruction, and learning**. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Leitch, R., and Day, C. (2000). Action research and reflective practice: Towards a holistic view. **Educational action research**, 8(1), 179 – 193.
- MacMillan, J. (2014). **Classroom assessment: Principles and practice for effective standards-based instruction (6th ed)**. Cranbury, NJ: Pearson Education.
- Martin, F., Bolliger, D. U. and Flowers, C. (2021). Design Matters: Development and Validation of the Online Course Design Elements (OCDE) Instrument. **International Review of Research in Open and Distributed Learning**, 22(2), 46-71.
- Office of the Secretariat of the Education Council Ministry of Education (2019). **Guidelines for developing student competencies. Basic education level. (1st printing)**. Bangkok: 21 Century Company Limited.

- Poole, A. and Adamson, B. (2016). Complex teaching realities and deep rooted cultural traditions: Barriers to the implementation and internalization of formative assessment in China. **Cogent Education**, 3(1), 1156242.
- Popham, W. J. (2008). **Transformative assessment**. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Ruiz-Primo, M. A. and Furtak, E. M. (2007). Exploring teachers' informal formative assessment practices and students' understanding in the context of scientific inquiry. **Journal of Research in Science Teaching**, 44(1), 57-84.
- Sadler, D. R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. **Instructional Science**, 18(2), 119-144.
- Saneewong, S. (2020). Thai primary teachers thinking about formative assessment. **Doctoral's Thesis**. Melbourne: Monash University.
- Schön, D.A. (2017). **The reflective practitioner: How professionals think in action**. Routledge.
- Shepard, L. A. (2008). Formative assessment. In C. A. Dwyer (Ed.), **The future of assessment: Shaping teaching and learning** (pp. 279-303). New York, NY: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sumantri, M. S. and Satriani, R. (2016). The effect of formative testing and self-directed learning on mathematics learning outcomes. **International Electronic Journal of Elementary Education**, 8(3), 507-524.
- Tuan, L. T. (2010). Infusing cooperative learning into an EFL classroom. **English Language Teaching**, 3(2), 64–75.
- Volante, L. and Beckett, D. (2011). Formative assessment and the contemporary classroom: Synergies and tensions between research and practice. **Canadian Journal of Education**, 34(2), 239–255.
- Watkins, D. and Biggs, J. B. (1996). **The Chinese learner: Cultural, psychological, and contextual influences**. Camberwell, Melbourne, Vic: ACER.
- Watson, F. F., Castano Bishop, M. and Ferdinand-James, D. (2017). Instructional Strategies to Help Online Students Learn: Feedback from Online Students. **TechTrends**, 61. 420-427.
- William, D., Lee, C., Harrison, C. and Black, P. (2004). Teachers developing assessment for learning: impact on student achievement. **Assessment in Education Principles Policy and Practice**, 11(1), 49–65.
- William, D. and Thompson, M. (2008). Integrating assessment with learning: What will it take to make it work? In C. A. Dwyer (Ed.), **The future of assessment: Shaping teaching and learning** (pp. 53-82): New York, NY: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wright, B. D. and Master, G. N. (1982). **Rating scale analysis**: Chicago: MESA Press.



Enhancing Analytical Thinking Skills Using Inquiry-based Learning (5E) Emphasizing Analytical Thinking on Secondary School Students

Attaphon Fueangwong¹ and Chatmongkol Seeprasong^{2*}

¹Undergraduate Program in Biology Education, Faculty of Education, RambhaiBarni Rajabhat University

²Department of Biology, Faculty of Science and Technology, RambhaiBarni Rajabhat University, Mueang, Chanthaburi

*Email: chatmongkol.s@rbru.ac.th

Received <22 April 2024>; Revised <25 July 2024>; Accepted <26 July 2024>

Abstract

The purposes of this classroom action research were to 1) compare grade-11 students' pre- and post-learning analytical thinking skills by using inquiry-based learning (5E) emphasizing analytical thinking and 2) compare grade-11 students' post-learning analytical thinking skills by using inquiry-based learning (5E) emphasizing analytical thinking with a criterion of 70 percent. The target group consisted of 25 grade-11 students from a school in the secondary educational service area office Chanthaburi Trat during the first semester of the 2023 academic year, selected using purposive sampling. The research tools include learning management plans and analytical thinking tests. The data were statistically analyzed by using percentage, average, standard, the t-test for Dependent samples, and t-test for One sample and the criterion of 70 percent. The study discovered 1) the results of grade-11 students' analytical thinking skills were higher than before learning, with statistical significance at the level of .05, and 2) in comparing the criterion of 70 percent was higher than before learning

Keywords: Analytical Thinking Skill, Classroom Action Research, Inquiry-based Learning

การยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

อรรถพล เพ็ญวงศ์¹ และฉัตรมงคล สีประสงค์^{2*}

¹หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

*Email: chatmongkol.s@rbru.ac.th

รับบทความ: 22 เมษายน 2567 แก้ไขบทความ: 25 กรกฎาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 26 กรกฎาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังเรียนแบบรายชั้นเรียน รายบุคคลและรายเนื้อหาโดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ที่เน้นการคิดวิเคราะห์และ 2) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์หลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 70 กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาจันทบุรี ตราด ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 25 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือในงานวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ที่เน้นการคิดวิเคราะห์เรื่อง การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าที่ t-test แบบ Dependent sample และการทดสอบค่าที่ t-test แบบ One sample และการเทียบเกณฑ์ร้อยละ 70 ผลการวิจัยพบว่า 1) ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และผู้เรียนมีคะแนนการคิดวิเคราะห์หลังเรียนเพิ่มขึ้นร้อยละ 84.13 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด และ 2) ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 70 ผู้เรียนส่วนใหญ่มีทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านความสัมพันธ์มากที่สุด รองลงมาคือด้านความสำคัญ และด้านหลักการ

คำสำคัญ: ทักษะการคิดวิเคราะห์ วิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E)

บทนำ

ปัจจุบันเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้จะมุ่งเน้นให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในด้านต่าง ๆ แก่ผู้เรียน ดังเช่นการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์หนึ่งในทักษะที่สำคัญของศตวรรษที่ 21 โดยทักษะการคิดวิเคราะห์นั้นเป็นทักษะที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถแยกแยะข้อมูลข่าวสาร หรือสิ่งต่าง ๆ ว่ามีความสำคัญหรือมีประโยชน์หรือมีผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันในโลกยุคปัจจุบัน ตลอดจนมีความสัมพันธ์เชิงเหตุผลและหลักการมาอธิบายเรื่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่มากขึ้นต่อเหตุการณ์นั้น ๆ โดยองค์ประกอบที่สำคัญของทักษะการคิดวิเคราะห์นั้นประกอบด้วยการวิเคราะห์ความสำคัญ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการวิเคราะห์หลักการ (Khemmani, 2011; Elder & Paul, 2020) อีกทั้งทักษะการคิดวิเคราะห์ยังเป็นทักษะที่มีความต้องการในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ กล่าวคือผู้เรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์สามารถวิเคราะห์ความสำคัญของเนื้อหา ตลอดจนวิธีการได้มาซึ่งองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตลอดจนการวางแผนการทดลอง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา และหลักการต่าง ๆ จนได้ข้อสรุปของการทดลองโดยใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ (Santos, 2017) ดังนั้นห้องเรียนที่มีการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์จะสามารถช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางด้านอื่น ๆ ให้สูงขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ตลอดช่วงทศวรรษที่ผ่านมา แต่กลับพบว่าทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนยังไม่บรรลุเป้าหมายสูงสุดที่ต้องการ ดังจะเห็นได้จากการประเมินผลการเรียนรู้ของ PISA (Programme for International Student Assessment) ที่คะแนนของเด็กไทยยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยเมื่อเทียบกับหลาย ๆ ประเทศ (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2022) ดังนั้นการพัฒนาทักษะดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่ยังคงต้องเร่งดำเนินการต่อไป Budsankom et al. (2015) กล่าวว่า การพัฒนาทักษะด้านการคิดมักมีผลมาจากสภาพแวดล้อมการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน จิตวิทยาทางการเรียนรู้และตัวของผู้เรียน ทั้งหมดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ให้สูงขึ้น ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าสิ่งที่สำคัญในการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์คือผู้สอนและผู้เรียนในการสร้างบรรยากาศของการจัดการเรียนรู้ที่มีสภาพแวดล้อมที่เน้นการคิดวิเคราะห์ ผู้สอนควรออกแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ที่ส่งผลต่อการคิดวิเคราะห์ ในขณะที่ตัวผู้เรียนต้องฝึกฝนตนเองเพื่อยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ของตนเอง (Theabthuang, Khamsong and Worapun, 2022)

การจัดการเรียนรู้ที่เป็นที่นิยมในห้องเรียนวิทยาศาสตร์คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นหนึ่งในรูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ส่งผลต่อความรู้และทักษะต่าง ๆ ของผู้เรียน ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมและกระบวนการคิด มีกระบวนการให้ผู้เรียนได้สังเกต ตั้งสมมติฐาน ทดลอง ค้นคว้าด้วยวิธีการต่าง ๆ วิเคราะห์ความสำคัญของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หาความสัมพันธ์และหลักการขององค์ความรู้ที่สร้างขึ้น ตลอดจนการสรุปและอธิบายผล (Songserm, 2018) ซึ่งวิธีการสืบเสาะหาความรู้แบ่งได้หลายระดับและมีหลายรูปแบบ แต่ที่นิยมใช้ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ที่หลากหลายประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้ 1. ขั้นสร้างความสนใจ (Engage) 2. ขั้นสำรวจค้นคว้า (Explore) 3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explain) 4. ขั้นขยายความรู้ (Elaborate) และ 5. ขั้นประเมิน (Evaluate) โดยทั้ง 5 ขั้นมีพื้นฐานมาจากการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นภายในตัวของผู้เรียน ส่งเสริมความสัมพันธ์ระหว่างองค์ความรู้ใหม่กับความรู้เดิม (Saenpan, 2010) ดังนั้นจะเห็นได้ว่ารูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) มีลักษณะที่สามารถส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนได้อีกทั้งยังช่วยให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในด้านผลสัมฤทธิ์อื่น ๆ ได้อีกด้วย

ผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้จัดการเรียนการสอนในรายวิชาชีววิทยาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู ณ โรงเรียนแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จันทบุรี ทราย โดยผู้วิจัยพบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความตั้งใจเรียน มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาชีววิทยาอยู่ในระดับดี แต่ในบางครั้งขณะผู้วิจัยจัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยคำถามที่เน้นการคิดวิเคราะห์ ผู้เรียนส่วนใหญ่จะตอบคำถามเหล่านี้ไม่ได้ หรือแม้กระทั่งตอบคำถามลงในใบงานที่เป็นการคิดวิเคราะห์ผู้เรียนจะไม่สามารถตอบได้ ส่วนใหญ่จะเป็นการทวนคำถามหรือเขียนแต่ทฤษฎีลงไปใบคำตอบ อีกทั้งเมื่อผู้วิจัยได้สอบถามจากครูพี่เลี้ยงก็ได้รับคำตอบในทำนองเดียวกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้เรียนยังขาดทักษะการคิดวิเคราะห์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการออกแบบกิจกรรมที่เน้นการคิดวิเคราะห์เพื่อยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนให้สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบรายชั้นเรียน รายบุคคลและรายเนื้อหาโดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

2. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะความรู้ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ด้วยกระบวนการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบแผนงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) โดยดำเนินการวิจัยตามหลักการและขั้นตอนของการวิจัยปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart (1982) ซึ่งมีขั้นตอนแบบวงจร PAOR จำนวน 4 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นวางแผน (Plan)

1.1 สำรวจและวิเคราะห์ปัญหาที่พบจากการจัดการเรียนรู้ในขณะฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู โดยเป็นปัญหาจากการที่ผู้เรียนไม่สามารถตอบปัญหาเกี่ยวกับการคิดวิเคราะห์ในขณะจัดกิจกรรมการเรียนการสอนหรือตอบคำถามเกี่ยวกับการคิดวิเคราะห์หลังในใบงาน

1.2 วิเคราะห์ผลการเรียนรู้สาระชีววิทยา หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560)

1.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) และกิจกรรมที่พัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์

1.4 สร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ เรื่อง การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 4 แผน

1.5 สร้างเครื่องมือรวบรวมข้อมูลได้แก่ แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ และบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

2. ขั้นปฏิบัติ (Act)

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ เรื่อง การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช

3. ขั้นสังเกต (Observe)

ผู้วิจัยสังเกตการจัดการเรียนรู้ของตนเอง รวมถึงพฤติกรรมที่เกิดกับผู้เรียนในด้านทักษะการคิดวิเคราะห์ โดยใช้คำถามกับนักเรียนและการตอบคำถามในใบงาน เมื่อเสร็จสิ้นการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน

4. ขั้นสะท้อนการปฏิบัติ (Reflect)

ผู้วิจัยเขียนสะท้อนบันทึกผลการปฏิบัติของตนเองในบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ในประเด็นดังนี้

1) ในการสอนคาบนี้ นักเรียนเรียนรู้ตามจุดประสงค์หรือไม่

2) การสอนอย่างไรที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียน

3) ปัญหาในการสอนแต่ละแผนเป็นอย่างไร

4) แนวทางในการปรับปรุงการสอนในครั้งต่อไปอย่างไร จากนั้นผู้วิจัยนำสิ่งที่ได้จากการบันทึกไปปรับปรุงในแผนการจัดการเรียนรู้แผนอื่น ๆ ต่อไป

2. กลุ่มเป้าหมายของการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายการวิจัยนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/6 โรงเรียนแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จันทบุรี ตรีภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 25 คน โดยได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) เนื่องจากนักเรียนห้องนี้ส่วนใหญ่มีความตั้งใจเรียน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดี สามารถตอบคำถามที่ใช้เพียงทฤษฎีในการตอบคำถามได้เป็นอย่างดี แต่หากเพิ่มระดับคำถามเป็นการคิดวิเคราะห์ นักเรียนจะไม่สามารถตอบคำถามได้

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ เรื่อง การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช จำนวน 4 แผน

3.2 แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ เป็นแบบทดสอบแบบเลือกตอบหลายตัวเลือก (multiple choice) จำนวน 30 ข้อ โดยมีรายละเอียดของค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนก (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์

องค์ประกอบของการวิเคราะห์	ความยากง่าย	ค่าอำนาจจำแนก
ด้านวิเคราะห์ความสำคัญ	0.10-0.65	0.35-0.90
ด้านวิเคราะห์ความสัมพันธ์	0.25-0.60	0.40-0.75
ด้านวิเคราะห์หลักการ	0.15-0.75	0.25-0.85
ภาพรวม	ระดับปานกลาง	อยู่ในระดับดี

3.3 แบบบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 นำแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ จำนวน 30 ข้อที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นและได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญไปทดสอบก่อนเรียน โดยกระทำก่อนการจัดการเรียนรู้ 1 สัปดาห์ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ที่บอกเปอร์เซ็นต์ของนักเรียนที่เลือกตอบในข้อต่าง ๆ

บทความที่ 1 โดยปรากฏการณ์ Plankton Bloom หรือปรากฏการณ์น้ำทะเลเปลี่ยนสี หรือที่เรียกกันว่าปรากฏการณ์ซีปลาวพ (water discolouration) เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว (บลูม Bloom) ของแพลงก์ตอนพืช เนื่องจากแพลงก์ตอนเหล่านี้ต่างก็มีสีในตัวเอง เมื่อเกิดการเจริญเติบโตจำนวนมาก จึงทำให้สีของน้ำทะเลเปลี่ยนไปตามสีของแพลงก์ตอนชนิดที่มีมากในขณะนั้น เช่น สีแดง เกิดจากแพลงก์ตอนสกุลเซอเรเทียม (Ceratium sp.) สีส้ม เกิดจากสกุลเพอริดิเนียม (Peridinium sp.) และสีเขียวเกิดจากสกุลนอคติลลูกา (Noctiluca sp.) ดังนั้นเมื่อมีปริมาณแพลงก์ตอนมากก็ยิ่งทำให้มีการใช้ออกซิเจนในการหายใจมากตามไปด้วย ออกซิเจนที่อยู่ในน้ำจึงลดลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งเมื่อแพลงก์ตอนหนาแน่น เซลล์บางส่วนก็จะตาย แบคทีเรียจะย่อยสลายโดยต้องใช้ออกซิเจนอีก ส่งผลทำให้น้ำเริ่มเน่า สิ่งมีชีวิตทั้งในน้ำ สัตว์หน้าดิน และสัตว์ที่ฝังตัวอยู่ในดิน เริ่มขาดอากาศหายใจและตายเป็นจำนวนมาก ดังจะเห็นว่ามีทั้งปลา ไส้เดือนดิน หอยทับทิม ปูเสฉวน หอยเสียบ ปูม้า และปลาลิ้นหมาขึ้นมาตายจำนวนมาก โลกร้อนอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับแพลงตอนบลูม ตามการศึกษาต่างประเทศที่พบว่าน้ำเขียวทั่วโลกเกิดถี่ขึ้นเรื่อย และขยายพื้นที่ไปในบริเวณต่าง ๆ ของโลก หากเรายังไม่ทำอย่างเป็นระบบ ไม่มีข้อมูลเพียงพอ ทำได้แค่ไปตรวจน้ำเขียวเมื่อไหร่ก็ไปตรวจสอบเหมือนอย่างที่เป็นมา เรากีย่าอยู่กับที่ ในขณะที่มีแนวโน้มว่าน้ำเขียวจะเพิ่มขึ้นและถี่ขึ้นเรื่อยในอนาคต การยกระดับการบำบัดน้ำทิ้ง การปรับเปลี่ยนการเกษตรให้เหมาะสมจะช่วยลดปัญหาที่ต้นเหตุ	
คำถามข้อที่ 1 ผู้เขียนยึดหลักการใดในการเขียนบทความนี้	
ก. ชี้ให้เห็นถึงคุณภาพแหล่งน้ำ	ค. ระบุว่าปรากฏการณ์แพลงตอนบลูมมาจากไหน
ข. ระบุให้เห็นประโยชน์ของแพลงตอนบลูม	ง. กล่าวถึงแพลงตอนพืชที่ใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อการหายใจและดำรงชีวิต

4.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ เรื่อง การควบคุมการเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช (ภาพที่ 1) มีการออกแบบกิจกรรมหลักที่เน้นการคิดวิเคราะห์ (ตารางที่ 3) การจัดการเรียนรู้แต่ละแผนจะมีครูพี่เลี้ยง อาจารย์ที่ปรึกษามาส่งเกตและสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ และผู้วิจัยทำการบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้เพื่อดำเนินตามขั้นตอนของการวิจัยปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart (1982)



ภาพที่ 1 (ก) กิจกรรมสร้างโมเดลต้นไม้ (ข) กิจกรรมการงอกของเมล็ด (ค) กิจกรรมตามล่าหาคำศัพท์ (ง) กิจกรรมเกมคอนเทนต์แมตช์

ตารางที่ 3 รายละเอียดการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์

แผนการจัดการเรียนรู้	ตัวอย่างกิจกรรมที่เน้นการคิดวิเคราะห์	คำถามที่เน้นการคิดวิเคราะห์ในแต่ละด้าน	ขั้นตอนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E)
1) ฮอโมนพืช	- การสร้างโมเดลต้นไม้จากการนำองค์ความรู้เรื่องฮอโมนพืชมาสร้างเป็นต้นไม้ที่มีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของฮอโมน เพื่อให้ให้นักเรียนเข้าใจและวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบและคุณสมบัติของฮอโมนพืชนั้น ๆ (ภาพที่ 1ก-ข)	- วิเคราะห์ความสำคัญ - วิเคราะห์ความสัมพันธ์	ขั้นสำรวจและค้นหา
	- การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนดให้ โดยให้วิเคราะห์ถึงความสำคัญของฮอโมนพืช ความสัมพันธ์ของฮอโมนพืชต่อการเจริญเติบโตของพืช และการวิเคราะห์หลักการในการเลือกใช้ฮอโมนพืชให้ถูกต้อง	- วิเคราะห์ความสำคัญ - วิเคราะห์ความสัมพันธ์ - วิเคราะห์หลักการ	ขั้นขยายความรู้
2) ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด	- กระตุ้นด้วยคำถามที่เน้นการคิดวิเคราะห์ที่เชื่อมโยงจากกิจกรรมในคาบที่ผ่านมา เช่น “หากพืชขาดฮอโมนบางชนิดจะส่งผลต่อต้นพืชอย่างไร พร้อมยกตัวอย่าง”	- วิเคราะห์ความสำคัญ	ขั้นกระตุ้นความสนใจ
	- กิจกรรมบทบาทการเรื่อง การงอกของเมล็ดโดยใช้ฮอโมนหรือสารที่สามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดจากคาบที่แล้วมาประยุกต์เพื่อกระตุ้นการงอกของเมล็ด โดยปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะหาความรู้ (ภาพที่ 1ค)	- วิเคราะห์ความสำคัญ - วิเคราะห์ความสัมพันธ์	ขั้นสำรวจและค้นหา
	- การวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนดให้ โดยให้วิเคราะห์ถึงความสำคัญของสารเร่งการงอกของเมล็ดและหลักการในการเลือกใช้สารที่สามารถเร่งการงอกของเมล็ดได้	- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ - วิเคราะห์หลักการ	ขั้นขยายความรู้

แผนการจัดการเรียนรู้	ตัวอย่างกิจกรรมที่เน้นการคิดวิเคราะห์	คำถามที่เน้นการคิดวิเคราะห์ในแต่ละด้าน	ขั้นตอนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E)
3) การตอบสนองของพืชในลักษณะการเคลื่อนไหว	- กิจกรรมวิเคราะห์ความแตกต่างของต้นถั่วงอกระหว่างความสัมพันธ์ของสิ่งแวดล้อมกับการเจริญเติบโตของต้นถั่วงอก	- วิเคราะห์ความสัมพันธ์	ขั้นกระตุ้นความสนใจ
	- กิจกรรมตามล่าหาคำศัพท์ที่มีรายละเอียดสัมพันธ์กับลักษณะการตอบสนองของต้นพืช (ภาพที่ 1ง)	- วิเคราะห์ความสัมพันธ์	ขั้นสำรวจและค้นหา
	- กิจกรรมสร้างองค์ความรู้และวิเคราะห์หลักการลักษณะการตอบสนองของพืช	- วิเคราะห์หลักการ	ขั้นสำรวจและค้นหา
	- กิจกรรมสถานการณ์จำลองการสร้างคาเฟ่ไม้ดอกไม้ประดับ	- วิเคราะห์หลักการ	ขั้นขยายความรู้
4) การตอบสนองต่อภาวะเครียด	- กิจกรรมเกมคอนเทนต์แมตซ์ เป็นการวิเคราะห์ลักษณะภาวะเครียดของต้นไม้มาหนีบเข้ากับแผ่นกระดานคอนเทนต์ที่มีความสัมพันธ์กันให้ถูกต้อง	- วิเคราะห์ความสัมพันธ์	ขั้นสำรวจและค้นหา
	- กิจกรรมการวิเคราะห์หลักการที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อสภาวะเครียดของพืช	- วิเคราะห์หลักการ	ขั้นขยายความรู้

4.3 นำแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ จำนวน 30 ข้อ ซึ่งเป็นชุดเดียวกับก่อนเรียนมาทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้ครบทุกแผนการจัดการเรียนรู้ 1 สัปดาห์

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

- 1) วิเคราะห์คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ก่อนเรียนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์โดยใช้สถิติพื้นฐานและสถิติทดสอบสมมติฐาน t- test Dependent Sample
- 2) วิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดวิเคราะห์กับเกณฑ์ของโรงเรียนคือร้อยละ 70 ด้วยสถิติทดสอบสมมติฐาน One Sample t- test
- 3) วิเคราะห์คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์โดยนำคะแนนของนักเรียนรายบุคคลเทียบกับเกณฑ์ของโรงเรียนคือร้อยละ 70
- 4) วิเคราะห์คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์รายด้านได้แก่ 1) ด้านวิเคราะห์ความสำคัญ 2) ด้านวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ3) ด้านวิเคราะห์หลักการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

การยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- 1. ผลการวิเคราะห์คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณเปรียบเทียบก่อนเรียนและหลังเรียนใน 3 ประเด็นได้แก่แบบรายชั้นเรียน รายบุคคลและรายเนื้อหา

1.1 คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์แบบรายชั้นเรียน

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนหลังเรียนกับก่อนเรียนพบว่าเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าก่อนเรียน และนักเรียนทั้งหมดเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่า คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์สูงสุดเท่ากับ 28 คะแนน คะแนนต่ำสุดเท่ากับ 17 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 25.24 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 84.13 ซึ่งแสดงว่าผลการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนโดยเฉลี่ยผ่านเกณฑ์การประเมิน เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่โรงเรียนกำหนดไว้ร้อยละ 70 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์

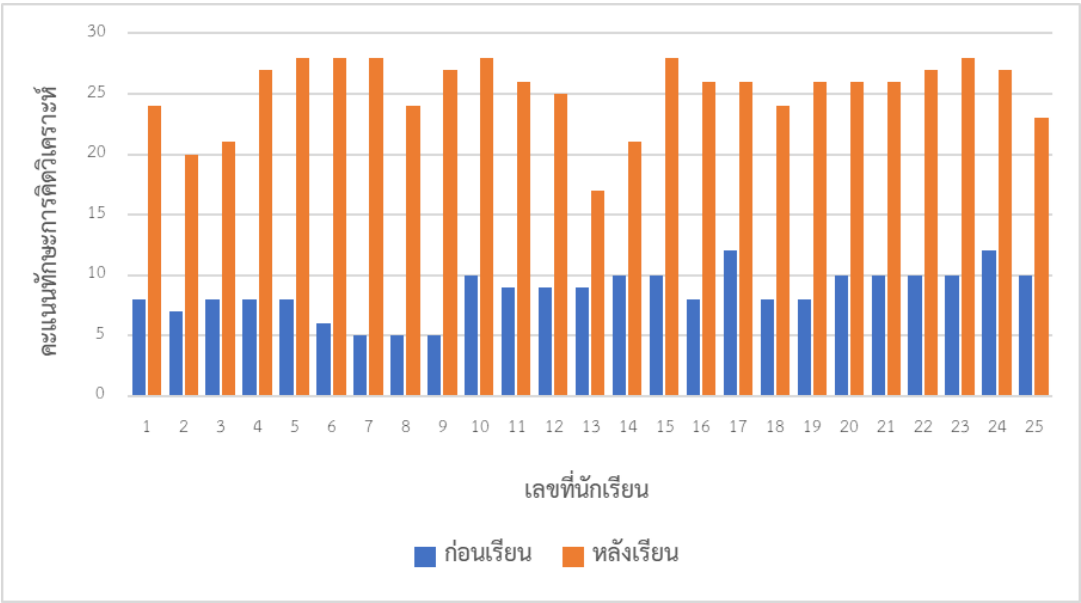
	$\bar{x}$	SD	t	p	df
ก่อนเรียน	8.60	3.75	24.027	.000*	24
หลังเรียน	25.24	8.44			

*p < .05

ค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 4)

1.2 คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์แบบรายบุคคล

คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์รายบุคคล ก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนสูงสุด 12 คะแนนและคะแนนต่ำสุด 5 คะแนน และหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนสูงสุด 28 คะแนน และคะแนนต่ำสุด 17 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของทักษะการคิดวิเคราะห์เป็นรายบุคคล

2. ผลการวิเคราะห์คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์โดยนำคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของนักเรียนทั้งหมดเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่า คะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ที่สูงสุดเท่ากับ 28 คะแนน คะแนนต่ำสุดเท่ากับ 17 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 25.24 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 84.13 ซึ่งแสดงว่าผลการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนโดยเฉลี่ยผ่านเกณฑ์การประเมิน เมื่อเทียบกับเกณฑ์ที่โรงเรียนกำหนดไว้ร้อยละ 70 และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ข้อมูลคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์โดยนำคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทั้งหมดเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

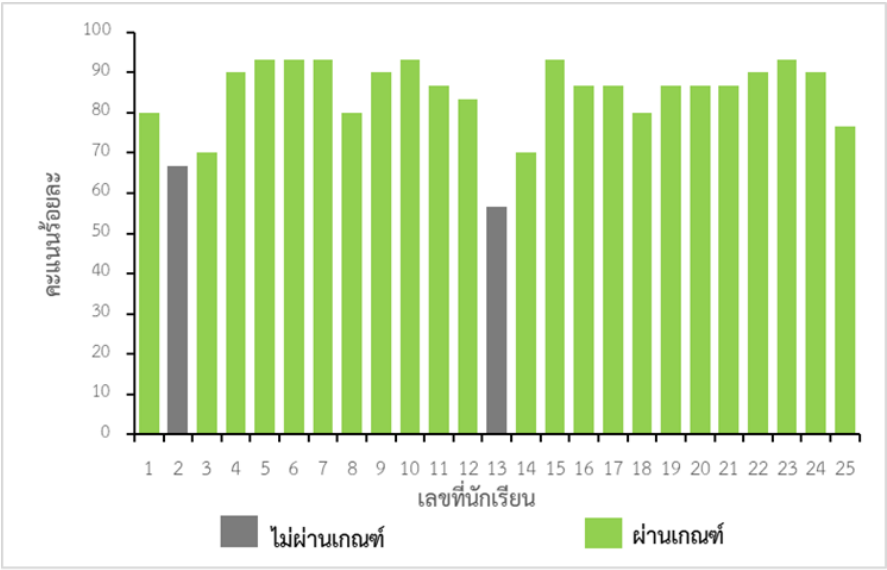
	$\bar{x}$	SD	คะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ	t	p	df
หลังเรียน	25.24	8.444	84.13	43.440	.000*	24

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนรายบุคคลเมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม จากการทำแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียน ซึ่งมีคะแนนเต็ม 30 คะแนน โดยกำหนดเป็นช่วงคะแนนและผลการประเมินดังนี้

ช่วงคะแนน 0 – 20 คะแนน หมายถึง นักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์

ช่วงคะแนน 21 – 30 คะแนน หมายถึง นักเรียนผ่านเกณฑ์

พบว่า มีนักเรียนผ่านเกณฑ์การประเมินจำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 92 ของนักเรียนทั้งหมด และมีนักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 8 ของนักเรียนทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีทักษะการคิดวิเคราะห์ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ซึ่งปรากฏข้อมูลดังแผนภูมิ ต่อไปนี้ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลคะแนนสอบทักษะการคิดวิเคราะห์รายบุคคลเทียบเกณฑ์ร้อยละ 70

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลองค์ประกอบของทักษะการคิดวิเคราะห์เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่า พฤติกรรมด้านการคิดวิเคราะห์ ในด้านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์มีร้อยละของคะแนนสูงกว่าเกณฑ์มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 21.20 รองลงมาคือด้านวิเคราะห์ความสำคัญมีร้อยละคะแนนสูงกว่าเกณฑ์เท่ากับ 18.40 และด้านวิเคราะห์หลักการมีร้อยละของคะแนนสูงกว่าเกณฑ์น้อยที่สุดเท่ากับ 2.80 (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนการคิดวิเคราะห์ในแต่ละองค์ประกอบด้านการคิดวิเคราะห์

องค์ประกอบการคิดวิเคราะห์	คะแนนเต็ม	หลังเรียน		เกณฑ์ร้อยละ 70	ร้อยละของคะแนนสูงกว่าเกณฑ์
		คะแนน	ร้อยละ		
ด้านวิเคราะห์ความสำคัญ	10	8.84	88.40	70	18.40
ด้านวิเคราะห์ความสัมพันธ์	10	9.12	91.20	70	21.20
ด้านวิเคราะห์หลักการ	10	7.28	72.80	70	2.80

5. ผลการวิจัยปฏิบัติในชั้นเรียนตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสังเกตพฤติกรรมการสอนจากครูพี่เลี้ยงและบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

5.1 ด้านครูผู้สอน จากแบบสังเกตพฤติกรรมการสอนของครูซึ่งประเมินโดยครูพี่เลี้ยงพบว่า

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 หลังจากสะท้อนผลพบว่า ผู้เรียนสามารถปฏิบัติกิจกรรมในขั้นค้นหาความรู้ ผู้เรียนจะต้องสร้างโมเดลแบบจำลองต้นไม้ที่แต่ละกลุ่มจับฉลากได้ แต่ผู้เรียนบางกลุ่มไม่เข้าใจว่าครูผู้สอนต้องการให้ผู้เรียนทำอะไรเนื่องจากผู้วิจัยชี้แจงกิจกรรมยังไม่ชัดเจน และในการปฏิบัติกิจกรรมใช้เวลาค่อนข้างมาก ทำให้กิจกรรมในขั้นอื่น ๆ ต้องถูกลดเวลาลงไป และเมื่อถูกกระตุ้นด้วยคำถามที่เน้นการคิดวิเคราะห์ ผู้เรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถตอบคำถามได้ อีกทั้งในการปฏิบัติกิจกรรมมีสมาชิกบางคนไม่มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม ผู้วิจัยจึงนำปัญหาที่พบมาหารือแก้ไขร่วมกับครูพี่เลี้ยงและอาจารย์ที่ปรึกษา แล้วจึงนำมาวางแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 หลังสะท้อนผลพบว่า การใช้คำถามที่เพื่อฝึกการคิดวิเคราะห์และกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนหากเป็นคำถามที่ค่อนข้างยาว และไม่มีการเขียนคำถามหรือแสดงบนสื่อต่าง ๆ ผู้เรียนจะถามและทวนคำถามนั้นจากผู้วิจัยซ้ำๆ จึงทำให้เสียเวลาค่อนข้างมากในการปฏิบัติกิจกรรมขั้นต่อไป และผู้เรียนบางกลุ่มไม่มีสมาธิจดจ่อกับกิจกรรมกระตุ้นความสนใจของผู้วิจัย ดังนั้นการกระตุ้นความสนใจควรเป็นสถานการณ์ที่แปลกใหม่ และเป็นสิ่งที่ผู้เรียนคาดเดาได้อยาก

เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสงสัยใคร่รู้ อีกทั้งการทำการทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนหรือสารที่กระตุ้นการงอกของเมล็ดพบว่า ชุดการทดลองของผู้เรียนบางกลุ่มมีสัตว์มาทำลายจนเกิดความเสียหาย และในชั้นขยายความรู้ผู้เรียนบางกลุ่มยังไม่สามารถวิเคราะห์หลักการจากการปฏิบัติกิจกรรมได้ ผู้วิจัยจึงนำปัญหาที่พบมาหาวิธีแก้ไขร่วมกับครูพี่เลี้ยงและอาจารย์ที่ปรึกษา แล้วจึงนำมาวางแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 หลังสะท้อนผลพบว่า ผู้วิจัยมีการเตรียมตัวในการจัดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น จากการนำปัญหาที่พบในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้มาแก้ไข กิจกรรมขั้นสำรวจและค้นหา (กิจกรรมตามล่าหาคำศัพท์) เป็นกิจกรรมที่ผู้เรียนได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ฝึกการคิดวิเคราะห์ มีความสนุกสนานในการปฏิบัติกิจกรรม แต่ในการปฏิบัติกิจกรรมขั้นขยายความรู้สถานการณ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นค่อนข้างซับซ้อน ผู้เรียนบางกลุ่มไม่ค่อยเข้าใจและปฏิบัติตามกิจกรรมได้ไม่ดีเท่าที่ควร ผู้วิจัยจึงนำปัญหาที่พบมาหาวิธีแก้ไขร่วมกับครูพี่เลี้ยงและอาจารย์ที่ปรึกษา แล้วจึงนำมาวางแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 หลังสะท้อนผลพบว่า ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ได้ดีขึ้น สามารถปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่กำหนดไว้ได้ มีการตอบคำถามที่แสดงออกถึงทักษะการคิดวิเคราะห์ได้ดีขึ้น แต่มีสิ่งที่ต้องปรับปรุงเล็กน้อยคือ การควบคุมเวลาในการนำเสนอและอภิปรายผลหน้าชั้นเรียน และการเปลี่ยนคนนำเสนอหน้าชั้นเรียนเนื่องจากผู้เรียนส่วนใหญ่ที่ออกมานำเสนอจะเป็นคนเดิมที่เพื่อน ๆ มักให้นำเสนอ จะเห็นได้ว่าผู้วิจัยควรชี้แจงผู้เรียนทุกคนให้ผลัดเปลี่ยนในการนำเสนอเพื่อฝึกความสามารถในการสื่อสาร ความกล้าแสดงออกหน้าชั้นเรียน

5.2 ด้านผู้เรียน จากบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้และบันทึกสังเกตการสอนของครูพี่เลี้ยงพบว่า ผู้เรียนยังไม่สามารถตอบคำถามเชิงคิดวิเคราะห์ได้ในช่วงแรก สามารถตอบได้เพียงทฤษฎีพื้นฐาน บางกิจกรรมใช้เวลาค่อนข้างนาน เช่น กิจกรรมในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 การสร้างโมเดลต้นไม้ ส่งผลให้ผู้เรียนบางคนไม่สนใจในการปฏิบัติกิจกรรม อีกทั้งในแต่ละกลุ่มไม่มีการแบ่งหน้าที่ที่ชัดเจน ในแผนการจัดการเรียนรู้ถัดไปผู้วิจัยจึงได้วางแผนให้สมาชิกของแต่ละกลุ่มมีบทบาทและหน้าที่ของตนเอง ผู้เรียนทุกคนจึงมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมทุกคน และกิจกรรมการทดลองก็เป็นอีกหนึ่งกิจกรรมที่สามารถส่งทักษะการคิดวิเคราะห์โดยเฉพาะด้านความสัมพันธ์เพราะผู้เรียนนำองค์ความรู้ที่ได้รับมาหาความสัมพันธ์ของฮอร์โมนหรือสารเพื่อศึกษาว่าสามารถส่งผลกระทบต่อการงอกของเมล็ดได้หรือไม่ อย่างไร มีความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม และผลการทดลองอย่างไร กิจกรรมตามล่าหาคำศัพท์และกิจกรรมคอนเทนต์แมตช์ เพื่อฝึกวิเคราะห์ความสัมพันธ์และหลักการช่วยส่งเสริมพฤติกรรมคิดวิเคราะห์ให้เป็นอย่างดี อีกทั้งการสรุปเนื้อหาและสรุปกิจกรรมในท้ายคาบช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นถึงหลักการของทักษะการคิดวิเคราะห์ได้ ดังนั้นจากการนำปัญหาในการจัดการเรียนรู้ในแต่ละครั้งมาปรับและแก้ไขพบว่า ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์ที่ดีขึ้นตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า กระบวนการสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ ยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เพราะประกอบด้วยกิจกรรมและคำถามที่เน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกการคิดวิเคราะห์ และในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เช่น ขั้นกระตุ้นความสนใจอาจเริ่มด้วยกิจกรรมหรือคำถามที่ฝึกการคิดวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ ตลอดจนขั้นสำรวจและค้นหา การออกแบบกิจกรรมเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกวิเคราะห์ความสำคัญฝึกเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่าง ๆ หรือตัวแปรต่าง ๆ เช่น ตัวแปรต้นส่งผลต่อตัวแปรตามอย่างไร ดังตัวอย่างในแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดที่ได้มีการทำการทดลองที่หาความสัมพันธ์ของสารที่กระตุ้นการงอกของเมล็ดต่อการงอกของเมล็ดต่าง ๆ (Prasertsan, 2012) และกิจกรรมควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง โดยผู้เรียนจะต้องใช้ความสามารถในการคิด พิจารณาแยกแยะข้อมูลที่ตนเองศึกษา ออกมาเป็นรายละเอียดปลีกย่อย แล้วจึงนำข้อมูลมาสรุปและเชื่อมโยงความสัมพันธ์กับความรู้เดิมของผู้เรียน ทำให้นักเรียนทราบว่าข้อมูลเหล่านั้นมีความสัมพันธ์กันโดยอาศัยหลักการใด (Seeprasong, 2019) ส่วนในขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ควรฝึกให้ผู้เรียนได้วิเคราะห์ถึงความสำคัญความสัมพันธ์และหลักการขององค์ความรู้ที่สร้างขึ้น ว่ามีความสอดคล้องกับคำอธิบายของนักวิทยาศาสตร์หรือไม่ หรือในชั้นขยายความรู้ มีกิจกรรมที่เน้นการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ความรู้ที่ผู้เรียนสร้างไปสู่การแก้ไขปัญหาหรือการนำองค์ความรู้ไปใช้ และเป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนฝึกวิเคราะห์หลักการต่าง ๆ สุดท้ายในส่วนของการประเมินผล ครูควรมีการประเมินที่หลากหลายที่เน้นการคิดวิเคราะห์ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประเมินตนเอง นำองค์ความรู้ไปใช้จริงและแลกเปลี่ยนเรียนรู้องค์ความรู้กับเพื่อนร่วมชั้นเรียน ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการคิดอย่างต่อเนื่อง (Porntrai, 2014) ทั้งนี้หากพิจารณารายด้านตามองค์ประกอบของการคิดวิเคราะห์โดยเรียงจากมากไปน้อยพบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านความสัมพันธ์มากที่สุด รองลงมาคือด้านความสำคัญ และด้านหลักการ ตามลำดับ การที่ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านหลักการน้อยที่สุดในสามด้าน อาจเนื่องมาจากการคิดวิเคราะห์ด้านหลักการมีความสลับซับซ้อนมาก นักเรียนจะต้องมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานในเรื่องนั้นเป็นอย่างดีประกอบกับต้องมีความสามารถในการหาความสัมพันธ์ เชิงเหตุผลเพื่อเชื่อมโยงสิ่งที่

เกิดขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Nakphong (2019) พบว่า ผู้เรียนมีคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านหลักการน้อยที่สุด เนื่องจากผู้เรียนยังขาดความเข้าใจของหลักการในสถานการณ์ต่าง ๆ ยังไม่สามารถหาเหตุผลในการเชื่อมโยงข้อมูลต่าง ๆ ไปสู่หลักการของสถานการณ์ได้

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่านักเรียนส่วนใหญ่จะมีคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ที่สูงขึ้นแต่พบว่านักเรียนจำนวน 2 คนที่มีคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์หลังเรียนไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจเกิดจากบุคคลที่มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์จะต้องเป็นคนช่างสังเกต ช่างสงสัย และยังมีพื้นฐานในการฝึกการเชื่อมโยงเรื่องราวหรือเหตุการณ์ต่าง ๆ สามารถวิเคราะห์ประเด็นย่อย ๆ นำไปสู่ประเด็นหลักหรือแก่นของสิ่งต่าง ๆ ได้ จึงควรออกแบบหรือเพิ่มเติมกิจกรรมที่สามารถฝึกหลักการพื้นฐานของการคิด โดยเน้นที่ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางของกิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ผ่านการลงมือปฏิบัติ (Decha, 2018)

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์สามารถยกระดับการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนให้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบของการคิดวิเคราะห์พบว่า นักเรียนมีคะแนนผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในทุก ๆ ด้าน จึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนต่อไป

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ส่งผลต่อทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
2. ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ที่เน้นการคิดวิเคราะห์ส่งผลต่อทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด ในส่วนของการจัดการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของฮอร์โมนหรือสารที่สามารถเร่งการงอกของเมล็ดนั้น ต้องใช้ผลไม้สุกเป็นวัตถุดิบในการทำการทดลอง ซึ่งเป็นอาหารของสัตว์ต่าง ๆ เช่น แมลงหวี่ แมลงวัน และหนู เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายควรรวหาภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดในการทำการทดลอง
2. อาจเพิ่มเติมกิจกรรมที่ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์ในทุกขั้นของการจัดการเรียนรู้ เพื่อฝึกให้ผู้เรียนได้ฝึกการคิดวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ผู้เรียนทุกคนสามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้ทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านหลักการน้อยที่สุด ผู้วิจัยมีแนวทางในการปรับกิจกรรมอย่างไรเพื่อให้ทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านหลักการมีคะแนนมากขึ้น

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้มีการขออนุญาตผู้เข้าร่วมวิจัยและปิดบังรายชื่อของผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนโดยผู้วิจัยได้คำนึงหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย และหลักความยุติธรรม (Justice)

References

- Budsankom, P., Sawangboon, T., Damrongpanit, S., and Chuensiramongkol, J. (2015). Factors affecting higher order thinking skills of students: A meta-analytic structural equation modeling study. *Educational Research and Reviews*, 10(19), 2639-2652.
- Decha, S. (2018). Development of scientific achievement and analytical thinking for cell biology of organisms for grade 10 students using the 7E learning cycle emphasizing the level of inquiry (in Thai). *Master's Thesis*. Chonburi: Burapha University.
- Elder, L., & Paul, R. (2019). *The thinker's guide to analytic thinking: How to take thinking apart and what to look for when you do*. Rowman & Littlefield.
- Kemmis, S & McTaggart, R. (1988). *The Action Research Planer (3rd ed.)*. Victoria: Deakin University
- Khemmani, T. (2011). Analysis, Synthesis, Creative and Critical Thinking Skills: Integration in Teaching-Learning Plan (in Thai). *The Journal of the Royal Institute of Thailand*, 36(2), 188-204.

- Nakphong, P. (2019). The development of analytical thinking skills of seventh-grade students by using problem-based learning and STAD technique (in Thai). **Master's Thesis**. Nakhonprathom: Silpakorn University.
- Porntrai, S. (2014). Developing academic achievement in life and environment topics using science inquiry learning emphasizing analytical thinking (in Thai). **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**, 5(1), 11-20.
- Prasertsan, S. (2012). **Research-Based Project: New Learning Process for Thai Education** (in Thai). Bangkok: Thailand Research Fund.
- Saenpan, V. (2010). **Knowledge of science and process of learning design in science** (in Thai). Bangkok: Ramkhamhaeng University Press.
- Santos, L. F. (2017). The role of critical thinking in science education. **Journal of Education and Practice**, 8(20), 159-173.
- Seepaong, C., Sirisawat, C. and Chauvatcharin, N. (2019). The development of grade 11 students' Biology concepts of the endocrine system and scientific analytical thinking by using brain-based learning (in Thai). **Journal of Inclusive and Innovative Education**, 3(1), 1-11.
- Songserm, M. (2018). The development of a biology instructional model to enhance analytical thinking critical thinking and problem-solving thinking skills of mathayomsuksa six students (in Thai). **Doctoral Dissertation**. Chonburi: Burapha University.
- Theabthueng, P., Khamson, J. and Worapun, W. (2022). The Development of Grade 8 Student Analytical Thinking and Learning Achievement Using the Integrated Problem-Based Learning and Think-Pair-Share Technique. **Journal of Educational Issues**, 8(1), 420-429.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2022). PISA 2022 (in Thai). Retrieved 15 March 2023. from <https://pisathailand.ipst.ac.th/news-21/>



A Study of Students' Behavior and Satisfaction of Learning Activities by Active Learning

Upsorn Inthisaeng¹, Sompong Valuvanathorn¹ Chanchai Supaartagorn¹, Worayoot Wongnin¹,
Tawatchai Salangsingha^{1,*} and Phimonsinee Udomphun²

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

² International Business Management Program, Ubon Ratchathani Business School, Ubon Ratchathani University

*E-mail : tawatchai.s@ubu.ac.th

Received <15 July 2024>; Revised <4 September 2024>; Accepted <6 September 2024>

Abstract

The objectives of this research were twofold: 1) to study the behavior and survey students' satisfaction with teaching and learning activities in the form of active learning in the course "Information Technology for Digital Life" at Ubon Ratchathani University; 2) to investigate the learning achievement of students enrolled in this course. This quantitative research employed a questionnaire for data collection, with reliability verified using Cronbach's alpha coefficient analysis, yielding a value of 0.96. The sample comprised 255 students enrolled in the course during semester 2/2023. Statistical analyses included percentage, mean, standard deviation, t-Test, and F-Test. The results showed that many respondents were female, affiliated with the Faculty of Management Science, the Faculty of Arts, the Faculty of Law, and the Faculty of Science. In terms of student achievement, learners had a significantly higher average post-study score compared to the pre-study score, with a significance level of 0.05. The assessment of students in behavioral studies revealed the highest scores, with a mean of 4.30 and a standard deviation of 0.48. Similarly, student satisfaction was rated highly, with a mean of 4.31 and a standard deviation of 0.47. Satisfaction with the physical characteristics of the classroom was also high, with a mean of 4.17 and a standard deviation of 0.53. Furthermore, the study discovered differences based on gender and faculty affiliation. These differences impacted students' perceptions of behavior and their level of satisfaction with active learning activities. However, gender did not significantly influence perceptions of satisfaction with the physical characteristics of the classroom at the 0.05 level. Faculty affiliation had a significant impact on opinions about behavior and satisfaction with active learning activities at the 0.05 level. Based on the results, the university developed a learning process that emphasizes the participation of learners in teaching and learning activities. This approach aligns with the policy on developing teaching and learning processes for the 21st century, promoting more effective learning and self-development among students. Therefore, the findings suggest that active learning methodologies can significantly enhance student engagement and achievement. This research contributes valuable insights into the implementation of active learning strategies in higher education.

Keywords: Digital technology, learning and teaching activity, active learning, learning in the 21st century

การศึกษาพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษา ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแบบเชิงรุก (Active Learning)

อัปสร อินทิแสง¹ สมปอง เวฬุวนาร¹ ชาญชัย ศุภอรธกร¹ วรยุทธ วงศ์นิล¹

ธวัชชัย สलगสิงห์^{1,*} และ พิมลสินี อุดมพันธ์²

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²สาขาการจัดการจัดการธุรกิจระหว่างประเทศ คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*E-mail : tawatchai.s@ubu.ac.th

รับบทความ: 15 กรกฎาคม 2567 แก้ไขบทความ: 4 กันยายน 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 6 กันยายน 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมและสำรวจความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก กรณีศึกษา รายวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2) เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัล การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวม คือแบบสอบถาม โดยมีค่าความเชื่อมั่นด้วยวิธี วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เท่ากับ 0.96 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คือ นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัล ภาคเรียนที่ 2/2566 จำนวน 255 คน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน t-Test และ F-Test ผลการวิจัยพบว่า 1) ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คณะที่สังกัด คือ คณะบริหารศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ คณะนิติศาสตร์ และ 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนพบว่าผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ ผลประเมินของนักศึกษา ในด้านที่ 1 การศึกษาพฤติกรรม อยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่ 2 ความพึงพอใจของนักศึกษา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่ 3 ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53 อยู่ในระดับมากที่สุด 3) ความแตกต่างของเพศและคณะที่นักศึกษาสังกัด พบว่า เพศ ที่แตกต่างกัน มีผลต่อความความคิดเห็นเกี่ยวกับพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก เพศที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และ คณะที่นักศึกษาสังกัดที่ต่างกัน มีผลต่อความคิดเห็นเกี่ยวกับพฤติกรรมและความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก อย่างมีนัยสำคัญที่ .05 ดังนั้นจากผลการวิจัยนี้ ทำให้มหาวิทยาลัยได้พัฒนากระบวนการเรียนรู้อย่างที่เน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการจัดการเรียนการสอนและเป็นการตอบสนองต่อนโยบายด้านการพัฒนากระบวนการเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถพัฒนาตนเอง และส่งผลให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสารสนเทศ ชีวิตยุคดิจิทัล การเรียนการสอนแบบเชิงรุก การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

บทนำ

การศึกษาในศตวรรษที่ 21 มุ่งเน้นการพัฒนาคุณภาพชีวิตและการศึกษาในแต่ละประเทศ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ประชาชนมีชีวิตที่ดีขึ้นและมีโอกาสเรียนรู้ตลอดชีวิต การศึกษาจึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนามนุษย์และสังคม และยังเป็นกุญแจสำคัญในการแก้ปัญหาความขัดแย้งทั่วโลก เพื่อนำพามนุษยชาติสู่ความมั่งคั่งและความเป็นสังคมโลก (Kawirat, 2021) และในยุคข้อมูลข่าวสารปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศได้พัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้การสื่อสารไร้พรมแดนและการเข้าถึงข้อมูลสามารถทำได้ทุกที่ทุกเวลา ส่งผลให้ผู้เรียนต้องมีการเรียนรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่องและแสวงหาความรู้อยู่ตลอดเวลา ด้วยปริมาณองค์ความรู้ใหม่ที่เกิดขึ้นทุกวินาที ทำให้เนื้อหาวิชามีมากเกินไปที่จะเรียนรู้ในห้องเรียนได้หมด การสอนแบบดั้งเดิมจึงไม่สามารถพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครูอาจารย์จึงต้องปรับเปลี่ยนวิธีการสอนให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสังคมและเทคโนโลยี และเปลี่ยนบทบาทจากผู้ถ่ายทอดความรู้เป็นผู้แนะนำการค้นคว้า เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้สามารถแสวงหาความรู้และประยุกต์ใช้ทักษะต่าง ๆ ได้ด้วยตนเองจนเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย (Inbua, 2017) การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เศรษฐกิจ การค้า ความสมดุลของสิ่งแวดล้อมและพลังงาน และสังคมผู้สูงอายุ ทำให้คนในยุคศตวรรษที่ 21 ต้องมีทักษะสูงในการเรียนรู้และปรับตัว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาได้ตระหนักถึงความสำคัญในการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักศึกษาในอนาคต จึงได้ระบุทักษะที่สำคัญในคู่มือการประกันคุณภาพการศึกษาระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2557 ได้แก่ ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี และทักษะชีวิตและอาชีพ การพัฒนาทักษะเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักศึกษาในการดำรงชีวิตและทำงานอย่างมีความสุขและประสบความสำเร็จ มหาวิทยาลัยจึงมีบทบาทสำคัญในการพัฒนานักศึกษาให้พร้อมสู่อนาคต (Ministry of Education, Office of the Education Council, 2014)

การเรียนการสอนแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) เป็นการจัดการเรียนการสอนที่เน้นพัฒนากระบวนการเรียนรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนประยุกต์ใช้ทักษะและความรู้ในการแก้ปัญหาและประกอบอาชีพในอนาคต โดยใช้เทคนิคการสอนที่หลากหลายเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในชั้นเรียน ส่งเสริมการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและผู้สอน การจัดการเรียนรู้เชิงรุกจึงเป็นการจัดการเรียนการสอนที่สนับสนุนให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะตามความเปลี่ยนแปลงของสังคมปัจจุบัน (Ribeiro and Passos, 2020; Tantasawat *et al.*, 2019) การจัดการเรียนรู้เชิงรุกเป็นการเน้นพัฒนาผู้เรียน รูปแบบการเรียนการสอนที่เน้นการทำกิจกรรมในห้องเรียนแทนการบรรยายเนื้อหา นั่นคือกิจกรรมต่าง ๆ จะเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการคิด วิเคราะห์ และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการแก้ปัญหา กระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในชั้นเรียน ส่งเสริมปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียนและผู้เรียนกับผู้สอน ซึ่งรูปแบบดังกล่าวจะสนับสนุนให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองได้ และสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ ได้ (Binoy, 2024; Odabasi and Kolburan, 2013) มีผู้ให้คำนิยามความหมายของการจัดการเรียนรู้เชิงรุกไว้หลากหลาย เช่น กิจกรรมที่ผู้เรียนทำเพื่อพัฒนาความรู้และความเข้าใจ กิจกรรมการเรียนการสอนที่ให้ผู้เรียนได้ลงมือทำและคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ตนเองกำลังทำอยู่ กระบวนการที่ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม ซึ่งขึ้นกับผู้เรียนได้สะท้อนคิดกับความรู้และสะท้อนคิดว่าตนเองใช้ความรู้นั้นอย่างไรบ้าง หรือ วิธีการสอนใด ๆ ก็ตามที่ทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้และมีปฏิสัมพันธ์กับกิจกรรมการเรียนรู้อีกผ่านการปฏิบัติหลากหลายรูปแบบ (Chamchoi *et al.*, 2023)

การเรียนการสอนแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก เป็นทักษะการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่ช่วยพัฒนาผู้เรียนให้มีส่วนร่วมเพื่อทำความเข้าใจด้วยตนเองหรือร่วมกันกับเพื่อน ผู้เรียนจะได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ อันจะนำไปสู่การสร้างความรู้จากสิ่งที่ปฏิบัติในระหว่างการเรียนการสอนโดยการพูด และการฟัง การเขียน การอ่าน และการสะท้อนความคิด และ เป็นแนวการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อสร้างศักยภาพสูงสุดแก่ผู้เรียน ให้เกิดความคิดสร้างสรรค์และพัฒนาความเชื่อมั่นในตนเอง ผู้เรียนเป็นผู้ลงมือกระทำ โดยการพูดคุย การเขียน การอ่าน การสะท้อน หรือ การตั้งคำถาม หรือการเรียนการสอนที่มีความเคลื่อนไหว ใช้ได้ทั้งกลุ่มเล็ก และห้องเรียนใหญ่ ๆ ผู้เรียนอาจทำงานคนเดียวหรือทำเป็นกลุ่มก็ได้ แต่ในการนำการเรียนรู้เชิงรุกไปใช้ในการเรียนการสอนนั้นจะต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสอน ซึ่งรูปแบบที่เหมาะสมนั้นอาจจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น การเรียนรู้เชิงรุกจะใช้ได้ผลดีเมื่อผู้เรียนสามารถรับผิดชอบการศึกษาด้วยตนเองได้ และมีความกระตือรือร้นที่จะคิด วิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ ซึ่งผู้เรียนบางกลุ่มอาจจะไม่ได้มีลักษณะดังกล่าวทำให้การนำรูปแบบการเรียนรู้เชิงรุกไปใช้โดยไม่มีการศึกษารูปแบบที่เหมาะสมกับผู้เรียน อาจจะทำให้การเรียนการสอนไม่ได้ผลเท่าที่ควร มีงานวิจัยหลายงานที่มีการนำการเรียนรู้เชิงรุกมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน เช่น งานวิจัยของ Jiwatan (2021) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสำรวจความพึงพอใจของนักศึกษาต่อห้องเรียนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก และผลกระทบต่อส่งเสริมการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ผลการวิจัยพบว่าความพึงพอใจโดยรวมทุกด้าน ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจห้องเรียนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกมากกว่าห้องเรียนธรรมดา ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของความพึงพอใจต่อลักษณะทางกายภาพโดยรวมของห้องเรียนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกและห้องเรียนธรรมดา ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Sa-ardnak (2013) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง ทักษะจากการเรียนรู้ในศตวรรษ

ที่ 21 คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร กรณีศึกษา รายวิชาการใช้ประโยชน์จาก เทคโนโลยีและนวัตกรรม. ผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาทำให้ผู้เรียนมีพัฒนาการในด้านทักษะต่างๆ เพิ่มขึ้น ได้แก่ ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี ทักษะสารวิชาหลัก และระบบสนับสนุนการเรียนรู้

Bailey *et al.* (2023) ได้ทำการศึกษา การจัดการเรียนรู้เชิงรุก: การทบทวนการศึกษามหาวิทยาลัยเชิงรุกของยุโรป (Active Learning: A Review of European Studies of Active Lessons) บทความวิชาการนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการจัดการเรียนรู้เชิงรุกในห้องเรียนของโรงเรียน ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบว่า กิจกรรมทางกายสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการเรียนรู้ โดยเฉพาะกิจกรรมทางกายที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการเคลื่อนไหว ผลการศึกษาพบว่า งานวิจัยสนับสนุนสมมติฐานหลักที่ว่านักเรียนในสภาวะการจัดการเรียนรู้เชิงรุกมีประสิทธิภาพดีกว่าและกิจกรรมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ในเชิงบวกและตัวแปรด้านกายภาพหรือสิ่งแวดล้อมของห้องเรียน คือ ทางกายสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการเรียนรู้ คณะผู้วิจัยจึงได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ดังที่มีการระบุไว้ในแผนพัฒนามหาวิทยาลัย อุบลราชธานี ระยะที่ 5 ปี (พ.ศ. 2563-2567) ในยุทธศาสตร์ที่ 1 ผลลัพธ์ที่ดีให้มีคุณภาพอย่างโดดเด่น และพัฒนากำลังคนให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลก ตามเป้าประสงค์ข้อที่ 1 พันธกิจมีความสามารถในการบูรณาการองค์ความรู้และทักษะวิชาการ และวิชาชีพพร้อมทำงานและทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลก และข้อที่ 2 พันธกิจมีทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง สามารถสร้างนวัตกรรมหรือการเป็นผู้ประกอบการ (Ubon Ratchathani University, 2020) ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนการจัดการเรียนการสอนและพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ได้เล็งเห็นความสำคัญดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมและสำรวจความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกในรายวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัล ในภาคเรียนที่ 2/2566 ซึ่งผลที่ได้รับจากการวิจัยการศึกษาดังกล่าวและความพึงพอใจครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้น

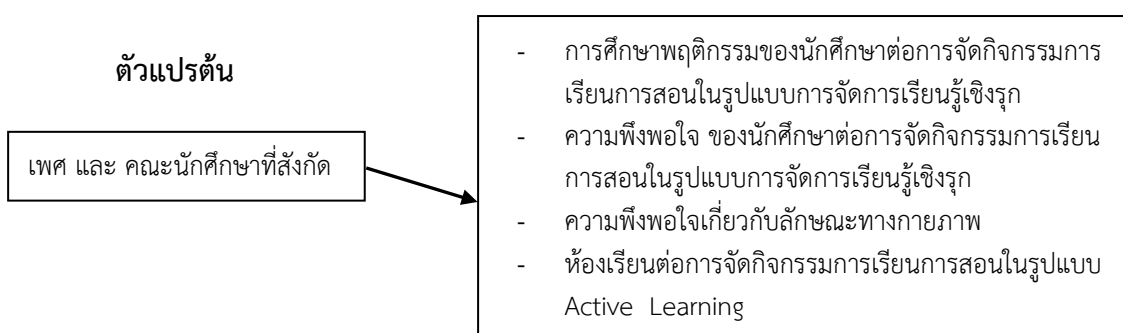
จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น ผู้วิจัยได้กรอบแนวคิดการวิจัยดังภาพที่ 1 โดยมีตัวแปรต้น คือ เพศ และ คณะของนักศึกษา มีตัวแปรตาม คือ การศึกษาพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก โดยมีการตั้งสมมติฐานในการวิจัยทั้งหมด 2 สมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานที่ 1 : เพศของนักศึกษาที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นต่อการศึกษาพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 : คณะที่นักศึกษาสังกัดที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นต่อการศึกษาพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษาและต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 3 : คณะที่นักศึกษาสังกัดที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นต่อเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนและต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่แตกต่างกัน

ตัวแปรตาม



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมและสำรวจความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก กรณีศึกษา รายวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและ หลังเรียน กรณีศึกษา รายวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัล ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยนี้ คือ นักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัลภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 มีจำนวน 699 คน ผู้วิจัยได้ใช้การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างด้วยตาราง Taro Yamane ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง คือ 255 คน และเลือกจากจำนวนสัดส่วนของนักศึกษาตามคณะที่ลงทะเบียน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ส่วนที่ 1 เป็นการสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ลักษณะของแบบสอบถามเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Check-list) ได้แก่ เพศ และ คณะที่นักศึกษาสังกัด

ส่วนที่ 2 เป็นการสอบถามข้อมูล การศึกษาพฤติกรรม ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก และ ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ซึ่งวิธีการกิจกรรมการเรียนการสอนที่เลือกใช้มี ดังนี้ Interactive Lecture , Role Play, Game Base,โดยเลือกกิจกรรมให้เหมาะกับเนื้อหาในแต่ละหัวข้อ เช่น เนื้อหาเรื่อง Digital Literacy ให้นักศึกษาคิดกิจกรรมและมีการแสดงบทบาทสมมติในคลาสเรียน (Role Play) เนื้อหา Application for Presentation ให้นักศึกษาได้ลงมือปฏิบัติจริง (Learning By Doing) และ มีการแสดงความคิดเห็น เสนอแนะผลของงานต่อเพื่อนร่วมชั้นเรียน ด้วยวิธี Think Pair Share หัวข้อ และกิจกรรมอื่น ๆ ตามความเหมาะสมแต่ละเนื้อหา เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอน ให้นักศึกษาประเมินพฤติกรรมและความพึงพอใจโดยใช้แบบสอบถาม ลักษณะของแบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ใช้เกณฑ์ 5 ระดับของลิเคิร์ท (Likert's scale) ดังนี้ 5 หมายถึง ความพึงพอใจมากที่สุด 4 หมายถึง ความพึงพอใจมาก 3 หมายถึง ความพึงพอใจปานกลาง 2 หมายถึง ความพึงพอใจน้อย และ 1 หมายถึง ความพึงพอใจน้อยที่สุด โดยแบบสอบถามนี้ผู้วิจัยได้นำไปทดลองใช้ (Try-out) กับกลุ่มประชากรที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มที่จะศึกษา จำนวน 50 ชุด หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (Reliability) ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) ปรากฏผลได้ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.961 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคมีค่ามากกว่า 0.70 แสดงว่าแบบสอบถามในงานวิจัยครั้งนี้ถือว่าใช้ได้

ส่วนที่ 3 เป็นข้อคำถามจากการสัมภาษณ์และข้อเสนอแนะหรือความคิดเห็นเกี่ยวกับ การศึกษาพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ให้ผู้ตอบแบบสอบถามเขียนบรรยายตอบ

3. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ความถี่และร้อยละ

2. ความคิดเห็นของนักศึกษาเกี่ยวกับ การศึกษาพฤติกรรม ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก และความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ดังนี้

ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
4.21-5.00	มากที่สุด
3.41-4.20	มาก
2.01-3.40	ปานกลาง
1.81-2.00	น้อย
1.00-1.80	น้อยที่สุด

การทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะส่วนบุคคลกับความคิดเห็นเกี่ยวกับ การศึกษาพฤติกรรม ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกและ ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบ Active Learning วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ค่าการทดสอบสมมติฐาน t-test ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent-Sample t-test) และค่าการทดสอบสมมติฐาน One way Anova ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระต่อกันมากกว่า 2 กลุ่ม และทดสอบค่าความแตกต่างเปรียบเทียบเป็นรายคู่ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเชฟเฟ (Scheffe's Multiple Comparison)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 75.30) คณะที่นักศึกษาสังกัด ประกอบด้วย สังกัด คณะบริหารศาสตร์ (ร้อยละ 26.70) คณะนิติศาสตร์ (ร้อยละ 20.00) คณะศิลปศาสตร์ (ร้อยละ 19.60) คณะวิศวกรรมศาสตร์ (ร้อยละ 8.20) คณะวิทยาศาสตร์ (ร้อยละ 7.80) คณะศิลปะประยุกต์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ (ร้อยละ 6.70) คณะเภสัชศาสตร์ (ร้อยละ 4.70) คณะเกษตรศาสตร์ (ร้อยละ 3.90) คณะรัฐศาสตร์ (ร้อยละ 3.40) รายละเอียดดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	63	24.70
หญิง	192	75.30
รวม	255	100.00
คณะที่นักศึกษาสังกัด	จำนวน (คน)	ร้อยละ
คณะบริหารศาสตร์	68	26.70
คณะศิลปศาสตร์	50	19.60
คณะนิติศาสตร์	51	20.00
คณะเภสัชศาสตร์	12	4.70
คณะศิลปะประยุกต์และสถาปัตยกรรมศาสตร์	17	6.70
คณะวิศวกรรมศาสตร์	21	8.20
คณะเกษตรศาสตร์	10	3.90
คณะวิทยาศาสตร์	20	7.80
คณะรัฐศาสตร์	6	2.40
รวม	255	100.00

2. ความคิดเห็นของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก

2.1 ผลการประเมินความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษา

ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ความคิดเห็น ด้านที่ 1 ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่ 2 ความพึงพอใจของนักศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่ 3 ความพึงพอใจ เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53 อยู่ในระดับมาก รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษา

ความคิดเห็นของนักศึกษา	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
การศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	4.30	0.48	มากที่สุด
ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	4.31	0.47	มากที่สุด
ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	4.17	0.53	มาก

3. การทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะส่วนบุคคลกับความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก

3.1 ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก จำแนกตามเพศ ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ความคิดเห็นของเพศชายทั้ง 3 ด้าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.16, 4.24, 4.10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58, 0.56, 0.59 ความคิดเห็นของเพศหญิง มี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34, 4.33, 4.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.43, 0.44, 4.51 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษา และความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในการจัดการเรียนรู้เชิงรุก เพศที่แตกต่างกัน มีผลต่อความความคิดเห็นเกี่ยวกับพฤติกรรม และความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เพศที่แตกต่างกัน ไม่มีผล ต่อความความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 3 การทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความคิดเห็นของ นักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกจำแนกตามเพศ

ความคิดเห็นของนักศึกษา	เพศชาย		เพศหญิง		t	p
	X	S.D.	X	S.D.		
การศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	4.16	0.58	4.34	0.43	-2.6	0.004
ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	4.24	0.56	4.33	0.44	-1.32	0.011
ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	4.10	0.59	4.20	0.51	-1.24	0.113

3.2 ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับ ลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก จำแนกตามคณะ ที่นักศึกษาสังกัด

3.2.1. ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับ ลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก จำแนกตามคณะ ที่นักศึกษาสังกัด ผลการศึกษพบว่าคณะที่นักศึกษาสังกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อความความคิดเห็นเกี่ยวกับพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบความคิดเห็นของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก จำแนกตามคณะที่นักศึกษาสังกัด

ความคิดเห็นของนักศึกษา	F-Value	P-Value
การศึกษาพฤติกรรมของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	11.32	.000
ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	13.36	.000
ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก	11.55	.000

3.3 ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก การประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในการจัดการเรียนรู้เชิงรุก คณะผู้วิจัยได้นำไปให้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้เรียนในรายวิชา จำนวน 255 คน ทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเพื่อวัดประสิทธิผลของการเรียน สรุปได้ว่า ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนโดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีผลดังแสดงใน ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาจากการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก

การทดสอบ	คะแนนเต็ม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	p
ก่อนเรียน	20	13.74	2.84	.000
หลังเรียน	20	16.17	2.77	

สรุปข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษาและความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก พบว่า เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน ทั้ง 3 ด้าน คือ ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรมความพึงพอใจของนักศึกษา และความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพ ห้องเรียน ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ความคิดเห็นด้านที่ 1 ความคิดเห็นของการศึกษาพฤติกรรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่ 2 ความพึงพอใจของนักศึกษา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านที่ 3 ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53 อยู่ใน ระดับมากจากผลการวิจัยนี้จะเห็นว่า กระบวนการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก เป็นการส่งเสริม โดยการส่งเสริมให้อาจารย์นำไปใช้เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพ และ สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสังคม และการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีโดยอาจารย์ควรมีการปรับเปลี่ยนจากผู้สอนมาเป็น ผู้ถ่ายทอด ผู้ชี้แนะ แนะนำวิธี การค้นคว้าหาความรู้เพื่อพัฒนาผู้เรียน และ ผู้เรียนมีการปรับเปลี่ยนกระบวนการเรียนการสอนให้สามารถแสวงหา ความรู้ได้ด้วยตนเอง การทำงานร่วมกับผู้อื่น และการทำงานเป็นทีมได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของ Bojoras, Jiruphan and Chotchanchuek (2017) พบว่า การจัดการเรียนการสอนแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ส่งเสริมให้ผู้เรียน สามารถพัฒนาตนเองได้ตามศักยภาพ และกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความสนใจอยากเรียนรู้ในส่วนของเนื้อหามากยิ่งขึ้น และ งานวิจัยของ Sriurai and Banterng (2019) พบว่า รูปแบบระบบสนับสนุนการปฏิสัมพันธ์ในชั้นเรียนที่นำมาใช้ทำให้ผู้เรียนมีความสนใจในเนื้อหาการเรียนและมีส่วนร่วมทาง การเรียนดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเรียนการสอนแบบเชิงรุกช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะ การเรียนรู้ในหลายด้าน ที่ส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนในศตวรรษที่ 21

ในการทดสอบสมมติฐานลักษณะส่วนบุคคลต่างกันเพศที่แตกต่างกันมีความคิดเห็นต่อการศึกษาศาสตร์ พฤติกรรมความ พึงพอใจของนักศึกษา และ ความพึงพอใจเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพห้องเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ในรูปแบบ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ไม่แตกต่างกัน และคณะที่นักศึกษาสังกัดที่แตกต่างกัน มีผลต่อความความคิดเห็น เกี่ยวกับพฤติกรรม ของ นักศึกษา ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก แตกต่างกัน ใน 2 คณะ คือ คณะบริหาร ศาสตร์และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะที่นักศึกษาสังกัดที่แตกต่างกันมีผลต่อความความคิดเห็น ความพึงพอใจ ของนักศึกษาต่อ การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกแตกต่างกัน ใน 3 คณะ คือ คณะบริหารศาสตร์ กับคณะ ศิลปะประยุกต์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ และ คณะบริหารศาสตร์กับคณะวิศวกรรมศาสตร์ สอดคล้องกับ Jiwatan (2021) ที่ได้ ทำการสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษา โดยผลวิจัยพบว่า นักศึกษา มีความพึงพอใจ ลักษณะห้องเรียนแบบการจัดการเรียนรู้ เชิงรุก มากกว่าห้องเรียนธรรมดา โดยภาพรวมในทุกด้าน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ สมมติฐาน ความแตกต่างของความพึง พึงพอใจต่อลักษณะทางกายภาพโดยรวมของห้องเรียนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก และห้องเรียนธรรมดา ที่มีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ และ Boonruangroj (2017) ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง กระบวนการพัฒนาครูด้านการจัดการเรียนรู้แบบหน่วยบูรณา การการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ผลการวิจัยพบว่า กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบหน่วย บูรณาการการจัดการเรียนรู้เชิงรุกสามารถ ยกย่อง คุณภาพผู้เรียนตามเป้าหมายประเทศไทย 4.0 สูงขึ้นตามเป้าหมายของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จากการผลการวิจัย การ ทดสอบ สมมติฐาน เพศ เพศที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความความคิดเห็นเกี่ยวกับ พฤติกรรมและความพึงพอใจ ของนักศึกษาต่อ การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก คณะที่นักศึกษา สังกัดที่แตกต่างกัน มีผลต่อความความ

คิดเห็นเกี่ยวกับพฤติกรรม และ ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียน การสอนในรูปแบบ การจัดการเรียนรู้เชิงรุกในบางคณะ ซึ่งผลการวิจัยนี้สะท้อนให้เห็นว่านักศึกษาทุกเพศและทุกคณะ เห็นความสำคัญ ของการจัดการเรียนการสอนแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกและมหาวิทยาลัยควรส่งเสริมให้มีการจัดการเรียนการสอนแบบเชิงรุกทั้ง ห้องเรียนที่มีจำนวนนักศึกษาน้อยไปหามากซึ่งประเด็นนี้เป็นเรื่องที่สำคัญที่จะช่วยผลักดันให้มหาวิทยาลัยมีวิธีการจัดการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอต่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. เนื่องจากงานวิจัยนี้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาที่ลงทะเบียนในรายวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อชีวิตยุคดิจิทัล ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างของโรงเรียนเพียง 1 วิชา ทำให้ผลการวิจัยที่ได้ทราบเพียงบางส่วน ซึ่งอาจจะไปครอบคลุมในทุกหมวดวิชา ดังนั้น ผู้วิจัยขอเสนอให้กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษา ในรายวิชาอื่น ๆ เพื่อให้ได้ทราบข้อมูลที่หลากหลาย ทั้ง ขนาด ห้องเรียนขนาดเล็ก ห้องเรียนขนาดกลาง และ ห้องเรียนขนาดใหญ่ อาจทำให้มีความคิดเห็นที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ เพื่อจะได้นำผลการวิจัยไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการเรียนการสอนให้เหมาะสมในประเด็นต่าง ๆ ต่อไป

2. เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความคิดเห็นของพฤติกรรมและความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียน การสอนในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกโดยเป็นการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคที่หลากหลาย ถ้าหากมีการวิจัยครั้งต่อไป สามารถวิเคราะห์เฉพาะเทคนิคที่เฉพาะเจาะจง เช่น ใช้เทคนิค Case study, Project based Learning, Problem based learning และอื่น ๆ เพื่อจะได้ทราบว่า เทคนิคการจัดการเรียนรู้เชิงรุกแบบใด ที่เหมาะกับนักศึกษากลุ่มใด และ เพิ่มการใช้สถิติ การวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงลึกมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือสนับสนุนจากงบประมาณสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการเรียนการสอนจาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สำนักงานส่งเสริมบริหารงานวิจัยบริการวิชาการและทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบความถูกต้อง และ ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางการทำวิจัย ในครั้งนี้ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมสอน และ ขอขอบคุณนักศึกษาที่ช่วยให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์สำหรับวิเคราะห์ และสรุปผลข้อมูลวิจัยจนกระทั่งสำเร็จด้วยดี

จริยธรรมการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี หมายเลขใบรับรอง UBU - REC -103 /2566

References

- Bailey, R., Ries, F., Heck, S. and Scheuer, C. (2023). Active learning: A review of European studies of active lessons. *Sustainability*, 15(4), 3413.
- Binoy, S. (2024). Transforming education: Enhancing student performance and satisfaction through the flipped classroom method. *American Journal of Education and Technology*, 3(1), 35–45.
- Bojoras, R., Jiruphan, T. and Chotchanchuek, K. (2017). Learning management system via active learning in calculus I (in Thai). *Proceeding of The 11th UBU Research Conference*. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani university.
- Boonruangroj, C. (2017). The process of developing teachers in integrated active learning by Office of Suphanburi Primary Educational Service Area 1 (in Thai). *Research Report*. Bangkok: Office of the Basic Education Commission, Ministry of Education.
- Chamchoi, P., Methasook, A., Khongsap, K. and Jomnam, S. (2023). *Active learning: Learning with heart, brain, and hands* (in Thai). Pathum Thani: Faculty of Learning Sciences and Education, Thammasat University.

- Inbua, C. (2017). **Active learning instructional methods in the course of Politics and Public Policy** (in Thai). Pattani: Mahachulalongkornrajavidyalaya University, Pattani Campus.
- Jiwtan, P. (2021). A comparative study of satisfaction, impacts, and learning behaviors from using an active learning classroom (in Thai). **Research Reports**. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology.
- Kawirat, K. (2021). The Development Of Active Learning For Enhancing The Creative Problem Solving In Curriculum And Curriculum Development Subject Of Graduate Diploma program in Teaching Profession Students (in Thai). **Journal of Education Silpakorn University**, 19(1), 89-101.
- Ministry of Education, Office of the Education Council. (2014). Guidelines for developing Thai education and preparing for the 21st century (in Thai). Bangkok: Prikwarn Graphic Co., Ltd.
- Odabasi, B. and Kolburan, G. (2013). Employment of active learning in classroom management and its effect on students' academic success. **The International Journal of Research in Teacher Education**, 4(1), 23-29.
- Ribeiro, M. I. C. and Passos, O. M. (2020). A study on the active methodologies applied to teaching and learning process in the computing area. **IEEE Access**, 8, 219083–219097.
- Sa-ardnak, A. (2013). Skills from learning management in the 21st century (in Thai). **Proceeding of The 1st National Conference on Educational Research**. Bangkok: Silpakorn University.
- Sriurai, W. and Banterng, A. (2019). The model of interaction support system development in classroom for the 21st century active learning (in Thai). **Journal of Science and Technology Ubon Ratchathani University**, 21(1), 136-145.
- Tantasawat, P. A., Srisawat, S., Damsugree, N., Thepwichit, A. and Tittabutr, P. (2019). Attitudes toward using e-courseware in a flipped classroom teaching and learning approach of Suranaree University of Technology students in the application of biotechnology in crop production course. In **Proceeding of The 3rd International Conference on Education and Multimedia Technology** (pp.206-241). New York: Association for Computing Machinery.
- Ubon Ratchathani University. (2020). Ubon Ratchathani University strategic plan (2020-2024) (in Thai). Retrieved June 8, 2023. from **Ubon Ratchathani University**: <https://www.ubu.ac.th/>.



Determining the speed of sound in air using a flute and vote musical instrument for high school students

Thussanaporn Wongkhamchan¹ and Kanchaya Honglertkongsakul^{1,*}

¹*Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University*

**Email: kanchaya@go.buu.ac.th*

Received <23 April 2024>; Revised <12 July 2024>; Accepted <15 July 2024>

Abstract

Experimenting to determine the speed of sound in air is one of the physics experiments involving theory and calculations. Teaching focuses only on theory; students may not understand and could become bored. Teaching incorporating modern equipment or musical instruments can enhance students' interest and enjoyment in learning. Therefore, this research aims to create an experiment to find the speed of sound in air using a flute and vote, and the sound frequency produced by each note will be measured using a smartphone. Flute is an example of open-ended tube resonance and vote is an example of close-ended tube resonance. In an experiment, the relationship between the length of the resonating tube (L) and the sound frequency (f) will be used to create a graph and calculate the speed of sound. In the analysis, the experimental values of the speed of sound in air will be compared with its theoretical values. The experimental results show that the speed of sound from flute and vote is 345.38 m/s and 348.03 m/s respectively. When comparing the obtained values with the theoretical speed of sound, which is 347.26 m/s, it was found that there is a deviation of 0.54% and 0.22%, respectively. This indicates that flute and vote can be effectively used for teaching purposes.

Keywords: Flute and Vote, Musical instrument, The speed of sound

การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศด้วยเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

พรรณนาภรณ์ วงศ์คำจันทร์¹ และ กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล^{1,*}

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

*Email: kanchaya@go.buu.ac.th

รับบทความ: 23 เมษายน 2567 แก้ไขบทความ: 12 กรกฎาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 15 กรกฎาคม 2567

บทคัดย่อ

การทดลองหาอัตราเร็วเสียงในอากาศเป็นการทดลองหนึ่งในวิชาฟิสิกส์ที่มีทั้งทฤษฎีและการคำนวณ การเรียนการสอนแบบทฤษฎีเพียงอย่างเดียวอาจทำให้ผู้เรียนไม่เข้าใจและเกิดความเบื่อหน่ายได้ หากปรับการสอนให้มีการนำอุปกรณ์สมัยใหม่หรือเครื่องดนตรีมาใช้จะทำให้ผู้เรียนสนใจและสนุกกับการเรียนมากขึ้น ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดการทดลองหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากขลุ่ยและโหวด และใช้สมาร์โฟนวัดความถี่เสียงที่ออกมาตามตัวโน้ตที่เป่า ขลุ่ยจะเป็นตัวอย่างของการสั่นพ้องในท่อปลายเปิดและโหวดจะเป็นตัวอย่างของการสั่นพ้องในท่อปลายปิด ในการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของท่อสั่นพ้อง (L) กับความถี่เสียง (f) จะนำไปใช้ในการสร้างกราฟและคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศ ในการวิเคราะห์จะนำค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทางทฤษฎี ผลการทดลองพบว่าอัตราเร็วเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด มีค่าเท่ากับ 345.38 m/s และ 348.03 m/s ตามลำดับ เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราเร็วของเสียงตามทฤษฎี ซึ่งเท่ากับ 347.26 m/s จะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.54 และ 0.22 ตามลำดับ นั่นแสดงว่าขลุ่ยและโหวดสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเรียนการสอนในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายได้

คำสำคัญ: ขลุ่ยและโหวด เครื่องดนตรี อัตราเร็วเสียง

บทนำ

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญต่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากสิ่งต่างๆ รอบตัวมีความเกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ และมีการนำเอาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาพัฒนา ปรับประยุกต์ใช้ ยกย่องวิจิตร ให้เป็นระบบ มีเหตุผล มีความคิดสร้างสรรค์ และคิดวิเคราะห์แบบมีวิจารณญาณ นำไปสู่การพัฒนาทักษะในการค้นคว้าหาความรู้ และใช้ความรู้เพื่อแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ดังนั้นการส่งเสริมให้มีการพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำให้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันนำไปสู่การสร้างสรรค์เทคโนโลยีใหม่ ๆ และการสร้างสังคมแห่งการเรียนรู้ (Office of the Basic Education Commission, 2017)

วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาหนึ่งที่มักนำมาใช้อธิบายสถานการณ์ต่างๆ ในชีวิตประจำวัน วิชานี้จะอาศัยการคำนวณผ่านสมการและตัวแปรจำนวนมาก ทำให้ผู้เรียนส่วนใหญ่คิดว่าเป็นวิชาที่ยาก ไม่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย จึงเกิดความเบื่อหน่ายและท้อถอย ขาดกำลังใจและความกระตือรือร้นในการเรียนวิชาฟิสิกส์ สาเหตุหนึ่งที่น่าไปสู่ความเบื่อหน่ายในการเรียนวิชาฟิสิกส์คือการเรียนการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถสร้างภาพจำจากการฟังการบรรยายได้ โดยสิ่งที่จะทำให้ผู้เรียนสร้างภาพจำได้เป็นอย่างดีคือการเรียนการสอนแบบสาธิตหรือการลงมือปฏิบัติ จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจและเชื่อมโยงความรู้อย่างมีประสิทธิภาพได้เป็นอย่างดี อันส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจอย่างถ่องแท้ ทำให้ลิ้มความรู้ได้ยาก ถึงแม้จะลืมนึกถึงยังคงสังเกต พิสูจน์ และคิดวิเคราะห์สร้างความเข้าใจได้อีกครั้ง (Tiwaree et al, 2018)

เสียงเป็นหนึ่งในเนื้อหาฟิสิกส์สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในเนื้อหาเรื่องเสียงนี้จะมุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดเสียง แหล่งกำเนิดเสียง ความถี่เสียง และอัตราเร็วของเสียงในอากาศ เสียงเป็นคลื่นตามยาวที่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ อัตราเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางได้ทั้ง 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ขณะที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โมเลกุลของอากาศจะมีการสั่นสะเทือนในรูปของคลื่นตามยาว ทำให้ความหนาแน่นและความดันเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการเคลื่อนที่ของเสียง เกิดส่วนอัดและส่วนขยาย ซึ่งส่วนอัด (Compression) คือ บริเวณที่อนุภาคของตัวกลางมีการกระจัดน้อยที่สุดหรือบริเวณที่มีความดันมากที่สุด และส่วนขยาย (Rarefaction) คือ บริเวณที่อนุภาคของตัวกลางมีการกระจัดมากที่สุดหรือบริเวณที่มีความดันน้อยที่สุด (Bodinchart, 2012)

การศึกษาการสั่นพ้องของเสียงเป็นหนึ่งในเนื้อหาที่สำคัญของวิชาฟิสิกส์สำหรับผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย นอกจากนี้ในการออกแบบหรือสร้างเครื่องดนตรีในระดับสูงจะมีการประยุกต์ใช้หลักการสั่นพ้องของเสียงในการสร้างเครื่องดนตรีเหล่านั้น เช่น กีตาร์ และขลุ่ย (Torcal-Milla, 2023) เป็นต้น การใช้เครื่องดนตรีนำมาประกอบการเรียนการสอนในชั้นเรียนนั้นจะช่วยสร้างความสนใจ กระตุ้นความอยากรู้อยากเห็นให้กับผู้เรียนมากกว่าการให้ผู้เรียนอยู่กับตัวเลข หรือสมการของวิชาฟิสิกส์เพียงอย่างเดียว (Lopresto, 2011) ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการจัดการเรียนการสอนที่เน้นให้ผู้เรียนเข้าใจง่าย และกระตุ้นการเรียนรู้ของผู้เรียน จากการฝึกปฏิบัติจริงด้วยการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและใกล้ตัวผู้เรียนคือ เครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด ส่วนเครื่องมือที่ใช้ในการวัดคือโทรศัพท์สมาร์ตโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน และจากการสืบค้นข้อมูลพบว่า การศึกษาเกี่ยวกับการสั่นพ้องของเสียงมักจะเป็นการศึกษาการสั่นพ้องของท่อปลายเปิด หรือปลายปิดเพียงอย่างเดียว เช่น การวิจัยของ Torcal-Milla (2023) ศึกษาการหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ยอินคา (pan flute) ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นพ้องของเสียงเป็นแบบท่อปลายปิด หรือการวิจัยของ Lopresto (2011) ศึกษาการหาระยะคลาดเคลื่อนของท่อสั้นพ้อง (end-correction) และหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรี Boomwhacker ซึ่งมีลักษณะการสั่นพ้องของเสียงเป็นแบบท่อปลายเปิด เป็นต้น จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ยเพียงอย่างเดียวซึ่งมีลักษณะการสั่นพ้องของเสียงเป็นแบบท่อปลายเปิด และเครื่องดนตรีโหวดซึ่งมีลักษณะการสั่นพ้องของเสียงเป็นแบบท่อปลายปิด ค่าอัตราเร็วของเสียงที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราเร็วของเสียงตามทฤษฎี เพื่อนำไปประยุกต์ในการออกแบบชุดทดลองสำหรับการหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศสำหรับใช้ในการเรียนการสอน และเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาการสั่นพ้องของท่อปลายเปิด และปลายปิด ในประเทศไทย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบชุดการทดลองสำหรับการหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด
2. เพื่อหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด
3. เพื่อเปรียบเทียบอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดกับค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศตามทฤษฎี

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ใช้การวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research methodology) ในรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment research) เพื่อหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศของเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด ซึ่งมีทฤษฎีเรื่องความถี่เสียง อุปกรณ์การทดลอง วิธีการทดลอง ผลการวิจัยและอภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย ดังนี้

ทฤษฎีเรื่องความถี่เสียง

ความถี่ของเสียงคือ จำนวนคลื่นเสียงที่ผ่านจุดๆ หนึ่ง ใน 1 วินาที หรือ จำนวนส่วนอัดหรือจำนวนส่วนขยายที่เคลื่อนที่ผ่านจุดๆ หนึ่ง ใน 1 วินาที มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hz) เป็นปริมาณที่บอกระดับความถี่หรือแหลมของเสียง เสียงทุ้มจะเป็นเสียงที่มีความถี่ต่ำ เสียงแหลมจะเป็นเสียงที่มีความถี่สูง (Bodinchart, 2012) การจำแนกเสียงตามความถี่ต่าง ๆ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ (1) เสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วงที่หูของมนุษย์สามารถรับรู้ได้ มีความถี่ในช่วง 20 – 20,000 เฮิรตซ์ (2) เสียงที่มีความถี่ต่ำกว่าช่วงที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า อินฟราโซนิก (Infrasonic wave) มีความถี่ต่ำกว่า 20 เฮิรตซ์ และ (3) เสียงที่มีความถี่สูงกว่าช่วงที่มนุษย์ได้ยินเรียกว่า อัลตราโซนิก (Ultrasonic wave) มีความถี่มากกว่า 20,000 เฮิรตซ์

ทั้งนี้ระดับเสียงเป็นปริมาณที่บอกความแตกต่างของเสียงซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียง ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงการแบ่งระดับเสียงโน้ตดนตรีทางวิทยาศาสตร์ เริ่มจากเสียง โด ที่มีความถี่ 256 Hz ต่อไปเป็นเสียง เร, มี, ฟา, ซอล, ลา และ ที มีความถี่เป็น 288, 320, 341, 384, 427, 480 ตามลำดับ ถัดจากนั้นจะเริ่มเสียง โด' ซึ่งมีความถี่ 512 Hz โดยความถี่ของเสียง โด' เป็น 2 เท่าของเสียง โด เรียกกระดับเสียง โด' นี้ว่า เสียงคู่แปด (octave) ของเสียง โด และในทำนองเดียวกัน ระดับเสียงอื่น ๆ เช่น ระดับเสียง เร' ก็เป็นเสียงคู่แปดของเสียง เร ซึ่ง เร' จะมีความถี่เป็น 2 เท่าของเสียง เร (Niran, 2017) สำหรับเสียง โด'' ที่มีความถี่ 1024 Hz โดยความถี่ของเสียง โด'' เป็น 2 เท่าของเสียง โด' เรียกเสียง โด'' นี้ว่า 2 คู่แปดของเสียง โด เมื่อตัวโน้ตสูง ๆ ขึ้นไป ทุก ๆ คู่แปด ความถี่ของเสียงดนตรีจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าเสมอ (Niran, 2017)

ตารางที่ 1 การแบ่งระดับเสียงดนตรีในทางวิทยาศาสตร์

เสียง	โด (C)	เร (D)	มี (E)	ฟา (F)	ซอล (G)	ลา (A)	ที (B)	โด' (C')
ความถี่ (Hz)	256	288	320	341	384	427	480	512
อัตราส่วนเทียบกับเสียง โด (C)	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ “/” อ่านว่า ไพรม์ คือสัญลักษณ์ที่แสดงถึงความถี่ที่สูงขึ้นของเสียงโน้ตดนตรี

อัตราเร็วของเสียงจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางและอุณหภูมิของตัวกลางที่เสียงเดินทางผ่าน สำหรับเสียงที่เดินทางผ่านอากาศความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของเสียงกับอุณหภูมิของตัวกลางเขียนได้ดังนี้

$$v_t = 331 + 0.6t \quad (1)$$

กำหนดให้ v_t = อัตราเร็วของเสียงที่อุณหภูมิใดๆ มีหน่วยเป็น m/s
 t = อุณหภูมิของตัวกลาง มีหน่วยเป็น $^{\circ}C$

จากสมการ (1) สามารถคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศ ที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ และ $25^{\circ}C$ ได้เท่ากับ $331 m/s$ และ $346 m/s$ ตามลำดับ

การสั่นพ้องของคลื่นเสียงในท่ออากาศเกิดได้จากการรวมกันระหว่างคลื่นเสียงตกกระทบและคลื่นเสียงสะท้อน คล้ายกับการสั่นพ้องของคลื่นในเส้นเชือกที่ปลายทั้งสองตรึงแน่น เมื่อทำให้เชือกสั่นจะเกิดคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปกระทบจุดตรึงแล้วสะท้อนกลับออกไปกลับมาเป็นคลื่นนิ่ง (Niran, 2017) การสะท้อนของคลื่นเสียงจะมีเฟสการสะท้อนขึ้นอยู่กับว่าท่อนั้นเป็นปลายปิดหรือเปิดคล้ายกับเฟสการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่มีปลายตรึงหรือปลายอิสระ ตามลำดับ

กรณีท่ออากาศปลายปิดด้านหนึ่ง อากาศจะไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ เมื่อเสียงเดินทางผ่านอากาศเข้าไปในท่อปลายปิดจะทำให้เสียงมีเฟสสะท้อนกลับ 180 องศา เช่นเดียวกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกปลายตรึง และที่ด้านปลายเปิดนี้อากาศจะอัดตัวมีความดันสูงสุด ทำให้ปลายเปิดเป็นตำแหน่งบัพของการกระจัดของโมเลกุลอากาศ หรือเป็นปฏิบัพของคลื่นความดัน

กรณีท่ออากาศปลายเปิด คลื่นสะท้อนจะมีเฟสเดียวกันกับคลื่นต้นกำเนิด เช่นเดียวกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกปลายอิสระ ทั้งนี้ถือว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นที่ผ่านท่อ ทำให้ด้านปลายเปิดของท่ออากาศเป็นตำแหน่งปฏิบัติของการกระจัดของโมเลกุลอากาศ หรือเป็นบัพของคลื่นความดัน (Parameth, 2016)

ในภาพที่ 1 แสดงการสั่นพ้องในท่อปลายเปิด ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อความยาวของท่ออากาศยาว L ระยะห่างของปฏิบัติที่อยู่ติดกันเท่ากับ $\lambda/2$ พิจารณาการสั่นพ้องในฮาร์โมนิกส์ที่หนึ่ง ของท่อปลายเปิดจะได้ความสัมพันธ์ของความยาวท่อกับความยาวคลื่นเป็น $L = \lambda_1/2$ หรือ $\lambda_1 = 2L$ ดังนั้น ความถี่มูลฐานของการสั่นพ้องในท่ออากาศปลายเปิดที่ยาว L คือ

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L} \quad (2)$$

เมื่อ f_1 คือ ความถี่มูลฐาน มีหน่วย เฮิร์ตซ์ (Hz)

v คือ อัตราเร็วของคลื่น มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ_1 คือ ความยาวคลื่นฮาร์โมนิกส์ที่หนึ่ง มีหน่วย เมตร (m)

L คือ ความยาวท่ออากาศ มีหน่วย เมตร (m)

ส่วนการสั่นพ้องถัดมาที่มีความยาวคลื่นเป็น $\lambda_2 = 2L/2$, $\lambda_3 = 2L/3$ และ $\lambda_4 = 2L/4$ ซึ่งมีความถี่เป็น $f_2 = 2f_1$, $f_3 = 3f_1$ และ $f_4 = 4f_1$ ตามลำดับ ดังนั้นสมการทั่วไปของความถี่ของการสั่นพ้องในท่อปลายเปิดคือ

$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad (n = 1, 2, 3, 4 \dots) \quad (3)$$

หรือ $f_n = n f_1 \quad (n = 1, 2, 3, 4 \dots) \quad (4)$

เมื่อ f_n คือ ความถี่ลำดับฮาร์โมนิกส์ที่ n มีหน่วย เฮิร์ตซ์ (Hz)

n คือ ลำดับฮาร์โมนิกส์ ($n = 1, 2, 3, 4 \dots$)

เนื่องจาก n มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, 4, ... ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การสั่นพ้องในท่ออากาศแบบปลายเปิดมีอนุกรมฮาร์โมนิกได้ตั้งแต่ f_1 (ความถี่มูลฐาน), f_2 , f_3 , f_4 , ..., f_n

ในภาพที่ 2 แสดงการสั่นพ้องในท่อปลายปิด ซึ่งจะเห็นว่าปลายด้านปิดของท่อเป็นตำแหน่งบัพของคลื่นการกระจัด เมื่อเกิดการสั่นพ้องครั้งแรกจะได้ความสัมพันธ์ความยาวท่อกับความยาวคลื่นเป็น $L = \lambda_1/4$ หรือได้ความถี่มูลฐานเป็น

$$f_1 = \frac{v}{4L} \quad (5)$$

เมื่อ f_1 คือ ความถี่มูลฐาน มีหน่วย เฮิร์ตซ์ (Hz)

v คือ อัตราเร็วของคลื่น มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

L คือ ความยาวท่ออากาศ มีหน่วย เมตร (m)

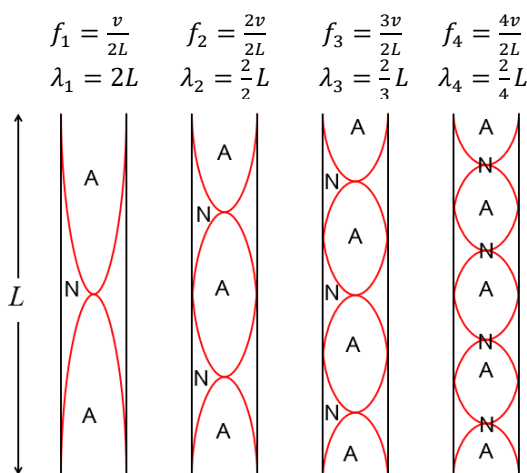
ความถี่มูลฐานนี้จะเป็นครึ่งหนึ่งของความถี่มูลฐานของท่อปลายเปิดที่มีความยาวเท่ากัน ทุก ๆ โอเวอร์โทน (overtone) ของท่อปลายปิดจะมีบัพปลายปิดและปฏิบัติปลายเปิด จึงทำให้ไม่มีฮาร์โมนิกส์ที่ 2, 4, 6, ... และมีฮาร์โมนิกส์ที่เป็นจำนวนคี่เท่านั้น ส่วนการสั่นพ้องถัดมาที่มีความยาวคลื่นเป็น $\lambda_3 = 4L/3$, $\lambda_5 = 4L/5$ และ $\lambda_7 = 4L/7$ ซึ่งมีความถี่เป็น $f_3 = 3f_1$, $f_5 = 5f_1$ และ $f_7 = 7f_1$ ตามลำดับ ดังนั้นสมการทั่วไปของความถี่ของการสั่นพ้องในท่อปลายปิดคือ

$$f_n = n \frac{v}{4L} \quad (n = 1, 3, 5, 7 \dots) \quad (6)$$

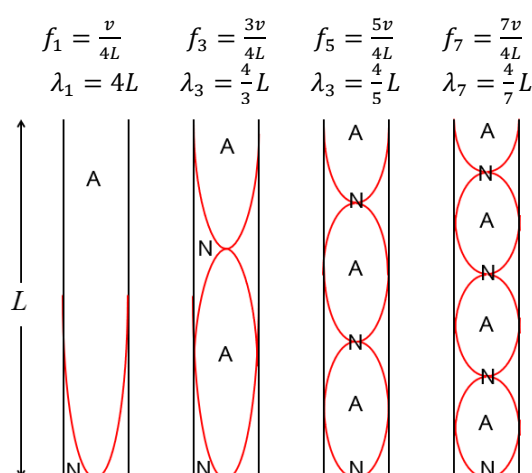
หรือ $f_n = n f_1 \quad (n = 1, 3, 5, 7 \dots) \quad (7)$

เมื่อ f_n คือ ความถี่ลำดับฮาร์โมนิกส์ที่ n มีหน่วย เฮิร์ตซ์ (Hz)

n คือ ลำดับฮาร์โมนิกส์ ($n = 1, 3, 5, 7 \dots$)



ภาพที่ 1 การสั่นพ้องในท่ออากาศปลายเปิดมีความถี่ธรรมชาติทุกฮาร์โมนิกส์ (Bodinchart, 2012)



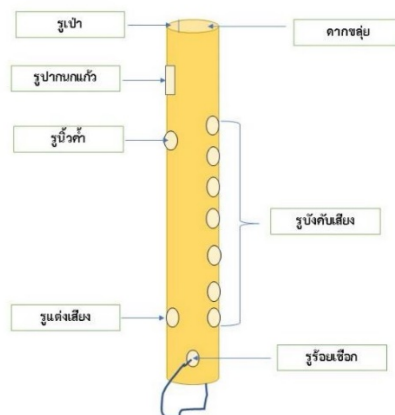
ภาพที่ 2 การสั่นพ้องในท่ออากาศปลายปิดมีความถี่ธรรมชาติเฉพาะฮาร์โมนิกส์ที่เป็นเลขคี่ (Bodinchart, 2012)

การเกิดเสียงของเครื่องดนตรีขลุ่ย (ตัวอย่างการสั่นพ้องในท่ออากาศปลายเปิด)

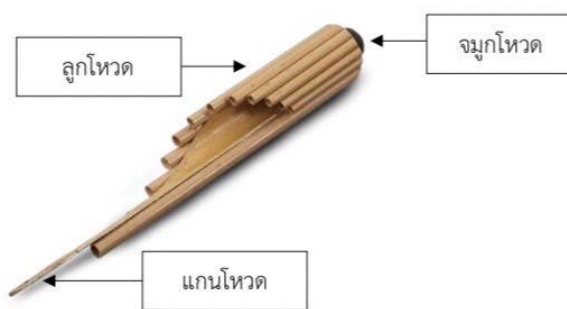
ขลุ่ยเป็นเครื่องดนตรีประเภทเป่าที่มีลิ้น มีส่วนประกอบแสดงในภาพที่ 3 เสียงของขลุ่ยเกิดจากการใช้ลมปากเป่าที่ปลายของเลาขลุ่ยซึ่งมีดากอยู่ ดากคือไม้อุดปากขลุ่ยซึ่งผ่านเป็นช่องเล็ก ๆ ให้ลมผ่านไปยังรูที่เจาะเป็นช่องรับลมจากปลายดาก ภายในขลุ่ยอยู่ด้านเดียวกับรูเป่าจะมีรู ที่เรียกว่ารูปากนกแก้ว รูปากนกแก้วนี้ทำให้เกิดเสียงหรือเทียบได้กับลิ้นของขลุ่ย เลาขลุ่ยจะมีการเจาะรูในระยะห่างต่าง ๆ กันในแต่ละรูเพื่อบังคับเสียงให้เกิดตัวโน้ตต่าง ๆ เมื่อใช้นิ้วปิดรูบังคับเสียงทุกระยะจะทำให้ท่ออากาศยาวเกิดเป็นเสียงต่ำ และเมื่อเปิดนิ้วที่ปิดรูบังคับเสียงทีละนิ้วจะทำให้ท่ออากาศสั้นลงเกิดเป็นเสียงที่สูงขึ้น (Boonsatta, 2014)

การเกิดเสียงของเครื่องดนตรีโหวด (ตัวอย่างการสั่นพ้องในท่ออากาศปลายปิด)

โหวดเป็นเครื่องดนตรีประเภทเป่าที่ไม่มีลิ้น มีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 4 เสียงของโหวดเกิดจากการใช้ลมปากเป่าโดยให้หัวโหวดหรือจุกโหวดอยู่บริเวณคาง ทำรูปปากเป่าให้คล้ายกับการผิวปาก เป่าไปยังลูกโหวดแต่ละลูก ซึ่งลมที่เป่านี้ จะทำให้เกิดการสะท้อนของเสียง โดยบริเวณปลายด้านหนึ่งของลูกโหวดจะถูกอุดด้วยซี่สุด ระดับเสียงสูง-ต่ำของลูกโหวดซึ่งทำให้เกิดเป็นตัวโน้ตต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโหวด และความยาวของลูกโหวด โดยเสียงต่ำที่สุดเกิดจากลูกโหวดที่ใหญ่และยาวที่สุด และเสียงสูงที่สุดเกิดจากลูกโหวดที่มีขนาดเล็กและสั้นที่สุด (Phathong, Chan-on and Danpradit, 2017)



ภาพที่ 3 เครื่องดนตรีขลุ่ยพร้อมส่วนประกอบ (Datkamjon, 2022)



ภาพที่ 4 เครื่องดนตรีโหวดพร้อมส่วนประกอบ (Phonkhate, 2019)

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|---|-----------------|
| 1. เครื่องดนตรีขลุ่ยเพียงออ | จำนวน 1 เล้า |
| 2. เครื่องดนตรีโหวด | จำนวน 1 ดวง |
| 3. ไม้บรรทัด ยาว 30 เซนติเมตร | จำนวน 1 อัน |
| 4. หนัวยาง | จำนวน 1 วง |
| 5. เทอร์มิเตอร์ (Barigo รุ่น B-0344) | จำนวน 1 อัน |
| 6. สมาร์ทโฟนรุ่น 12mini (รับความถี่เสียงในช่วง 20 Hz – 20 kHz)
พร้อมติดตั้งแอปพลิเคชัน Audio/Spectrum Analyzer สำหรับวัดความถี่เสียง | จำนวน 1 เครื่อง |

วิธีการทดลอง

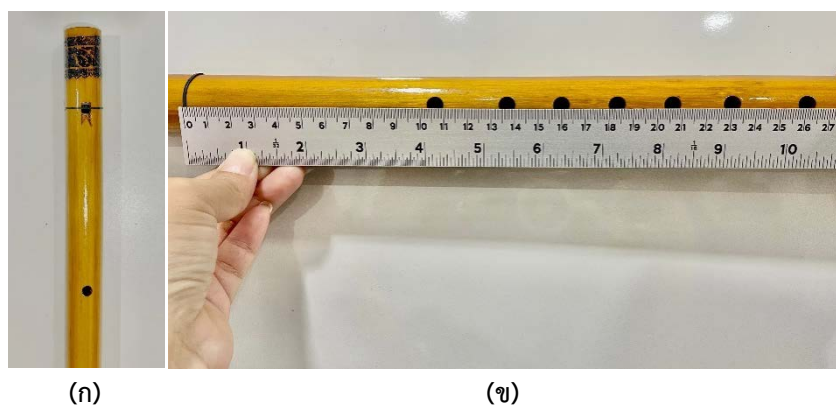
ตอนที่ 1 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศตามทฤษฎี

- ใช้เทอร์มิเตอร์มาวัดอุณหภูมิขณะทำการทดลอง 5 ครั้ง และบันทึกผล พร้อมหาอุณหภูมิเฉลี่ย
- นำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยมาคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศ จากสมการที่ (1) บันทึกผลเป็นอัตราเร็วของเสียงในอากาศตามทฤษฎี (v_t)

ตอนที่ 2 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด

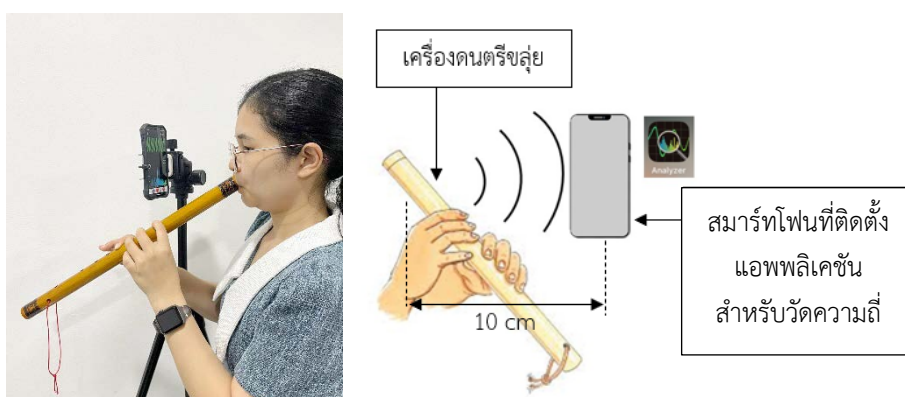
2.1 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ย

- นำหนัวยางมารัดที่จุดกึ่งกลางปากนกแก้วของเครื่องดนตรีขลุ่ย และวัดความยาวของท่อสั้นพ้อง (L) จากหนัวยาง จนถึงรูเปิดในแต่ละตัวโน้ต จำนวน 5 ครั้ง ดังภาพที่ 5 พร้อมหาค่าความยาวเฉลี่ยของท่อสั้นพ้อง (L_{av}) ของแต่ละตัวโน้ต



ภาพที่ 5 (ก) การนำหนังยางมารัดที่จุดวัดกึ่งกลางของปากนกแก้วของเครื่องดนตรีขลุ่ย และ
(ข) การวัดความยาวของท่อสั้นพ้อง (L) จากหนังยางจนถึงรูเปิดในแต่ละตัวโน้ต

- ติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง โดยให้สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน Audio/Spectrum Analyzer ห่างจากปากนกแก้วเป็นระยะประมาณ 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศด้วยเครื่องดนตรีขลุ่ย (Petudom, 2017)

- เป่าเครื่องดนตรีขลุ่ยแต่ละตัวโน้ต และวัดความถี่เสียง (f) ด้วยสมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน 5 ครั้ง เพื่อไปหาค่าความถี่เสียงเฉลี่ย (f_{av}) และหาค่า $\frac{1}{f_{av}}$
- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ โดยให้แกน y เป็นความยาวท่อสั้นพ้อง L_{av} และแกน x เป็น $\frac{1}{f_{av}}$ และคำนวณหาค่าความชัน (slope)
- นำค่าความชัน (slope) ที่ได้ มาคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ย จากสมการที่ (3) $f_n = \frac{nv}{2L}$ (กำหนดให้ $n = 1$) จะได้ $L = \frac{v}{2f_n}$ ซึ่งหากเทียบกับสมการเส้นตรง $y = mx + c$ จะได้ว่า $slope = \frac{v}{2}$ ดังนั้นจะได้อัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ย (v_{ex}) = $2slope$

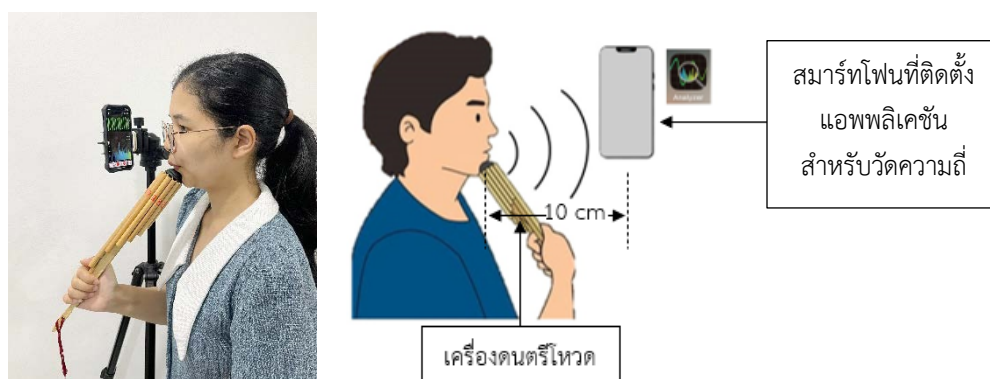
2.2 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีโหวด

- วัดความยาวของท่อสั้นพ้อง (L) จากจมูกโหวดไปถึงปลายลูกโหวดในแต่ละตัวโน้ต จำนวน 5 ครั้ง พร้อมหาค่าความยาวเฉลี่ยของท่อสั้นพ้อง (L_{av}) ของแต่ละตัวโน้ต ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การวัดความยาวของท่อน้ำพอง (L) ในแต่ละตัวโน้ตของเครื่องดนตรีโหวด

- ติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง โดยให้สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน Audio/Spectrum Analyzer ห่างจากจุมูกโหวด เป็นระยะประมาณ 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์ทดลองหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศด้วยเครื่องดนตรีโหวด
(Department of Cultural Promotion, 2021)

- เป่าเครื่องดนตรีโหวดแต่ละตัวโน้ต และวัดความถี่เสียง (f) ด้วยสมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน 5 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าความถี่เสียงเฉลี่ย (f_{av}) และหาค่า $\frac{1}{f_{av}}$
- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ โดยให้แกน y เป็นความยาวท่อน้ำพอง L_{av} และแกน x เป็น $\frac{1}{f_{av}}$ และคำนวณหาค่าความชัน (slope)
- นำค่าความชัน (slope) ที่ได้ มาคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีโหวด จากสมการที่ (6) $f_n = \frac{nv}{4L}$ (กำหนดให้ $n = 1$) จะได้ $L = \frac{v}{4f_n}$ ซึ่งหากเทียบกับสมการเส้นตรง $y = mx + c$ จะได้ว่า $slope = \frac{v}{4}$ ดังนั้นจะได้อัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีโหวด (v_{ex}) = $4slope$

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อน้ำพองจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดกับค่าทางทฤษฎี

หากเปรียบเทียบอัตราเร็วของเสียงในอากาศของเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด (v_{ex}) กับค่าทางทฤษฎี (v_t) จะได้ว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดเทียบกับอัตราเร็วเสียงในอากาศตามทฤษฎี ตามสมการ

$$\Delta v\% = \frac{|v_{ex} - v_t|}{v_t} \times 100\% \quad (8)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศตามทฤษฎี ตอนที่ 2 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อน้ำพองจาก

เครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด และตอนที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดกับค่าทางทฤษฎี รายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศตามทฤษฎี

ในการหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศตามทฤษฎี ผู้วิจัยได้ทำการทดลองวัดอุณหภูมิขณะทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง และนำไปหาอุณหภูมิเฉลี่ย (t) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ย (t) เท่ากับ $27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ดังตารางที่ 2 เมื่อคำนวณค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากสมการ $v_t = 331 + 0.6t$ ที่อุณหภูมิ $27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ $v_t = 331 + 0.6(27.1) = 347.26\text{ m/s}$ ดังนั้น อัตราเร็วของเสียงในอากาศตามทฤษฎี (v_t) เท่ากับ 347.26 m/s

ตารางที่ 2 อุณหภูมิขณะทำการทดลอง

ครั้งที่	อุณหภูมิขณะทำการทดลอง ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)
1	27.0	27.1
2	27.1	
3	27.3	
4	26.9	
5	27.0	

ตอนที่ 2 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด

2.1 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีขลุ่ย

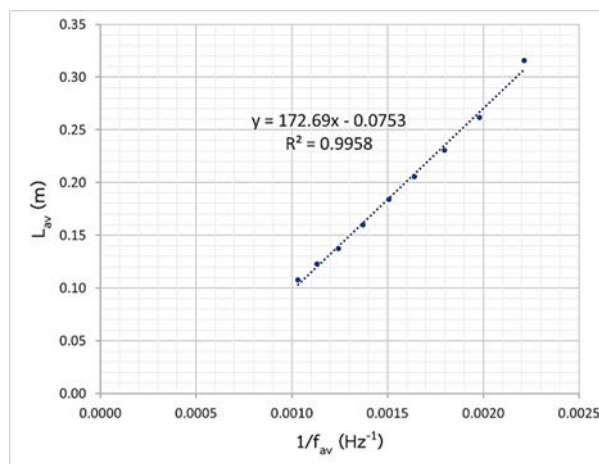
ในการวัดค่าความยาวของท่อสั้นพ้องและความถี่เสียงด้วยแอปพลิเคชันวัดค่าความถี่เสียงบนสมาร์ตโฟนของตัวโน้ต 9 ตัว ของเครื่องดนตรีขลุ่ย ได้แก่ ร'' ด'' ท' ล' ข' พ' ม' ร' ด' ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความยาวเฉลี่ยของท่อสั้นพ้อง (L_{av}) และความถี่เสียงเฉลี่ย (f_{av}) และ $\frac{1}{f_{av}}$ ของเครื่องดนตรีขลุ่ย

ลำดับที่	ตัวโน้ต	$L_{av} (\times 10^{-2}\text{ m})$	$f_{av} (\text{Hz})$	$\frac{1}{f_{av}} (\times 10^{-3}\text{ Hz}^{-1})$	$v = 2Lf$ (m/s)
1	ร''	10.76 ± 0.04	969	1.03	208.53
2	ด''	12.26 ± 0.04	884	1.13	216.76
3	ท'	13.73 ± 0.04	804	1.24	220.78
4	ล'	16.01 ± 0.04	729	1.37	233.37
5	ข'	18.42 ± 0.06	664	1.51	244.62
6	พ'	20.57 ± 0.08	609	1.64	250.54
7	ม'	23.06 ± 0.04	557	1.80	256.89
8	ร'	26.16 ± 0.04	505	1.98	264.22
9	ด'	31.56 ± 0.04	452	2.21	285.30

จากตารางที่ 3 พบว่า ความยาวของท่อสั้นพ้องของเครื่องดนตรีขลุ่ยตัวโน้ต ร'' ด'' ท' ล' ข' พ' ม' ร' ด' มีความยาวเฉลี่ย (L_{av}) เท่ากับ $10.76 \pm 0.04\text{ cm}$, $12.26 \pm 0.04\text{ cm}$, $13.73 \pm 0.04\text{ cm}$, $16.01 \pm 0.04\text{ cm}$, $18.42 \pm 0.06\text{ cm}$, $20.57 \pm 0.08\text{ cm}$, $23.06 \pm 0.04\text{ cm}$, $26.16 \pm 0.04\text{ cm}$ และ $31.56 \pm 0.04\text{ cm}$ ตามลำดับ และสอดคล้องกับการวัดค่าความถี่เสียงด้วยแอปพลิเคชันวัดค่าความถี่เสียงบนสมาร์ตโฟน ที่มีความถี่เฉลี่ย (f_{av}) เท่ากับ 969 Hz , 884 Hz , 804 Hz , 729 Hz , 664 Hz , 609 Hz , 557 Hz , 505 Hz และ 452 Hz ตามลำดับ หากลองคำนวณค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของแต่ละตัวโน้ต ตามสมการที่ (3) ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 3 คอลัมน์ 6 พบว่า ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของแต่ละตัวโน้ตมีความคลาดเคลื่อนจากค่าทางทฤษฎีมาก เนื่องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยมีรูบังคับเสียงและรูปรับแต่งเสียง ซึ่งส่งผลต่อความถี่เสียงของแต่ละตัวโน้ตที่ออกมาจากรูปากนกแก้วถือเป็นข้อจำกัดที่ส่งผลให้ค่าอัตราเร็วเสียงในอากาศมีความคลาดเคลื่อนจากค่า

ทางทฤษฎีมาก ดังนั้นเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจึงใช้วิธีการหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ แสดงได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ ของเครื่องดนตรีขลุ่ย

จากภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ ของเครื่องดนตรีขลุ่ย พบว่าเป็นกราฟเส้นตรงมีสมการเป็น $L_{av} = 172.69 \left(\frac{1}{f_{av}} \right) - 0.0753$ หากเปรียบเทียบกับสมการที่ (3) ที่เป็นสมการความถี่ของการสั่นพ้องในท่อปลายเปิด $f_n = \frac{nv}{2L}$ กำหนดให้ $n = 1$ จะได้ $\frac{v}{2} = \text{slope}$ หรือเขียนได้ว่า $v = 2\text{slope}$ แทนค่าความชันจากกราฟจะได้ $v = 2(172.69) = 345.38 \text{ m/s}$ ดังนั้นการวัดอัตราเร็วของเสียงในอากาศด้วยเครื่องดนตรีขลุ่ย (v_{ex}) เท่ากับ 345.38 m/s เมื่อพิจารณาสมการเส้นตรงเพิ่มเติม พบว่าในทางทฤษฎีนั้นจุดตัดแกนควรจะเป็น 0 แต่ในการทดลองมีค่าเป็น -0.0753 และเมื่อนำค่านี้นับวกเข้าทั้งสองข้างของสมการเส้นตรงข้างต้นจะได้ $L_{av} + 0.0753 = 172.69 \left(\frac{1}{f_{av}} \right)$ ซึ่งไม่มีจุดตัดแกนตรงกับทฤษฎี ดังนั้นค่า 0.0753 คือค่าที่ควรที่จะเพิ่มเข้าไปจากค่าความยาวของท่อสั้นพ้องเฉลี่ย จึงจะทำให้ได้ความยาวของท่อสั้นพ้องที่ควรจะเป็นและให้ผลใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี ซึ่งค่านี้เรียกว่า end-correction หรือระยะคลาดเคลื่อนของท่อสั้นพ้อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lopresto (2011) ซึ่งศึกษาหาค่าความยาวที่ถูกต้องของท่อสั้นพ้องของเครื่องดนตรี Boomwhacker ที่เป็นท่อปลายเปิด พบว่า เมื่อวัดความยาวของท่อสั้นพ้องในแต่ละตัวโน้ต และเพิ่มเติมด้วยค่า end-correction แล้วจะทำให้ได้ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี

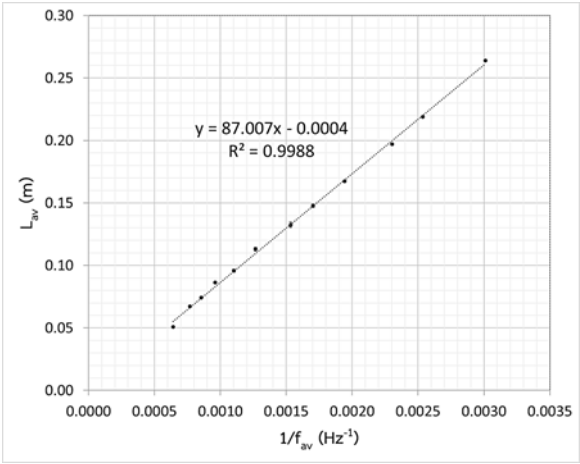
2.2 การหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากเครื่องดนตรีโหวด

ในการวัดค่าความยาวของท่อสั้นพ้องและความถี่เสียงด้วยแอปพลิเคชันวัดค่าความถี่เสียงบนสมาร์ตโฟนของตัวโน้ต 12 ตัว ของเครื่องดนตรีโหวด ได้แก่ ซ' ม' ร' ด' ล' ซ' ม' ร' ด' ล' ซ' ม' ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความยาวเฉลี่ยของท่อสั้นพ้อง (L_{av}) และความถี่เสียงเฉลี่ย (f_{av}) และ $\frac{1}{f_{av}}$ ของเครื่องดนตรีโหวด

ลำดับที่	ตัวโน้ต	$L_{av} (\times 10^{-2} m)$	$f_{av} (Hz)$	$\frac{1}{f_{av}} (\times 10^{-3} Hz^{-1})$	$v = 4Lf$ (m/s)
1	ซ//	5.09±0.04	1560	0.64	317.62
2	ม//	6.74±0.05	1300	0.77	350.48
3	ร//	7.41±0.09	1169	0.86	346.49
4	ด//	8.63±0.11	1040	0.96	359.01
5	ล'	9.58±0.12	907	1.10	347.56
6	ซ'	11.30±0.15	790	1.27	357.08
7	ม'	13.25±0.21	652	1.53	345.56
8	ร'	14.77±0.15	587	1.70	346.80
9	ด'	16.76±0.02	515	1.94	345.26
10	ล	19.71±0.02	434	2.30	342.17
11	ซ	21.89±0.03	394	2.54	344.99
12	ม	26.40±0.04	332	3.01	350.59

จากตารางที่ 4 การทดลองหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศด้วยเครื่องดนตรีโหวด ความยาวของท่อสั้นพ้องของตัวโน้ต ซ// ม// ร// ด// ล' ซ' ม' ร' ด' ล ซ ม มีความยาวเฉลี่ย (L_{av}) เท่ากับ $5.09 \pm 0.04 \text{ cm}$, $6.74 \pm 0.05 \text{ cm}$, $7.41 \pm 0.09 \text{ cm}$, $8.63 \pm 0.11 \text{ cm}$, $9.58 \pm 0.12 \text{ cm}$, $11.30 \pm 0.15 \text{ cm}$, $13.25 \pm 0.21 \text{ cm}$, $14.77 \pm 0.15 \text{ cm}$, $16.76 \pm 0.02 \text{ cm}$, $19.71 \pm 0.02 \text{ cm}$, $21.89 \pm 0.03 \text{ cm}$ และ $26.40 \pm 0.04 \text{ cm}$ ตามลำดับ และสอดคล้องกับการวัดค่าความถี่เสียงด้วยแอปพลิเคชันวัดความถี่เสียงบนสมาร์ทโฟน ที่มีความถี่เฉลี่ย (f_{av}) เท่ากับ $1,560 \text{ Hz}$, $1,300 \text{ Hz}$, $1,169 \text{ Hz}$, $1,040 \text{ Hz}$, 907 Hz , 790 Hz , 652 Hz , 587 Hz , 515 Hz , 434 Hz , 394 Hz และ 332 Hz ตามลำดับ หากลองคำนวณค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของแต่ละตัวโน้ต ตามสมการที่ (6) ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 4 คอลัมน์ 6 พบว่า ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของแต่ละตัวโน้ตมีความคลาดเคลื่อนจากค่าทางทฤษฎีไม่มากนัก ทั้งนี้หากหาอัตราเร็วเสียงในอากาศจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ แสดงได้ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ ของเครื่องดนตรีโหวด

จากภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง L_{av} และ $\frac{1}{f_{av}}$ ของเครื่องดนตรีโหวด พบว่าเป็นกราฟเส้นตรงมีสมการเป็น $L_{av} = 87.007 \left(\frac{1}{f_{av}}\right) - 0.0004$ หากเปรียบเทียบกับสมการที่ (6) ที่เป็นสมการความถี่ของการสั่นพ้องในท่อปลายปิด $f_n = \frac{nv}{4L}$ กำหนดให้ $n = 1$ จะได้ $\frac{v}{4} = slope$ หรือเขียนได้ว่า $v = 4slope$ แทนค่าความชันจากกราฟจะได้ $v = 4(87.007) = 348.03 \text{ m/s}$ ดังนั้นการวัดอัตราเร็วของเสียงในอากาศด้วยเครื่องดนตรีโหวด v เท่ากับ 348.03 m/s

เมื่อพิจารณาสมการกราฟเส้นตรงเพิ่มเติม พบว่ามีจุดตัดแกนคือ -0.0004 ซึ่งในทางทฤษฎีจุดตัดแกนควรเป็น 0 เมื่อนำค่า 0.0004 บวกเข้าทั้งสองข้างของสมการเส้นตรงข้างต้นจะได้ $L_{av} + 0.0004 = 87.007 \left(\frac{1}{f_{av}}\right)$ ซึ่งไม่มีจุดตัดแกนตรงกับทฤษฎี ดังนั้น ค่า 0.0004 คือค่าที่ควรพิจารณาเพิ่มจากค่าความยาวเฉลี่ยของท่อสั้นพ้อง จึงจะทำให้ได้ค่าความยาวของท่อสั้นพ้องที่ควรจะเป็นและให้ผลใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี ซึ่งค่านี้เรียกว่า end-correction หรือระยะคลาดเคลื่อนจากปลายท่อสั้นพ้อง สอดคล้องกับการทดลองของ Torcal-Milla (2023) ซึ่งศึกษาอัตราเร็วของเสียงในอากาศโดยใช้ขลุ่ยอินคา (pan flute) ซึ่งเป็นท่อปลายปิด พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากกราฟสมการเส้นตรงของความยาวท่อสั้นพ้องที่พิจารณาค่า end-correction เพิ่มเติม กับความยาวท่อสั้นพ้องที่ไม่ได้พิจารณาค่า end-correction เพิ่มขึ้น ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของความยาวท่อสั้นพ้องที่พิจารณาค่า end-correction เพิ่มขึ้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าทฤษฎีมากกว่าค่าความยาวของท่อสั้นพ้องที่ไม่ได้พิจารณาค่า end-correction เพิ่มขึ้น

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดกับค่าทางทฤษฎี

3.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องดนตรีขลุ่ยกับค่าทางทฤษฎี

จากการทดลองตอนที่ 1 ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศทางทฤษฎี (v_t) เท่ากับ 347.26 m/s และจากการทดลอง ตอนที่ 2.1 ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของเครื่องดนตรีขลุ่ยที่ได้จากการทดลอง (v_{ex}) เท่ากับ 345.38 m/s หากเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของเครื่องดนตรีขลุ่ยที่ได้จากการทดลอง (v_{ex}) กับค่าทางทฤษฎี (v_t) จากสมการ

$$\Delta v\% = \frac{|v_{ex}-v_t|}{v_t} \times 100\%$$

แทนค่า $\Delta v\% = \frac{|345.38-347.26|}{347.26} \times 100\%$

จะได้ $\Delta v\% = 0.54\%$

3.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องดนตรีโหวดกับค่าทางทฤษฎี

จากการทดลองตอนที่ 1 ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศทางทฤษฎี (v_t) เท่ากับ 347.26 m/s และจากการทดลอง ตอนที่ 2.2 ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของเครื่องดนตรีโหวดที่ได้จากการทดลอง (v_{ex}) เท่ากับ 348.03 m/s หากเปรียบเทียบค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศของเครื่องดนตรีโหวดที่ได้จากการทดลอง (v_{ex}) กับค่าทางทฤษฎี (v_t) จากสมการ

$$\Delta v\% = \frac{|v_{ex}-v_t|}{v_t} \times 100\%$$

แทนค่า $\Delta v\% = \frac{|348.03-347.26|}{347.26} \times 100\%$

จะได้ $\Delta v\% = 0.22\%$

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวด สามารถสรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิขณะทำการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.1°C จะได้ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v_t) ตามทฤษฎี เท่ากับ 347.26 m/s ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่หาจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยมีค่าเท่ากับ 345.38 m/s และโหวดมีค่าเท่ากับ 348.03 m/s และเมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราเร็วของเสียงในอากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เสียงและความยาวของท่อสั้นพ้องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดกับค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศทางทฤษฎี พบว่า มีค่าคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.54 และ 0.22 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้ได้ค่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ใกล้เคียงกับค่าทฤษฎีมากที่สุด ควรพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของท่อสั้นพ้อง หรือค่า end-correction ร่วมด้วย
2. เนื่องจากเครื่องดนตรีขลุ่ยและโหวดทำจากไม้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีรูพรุนสามารถยึดเหนี่ยวได้ตามสภาพอากาศ ดังนั้นควรควบคุมปัจจัยความชื้นของอากาศเพิ่มเติม
3. ผู้วิจัยอาจใช้ขลุ่ยที่ทำจากวัสดุอื่นที่ไม่ใช่ไม้ทำการทดลอง เช่น ขลุ่ยรีคอร์เดอร์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่วิจัย และความอำนวยความสะดวกในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

จริยธรรมการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในบันทึกข้อความ ที่ อว 8100/07204 ลงวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 ตามวิธีการดำเนินการมาตรฐาน (Standard Operating Procedures, SOP) ฉบับที่ 2.0 พ.ศ. 2566 ประกาศใช้เมื่อวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2566 แล้วว่าไม่ได้ทำการศึกษา วิจัยในมนุษย์

References

- Boonsatta, N. (2014). Thai music (flute) (in Thai). Retrieved 15 December 2023, from **Blogspot**: <http://boonsatta.blogspot.com>
- Bodinchart, S. (2012). **Physics 1**. Pathum Thani: Sky books.
- Datkamjon, N. (2022). Learning Management of Khlui Peang-Or Flute Skill through Brain-Based Learning and QR Code for Mathayomsuksa 2 Students. **Master of Education Program**, Uttaradit: Uttaradit Rajabhat University.
- Department of Cultural Promotion. (2021). How to play vote (in Thai). Retrieved 15 December 2023, from **Facebook**: <https://www.facebook.com/watch/?v=227187312620049>
- Lopresto, M. C. (2011). Experimenting with end-correction and the speed of sound. **Physics education**, 46(4), 437.
- Niran, S. (2017). **Handbook of learning Physics M.5 volume 4**. Nonthaburi: Phoemsap Printing.
- Office of the Basic Education Commission. (2017). **Basic Education Core Curriculum B.E. 2560** (in Thai). Bangkok: Agricultural cooperative printing demonstrations of Thai.
- Parameth, P. (2016). **Physic 1**. Bangkok: Sripatham University.
- Petudom, S. (2017). The development skill of Khluy-Peang-Or (in Thai). Retrieved 12 December 2023, from **NakhonsawanSchool**: https://km.nssc.ac.th/external_newsblog.php?links=1637
- Phathong, D., Chan-on, A. and Danpradit, P. (2017). The selection-Purchase of Wot and Kaen: A case study Bang Tha Ruea, Nakhon Phanom (in Thai). **Music and Performing Art Journal**, 3(1), 34-48.
- Phonkhate, Y. (2019). Knowledge of vote (in Thai). Retrieved 20 November 2023, from **Google site**: <https://sites.google.com/site/karphathnabthreinybnweb2529/howd>.
- Tiwaree, R., Cheumklang, K., Phromyod, N. and Songpongs, P. (2018). **Guide to Conducting Sound Experiment Activities via Smartphone or Tablet Apps and PC** (in Thai). Bangkok: The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology.
- Torcal-Milla, F. J. (2023). Measuring the speed of sound with a pan flute and a smartphone: a half-melodicand totally-didactic experiment. **Physics Education**, 58(5), 055010.



Developing Mathematical Problem-Solving Skills Using Polya's Steps: A Problem-Based Learning Approach in Combinatorics for Grade 11 Students

Palakorn Niamjapo^{1,*}

¹*Department of Mathematics in Ratchasima Wittayalai School, Nakhon Ratchasima, Thailand*

**Email: palakorn@rjsima.ac.th*

Received <16 July 2024>; Revised <27 August 2024>; Accepted <2 September 2024>

Abstract

This research aims to 1) compare the academic achievement and mathematical problem-solving skills following Polya's steps before and after learning through problem-based learning, and 2) compare the academic achievement and mathematical problem-solving skills following Polya's steps after problem-based learning with the 80% criterion. The sample consisted of 33 Grade 11 students from Ratchasima Wittayalai School in the first semester of the 2022 academic year. The research instruments included problem-based learning lesson plans, an achievement test, and a mathematical problem-solving skills test. Data were analyzed using percentage, mean, standard deviation, and dependent t-test. The results showed that the academic achievement and mathematical problem-solving skills following Polya's steps were significantly higher after learning than before at the 0.01 level, and the academic achievement and mathematical problem-solving skills after problem-based learning were significantly higher than the 80% criterion at the 0.01 level.

Keywords: Problem-based learning, Polya's problem-solving steps, Combinatorics

การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามขั้นตอนของโพลยา เรื่องหลักการนับเบื้องต้น ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

พลากร เนียมจะโปะ^{1,*}

¹กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย

*Email: palakorn@rajsima.ac.th

รับบทความ: 16 กรกฎาคม 2567 แก้ไขบทความ: 27 สิงหาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 2 กันยายน 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามขั้นตอนของโพลยาก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามขั้นตอนของโพลยาหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานกับเกณฑ์ร้อยละ 80 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 33 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบ dependent t-test ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามขั้นตอนของโพลยาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน ทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามขั้นตอนของโพลยา หลักการนับเบื้องต้น

Introduction

The development of human thinking to be rational, creative, and systematically organized is crucial for analyzing and planning solutions to everyday problems. Mathematics plays a significant role in this development and serves as a fundamental tool in the study of science, technology, and other disciplines. The primary goal of mathematics education is to teach students to think critically and develop problem-solving skills applicable to daily life (The Ministry of Education, 2008). Thus, mathematics instruction must emphasize systematic problem-solving methods to develop essential skills for tackling problems and accumulating problem-solving experience based on individual capabilities.

The goal of mathematics education is to develop students into systematic thinkers and problem-solvers. However, assessments like the Program for International Student Assessment (PISA 2009-2015) show that Thai students' mathematics scores are below average and declining (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2013). Observations indicate that Thai students lack the ability to apply mathematical knowledge and skills to real-life situations. Essential mathematical skills include problem-solving, reasoning, connecting concepts, communication, and creativity. Additionally, attitudes towards mathematics and teaching methods are critical. Current teaching approach often focuses on direct instruction using problems that do not connect to real-life applications. This causes students to overlook the significance of mathematics and fail to recognize its relevance to daily life. When students are not exposed to problems that resemble real-life situations, they lack the skills to analyze problems, plan solutions, and apply the knowledge they have learned. Consequently, students struggle to use mathematical knowledge to solve complex problems in real-world contexts. Moreover, the emphasis on teaching methods that limit creativity and reasoning restricts the development of critical thinking and the ability to generate new approaches to problem-solving. Therefore, it is essential to promote and develop students "mathematical problem-solving skills" by focusing on connecting knowledge to real-life applications, fostering systematic thinking, and providing opportunities for students to engage with more challenging and relevant problems. (Ransungneon, 2012).

Polya's problem-solving process, widely accepted in education, involves four steps that promote systematic and clear problem-solving: 1) Understanding the problem: students identify what is required and the relationships between given elements; 2) Planning the solution: students find connections and integrate them to form a plan; 3) Executing the plan: students follow the plan or devise new strategies; 4) Reviewing the results: students check if the results are reasonable (Polya, 1957, cited in Suwan, 2011). Using problem-based learning (PBL) is another effective method that focuses on student-centered learning, promoting critical thinking, problem-solving, and meaningful learning. PBL uses problems to motivate and engage students, fostering active learning and the integration of knowledge for practical application.

Given the importance and research findings, as a mathematics teacher, I am interested in studying and developing mathematical problem-solving skills using Polya's steps through problem-based learning. This approach will benefit teachers in aligning teaching activities with the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (revised B.E. 2560) and provide a framework for enhancing learning outcomes and problem-solving skills, thereby fostering higher-order thinking and creative processes in students.

Research Objectives

1. To compare the academic achievement and mathematical problem-solving skills following Polya's steps before and after learning through problem-based learning.
2. To compare the academic achievement and mathematical problem-solving skills following Polya's steps after problem-based learning with the 80% criterion.

Conceptual Framework

The researcher studied theories on problem-based learning and relevant research, including works by Khammanee (2011); Stepien and Gallagher (1993), cited in Laolearndee (2011), The Office of the Secretary-General of the Education Council (2017). The research framework can be illustrated as shown in Figure 1.

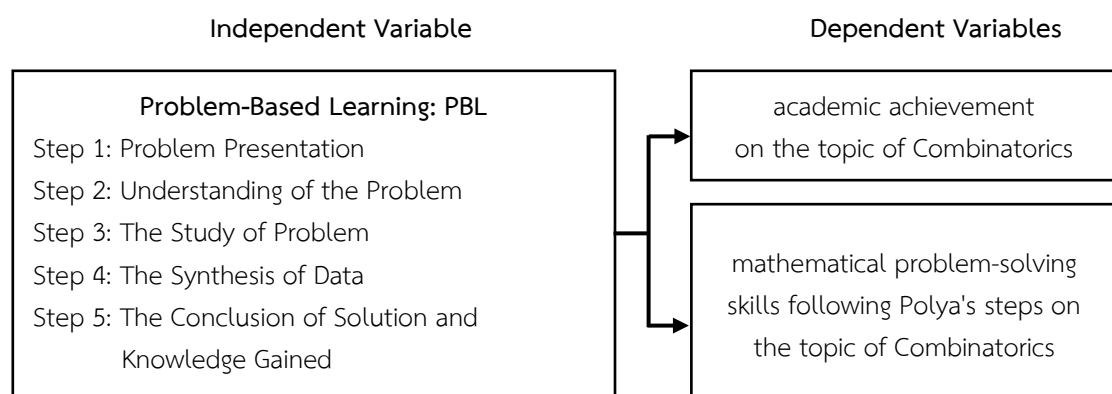


Figure 1. Conceptual Framework

Research Methodology

1. Research Hypotheses

1.1 The academic achievement and mathematical problem-solving skills of Grade 11 students on the topic of combinatorics will be higher after learning through problem-based learning (PBL) compared to before.

1.2 The academic achievement and mathematical problem-solving skills of Grade 11 students, when solving mathematical problems following Polya's steps using problem-based learning (PBL), surpass the 80% benchmark.

2. Population and Sample Group

The population consisted of Grade 11 students in the first semester of the 2022 academic year at Ratchasima Wittayalai School, totaling 685 students across 18 classrooms. The sample group was obtained through cluster sampling, selecting one classroom with 33 students.

3. Research Instruments

3.1 Problem-Based Learning Lesson Plans: A total of 18 lesson plans, each lasting 1 hour, totaling 18 hours. The quality of the lesson plans was evaluated by 5 experts to determine the Index of Item-Objective Congruence (IOC). The IOC was found to be 1.00, indicating that the lesson plans were highly appropriate and aligned with the learning objectives.

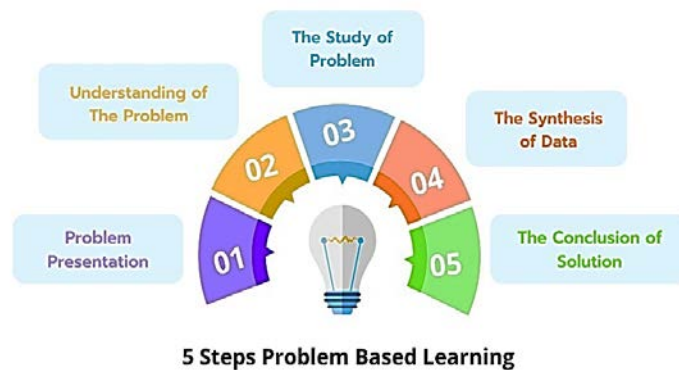


Figure 3. 5 Steps of Problem-Based Learning management, as cited in Khammanee (2017).

4.3 Post-test: After completing the PBL activities, the sample group of students were given a post-test, which included the same 30-item multiple-choice achievement test and the 5-item essay test based on Polya's problem-solving steps. The scores from these tests were recorded.

5. Data Analysis

Data analysis using basic statistics includes measures such as percentage, mean, standard deviation and dependent t-test

Results

1. The learning outcomes on Combinatorics of Grade 11 students using problem-based learning as the basis are shown in Table 1.

Table 1. Comparison of the average scores from the pre-test and post-test measuring learning outcomes on Combinatorics before and after implementing problem-based learning:

The learning outcomes	n	mean	S.D.	df	t
pre-test	33	19.94	2.44	32	19.039**
post-test	33	26.02	1.14		

**Significant at the .01 level

From Table 1, the test results measuring the learning achievement on Combinatorics for Grade 11 students showed that post-test scores were significantly higher than pre-test scores at the .01 level of statistical significance with the implementation of problem-based learning.

2. The learning outcomes on Combinatorics of Grade 11 students using problem-based learning compared to benchmark of 80% are shown in Table 2.

Table 2. Comparison of the average scores from the post-test measuring learning outcomes on Combinatorics of Grade 11 students using problem-based learning, with a benchmark of 80%:

Experimental results	n	Full marks	Criterion	mean	S.D.	df	t
post-test	33	30	24	26.02	1.14	32	10.370**

**Significant at the .01 level

From Table 2, the post-test results indicate that the average learning outcomes of Grade 11 students on the topic of Combinatorics, after using problem-based learning (PBL), are significantly higher than the benchmark of 80% (mean = 26.02, S.D. = 1.14). The t-test analysis reveals a statistically significant difference at the .01 level ($t = 10.370$, $p < .01$), confirming that the students' learning outcomes exceed the established criterion.

3. The mathematical problem-solving skills using Polya's method on Combinatorics of Grade 11 students improved significantly after implementing problem-based learning, as shown in Table 3.

Table 3. Comparison of the average scores from the pre-test and post-test measuring problem-solving skills in mathematical counting principles using Polya's method, before and after implementing problem-based learning:

The learning outcomes	n	mean	S.D.	df	t
pre-test	33	27.64	2.81	32	37.172**
post-test	33	45.26	3.23		

**Significant at the .01 level

From Table 3, the post-test scores measuring mathematical problem-solving skills using Polya's method significantly improved after implementing problem-based learning compared to the pre-test scores at the .01 significance level.

4. Mathematical problem-solving skills according to Polya's steps on Combinatorics of Grade 11 students, with a benchmark of 80%, as shown in Table 4.

Table 4. Comparison of the average scores from the post-test measuring mathematical problem-solving skills using Polya's method on Combinatorics, with a benchmark of 80%:

Experimental results	n	Full marks	Criterion	mean	S.D.	df	t
post-test	33	50	40	45.26	3.23	32	9.500**

**Significant at the .01 level

From Table 4, The post-test results show that the average mathematical problem-solving skills of Grade 11 students using Polya's method on the topic of combinatorics are significantly higher than the benchmark of 80% (mean = 45.26, S.D. = 3.23). The t-test analysis indicates a statistically significant difference at the .01 level ($t = 9.500$, $df = 32$), confirming that the students' mathematical problem-solving skills exceed the established criterion.

Discussion

1. Academic achievement: The academic performance regarding basic counting principles through problem-based learning (PBL) showed post-learning scores higher than pre-learning and above the 80% criterion. It clearly indicates fundamental problem-solving skills following Polya's steps and PBL, emphasizing self-constructed knowledge from real problem situations. Students start by solving problems, gather ideas, connect knowledge, sequence steps to find answers, and stimulate diverse and

accurate problem-solving. This is consistent with Thanwiset and Keeratichamroen (2018). It was found that post-PBL academic performance was statistically significantly higher than pre-PBL performance and exceeded the 70% threshold ($p < .05$). Correspondingly, Abdullah, Tarmizi and Abu (2010) conducted research to find that mathematical problem-solving skills averaged 83.03%, exceeding the 70% benchmark.

2. Mathematical problem-solving skills: The mathematical problem-solving skills of grade 11 students, using Polya's method, exceeded the 80% criterion post-PBL. This improvement stems from initiating PBL with problem scenarios, where teachers set goals to guide students in problem-solving from given situations. These problems are explained as scenarios or events encountered in daily life, explicable with theory and practice. When presented, the problems serve as starting points in student learning processes, where students explain situations through group processes to maximize learning outcomes. This aligns with Cotic and Zuljan (2009), who selected a sample group of 179 nine-year-old students in Slovenia. Research results indicate that students taught using PBL successfully solved complex mathematical problems more effectively than those taught conventionally. Additionally, it was hypothesized that most Slovenian students scored lower in mathematics problem-solving than students from other countries, despite having good computational skills. The research also showed that PBL teaching methods instilled confidence in students that difficult problem tasks can be solved, aligning with Ounpomma and Pavapuyanon (2017) development of mathematical learning activities based on constructivist theory, focusing on Polya's problem-solving probability. In fifth grade, the academic performance score averaged 15.29, equivalent to 76.45%, with 43 students passing the threshold out of a total of 51 students, equating to 84.313%. Students' problem-solving skills in PBL, focused on Polya's problem-solving theory, averaged 75.70%, reflecting a high level of proficiency.

Recommendations

1. Implementation Suggestions:

1.1 Detailed Problem-solving Steps: Teachers should thoroughly and clearly explain each step of the mathematical problem-solving process to ensure accuracy and understanding. They should also encourage students to engage closely in learning activities to achieve the intended learning objectives.

1.2 Diverse Problem Scenarios: While using different content-specific problem scenarios, teachers should aim for similar approaches to finding solutions. This approach promotes diverse learning experiences and ensures that students develop comprehensive problem-solving skills. It's crucial for teachers to prioritize creating foundational problem scenarios that stimulate students to apply their knowledge and skills fully during problem-solving discussions.

2. Future Research Recommendations:

For future research, it is advisable to explore other innovative learning methods alongside PBL. These could include integrated learning activities, project-based learning combined with inquiry-based learning activities, or learning approaches that encourage knowledge discovery. This would enrich educational practices and potentially enhance students' understanding of the subject matter.

References

- Abdullah, N. I., Tarmizi, R. A. and Abu, R. (2010). The effects of problem-based learning on mathematics performance and affective attributes in learning statistics at Form Four Secondary Level. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, 8, 370–376.
- Cotic, M. and Zuljan, M. V. (2009). Problem-based instruction in mathematics and its impact on the cognitive results of the students and on affective-motivational aspects. **Educational Studies**, 35(3), 297–310.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2013). **Measurement and evaluation in mathematics**. (in Thai). Bangkok: SE-Education.
- Khammanee, T. (2017). **Teaching and learning formats: diverse options**. (in Thai). (9th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Laolearndee, W. (2011). **Learning management models and strategies to develop thinking skills**. (in Thai). (7th ed.). Nakhon Pathom: Silpakorn University Printing House.
- Nilaphan, M. (2012). **Educational Research Methods**. (in Thai). Nakhon Pathom: Silpakorn University Printing House.
- Ounpomma, W. and Pavapuyanon, L. (2017). The Development of Mathematics Learning Activities Based on Constructivist Theory Emphasizing Polya's Problem-Solving Processes On Probability for Mathayomsuksa 5. (in Thai). **Journal of Education Graduate Studies Research, KKU**, 11(4), 154–166.
- Ransungneon, P. (2012). Causal factors affecting mathematical problem-solving abilities of Grade 9 students in Education Area Office 1. (in Thai). **Master's thesis**. Srinakharinwirot University.
- Suwan, S. (2011). Development of fraction problem-solving abilities using Polya's problem-solving process for Grade 6 students at Lamphun Kindergarten School. (in Thai). **Master's thesis**. Chiang Mai: Chiang Mai University.
- Thanwiset, N. and Keeratichamroen, W. (2018). A study of learning achievement on work and energy learning unit and problem solving ability of grade 10 students using problem based learning (PBL). (in Thai). **Academic Services Journal, Prince of Songkla University**, 29(2), 43–50.
- The Ministry of Education. (2008). **The Basic Education Core Curriculum B.E. 2551. (A.D. 2008)**. (in Thai). Bangkok: Kurusapa Ladprao Printing House.
- The Office of the Secretary-General of the Education Council. (2017). **The National Education Plan B.E. 2560-2579. (A.D. 2017-2036)**. (in Thai). Bangkok: Ministry of Education.



Development of Learning Achievement in Mathematics on Exponents of Grade-7 Students Using SSCS Model with Think-Pair-Share Technique

Areeya Srichandee¹ Paweena Khansila^{2*} and Papaporn Nongharnpituk²

¹*Bachelor of Education Program in Mathematics, Faculty of Education and Educational Innovation, Kalasin University*

²*Department of Mathematics, Faculty of Education and Educational Innovation, Kalasin University*

**Email: Areeya.sr@ksu.ac.th*

Received <15 January 2024>; Revised <14 May 2024>; Accepted <17 May 2024>

Abstract

The objectives of this research were to: 1) develop learning achievement in mathematics on exponents of Grade-7 students using SSCS model with Think-Pair-Share technique to be above the standard 70 percent, 2) compare learning achievement before and after learning management using SSCS model with Think-Pair-Share technique, and 3) study student satisfaction with learning management using SSCS model with Think-Pair-Share technique. The sample group included Grade-7 students who were enrolled in the first semester of the academic year 2023 at Khaowongpittayakhan School, Khaowong District, Kalasin Province. The sample group consisted of 32 individuals from one classroom, and they were selected through cluster random sampling. The research employed various instruments, including lesson plans, achievement tests, and satisfaction questionnaires. The statistics used for data analysis encompassed mean, standard deviation, percentage, and hypothesis testing using the t-test. The findings of the research using SSCS model demonstrated that: 1) the mathematics learning outcomes of students after receiving instruction using SSCS model along with Think-Pair-Share technique exceeded the 70 percent benchmark, with a statistical significance level of .05, 2) the learning achievement of students after studying was significantly higher than before, at a statistical significance level of .05, and 3) the average level of students' satisfaction regarding the implementation of SSCS model with Think-Pair-Share technique was in a high level of satisfaction ($\bar{X} = 4.31$).

Keywords: Learning Achievement, Exponents, SSCS Model, Think-Pair-Share Technique

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด

อารียา ศรีจันดี¹ ปวีณา ชันธิศา^{2*} และประภาพร หนองหารพิทักษ์²

¹ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์และนวัตกรรมการศึกษามหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

*Email: Areeya.sr@ksu.ac.th

รับบทความ: 15 มกราคม 2567 แก้ไขบทความ: 14 พฤษภาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 17 พฤษภาคม 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิดเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนเขาวงพิทยาคาร อำเภอเขาวง จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 32 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบสอบถามวัดความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ การทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติ (t-test) ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ หลังใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิดสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด มีค่าเฉลี่ย 4.31 ซึ่งอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เลขยกกำลัง การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS เทคนิคเพื่อนคู่คิด

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ เนื่องจากคณิตศาสตร์ช่วยให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน การตัดสินใจการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม สามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และคณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และศาสตร์อื่น ๆ ซึ่งเป็นรากฐานในการพัฒนาบุคลากรของชาติให้มีคุณภาพและพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยให้เทียบเท่ากับนานาชาติ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทันสมัย และสอดคล้องกับเศรษฐกิจสังคม (Ministry of Education, 2017) แต่ในปัจจุบันการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินำขั้นพื้นฐาน (O-NET) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2565 พบว่านักเรียนทั่วประเทศมีคะแนนเฉลี่ยรายวิชาคณิตศาสตร์ สาระจำนวนและพีชคณิต มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 24.49 คะแนน แต่เมื่อเทียบกับเกณฑ์แล้วยังถือว่าต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 50 (National Institute of Educational Testing, 2022) เมื่อพิจารณาผลการประเมิน O-NET ที่กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ยังไม่สามารถพัฒนาให้นักเรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ผลการทดสอบนี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของนักเรียน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องได้รับการพัฒนาเนื่องจากการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินำขั้นพื้นฐาน เป็นการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนที่ได้เรียนมาทั้งหมดตลอดระดับชั้น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนนั้นอยู่ในระดับต่ำ ควรได้รับการปรับปรุงให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนให้มีระดับสูงขึ้น

การจัดการเรียนรู้ในปัจจุบันจึงต้องมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้อย่างแท้จริง โดยการสร้างความรู้ด้วยตนเองในการใช้สถานการณ์หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันเป็นสิ่งเร้าให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง และการวัดประเมินผลก็ต้องทำให้สอดคล้องกับการเรียนรู้ โดยใช้การประเมินตามสภาพจริงเพื่อช่วยสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพที่แท้จริงของผู้เรียนได้อย่างครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ความคิด ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2012)

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสอนแบบ SSCS (Pizzini, Shepardson and Abell, 1989) เป็นวิธีการสอนโดยใช้กระบวนการ SSCS 4 ขั้นตอนและสอดแทรกเทคนิคเพื่อนคู่คิดในแต่ละขั้นตอนของ SSCS เพื่อให้นักเรียนจะได้ทำงานร่วมกัน สามารถช่วยเหลือกันในการแก้ไขปัญหา โดยให้เด็กเก่งคู่กับเด็กอ่อนและเด็กปานกลางคู่กับเด็กปานกลางโดยครูเป็นผู้จับคู่ให้และเป็นผู้คอยดูแลติดตามตลอดการจัดการเรียนรู้ ซึ่งมี 4 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 Search: S เป็นขั้นตอนของการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสถานการณ์และแยกแยะประเด็นของปัญหา ขั้นที่ 2 Solve: S เป็นขั้นตอนของการวางแผนและการดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการต่าง ๆ ขั้นที่ 3 Create: C เป็นขั้นตอนของการนำผลที่ได้มาจัดการกระทำเป็นขั้นตอนเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ ขั้นที่ 4 Share: S เป็นขั้นตอนของการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลและวิธีการแก้ปัญหาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

เทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือรูปแบบหนึ่งที่ส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์กันจากการทำกิจกรรมร่วมกัน ทำให้นักเรียนได้มีการแลกเปลี่ยนความรู้ ทัศนคติหรือความรู้ที่เชื่อมโยงมาใช้ในการแก้ไขปัญหาให้เพื่อนฟัง ทำให้นักเรียนมีความรู้ ความแม่นยำในเรื่องที่เรียนมากยิ่งขึ้นและกล้าที่จะสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางคณิตศาสตร์ออกมาได้อย่างมั่นใจในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนมีความสุขในการเรียนรู้และบรรลุเป้าหมายร่วมกันตามที่คิดไว้ โดยจะแบ่งนักเรียนออกเป็นคู่ ๆ เพื่อให้ทำกิจกรรมร่วมกัน ซึ่งเทคนิคการเรียนรู้แบบเพื่อนคู่คิด เป็นการทำกิจกรรมร่วมกันกับอีกคนหนึ่งเพื่ออภิปรายวิธีการหาคำตอบของปัญหา และสามารถตอบคำถามได้ เมื่อได้ข้อสรุปนักเรียนสามารถยกมือเสนอคำตอบเพื่อนหรือคำตอบของตนเองในชั้นเรียนได้ (Thupairoh, 2016) และการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคเพื่อนคู่คิด ยังสามารถส่งเสริมทักษะทางสังคม ช่วยเสริมสร้างทักษะในการสื่อสาร การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ช่วยพัฒนาให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น และสามารถนำไปใช้ในทั้งกลุ่มนักเรียนทุกระดับ (Muangprafang, Jansawang and Somtua, 2016)

การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นทักษะกระบวนการแก้ปัญหาโดยยึดนักเรียนเป็นสำคัญ โดยมีกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ SSCS 4 ขั้นตอนและสอดแทรกเทคนิคเพื่อนคู่คิด ในขั้นตอนของ SSCS เพื่อช่วยสร้างความเข้าใจ ความสามารถในการแก้ปัญหาและความสามารถในการสื่อสารทางคณิตศาสตร์ โดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นที่ 1 Search: S เป็นขั้นตอนของการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสถานการณ์และแยกแยะประเด็นของปัญหา ในขั้นตอนนี้สอดแทรกเทคนิคเพื่อนคู่คิดในขั้นตอนการกระตุ้นให้นักเรียนคิด (Think) ขั้นที่ 2 Solve: S เป็นขั้นตอนของการวางแผนและการดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการต่าง ๆ ในขั้นตอนนี้สอดแทรกเทคนิคเพื่อนคู่คิดในขั้นตอนการกระตุ้นให้นักเรียนคิด (Think) และให้นักเรียนจับคู่ ร่วมแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดและประสบการณ์ (Pair) ขั้นที่ 3 Create: C เป็นขั้นตอนของการนำผลที่ได้มาจัดการกระทำเป็นขั้นตอนเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ ในขั้นตอนนี้สอดแทรกเทคนิคเพื่อนคู่คิดในขั้นตอนให้นักเรียนจับคู่ ร่วมแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดและประสบการณ์ (Pair) ขั้นที่ 4 Share: S เป็นขั้นตอนของการแลกเปลี่ยน

ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลและวิธีการแก้ปัญหาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ในขั้นตอนนี้สอดแทรกเทคนิคเพื่อนคู่คิดในขั้นตอนสุดท้าย (Share) โดยให้นักเรียนแต่ละคู่แบ่งปันความคิดของนักเรียนกับเพื่อน ๆ ในชั้นเรียนเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และสรุปผล

จากเหตุผลดังกล่าว ส่งผลให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบ SSCS ประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด มาใช้ในการสอนวิชาคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องเลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เพื่อที่จะปรับการเรียนและเปลี่ยนวิธีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน ให้มีความน่าสนใจ เราความสนใจของนักเรียน ให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ มีความสุขในการเรียน เอื้อต่อการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นแนวทางการพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1. เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70
- 2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด
- 3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยผู้วิจัยดำเนินการทดลองตามแผนการวิจัย แบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังการทดลอง (The One Group Pretest Posttest Design) (Edmonds and Kennedy, 2017) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบการวิจัย

Group	Pre-test	Treatment	Post-test
N	O ₁	X	O ₂

- N แทน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
- X แทน การจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด
- O₁ แทน การทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้ (Pre-test)
- O₂ แทน การทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้ (Post-test)

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

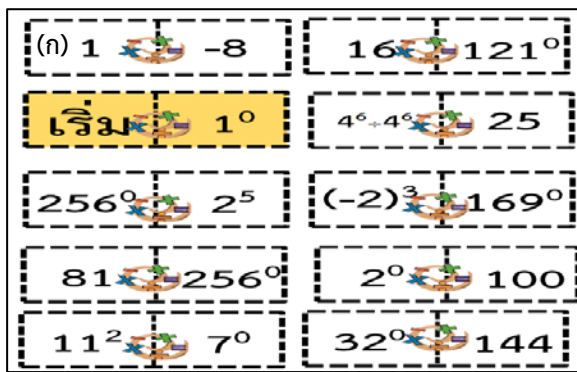
ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเขาวงพิทยาคาร ตำบลคุ้มเก่า อำเภอเขาวง จังหวัดกาฬสินธุ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 5 ห้องเรียน รวมจำนวนนักเรียน 148 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเขาวงพิทยาคาร ตำบลคุ้มเก่า อำเภอเขาวง จังหวัดกาฬสินธุ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน รวมจำนวนนักเรียน 32 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster random sampling)

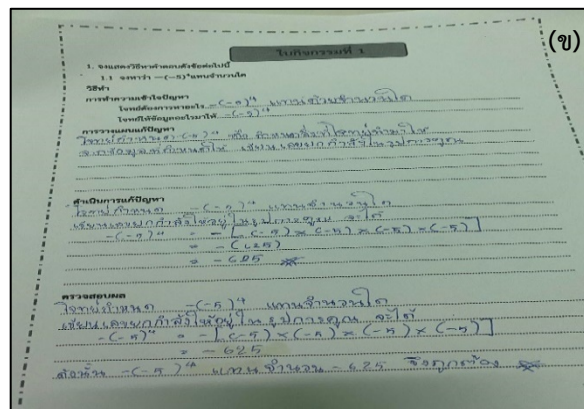
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด จำนวน 3 แผน แผนละ 3 คาบ รวมทั้งสิ้น 9 คาบ และมีเนื้อหาสาระประกอบด้วย ความหมายของเลขยกกำลัง การบวกเลขยกกำลัง การคูณและการหารเลขยกกำลัง ตัวอย่างของสื่อการสอนในแผนการเรียนรู้ที่ 1-3 แสดงในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

โดยผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 แผน นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยความเหมาะสม 4.78



ภาพที่ 1 สื่อการสอนแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เกมโดมิโนเลขยกกำลัง (ก) และกิจกรรมการเรียนรู้เกมโดมิโนเลขยกกำลัง (ข)



ภาพที่ 2 สื่อการสอนแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เลขยกกำลัง (ก) และตัวอย่างแบบฝึกหัด เรื่อง เลขยกกำลัง (ข)

3.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง แบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ โดยผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 แผน นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน โดยมีค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) ระหว่าง 0.67 - 1.00 จากนั้นนำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างเพื่อหาคุณภาพของแบบทดสอบ โดยคัดเลือกแบบทดสอบใช้จริงจำนวน 10 ข้อ ที่มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.31 - 0.78 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.25 - 0.76 และมีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.75 ถือว่ามีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในเกณฑ์สูง

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1		
1. ข้อใดมีค่ามากที่สุด	2. ข้อใดต่อไปนี้ไม่ถูกต้อง	3. $-5 \times a \times a \times a \times a$ เขียนในรูปเลขยกกำลังได้ตามข้อใด
ก. 2^4	ก. -4^3 ฐานคือ 4 เลขชี้กำลังคือ 3	ก. $5a$
ข. $(-3)^4$	ข. $(0.3)^2$ ฐานคือ 0.3 เลขชี้กำลังคือ 2	ข. $-5a$
ค. $(-4)^3$	ค. $\left(\frac{2}{3}\right)^4$ ฐานคือ $-\frac{2}{3}$ เลขชี้กำลังคือ 4	ค. $5a^4$
ง. $(-5)^2$	ง. $(-5)^2$ ฐานคือ -5 เลขชี้กำลังคือ 2	ง. $-5a^4$

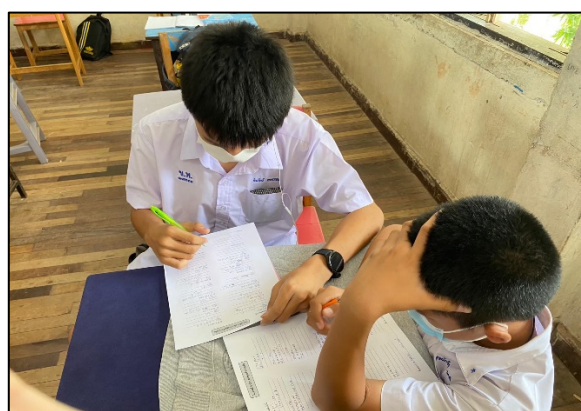
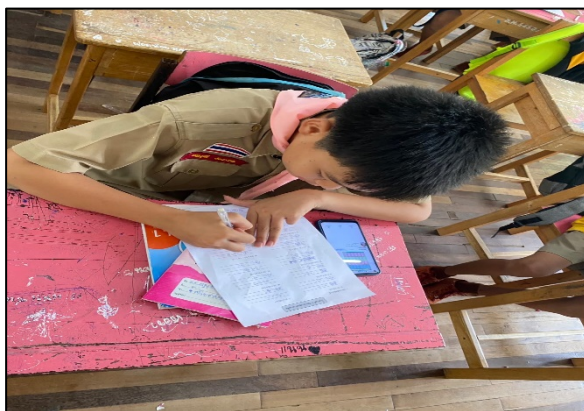
3.3 แบบสอบถามความพึงพอใจ เพื่อทดสอบความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด มี 3 ด้าน ได้แก่ ด้านครูผู้สอน ด้านการจัดการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 20 ข้อ เป็นแบบประเมินค่า 5 ระดับ โดยผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามความพึงพอใจนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน โดยมีค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) ระหว่าง 0.67 - 1.00

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเขาวงพิทยาคาร อำเภอเขาวง จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 32 คน ที่กำลังศึกษาภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โดยมีขั้นตอน ดังนี้

4.1 ปฐมนิเทศนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ชี้แจงจุดประสงค์ และขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด และวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนการทดลอง โดยใช้แบบทดสอบก่อนเรียน

4.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบทดสอบก่อนเรียน-หลังเรียน แบบฝึกทักษะ และใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 แผน แผนละ 3 คาบ สัปดาห์ละ 3 คาบ รวมทั้งสิ้น 3 สัปดาห์



ภาพที่ 3 กิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด

จากภาพที่ 3 พบว่า นักเรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง สามารถเรียนรู้ไปพร้อมกับเพื่อนได้โดยผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด และสามารถสื่อสารแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดของตนกับเพื่อนได้

4.3 เมื่อสิ้นสุดการทดลองผู้วิจัยดำเนินการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เลขยกกำลัง ชุดเดียวกันกับที่ใช้ทดสอบวัดผลการเรียนรู้ก่อนการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และประเมินความพึงพอใจของนักเรียน

4.4 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และนำเสนอผลการวิจัยในลำดับต่อไป

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ด้วยสถิติทดสอบที (One Sample t-test)

5.2 วิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ด้วยสถิติทดสอบที (t-test for Dependent Samples)

5.3 วิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ด้วยสถิติพื้นฐาน ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 สรุปผลได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเทียบเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยนำผลคะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบหลังเรียนเทียบกับเกณฑ์ โดยการทดสอบค่าที (t-test) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลปรากฏดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

กลุ่มตัวอย่าง	<i>N</i>	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	<i>S.D.</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
หลังเรียน	32	10	7.93	1.01	2.72*	0.00

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ให้มีผลสัมฤทธิ์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 มีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 7.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.01 สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 คิดเป็นร้อยละ 79.30 ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า *t* คำนวณเท่ากับ 2.72 กับค่าวิกฤตของ *t* ตาราง เท่ากับ 1.6955 พบว่าค่า *t* คำนวณสูงกว่าค่าวิกฤตของ *t* จากตาราง จึงกล่าวได้ว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยนำผลคะแนนเฉลี่ยจากแบบทดสอบก่อนเรียนมาเปรียบเทียบกับแบบทดสอบหลังเรียน โดยการทดสอบค่าที (t-test) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลปรากฏดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

กลุ่มตัวอย่าง	<i>N</i>	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	<i>S.D.</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
ก่อนเรียน	32	10	5.21	1.39	13.14*	0.00
หลังเรียน	32	10	7.93	1.01		

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 4 พบว่าผลการทดสอบก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.21 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1.39 และหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.01 เมื่อเปรียบเทียบค่า *t* คำนวณเท่ากับ 13.14 กับค่าวิกฤตของ *t* ตาราง เท่ากับ 1.6955 พบว่า *t* คำนวณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตของ *t* ตาราง แสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาคความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เรื่อง เลขยกกำลัง

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาคความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เรื่อง เลขยกกำลัง ผลปรากฏดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาคความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เรื่อง เลขยกกำลัง

ข้อคำถาม	$\bar{X}$	<i>S.D.</i>	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านครูผู้สอน	4.39	0.85	มาก
2. ด้านการจัดการเรียนรู้	4.20	0.08	มาก
3. ด้านการวัดและประเมินผล	4.34	0.14	มาก
รวม	4.31	0.91	มาก

จากตารางที่ 5 พบว่า ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เรื่อง เลขยกกำลัง โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.31$, S.D.= 0.91) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุดคือ ด้านครูผู้สอน อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.39$, S.D.= 0.85) รองลงมา คือ ด้านการวัดและประเมินผลมีความพึงพอใจระดับมาก ($\bar{X} = 4.34$, S.D.= 0.14) และด้านการจัดการเรียนรู้มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X} = 4.20$, S.D.= 0.08) ตามลำดับ

การอภิปรายผล

การดำเนินการวิจัย เรื่องการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องเลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังเรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด มีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 7.93 คิดเป็นร้อยละ 79.30 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากการสอนแบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ในขั้นตอนการแก้ปัญหา (Solve : S) ในขั้นที่ 2 ของการจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิดในขั้นให้นักเรียนจับคู่ ร่วมแลกเปลี่ยนความคิดและประสบการณ์ (Pair) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนแต่ละคู่ร่วมกันพูดคุยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาของตนเอง เพื่อพิจารณาว่าคำตอบของคนไหนที่คิดว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ทำให้ผู้เรียนมีทักษะการแก้ปัญหา สามารถแลกเปลี่ยนความรู้กับคู่ของตนเองและเพื่อนร่วมชั้นได้ ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาเพิ่มมากขึ้น การจัดการเรียนการสอนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS เป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่เน้นพัฒนาผู้เรียนรายบุคคล นำไปสู่การสรุปความรู้ที่เป็นหลักการทฤษฎีด้วยตนเอง โดยให้นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตนเอง เริ่มจากการเผชิญปัญหาสถานการณ์แล้วให้นักเรียนวิเคราะห์ปัญหาเพื่อระบุปัญหา แยกแยะประเด็นปัญหาเพื่อแก้ไขปัญหาลงมาหาคำตอบหลังจากแก้ปัญหา เพื่อพัฒนาให้นักเรียนได้พัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหา โดยมีครูเป็นผู้แนะนำคอยดูแลทุกขั้นตอนในการสอนแบบ SSCS เมื่อเสริมด้วยกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้เทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นกิจกรรมที่สามารถนำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้ได้ในทุกระดับชั้นเรียน ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ และฝึกทักษะการคิด การสื่อสาร การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน รวมถึงการกล้าแสดงออก ทำให้เกิดประสบการณ์เรียนรู้ที่หลากหลาย ซึ่งสอดคล้องกับ Wipasachiwin (2021) ได้ศึกษาผลการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เรื่อง เลขยกกำลัง ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและความสามารถในการทำงานเป็นทีมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนสามารถวางแผนการแก้ปัญหาวเคราะห์สถานการณ์ และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข ทำให้การทำงานของนักเรียนสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนสูงขึ้น การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ส่งผลต่อการเรียนรู้และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ngaoboonmer and Hantula (2022) จัดการเรียนการสอนที่เน้นการกระตุ้นความคิดของนักเรียนด้วยการใช้คำถามหรือสถานการณ์ปัญหาที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติช่วยพัฒนาการวิเคราะห์ที่โดยในขั้นการคิดของนักเรียนจะได้พบสถานการณ์ปัญหาที่เป็นคำถามกระตุ้นความคิด เมื่อนักเรียนได้คิดแล้วสามารถพูดคุยกับคู่ของตนเองเพื่อหาแนวคิดและคำตอบที่ดีที่สุดเพื่ออธิบายและแก้ไขปัญหาสถานการณ์ที่เกิดขึ้น และสุดท้ายนักเรียนจะเกิดการเรียนรู้ร่วมกันทั้งชั้นเรียนเป็นการสรุปบทเรียนนั้น ๆ

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังเรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด สูงกว่าก่อนเรียน เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีขั้นตอนที่ชัดเจน และมีตัวอย่างวิธีการแก้ปัญหา ทำให้ผู้เรียนมีแนวคิดเป็นระบบ มีการค้นคว้าหาข้อมูลด้วยตนเอง มีการลงมือปฏิบัติ มีการสื่อสารแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดเห็น ส่งผลให้ผู้เรียนมีความรู้ การสื่อสาร ความเข้าใจที่ดี และส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนสูงขึ้น จากผลวิจัยพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.21 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1.39 และหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.01 เมื่อเปรียบเทียบค่า t คำนวณเท่ากับ 13.14 กับค่าวิกฤตของ t ตารางเท่ากับ 1.6955 พบว่า t คำนวณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตของ t ตาราง แสดงว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับ Saduakdee (2022) ได้กล่าวว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีขั้นตอนที่ชัดเจน มีตัวอย่างที่สามารถจับต้องได้ ทำให้ผู้เรียนมีแนวความคิดที่เป็นระบบ มีการวางแผนการดำเนินการทำงานเป็นทีม และการเรียนรู้ การคิด ส่งผลให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจที่ดีอย่างเป็นระบบ จึงส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Chobiad (2018) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการเรียนการสอนที่เสริมสร้างความสามารถในการให้เหตุผล พบว่า เมื่อนักเรียนมีประสบการณ์ในการแก้ปัญหาลงมาหาคำถามมากขึ้น นักเรียนใช้เวลามาก

ขึ้นในการทำความเข้าใจปัญหา ในการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น นักเรียนระบุวิธีการวางแผนดำเนินการได้ถูกต้องมากขึ้น นักเรียนเขียนคำอธิบายแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลในการค้นหาคำตอบของสถานการณ์ของปัญหาได้ชัดเจนขึ้น อีกทั้งเขียนสรุปคำตอบและตรวจสอบคำตอบของสถานการณ์ปัญหาได้ถูกต้องมากขึ้น และสอดคล้องกับ Kanuansin (2017) ที่กล่าวว่า กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เริ่มต้นด้วยปัญหาหรือเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบศึกษา จากนั้นนักเรียนหาข้อมูลเพื่อระบุสถานการณ์หรือปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วจึงตั้งสมมติฐานและการวางแผนการแก้ปัญหา ข้อมูลและแผนการทำงานจะถูกเตรียมโดยนักเรียน นักเรียนสร้างวิธีการแก้ปัญหาเพื่อนำเสนอและอภิปรายร่วมกันกับผู้สอนและนักเรียนคนอื่น สุดท้ายคือการแลกเปลี่ยนความรู้กับคนอื่น ๆ ฝึกให้นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็น สามารถแก้ไขปัญหาได้ดี และทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

3. ความพึงพอใจของนักเรียนหลังได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เรื่อง เลขยกกำลัง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.31$, S.D. = 0.91) เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นการจัดการเรียนรู้ตามความสนใจของนักเรียน มีการศึกษาร่วมกัน ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้ในสิ่งที่ตนชอบกับเพื่อน และการจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบของการทำงานร่วมกันกับเพื่อนที่ตนสนใจ ทำให้นักเรียนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถพูดคุยหรือปรึกษากันได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้เกิดความพึงพอใจที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้ และความพึงพอใจของนักเรียนสูงสุด คือ ด้านครูผู้สอน เนื่องจากครูผู้สอนให้คำแนะนำอย่างทั่วถึง คอยให้ความช่วยเหลือ รับฟังความคิดเห็นของนักเรียน ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างเต็มที่ และมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจที่ดีต่อครูผู้สอน และความพึงพอใจของนักเรียนที่น้อยที่สุด คือ ด้านการจัดการเรียนรู้ เนื่องจากนักเรียนบางส่วนยังคงเข้ากับเพื่อนยากและยังสับสนกับวิธีการสื่อสารแลกเปลี่ยนความรู้ จึงเกิดความล่าช้าในการจัดการเรียนรู้ ครูคอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kantathanawat (2020) กล่าวว่า กลยุทธ์การสร้างแรงจูงใจในชั้นเรียนครูต้องเป็นคนใจเย็น คอยช่วยเหลือสนับสนุนนักเรียน อีกทั้งการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ SSCS ยังมีสภาพแวดล้อมในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางทำให้นักเรียนมีความรู้สึก มีความมั่นคงปลอดภัยในการเรียนรู้ มีอิสระในการเรียนรู้ มีโอกาสแสดงความคิดเห็นทำให้อลดความหวาดระแวง และตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล นักเรียนสามารถเลือกวิธีการในการแก้ปัญหาหรือกลยุทธ์ในการแก้ปัญหาตามประสบการณ์ที่ตนเคยได้รับหรือตามความถนัดของตนเอง ซึ่งถ้าหากบุคคลได้ทำตามความถนัดหรือสิ่งที่ตนสนใจก็อาจก่อให้เกิดความพึงพอใจขึ้นมาได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Kaphake (2020) แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีเกมคณิตศาสตร์เป็นตัวช่วยในการสร้างบรรยากาศในชั้นเรียนให้น่าเรียนมากยิ่งขึ้นกระตุ้นความสนใจของนักเรียนให้มาอยู่จุดเดียวกัน ทำให้นักเรียนมีความรู้สึกว่าการเรียนคณิตศาสตร์ไม่ใช่แค่การคิดคำนวณอย่างเดียวแต่ยังสร้างความสนุกสนานและสร้างความรู้สึกลอยลื่นให้กับนักเรียนได้ ทำให้นักเรียนมีความสุขในการเรียนคณิตศาสตร์ นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนได้จับคู่กับเพื่อนเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน มีเพื่อนคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและสุดท้ายนักเรียนสามารถสรุปเป็นองค์ความรู้ของตนเองได้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องเลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด สรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องเลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องเลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ เรื่องเลขยกกำลัง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.31

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้

1. การจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้ มีการลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและการทำงานเป็นทีม โดยเฉพาะการใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ควรใช้เวลาที่มากพอและเหมาะสมหรือหากเป็นคาบเรียนควรใช้ลักษณะคาบเรียนคู่ เพื่อให้การจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นโดยทุกขั้นตอนได้เรียนอย่างต่อเนื่องกัน
2. การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมและลงมือปฏิบัติในการจัดการเรียนรู้ตลอดจนการทำงานเป็นทีม ดังนั้นครูควรเดินดูนักเรียนหรือคอยให้

คำแนะนำนักเรียนอยู่ตลอดเวลาให้ทั่วถึงจนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อที่จะสังเกตพฤติกรรม สอบถาม และช่วยเหลือนักเรียนให้เป็นไปอย่างทั่วถึง

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาความสามารถในด้านอื่น ๆ นอกจากความสามารถในการแก้ปัญหาและความสามารถในการทำงานเป็นทีม โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด เช่น ความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ในขั้นตอนการวางแผนแก้ปัญหา Solve นักเรียนอาจจะสามารถหาวิธีการแก้ปัญหาหรือกลยุทธ์ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายวิธีหลากหลายรูปแบบ

2. ควรมีการศึกษาและพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ในรูปแบบอื่น ๆ นอกเหนือจากการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน เช่น การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบออนไลน์

3. ควรมีการศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ SSCS ร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิด ในเรื่องอื่น ๆ และควรใช้ในระดับอื่น ๆ ด้วย เพื่อให้ให้นักเรียนได้เรียนรู้กิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย บรรยากาศในการเรียนที่สนุกสนานแตกต่างไปจากเดิม และนักเรียนได้เพิ่มทักษะการมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในห้องเรียน รวมทั้งการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีความสุขและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ต้องขอขอบพระคุณอย่างสูงในความเมตตาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ปวีณา ชันธุลีลา และอาจารย์ประภาพร หนองหารพิทักษ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการเสนอแนะในการทำวิจัยและการพัฒนานวัตกรรมเพื่อใช้ในการทำวิจัย ตลอดจนผู้บริหาร คณะครู นักเรียนที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

References

- Chobiad, J. (2018). Development of teaching and learning activities that strengthen the ability to give statistical reasons through solving problems of students in the special classroom Mathayom III. (in Thai). **Doctoral Dissertati**. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Edmonds, W. A. and Kennedy, T. D. (2017). **An applied guide to research designs quantitative qualitative and mixed methods (2nd edition)**. Los Angeles SAGE Publications Ltd.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2012). **Mathematics skills/processes (2nd edition)** (in Thai). Bangkok: Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology.
- Kantathanawat, T. (2020). **Educational psychology for student development** (in Thai). Bangkok: Min Service Supply Ltd.
- Kanuansin, C. (2017). Cloud-based adaptive learning system based on SSCS model for Promote creative problem solving among graduate students (in Thai). **Doctoral Dissertation**. Bangkok: Chulalongkorn University.
- Kaphake, J. (2020). Development of mathematical problem solving skills on Prisms and cylinders using the partner technique along with mathematics games for Mathayom II students (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Silpakorn University.
- Ministry of Education. (2017). **Learning standards and indicators for mathematics learning subject groups Science and Geography in social studies subject group religion and culture** (in Thai). Bangkok: Agricultural Co-operative Federation of Thailand. Ltd.
- Muangprafang, M., Jansawang, N. and Somtua, T. (2016). Students opinions on teachers teaching behavior students learning behavior and learning achievement on the rate of chemical reactions of Mathayom V students who organized peer-to-peer learning activities (in Thai). **Master's Thesis**. Mahasarakham: Mahasarakham rajabhat university.
- National Institute of Educational Testing. (2022). basic statistics of O-Net scores academic year 2022 (in Thai). Retrieved on 13 January 2024, from **NIETS**: <https://www.niets.or.th/th/content/view/11821>

- Ngaoboonmer, K. and Huntula, J. (2022). The development of analytical thinking skill through active learning by thing pair share on electric circuit at primary school level (in Thai). **Journal of Education Burapha University**, 33(2).
- Pizzini, E. L., Shepardson D. P. and Abell, S.K. (1989). A Rationale for and Development of a problem Solving Model of Instruction in Science Education. **Science Education**, 73(5), 523-534
- Prommanee, P. (2022). Concept of satisfaction and construction of job satisfaction questionnaire. **Academic Journal of the Association of Private Higher Education Institution of Thailand (ISO)**, 26(1), 59-66.
- Saduakdee, S. (2022). Results of organizing mathematics learning SQRQCQ strategies together with Using problems as a basis for similarity of Mathayom III students. **academic journal of the Royal Thai Naval Academy in Social Sciences Humanities Faculty of Science** (in Thai). Bangkok: Chandrakasem Rajabhat University.
- Thupairoh, P. (2016). Results of learning management using the SSCS format combined with the thinking partner technique. (Think-Pair-share) on ratios and percentages that affect problem-solving ability Mathematics and mathematical communication abilities of students Mathayom II (In Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Wipasachiwin, N. (2021). Results of learning management using the SSCS format combined with the Think-Pair-Share technique on statics on the ability to solve mathematical problems and problem solving ability (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Silpakorn University.



Improving Pre-Service Science Teachers' Technological Pedagogical and Content Knowledge through a Technology-infused Professional Learning Module Emphasized the Nature of Scientific Inquiry

Wacharaporn Khaokhajorn¹ and Niwat Srisawasdi^{2,3*}

¹Science Education Program, Faculty of Education, Khon Kaen University, Khon Kaen

²Division of Mathematics, Science, and Computer Education, Faculty of Education, Khon Kaen University, Khon Kaen

³Digital Education and Learning Engineering Association, Nonthaburi

*Email: niwsri@kku.ac.th

Received <5 September 2024>; Revised <1 October 2024>; Accepted <3 October 2024>

Abstract

The integration of digital technology in education is pivotal for enhancing educational quality, especially in science education. This is critical for advancing human capital development in Thailand. Our study developed a specialized modular approach to improve future teachers' essential knowledge by incorporating digital technology. This approach promotes an understanding of the nature of scientific inquiry for pre-service science teachers in the new era. The researchers engaged 50 third-year pre-service science teachers in 10 hours learning module. Their Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK) was evaluated through an open-ended situational test both before and after the module. The data analysis utilized descriptive and inferential statistics. Results showed a statistically significant improvement in TPACK scores post-module, highlighting the module's effectiveness in fostering knowledge integration. This research underscores the necessity of integrating digital technology into teacher preparation programs to boost TPACK among science teachers. The design of this technology-infused inquiry-based learning module, rooted in the TPACK framework, equips pre-service science teachers with vital management skills in science learning integrated with digital tools. Our findings advocate for the importance of the modular approach in enhancing the preparedness of pre-service science teachers, enabling them to provide high-quality teacher education in the digital era. This study contributes significantly to the quality of future science teacher preparation, ensuring they are well-equipped for effective teaching practices to new-generation learners. The practical implications of our study are far-reaching, as it provides a roadmap for improving science education through digital technology integration.

Keywords: Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK), Technological integration, Nature of scientific inquiry, Teacher education, Pre-service teacher

การพัฒนาความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยีของนักศึกษาวิชาชีพครู วิทยาศาสตร์ผ่านโมดูลการเรียนรู้เพื่องานวิชาชีพผสานรวมเทคโนโลยีที่เน้นการเข้าใจใน ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ

วัชรภรณ์ เขาเขจร¹ และ นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์^{2,3*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²กลุ่มวิชาการศึกษาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³สมาคมการศึกษาดิจิทัลและวิศวกรรมการเรียนรู้

*Email: niwsri@kku.ac.th

รับบทความ: 5 กันยายน 2567 แก้ไขบทความ: 1 ตุลาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 3 ตุลาคม 2567

บทคัดย่อ

การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลในบริบททางการศึกษาในปัจจุบันมีบทบาทสำคัญต่อการยกระดับคุณภาพการจัดการ
การศึกษาของประเทศ โดยเฉพาะบริบทการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่เป็นความจำเป็นเร่งด่วนหนึ่งตามสถานะคุณภาพของการ
พัฒนาทุนมนุษย์ปัจจุบันของสังคมไทย งานวิจัยนี้มุ่งศึกษานำเสนอรูปแบบการจัดการศึกษาแบบโมดูลจำเพาะที่เน้นการพัฒนาความรู้
ในการจัดการเรียนรู้โดยบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการเข้าใจธรรมชาติของกระบวนการวิทยาศาสตร์สืบเสาะสำหรับ
ผู้เรียนยุคใหม่ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ โดยกลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 3
จำนวน 50 คน ที่ได้รับโมดูลการเรียนรู้ดังกล่าวเป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยมีการทดสอบความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดย
ใช้เทคโนโลยี (TPACK) ทั้งก่อนและหลังการได้รับโมดูลการเรียนรู้โดยใช้แบบทดสอบอัตนัย การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิง
บรรยายและเชิงอ้างอิง ผลการวิจัยพบว่าคะแนน TPACK ของนักศึกษาหลังได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ผ่านโมดูลนั้นเพิ่มขึ้น
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับสิ่งที่ได้ตั้งสมมติฐานของโมดูลการเรียนรู้สำหรับกลุ่มนักศึกษาดังกล่าว ดังนั้นแล้ว
ผลของการวิจัยนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลกับสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ในหลักสูตรการเตรียมครู
เพื่อการพัฒนา TPACK ของครูวิทยาศาสตร์ให้ดีขึ้นได้ ซึ่งการออกแบบและพัฒนาโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ
บนพื้นฐานของกรอบแนวคิด TPACK ในงานการสอนวิทยาศาสตร์นี้สามารถช่วยให้นักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์มีการพัฒนา
องค์ความรู้ที่จำเป็นและเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการจัดการศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลมาบูรณาการร่วม เพื่อการยกระดับ
คุณภาพการเตรียมความพร้อมให้กับว่าที่ครูวิทยาศาสตร์ให้ได้มีองค์ความรู้สำคัญในการปฏิบัติงานการสอนในยุคดิจิทัลได้อย่างมี
คุณภาพ

คำสำคัญ: ความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยี (TPACK) การบูรณาการเทคโนโลยี ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ
วิชาชีพครูศึกษา นักศึกษาวิชาชีพครู

บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในทุกภาคส่วนของสังคม เทคโนโลยีได้เข้ามาเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะในบริบทของการศึกษาวิทยาศาสตร์ การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับกระบวนการเรียนการสอนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเตรียมครูวิทยาศาสตร์ให้พร้อมสำหรับความท้าทายใหม่ ๆ ในศตวรรษที่ 21 ครูวิทยาศาสตร์ยุคปัจจุบันจำเป็นต้องมีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสอนและเพื่อพัฒนาความสามารถของนักเรียนในด้านการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการสร้างสรรค์นวัตกรรม (Mishra and Koehler, 2006; Koehler and Mishra, 2009) การพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัลในห้องเรียนไม่เพียงแต่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้เท่านั้นแต่ยังช่วยเพิ่มความสามารถของครูในการสร้างสรรค์วิธีการสอนที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Niess, 2005) และเทคโนโลยีดิจิทัลในบริบทการศึกษามีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในยุคที่การระบาดของโควิด-19 ได้เร่งให้การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญยิ่งขึ้น การเรียนการสอนทางไกลและการใช้แพลตฟอร์มดิจิทัลกลายเป็นเรื่องจำเป็น และครูทั่วโลกต้องปรับตัวเข้ากับเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI), ระบบการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ (LMS), และเครื่องมือเสริมการเรียนรู้แบบสืบเสาะสอบสวนผ่านเทคโนโลยี AR (Augmented Reality) และ VR (Virtual Reality) (Lai and Bower, 2020; Bond *et al.*, 2021) ครูวิทยาศาสตร์ในยุคปัจจุบันจึงไม่เพียงแต่ต้องมีทักษะในการใช้เทคโนโลยีขั้นพื้นฐานเท่านั้น แต่ยังสามารถบูรณาการเทคโนโลยีขั้นสูงเข้ากับกระบวนการเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนเตรียมพร้อมสำหรับโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยี หรือที่เรียกว่า TPACK (Technological Pedagogical and Content Knowledge) เป็นกรอบแนวคิดที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาสมรรถนะของครูวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน TPACK คือความสามารถในการผสมผสานความรู้ในเนื้อหาวิชา การจัดการเรียนการสอนและการใช้เทคโนโลยีเข้าด้วยกันอย่างสอดคล้องกัน ซึ่งทำให้ครูสามารถออกแบบและดำเนินการสอนที่มีประสิทธิภาพได้ (Mishra and Koehler, 2006) การมีความสามารถในการ TPACK ช่วยให้ครูสามารถปรับเปลี่ยนและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในลักษณะที่สนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียนได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อความต้องการในยุคที่การศึกษาและเทคโนโลยีมีความสัมพันธ์กันอย่างแนบแน่น (Angeli and Valanides, 2009) นอกจากนี้ การพัฒนา TPACK ยังมีความสำคัญต่อการเสริมสร้างความเป็นมืออาชีพของครูวิทยาศาสตร์ เนื่องจากช่วยให้ครูสามารถปรับตัวและรับมือกับความท้าทายใหม่ ๆ ในการจัดการเรียนการสอน เช่น การสอนออนไลน์ การใช้แอปพลิเคชันและซอฟต์แวร์ทางวิทยาศาสตร์ หรือการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (Blended Learning) (Tondeur *et al.*, 2017) ความสามารถในการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการสอนอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยเพิ่มความมั่นใจและความเชี่ยวชาญของครู ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน

ในการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่เน้นการสร้างเสริมสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียนในยุคปัจจุบัน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเตรียมครูที่มีความเชี่ยวชาญใน TPACK ครูที่มีความสามารถในด้านนี้จะสามารถออกแบบและใช้สื่อการเรียนการสอนที่บูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาทักษะที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของผู้เรียน เช่น ทักษะในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน การคิดเชิงวิเคราะห์ และการสร้างนวัตกรรม (Schmidt *et al.*, 2009) นอกจากนี้ การใช้ TPACK ในการสอนวิทยาศาสตร์ยังช่วยให้ครูสามารถสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่กระตุ้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมและสามารถนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์จริงได้ (Harris, Mishra and Koehler, 2009) การพัฒนาความสามารถด้าน TPACK ของครูวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งสำคัญในการเตรียมครูให้พร้อมสำหรับการเผชิญกับความท้าทายในการสอนวิทยาศาสตร์ในยุคดิจิทัล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-based Science) มักจะเกี่ยวข้องกับการตั้งคำถาม การสำรวจ และการทดลอง ซึ่งช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการหาคำตอบ ดังนั้น การเรียนรู้ที่เน้นการเข้าใจธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ (Nature of Scientific Inquiry, NOSI) จึงมีบทบาทสำคัญในการเตรียมครูให้พร้อมสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์ที่ส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา (Lederman, 2013) การบูรณาการ TPACK กับโมดูลการเรียนรู้ NOSI เป็นแนวทางที่สามารถพัฒนาทั้งความรู้ด้านเนื้อหา การสอน และการใช้เทคโนโลยี เพื่อให้นักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์สามารถใช้เทคโนโลยีในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่สนับสนุนการเรียนการสอนแบบสืบเสาะได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น การวิจัยเกี่ยวกับการใช้โมดูล NOSI ที่เน้นการพัฒนา TPACK ของครูวิทยาศาสตร์จะช่วยให้สามารถเข้าใจวิธีการบูรณาการเทคโนโลยีในการสอนวิทยาศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น และมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเตรียมครูวิทยาศาสตร์ให้พร้อมสำหรับการสอนที่ทันสมัย (Niess, 2005)

ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาความสามารถด้าน TPACK ให้กับนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์จึงเป็นประเด็นสำคัญในการเตรียมความพร้อมครูรุ่นใหม่ให้สามารถจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในยุคดิจิทัล การเห็นความสำคัญของการเตรียมครูวิทยาศาสตร์ให้พร้อมด้วยทักษะ TPACK เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การพัฒนา TPACK ของครูวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยจึงมีบทบาทสำคัญในการเตรียมความพร้อมให้ครูสามารถใช้เทคโนโลยี

เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้แบบสืบเสาะและการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติที่ช่วยส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 (Srisawasdi, 2014) งานวิจัยในประเทศไทยยังพบว่าครูวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการฝึกฝนและพัฒนา TPACK สามารถนำเสนอเนื้อหาที่ซับซ้อนผ่านการใช้เทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ยากได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ การฝึกฝนในด้าน TPACK ยังช่วยสร้างความมั่นใจให้กับครูในการใช้เครื่องมือดิจิทัลต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ที่ทันสมัยและมีความหลากหลาย (Srisawasdi, Pondee and Bunterm, 2018) การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาแนวทางการพัฒนา TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ผ่านโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความสามารถนี้ให้กับนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ โมดูลนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้ครูสามารถพัฒนาความรู้ในด้านเนื้อหาวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังช่วยให้ครูสามารถบูรณาการเทคโนโลยีและการจัดการเรียนการสอนเข้าด้วยกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Schmidt *et al.*, 2009; Koehler and Mishra, 2005) ดังนั้น การส่งเสริมการพัฒนา TPACK ในครูวิทยาศาสตร์จึงเป็นแนวทางที่สำคัญสำหรับอนาคตของการศึกษาวิทยาศาสตร์ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้รับการศึกษาที่มีคุณภาพและสามารถปรับตัวให้เข้ากับโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในยุคดิจิทัลได้

คำถามการวิจัย

จากที่มาความสำคัญในการศึกษาวรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยจึงกำหนดคำถามการวิจัยในครั้งนี้อา
“นักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่องานวิชาชีพผ่านโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะจะมีความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยีที่ดียิ่งขึ้นหรือไม่”

จุดประสงค์การวิจัย

จากคำถามการวิจัยที่กำหนดนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยีของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ที่ได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ

หลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะสำหรับครูวิทยาศาสตร์

ในการศึกษาวิทยาศาสตร์ การเน้นวิธีการสอนแบบสืบเสาะและความเข้าใจธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (NOSI) มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาสมรรถนะการสอนแบบสืบเสาะของครู เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์นั้นครูต้องเข้าใจการเรียนรู้แบบสืบเสาะและ NOSI อย่างลึกซึ้ง (Willden *et al.*, 2002) โดยครูควรช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจ NOSI และหลักการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เช่น การตั้งสมมติฐาน การทดลองและควบคุมตัวแปร การให้เหตุผลโดยอิงหลักฐาน (Lederman *et al.*, 2019) แนวทางนี้สามารถช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่กระตุ้นให้นักเรียนมีความอยากรู้อยากเห็น มีความสงสัย และคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Hammer *et al.*, 2008) ดังนั้นการบูรณาการ NOSI ในการพัฒนาครูช่วยให้ครูเข้าใจว่าการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ได้รับอิทธิพลจากประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม และบริบทของวิธีการ (Schwartz, Lederman and Crawford, 2008) ความร่วมมือระหว่างสาขาวิชาในการเตรียมครูมีความสำคัญที่ช่วยให้ครูได้สัมผัสกับวิธีการสืบเสาะที่หลากหลาย (Lederman, 2009) การพัฒนามาตรฐานวิชาชีพและการอบรมเชิงปฏิบัติการ ความร่วมมือในการวิจัย และการประชุมทางวิชาการ สามารถช่วยครูได้พัฒนาทักษะและวิธีการสอนตามแนวปฏิบัติที่ดีในการสอนแบบสืบเสาะ (Hodson, 2008)

ความเข้าใจในธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนสำคัญของของการศึกษาธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Lederman *et al.*, 2002) งานวิจัยทั่วโลกชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาความเข้าใจด้านการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา โดย Lederman *et al.* (2019) ศึกษาความเข้าใจธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเกรดระดับ 7 จำนวน 18 ประเทศ พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีนักเรียนจำนวนน้อยที่มีโอกาสได้เข้าร่วมกิจกรรมการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง หากนักเรียนได้ทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในเชิงปฏิบัติจริง พวกเขาจะสามารถเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในวิทยาศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น (Gaigher, Lederman and Lederman, 2014) ทั้งนี้ นักเรียนควรมีทั้งความรู้และทักษะเกี่ยวกับการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้สามารถทำงานและเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี (National Research Council (NRC), 2000) แบบสอบถาม Views about Scientific Inquiry (VASI) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัดความเข้าใจในแง่มุมต่างๆ ของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Lederman

et al., 2014) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าความเข้าใจในกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ (Driver et al., 1996) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยพบว่าครูส่วนใหญ่ไม่ได้รับการฝึกฝนด้านการวิจัยทางวิทยาศาสตร์อย่างเพียงพอ (Gallagher, 1989; Marx et al., 1994) แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับธรรมชาติของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (NOSI) ประกอบด้วยหลายองค์ประกอบ เช่น การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เริ่มต้นจากการตั้งคำถาม การดำเนินการสืบเสาะไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามลำดับขั้นตอนที่ตายตัว การตั้งคำถามเป็นต้นทางในการดำเนินการ การสืบเสาะเดียวกันอาจได้ผลลัพธ์ที่ต่างกัน ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ไม่เหมือนกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ และข้อสรุปต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่เก็บรวบรวม นอกจากนี้ การอธิบายจะต้องพัฒนามาจากการรวบรวมข้อมูลและความรู้ที่มีอยู่เดิม (Lederman et al., 2014)

จากแนวคิดที่สำคัญเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการเสริมสร้างความเข้าใจในกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ให้กับครูและนักเรียนเพื่อให้มีทักษะและความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่แท้จริง

กรอบแนวคิดความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยี

กรอบแนวคิดความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยี หรือ TPACK (Technological Pedagogical and Content Knowledge) เป็นแนวคิดสำคัญในการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการจัดการเรียนการสอนในยุคดิจิทัล ได้รับการพัฒนาขึ้นจากการแนวคิดของ Shulman (1986) ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้เนื้อหา (Content Knowledge: CK) ความรู้ด้านการสอน (Pedagogical Knowledge: PK) และความรู้ด้านเทคโนโลยี (Technological Knowledge: TK) รวมถึงความรู้ที่เกิดจากการบูรณาการระหว่างองค์ประกอบเหล่านี้ ได้แก่ ความรู้ด้านเทคโนโลยีและเนื้อหา (Technological Content Knowledge: TCK) ความรู้ด้านเทคโนโลยีและวิธีสอน (Technological Pedagogical Knowledge: TPK) และความรู้ด้านเทคโนโลยีวิธีสอนและเนื้อหา (Technological Pedagogical Content Knowledge: TPACK) ซึ่งถือเป็นความรู้ที่ครูต้องมีเพื่อสามารถออกแบบและดำเนินการสอนที่บูรณาการเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mishra and Koehler, 2006)

TPACK จึงเป็นกรอบแนวคิดที่ครอบคลุมถึงทักษะและความรู้ที่จำเป็นในการสอนวิชาต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลให้เหมาะสมกับบริบทของห้องเรียน การพัฒนา TPACK ให้กับครูและนักศึกษาวิชาชีพครูจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเตรียมความพร้อมสำหรับการจัดการเรียนการสอนในยุคดิจิทัล (Angeli, Valanides and Christodoulou, 2016) ในขณะที่ TCK ช่วยให้ครูมีความเข้าใจในวิธีการใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนและเสริมสร้างเนื้อหาวิชา TPK จะเน้นไปที่การบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับวิธีการสอนที่มีประสิทธิภาพ โดยครูจะต้องมีความเข้าใจในกระบวนการเลือกและนำเทคโนโลยีมาใช้ในการเรียนการสอนอย่างรอบคอบ ซึ่งการผสมผสานกันของความรู้ทั้งสามด้านนี้จะทำให้ครูสามารถสร้างสรรค์กิจกรรมการเรียนรู้ที่มีคุณภาพและตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนในยุคดิจิทัลได้อย่างเหมาะสม จากกรอบแนวคิดนี้ การพัฒนาความสามารถด้าน TPACK ของครูจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษายุคปัจจุบัน การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับการสอนและเนื้อหาวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพไม่เพียงแต่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาวิชาได้ดียิ่งขึ้น แต่ยังช่วยพัฒนาทักษะที่สำคัญสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (Koehler and Mishra, 2009)

วิธีดำเนินการวิจัย

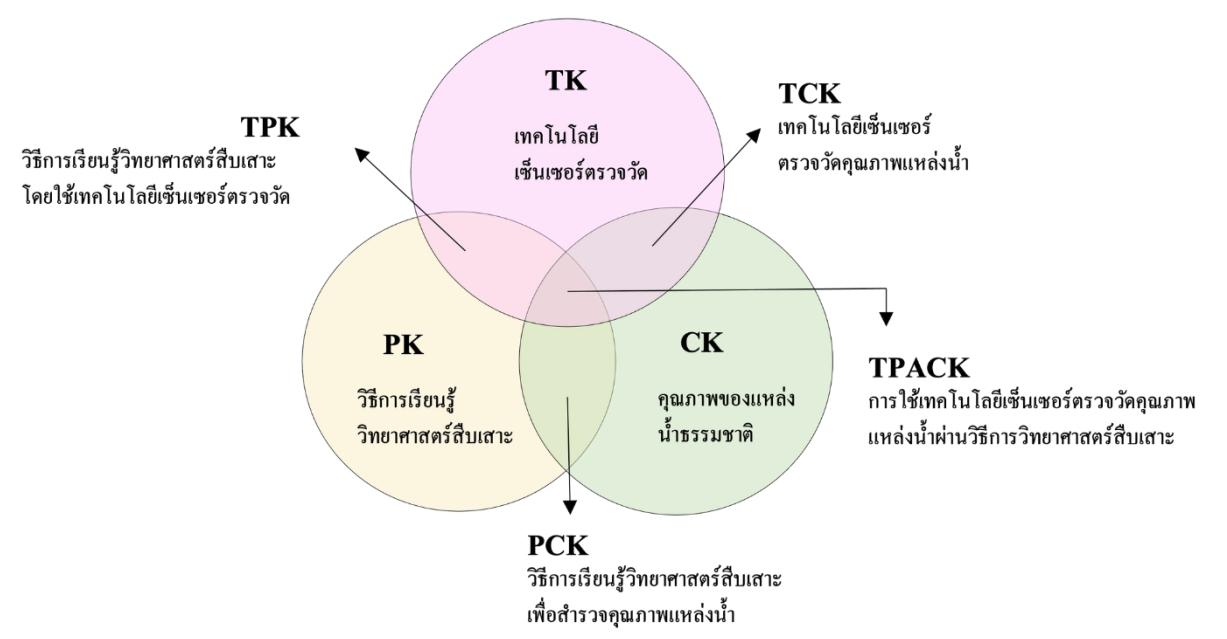
ผู้เข้าร่วมการวิจัย

กลุ่มคนที่เข้าร่วมการวิจัยมีการเลือกแบบเจาะจงของนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 50 คน ประกอบด้วยนักศึกษาชาย จำนวน 12 คน และนักศึกษาหญิง จำนวน 38 คน ที่กำลังศึกษาในหลักสูตรปริญญาตรี ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ นักศึกษามีการลงทะเบียนเรียนในรายวิชาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษาและสมัครใจในการให้ข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ นักศึกษาได้ผ่านการการเรียนรู้ในรายวิชาเกี่ยวกับวิชาชีพครูและวิชาเอกวิทยาศาสตร์ในภาคการศึกษาต่าง ๆ ที่ผ่านมา โดยในปีการศึกษาถัดไป นักศึกษาจะต้องออกฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูในสถานศึกษาเป็นเวลา 1 ปี พร้อมกับการทำวิจัยในชั้นเรียนตามข้อกำหนดของหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต ดังนั้นในการวิจัยนี้เป็นโอกาสในการพัฒนาคุณภาพการเตรียมครูวิทยาศาสตร์เพื่อบ่มเพาะความรู้ในการสอนเนื้อหาจำเพาะที่ผนวกด้วยเทคโนโลยี

กิจกรรมการเรียนรู้

ผู้วิจัยออกแบบโมดูลกิจกรรมการเรียนรู้โดยการสืบเสาะที่สะท้อนลักษณะสำคัญของธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะโดยการศึกษาที่แบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ (1) ดำเนินการวิจัยหนึ่งภาคการศึกษากับนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ในรายวิชาการจัดการความรู้วิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา ซึ่งรวมถึงความรู้วิทยาศาสตร์ในสาขาวิชาฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา (2) ใช้โมดูลการเรียนรู้การสอนเนื้อหาผนวกเทคโนโลยีของธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ (NOSI) ที่มีการพัฒนาและออกแบบการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์โดยฝังเครื่องมือดิจิทัลเทคโนโลยีในกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ได้แก่ เซนเซอร์วัดค่าทาง

วิทยาศาสตร์แบบเคลื่อนที่ แอปพลิเคชันสำรวจแหล่งน้ำ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ผ่านแนวทางการทำงานร่วมกันอย่างสร้างสรรค์ (Max *et al.*, 2020; Max, Lukas and Weitzel, 2021) เนื่องจากการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลที่เพิ่มขึ้นในการศึกษาร่วมสมัยจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูที่กำลังเรียนรู้ในหลักสูตรเตรียมครูเพื่อให้ได้มาซึ่งความเข้าใจอย่างถ่องแท้เกี่ยวกับเทคโนโลยีและทักษะการสอน (Pondee, Panjaburee and Srisawasdi, 2021; Srisawasdi, Pondee and Bunterm, 2018) นอกจากนี้ นักการศึกษาและนักวิชาการได้เน้นย้ำถึงความจำเป็นที่ครูมืออาชีพจะต้องเชี่ยวชาญในการผสมผสานทักษะด้านเทคโนโลยี การสอน และเนื้อหาตามกรอบแนวคิด TPACK (Chaipidech *et al.*, 2022; Chaipidech and Srisawasdi, 2021; Pondee, Panjaburee and Srisawasdi, 2021; Srisawasdi, Pondee and Bunterm, 2018; Srisawasdi, 2014) โมเดลนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสริมสร้างความรู้ TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์โดยใช้แนวทางการพัฒนา TPACK ที่มุ่งเน้นกรณีศึกษาโดย Pondee, Panjaburee and Srisawasdi (2021) ในเนื้อหาที่มีโครงสร้างทั่วไปไปจนถึงมีความจำเพาะที่เริ่มต้นด้วยแนวคิดที่ง่ายไปยากแล้วนำไปสู่งานที่มีรายละเอียดและซับซ้อนมากขึ้น (Reigeluth and Stein, 1983) นอกจากนี้การบูรณาการโมเดลการเรียนรู้ตามกรณีศึกษา Srisawasdi (2012) กับแบบจำลอง SPA (Showing the case, Practice in the team, and Application of the case) (Pondee, Panjaburee and Srisawasdi, 2021) เป็นกลวิธีการสอนที่เป็นระบบและมุ่งเน้นกรณีศึกษาซึ่งช่วยพัฒนา TPACK ให้กับนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยีที่เน้นการพัฒนาความเข้าใจในธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ หรืออาจเรียกว่า “ความรู้ในการสอนความเข้าใจในธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะโดยใช้เทคโนโลยี”

ตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้

ตารางที่ 1 นำเสนอตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสร้างเสริมความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยี สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ที่สะท้อนลักษณะสำคัญในธรรมชาติของกระบวนการวิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านประสบการณ์เรียนรู้จากกรณีศึกษาแบบ 3 ขั้นตอน ได้แก่ นำเสนอกรณีตัวอย่าง (Showing the Case) ปฏิบัติงานร่วมกันเป็นทีม (Practicing in Team) และ การคิดออกแบบการดำเนินงานโดยการประยุกต์จากกรณีศึกษา (Application of the Case) (Pondee, Panjaburee and Srisawasdi, 2021)

ตารางที่ 1 รายละเอียดกิจกรรมการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะในบริบทการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

กิจกรรมการเรียนรู้หลัก		
ขั้นตอนที่ 1: การนำเสนอกรณีตัวอย่าง (Showing the case) — ระยะเวลา 200 นาที	ผู้สอนนำเสนอกรณีศึกษาเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพน้ำในชุมชนท้องถิ่นนำไปสู่การอธิบายหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดคุณภาพน้ำทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ จากนั้นสาธิตการใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์จากเครื่อง Labquest2 ในการวัดคุณภาพน้ำ เช่น กรดเบส อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ และแสดงวิธีการใช้แอปพลิเคชัน AppSheet บนสมาร์ตโฟนเพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล จากนั้นให้นักศึกษาดำเนินการสำรวจคุณภาพแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัย (แสดงดังภาพประกอบ) เพื่อเรียนรู้กระบวนการธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะจนถึงอธิบายความสำคัญของการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์และการได้มาของข้อมูลและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ในการอธิบายและสรุปผล	 
ขั้นตอนที่ 2: ปฏิบัติงานร่วมกันเป็นทีม (Practicing in the team) — ระยะเวลา 200 นาที	ผู้สอนทำการฝึกนักศึกษาในการเตรียมความรู้ของการสอนจากขั้นตอนที่ 1 ที่มีการใช้ความรู้วิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ความรู้ในการใช้เครื่องมือเทคโนโลยีดิจิทัล อุปกรณ์เซนเซอร์จากเครื่องบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัล Labquest2 และแอปพลิเคชัน AppSheet และความรู้ในกลวิธีการสอนแบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ โดยแบ่งนักศึกษาเป็นกลุ่มย่อย กลุ่มละ 5-6 คน แต่ละกลุ่มฝึกฝนการใช้งานและทำภารกิจที่ได้รับมอบหมายเพื่อแสดงถึงความสามารถในการเรียนรู้ในกิจกรรมของแต่ละขั้นตอน (แสดงดังภาพประกอบ)	 
ขั้นตอนที่ 3: การคิดออกแบบการดำเนินงานโดยการประยุกต์จากกรณีศึกษา — ระยะ (Application of	ผู้สอนทำการฝึกนักศึกษาให้มีการนำความรู้ที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีการใช้ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ ความรู้ในการใช้เครื่องมือเทคโนโลยีดิจิทัล อุปกรณ์เซนเซอร์ และแอปพลิเคชัน และความรู้ในกลวิธีการสอนแบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ โดยนักศึกษานำเสนอและอธิบายการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการสอนนักเรียนระดับประถมศึกษาเพื่อให้เกิดธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะได้อย่างไร แล้วจัดให้มีการ	

กิจกรรมการเรียนรู้หลัก		
the case) เวลา 200 นาที	แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและข้อเสนอแนะระหว่างกลุ่มนักศึกษา (แสดงดังภาพประกอบ) จากนั้นผู้สอนให้ข้อมูลย้อนกลับเกี่ยวกับ TPACK ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์	

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยในแผนงานแบบกลุ่มเดียวที่มีการทดสอบก่อนและหลัง โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยเป็นไปตามแบบแผนการวิจัยดังต่อไปนี้

- 1) ผู้วิจัยแจ้งวัตถุประสงค์ของการวิจัยต่อนักศึกษากลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัยและแจ้งขอความยินยอมจากนักศึกษากลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัย พร้อมทั้งชี้แจงถึงการเก็บข้อมูลวิจัยในครั้งนี้ว่าจะไม่มีผลกระทบต่อผลการเรียนในรายวิชาที่ผู้วิจัยทำการสอน และผู้วิจัยจะไม่เปิดเผยข้อมูลส่วนตัว รวมถึงผลคะแนนที่ระบุถึงตัวตนของผู้เข้าร่วม งานวิจัย
- 2) ผู้วิจัยทดสอบ TPACK ก่อนเริ่มกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะได้รับประสบการณ์เรียนรู้การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการเรียนรู้ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์สืบเสาะของนักศึกษาวิชาชีวศรวิทยาศาสตร์ด้วยโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะกับนักศึกษากลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยใช้แบบวัด TPACK เป็นระยะเวลา 50 นาที
- 3) ผู้วิจัยทดลองจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ จำนวน 12 คาบ เป็นเวลา 600 นาที ในระยะเวลา 3 สัปดาห์ ต่อเนื่องกัน
- 4) ผู้วิจัยทดสอบ TPACK หลังกิจกรรมที่ได้รับโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะกับนักศึกษากลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยใช้แบบวัดต่างกับที่ใช้ในการทดสอบก่อนเริ่มกิจกรรมการเรียนรู้ แต่ใช้ระยะเวลาในการทดสอบเท่ากัน

เครื่องมือวิจัย

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลของแบบวัด TPACK ก่อนและหลังที่นักศึกษาวิชาชีวศรวิทยาศาสตร์ผ่านประสบการณ์เรียนรู้โดยใช้โมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ โดยแบบวัด TPACK มีสถานการณ์คำถามก่อนและหลังดำเนินกิจกรรมที่แตกต่างกัน รวมทั้งสิ้นจำนวน 2 สถานการณ์ ในแต่ละสถานการณ์ ประกอบด้วย 3 องค์กรประกอบ โดยในองค์กรประกอบที่ 1 มีระดับคะแนนสูงสุดที่ 4 คะแนน องค์กรประกอบที่ 2 มีระดับคะแนนสูงสุดที่ 3 คะแนน และองค์กรประกอบที่ 3 มีระดับคะแนนสูงสุดที่ 2 คะแนน ตามระดับความสมบูรณ์ของแต่ละองค์ประกอบ ดังนั้นจึงคิดเป็นคะแนนเต็มของแบบวัดมีค่าเท่ากับ 9 คะแนน นักศึกษาวิชาชีวศรวิทยาศาสตร์มีเวลาในดำเนินการทดสอบเป็นระยะเวลา 60 นาที โดยเครื่องมือวิจัยได้รับการตรวจสอบคุณภาพโดยการวัดความสอดคล้องภายในและความน่าเชื่อถือของการประเมิน (Inter-rater Reliability: IRR) โดยใช้ผู้ประเมินคะแนนอิสระ 3 คน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการศึกษาวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้ประกอบด้วยการทดสอบประสิทธิภาพจากประสบการณ์เรียนรู้ 3 ขั้นตอน ได้แก่ นำเสนอกรณีตัวอย่าง (Showing the Case) ปฏิบัติงานร่วมกันเป็นทีม (Practicing in Team) และ การคิดออกแบบการดำเนินงานโดยการประยุกต์จากกรณีศึกษา (Application of the Case) (Pondee, Panjaburee and Srisawasdi, 2021) ในแต่ละขั้นตอนมีการกำหนดโดยใช้กรอบแนวคิด TPACK ที่เน้นย้ำความรู้ทักษะทางด้านเทคโนโลยี วิธีการสอน และเนื้อหาจำเพาะ สำหรับการสอนวิทยาศาสตร์ การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัด TPACK ต้องสะท้อนองค์ประกอบ 3 ด้าน ได้แก่ การจำ การประยุกต์ใช้ และความเข้าใจ โดยองค์ประกอบแรกสะท้อนถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่นำมาใช้ องค์ประกอบที่สองสะท้อนการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ความรู้ในการเรียนการสอน และองค์ประกอบที่สามสะท้อนความเข้าใจโดยอภิปรายข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีที่นำมาใช้ และเป็นการพิจารณาแบ่งคะแนนย่อยตามองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบโดยมีคะแนนเต็มเป็น 4 คะแนน 3 คะแนน และ 2 คะแนน ตามลำดับ ดังนั้นแล้ว คะแนนรวมของทุกองค์ประกอบของแบบทดสอบอันนี้ดังกล่าวจึงเท่ากับ 9 คะแนน ดังนำเสนอรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2 นี้

ตารางที่ 2 รายละเอียดกิจกรรมการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะในบริบทการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ระดับ คะแนน	สถานการณ์ประกอบประเด็นถาม				
	สถานการณ์ที่กำหนดให้: ครูต้องการสอนเพื่อให้นักเรียนได้ ทักษะ ในการปฏิบัติงานตามวิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพื่อ เก็บรวบรวมข้อมูลดิบ ในประเด็น “ปัญหาฝุ่น PM 2.5” ผ่านการสำรวจตรวจสอบสภาวะการณ์ของอากาศโดยใช้ เซ็นเซอร์ตรวจวัด				
	ประเด็นคำถามด้านความจำ		ประเด็นคำถามด้านการประยุกต์ใช้	ประเด็นคำถามด้านความเข้าใจ	
	ประเด็นคำถามย่อย: เซ็นเซอร์ตรวจวัดมีลักษณะเป็นอย่างไร	ประเด็นคำถามย่อย: ครูคนนั้นสามารถใช้ได้อย่างไรบ้างในกระบวนการสภาวะการณ์ของอากาศของนักเรียน	ประเด็นคำถามย่อย: ให้เสนอแนะแนวปฏิบัติงานการสอนโดยใช้ เซ็นเซอร์ตรวจวัด ดังกล่าวว่า “ควรจะถูกใช้ในขั้นตอนใดและใช้อย่างไรในขั้นตอนดังกล่าว” เพื่อให้ครูคนนั้นบรรลุวัตถุประสงค์การปฏิบัติงานเพื่อมุ่งสร้างทักษะปฏิบัติของนักเรียน	ประเด็นคำถามย่อย: ข้อดีของการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดเพื่อการปฏิบัติงานการสอนเป็นอย่างไรบ้าง	ประเด็นคำถามย่อย: ข้อด้อยของการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดเพื่อการปฏิบัติงานการสอนเป็นอย่างไรบ้าง
0	ไม่ตอบหรือตอบไม่ตรงประเด็นถาม	ไม่ตอบหรือตอบไม่ตรงประเด็นถาม	ไม่ตอบหรือตอบไม่ตรงประเด็นถาม	ไม่ตอบหรือตอบไม่ตรงประเด็นถาม	ไม่ตอบหรือตอบไม่ตรงประเด็นถาม
1	บรรยายความว่าเป็นเครื่องมือตรวจวัดค่าทางวิทยาศาสตร์แบบดิจิทัล แบบเวลาจริง หรือ อุปกรณ์ที่มีการประมวลผลแบบอัตโนมัติ อย่างใดอย่างหนึ่ง	บรรยายความว่า ใช้ในขั้นตอนเพื่อการสำรวจตรวจสอบ (ที่ไม่ใช่การนำเข้าสู่บทเรียน ไม่ใช้การสรุปเนื้อหาบทเรียน)	ระบุบางส่วน (ขั้นตอนหรือเป็นกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่ง) แต่ไม่เป็นวิธีการสืบเสาะหรือไม่สอดคล้องต่อการมุ่งเป้าสร้างผลลัพธ์การเกิดทักษะการปฏิบัติที่เป็นการสำรวจตรวจสอบ	ระบุได้ประเด็นใดประเด็นหนึ่ง (เช่น มีการประมวลผลแบบอัตโนมัติ การแสดงผลแบบดิจิทัล แบบเวลาจริง มีส่วนร่วมในการเรียนรู้เชิงรุก เป็นต้น)	ระบุได้ ประเด็นใดประเด็นหนึ่ง (เช่น มีราคาสูง มีความรู้ในการใช้งาน เป็นต้น)
2	บรรยายความว่าเป็นเครื่องมือตรวจวัดค่าทางวิทยาศาสตร์แบบดิจิทัล แบบเวลาจริง และ อุปกรณ์ที่มีการประมวลผลแบบอัตโนมัติ ครบทั้งสองลักษณะ	บรรยายความว่า ใช้ในขั้นตอนเพื่อการสำรวจตรวจสอบ โดยควบคู่กับเทคนิคการจัดการเรียนรู้ (เช่น การกำหนดคำถามสืบเสาะ การแบ่งกลุ่มสืบเสาะ เป็นต้น)	ระบุขั้นตอนที่นำไปใช้ในการสอนสืบเสาะและ วิธีการใช้เพื่อให้ได้สืบเสาะ แต่ไม่สอดคล้องต่อการมุ่งเป้าสร้างผลลัพธ์การเกิดทักษะการปฏิบัติที่เป็นการสำรวจตรวจสอบ	ไม่มีการวัดส่วนนี้	ไม่มีการวัดส่วนนี้
3	ไม่มีการวัดส่วนนี้	ไม่มีการวัดส่วนนี้	ระบุขั้นตอนที่นำไปใช้ในการสอนสืบเสาะและวิธีการใช้เพื่อให้ได้	ไม่มีการวัดส่วนนี้	ไม่มีการวัดส่วนนี้

ระดับ คะแนน	สถานการณ์ประกอบประเด็นถาม				
			สืบเสาะ และ สอดคล้องต่อการมุ่ง เป้าสร้างผลลัพธ์การ เกิดทักษะการปฏิบัติที่ เป็นการสำรวจ ตรวจสอบ		

นอกจากนั้น ผู้วิจัยนำคำตอบที่มีต่อแบบทดสอบอัตนัยของนักศึกษาวิชาชีพครูให้ผู้ประเมินคะแนนอิสระ (Independent raters) จำนวน 3 คน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาและการสอนวิทยาศาสตร์ให้กับนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ เพื่อการประเมินคะแนนสำหรับองค์ประกอบ 3 ด้านดังกล่าวเพื่อเป็นการวัดความเชื่อมั่นแบบความสอดคล้องภายในโดยใช้วิธีการตรวจสอบความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมิน ได้แก่ การจำ การประยุกต์ใช้ และความเข้าใจ ข้อมูลถูกวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงบรรยาย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (M) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และวิเคราะห์สถิติเชิงอ้างอิงแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Non-parametric) ในสถิติแบบ Wilcoxon signed-rank test ได้แก่ คะแนนมาตรฐาน (Z) ค่านัยสำคัญทางสถิติ (p) และค่าขนาดอิทธิพล (r) โดยใช้โปรแกรม IBM-SPSS statistic เวอร์ชัน 28

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตอบคำถามวิจัยดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่า นักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่องานวิชาชีพผ่านโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะจะมีความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยีที่ดีขึ้นได้หรือไม่ และจากผลการวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้จากแบบวัด TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์จำนวน 50 คน โดยมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังผ่านประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะที่ใช้สถิติวิจัย Nonparametric Test ด้วย Wilcoxon signed-rank test ดังแสดงในตารางที่ 3 เปรียบเทียบ TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์

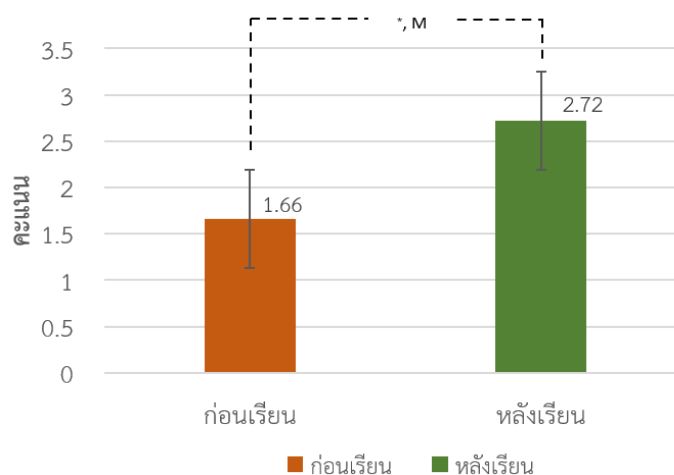
ตารางที่ 3 คะแนน TPACK ก่อนและหลังที่ได้รับที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่องานวิชาชีพผ่านโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ

การทดสอบ	จำนวน ผู้ร่วมวิจัย	M	SD	Z	p	r
ก่อนเรียน	50	1.66	1.154	-3.908	.001*	0.552
หลังเรียน	50	2.72	1.629			

หมายเหตุ * แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p < .05)

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการใช้โมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะมีผลต่อการพัฒนา TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก่อนการเรียนรู้ด้วยโมดูลนี้นักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ย TPACK อยู่ที่ 1.66 (SD = 1.154) จากคะแนนเต็ม 9 คะแนน หลังการเรียนรู้ด้วยโมดูล คะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.72 (SD = 1.629) ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (Z = -3.908, p < .001, r = 0.552) ดังนั้นผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าการใช้โมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะที่มีการบูรณาการเทคโนโลยีในกิจกรรมการเรียนรู้สามารถพัฒนา TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในด้านความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ การนำความรู้ด้านเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการสอน และความเข้าใจในการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของการใช้เทคโนโลยีในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

การแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถแสดงผลที่ได้ดังภาพที่ 5 ของค่าเฉลี่ยของ TPACK ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่องานวิชาชีพผ่านโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ที่แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของคะแนนเฉลี่ย TPACK หลังจากนักศึกษาได้รับการเรียนรู้ผ่านโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ โดยค่าเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 1.66 คะแนน และเพิ่มขึ้นเป็น 2.72 คะแนนหลังเรียน ซึ่งแสดงถึงการพัฒนามีความสำคัญในความสามารถด้าน TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์



หมายเหตุ * แสดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .05$), M หมายถึง ค่าขนาดอิทธิพลระดับปานกลาง

ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของ TPACK ก่อนและหลังได้รับโมดูลการเรียนรู้ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์

การอภิปรายผล

การพัฒนาโมดูลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ (NOSI) ที่ผสมผสานกับการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลมีผลช่วยเพิ่มพูนความรู้และทักษะในการสอนของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะในด้าน TPACK ซึ่งผลการทดสอบพบว่า นักศึกษามีคะแนน TPACK เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจากได้รับการเรียนรู้ผ่านโมดูลดังกล่าว โดยคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 1.66 เป็น 2.72 คะแนน แสดงถึงความสำคัญของการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะ โดยผลการวิจัยสอดคล้องกับแนวคิดของ Pondee, Panjaburee and Srisawasdi (2021) และ Srisawasdi (2012) ที่มุ่งเน้นการพัฒนา TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ผ่านการใช้โมดูลการเรียนรู้ที่ผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับเนื้อหาและวิธีการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะ โดยใช้แนวทางการออกแบบการเรียนรู้ที่เน้นกรณีศึกษาและการฝึกปฏิบัติร่วมกัน นอกจากนี้ยังสะท้อนความสำคัญของการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ครูสามารถนำความรู้และทักษะด้านเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในด้านความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จากการนำความรู้ด้านเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (Chaipidech *et al.*, 2022; Chaipidech and Srisawasdi, 2021; Pondee, Panjaburee and Srisawasdi, 2021; Srisawasdi, Pondee and Bunterm, 2018; Srisawasdi, 2014)

นอกจากนี้ผลการวิจัยสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Padmavathi (2013) และ Keengwe, Onchwari and Wachira (2008) ที่ชี้ให้เห็นความสำคัญของการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อยกระดับกระบวนการเรียนรู้และพัฒนาทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการแก้ปัญหา การคิดวิเคราะห์ และการสร้างสรรค์ (Khine, Ali and Afari, 2017; Bell, Maeng and Binns, 2013; Rodriguez, 2015) ทั้งนี้ Linn, Clark and Slotta (2003) ยังระบุไว้ว่า สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่มีความยืดหยุ่นและรวมเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความต้องการของครูที่หลากหลายช่วยส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ ดังเช่นการใช้แอปพลิเคชันและอุปกรณ์เซนเซอร์ในการสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นแนวทางการพัฒนาครูวิทยาศาสตร์ที่สามารถส่งเสริมสมรรถนะการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการสอนและเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ (Barak, 2014; Barak, 2017; Bell, Maeng and Binns, 2013; Lederman and Lederman, 2015) ซึ่งสอดคล้องกับการเน้นย้ำของสมาคมเทคโนโลยีนานาชาติในการศึกษา (ISTE) (2002) ที่ระบุว่าโปรแกรมการเตรียมครูจำเป็นต้องมอบเครื่องมือที่จำเป็นในการสอนให้ครูสามารถใช้เทคโนโลยีในการจัดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้จึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงและพัฒนาหลักสูตรการผลิตครูวิทยาศาสตร์ให้สอดคล้องกับความต้องการของระบบการศึกษายุคใหม่

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งพัฒนาความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยี (TPACK) ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ โดยใช้โมเดลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 3 จำนวน 50 คน กิจกรรมการเรียนรู้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน: การนำเสนอกรณีศึกษา การปฏิบัติเป็นกลุ่ม และการประยุกต์ใช้ความรู้ โดยบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลโดยใช้เซนเซอร์และแอปพลิเคชันในการสำรวจคุณภาพน้ำ ผลการวิจัยพบว่าหลังจากใช้โมเดลการเรียนรู้วิชาชีพครูวิทยาศาสตร์มีคะแนน TPACK เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) จากค่าเฉลี่ย 1.66 เป็น 2.72 คะแนน แสดงให้เห็นว่าโมเดลนี้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความสามารถทาง TPACK ในด้านความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีในการประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ผลการวิจัยสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนา TPACK ผ่านการใช้กรณีศึกษา การฝึกปฏิบัติและสะท้อนความสำคัญของการบูรณาการเทคโนโลยีในการพัฒนานักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์เพื่อเตรียมความพร้อมในการจัดการเรียนรู้ที่ตอบสนองความต้องการในศตวรรษที่ 21

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการพัฒนาความสามารถด้าน TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ผ่านโมเดลการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์สืบเสาะ ส่งผลให้คะแนน TPACK ของนักศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลการเรียนรู้ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความรู้และทักษะในการบูรณาการเทคโนโลยีกับการจัดการเรียนการสอนทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การขยายขอบเขตของการศึกษาให้ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้นทั้งในระดับชั้นปีและความเชี่ยวชาญของนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ รวมถึงการศึกษากการใช้ระยะเวลาที่มากขึ้นในการฝึกฝนและพัฒนาความสามารถทาง TPACK ของนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ในการใช้โมเดลการเรียนรู้ในบริบทที่แตกต่างกันเพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในการจัดการเรียนรู้ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างและหลากหลาย และงานวิจัยในอนาคตควรมีการพัฒนาเครื่องมือและแนวทางการสอนที่สามารถปรับปรุงและยกระดับความสามารถทาง TPACK ของนักศึกษาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการพัฒนาทักษะการสอนที่บูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การพัฒนาหลักสูตรและโปรแกรมการเตรียมครูวิทยาศาสตร์ควรให้ความสำคัญกับการเตรียมความพร้อมของนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ในการใช้เทคโนโลยีอย่างชาญฉลาดในการจัดการเรียนรู้เพื่อสร้างนักเรียนให้สามารถปรับตัวและใช้ทักษะเทคโนโลยีดิจิทัลในโลกยุคสมัยใหม่ที่เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน ดังนั้นการปรับปรุงการฝึกอบรมให้ครอบคลุมและเน้นการฝึกปฏิบัติอย่างต่อเนื่องจะช่วยสร้างครูวิทยาศาสตร์ที่มีความเชี่ยวชาญและพร้อมที่จะพัฒนานักเรียนให้เป็นผู้เรียนรู้ที่มีความสามารถและมีทักษะแห่งอนาคต

จริยธรรมการวิจัย

ผู้วิจัยได้ผ่านการอบรมด้านจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์จากศูนย์จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการศูนย์จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ HE663359 โดยดำเนินการวิจัยตามหลักจริยธรรมอย่างเคร่งครัด โดยได้รับความยินยอมจากผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างถูกต้องตามหลักการที่เคารพในสิทธิของบุคคล ผู้วิจัยได้ชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการเก็บข้อมูล การสังเกตการณ์ และการถ่ายภาพ โดยจะไม่ให้ชื่อจริงของชื่อผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บรักษาเป็นความลับและนำเสนอผลการวิจัยในภาพรวมเท่านั้น โดยจะไม่มีการระบุชื่อหรือข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมวิจัยเพื่อป้องกันความเสียหายหรือผลกระทบใด ๆ ต่อผู้เข้าร่วมวิจัย หลังจากสิ้นสุดการวิจัย ข้อมูลทั้งหมดจะถูกทำลายเพื่อป้องกันการนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

References

- Angeli, C. and Valanides, N. (2009). Epistemological and methodological issues for the conceptualization, development, and assessment of ICT-TPCK: Advances in technological pedagogical content knowledge (TPCK). *Computers & Education*, 52(1), 154-168.
- Angeli, C., Valanides, N. and Christodoulou, A. (2016). Theoretical considerations of technological pedagogical content knowledge. In *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPACK) for educators* (pp. 11-32). Routledge.
- Barak, M. (2014). Closing the gap between attitudes and perceptions about ICT-enhanced learning among pre-service STEM teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 23, 1-14.

- Barak, M. (2017). Science teacher education in the twenty-first century: A pedagogical framework for technology-integrated social constructivism. **Research in Science Education**, 47, 283-303.
- Bell, R. L., Maeng, J. L. and Binns, I. C. (2013). Learning in context: Technology integration in a teacher preparation program informed by situated learning theory. **Journal of Research in Science Teaching**, 50(3), 348-379.
- Bond, M., Marín, V. I., Dolch, C., Bedenlier, S. and Zawacki-Richter, O. (2021). Emergency remote teaching in higher education: Mapping the first global online semester. **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, 18(1), 1-24.
- Chaipidech, P. and Srisawasdi, N. (2021). Implementation of andragogical teacher professional development training program for boosting TPACK in STEM education: An essential role of personalized ubiquitous learning system. **Educational Technology & Society**, 24(4), 220-239.
- Chaipidech, P., Srisawasdi, N., Kajornmanee, T. and Chapah, K. (2022). A personalized learning system-supported professional training model for teachers' TPACK development. **Computers and Education: Artificial Intelligence**, 3, 100064.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. and Scott, P. (1996). **Young people's images of science**. McGraw-Hill Education (UK).
- Gaigher, E., Lederman, N. and Lederman, J. (2014). Knowledge about Inquiry: A study in South African high schools. **International Journal of Science Education**, 36(18), 3125-3147.
- Gallagher, J. J. (1989). Research on secondary school science teachers' practices, knowledge and beliefs: A basis for restructuring. In **Looking into windows: Qualitative research in science education** (pp. 43-57).
- Harris, J., Mishra, P. and Koehler, M. (2009). Teachers' technological pedagogical content knowledge and learning activity types: Curriculum-based technology integration reframed. **Journal of Research on Technology in Education**, 41(4), 393-416.
- Hammer, D., Russ, R., Mikeska, J. and Scherr, R. (2008). Identifying inquiry and conceptualizing students' abilities. In R. Duschl and R. Grandy (Eds.), **Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation** (pp. 138-156). Sense Publishers.
- Hodson, D. (2008). **Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions, and values**. Brill Sense.
- International Society for Technology in Education (ISTE). (2002). National Education Technology Standards for teachers. Retrieved September 4, 2024, from ISTE: <http://www.iste.org>.
- Keengwe, J., Onchwari, G. and Wachira, P. (2008). Computer technology integration and student learning: Barriers and promise. **Journal of Science Education and Technology**, 17, 560-565.
- Khine, M. S., Ali, N. and Afari, E. (2017). Exploring relationships among TPACK constructs and ICT achievement among trainee teachers. **Education and Information Technologies**, 22, 1605-1621.
- Koehler, M. J. and Mishra, P. (2005). What happens when teachers design educational technology? The development of technological pedagogical content knowledge. **Journal of Educational Computing Research**, 32(2), 131-152.
- Koehler, M. J. and Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? **Contemporary Issues in Technology and Teacher Education**, 9(1), 60-70.
- Lai, J. W. and Bower, M. (2019). How is the use of technology in education evaluated? A systematic review. **Computers & Education**, 133, 27-42.
- Lederman, J. S. (2009). Teaching scientific inquiry: Exploration, directed, guided, and opened-ended levels. **National Geographic Science: Best Practices and Research Base**, 8, 20.
- Lederman, N. G. (2013). Nature of science: Past, present, and future. In **Handbook of research on science education** (pp. 831-879). Routledge.

- Lederman, N. G. and Abell, S. K. (Eds.). (2014). **Handbook of research on science education** (Vol. 2, pp. 600-620). Routledge.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels, S., Jimenez, J., Akubo, M., Aly, S., Bao, C., Blanquet, E., Blonder, R., Bologna Soares de Andrade, M., Buntting, C., Cakir, M., EL-Deghaidy, H., ElZorkani, A., Gaigher, E., Guo, S., Hakanen, A., Hamed Al-Lal, S., Han-Tosunoglu, C., Hattingh, A., Hume, A., Irez, S., Kay, G., Kivilcan Dogan, O., Kremer, K., Kuo, P. C., Lavonen, J., Lin, S. F., Liu, C., Liu, E., Liu, S. Y., Lv, B., Mamlok-Naaman, R., McDonald, C., Neumann, I., Pan, Y., Picholle, E., Rivero García, A., Rundgren, C. J., Santibáñez-Gómez, D., Saunders, K., Schwartz, R., Voitle, F., von Gyllenpalm, J., Wei, F., Wishart, J., Wu, Z., Xiao, H., Yalaki, Y. and Zhou, Q. (2019). An international collaborative investigation of beginning seventh grade students' understandings of scientific inquiry: Establishing a baseline. **Journal of Research in Science Teaching**, 56(4), 486–515.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A. and Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry—The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. **Journal of Research in Science Teaching**, 51(1), 65-83.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. and Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G. and Lederman, J. S. (2015). The status of preservice science teacher education: A global perspective. **Journal of Science Teacher Education**, 26(1), 1-6.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S. and Antink, A. (2014). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. **International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology**, 2(3), 138-147.
- Linn, M. C., Clark, D. and Slotta, J. D. (2003). WISE design for knowledge integration. **Science Education**, 87(4), 517-538.
- Max, A. L., Lukas, S. and Weitzel, H. (2021). How to successfully organize a media project in a pedagogical makerspace for student teachers. In **Proceedings of 15th International Technology, Education and Development Conference** (pp. 6511–6517). IATED.
- Max, A. L., Schmoll, I., Uhl, P., Huwer, J., Lukas, S., Mueller, W. and Weitzel, H. (2020). Integration of a teaching-learning lab and a pedagogical makerspace into a module for media education for STEAM teacher students. In **Proceedings of 14th International Technology, Education and Development Conference** (pp. 2050–2059). Valencia: Spain.
- Marx, R., Blumenfeld, P., Krajcik, J., Blunk, M., Crawford, B., Kelly, B. and Meyer, K. (1994). Enacting project-based science: Experiences of four middle grade teachers. **The Elementary School Journal**, 94, 517–538.
- Mishra, P. and Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for integrating technology in teacher knowledge. **Teachers College Record**, 108(6), 1017-1054.
- National Research Council. (2000). **Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning**. Washington, DC: National Academies Press.
- Niess, M. L. (2005). Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge. **Teaching and Teacher Education**, 21(5), 509-523.
- Padmavathi, M. (2013). A survey of secondary school teachers' perceptions, competency and use of computers. **International Journal of Education and Psychological Research (IJEPR)**, 2(4), 7-16.
- Pondee, P., Panjaburee, P. and Srisawasdi, N. (2021). Preservice science teachers' emerging pedagogy of mobile game integration: A tale of two cohorts improvement study. **Research and Practice in Technology Enhanced Learning**, 16(1), 16.

- Reigeluth, C. M. and Stein, R. (1983). Elaboration theory. In C. M. Reigeluth (Ed.), **Instructional-design theories and models: An overview of their current status** (pp. 335-381). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Rodriguez, A. J. (2015). What about a dimension of engagement, equity, and diversity practices? A critique of the next generation science standards. **Journal of Research in Science Teaching**, 52(7), 1031-1051.
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J. and Shin, T. S. (2009). Technological pedagogical content knowledge (TPACK): The development and validation of an assessment instrument for preservice teachers. **Journal of Research on Technology in Education**, 42(2), 123-149.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. and Crawford, B. A. (2008). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. **Science Education**, 88(4), 610-645.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, 15(2), 4-14.
- Srisawasdi, N. (2012). Fostering preservice STEM teachers' technological pedagogical content knowledge: A lesson learned from case-based learning approach. **Journal of Korea Association for Science Education**, 32, 1356-1366.
- Srisawasdi, N. (2014). Developing technological pedagogical and content knowledge in using computerized science laboratory environment: An arrangement for science teacher education. **Research and Practice in Technology Enhanced Learning**, 9(1), 123-143.
- Srisawasdi, N., Pondee, P. and Bunterm, T. (2018). Preparing pre-service teachers to integrate mobile technology into science laboratory learning: An evaluation of technology-integrated pedagogy module. **International Journal of Mobile Learning and Organization**, 12(1), 1-17.
- Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F. and Baran, E. (2017). A comprehensive investigation of TPACK within pre-service teachers' ICT profiles: Mind the gap! **Australasian Journal of Educational Technology**, 33(3), 46-60.
- Willden, J. L., Crowther, D. T., Gubanich, A. A. and Cannon, J. R. (2002). A quantitative comparison of instruction format of undergraduate introductory level content biology courses: Traditional lecture approach vs. inquiry-based for education majors. In **Proceedings of the Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science**. Charlotte: NC.



Effect of Open Approach and Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) Approach on Number Sense and Mathematical Achievement in Subtraction of Grade-1 Students

Natthaphon Hongthong^{1,*} Teerachot Lokkathat¹ and Narongsak Rorbkorb²

¹Master of Education Program in Research and Evaluation, Faculty of Education, Prince of Songkla University

²Department of Research and Evaluation, Faculty of Education, Prince of Songkla University

*Email: Natthaphon.ho@ksu.ac.th

Received <2 September 2024>; Revised <10 October 2024>; Accepted <11 October 2024>

Abstract

This research aims to: 1) compare the number sense related to subtraction among grade-1 students before and after the implementation of open approach with the Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) approach; 2) compare the mathematics achievement in subtraction among grade-1 students before and after the implementation of open approach with the CPA approach; and 3) examine the relationship between number sense and mathematics achievement in subtraction among grade 1 students. The sample group for this study consisted of 24 grade-1 students, academic year 2024 from Ban Bueng Kan School, selected through cluster random sampling. The research instruments included lesson plans, a number sense assessment, and a mathematics achievement test. Data were analyzed using basic statistics, t-tests, and Pearson's correlation coefficient. The research findings revealed that: 1) the number sense related to subtraction among grade-1 students was significantly higher after the intervention at the .01 level; 2) the mathematics achievement in subtraction among grade-1 students was significantly higher after the intervention at the .01 level; and 3) there was a positive correlation between number sense and mathematics achievement in subtraction among grade-1 students was significantly at the .01 level ($r = 0.946$).

Keywords: Number Sense, Open Approach, Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) Approach

ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ที่มีต่อความรู้สึกเชิงจำนวนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

ณัฐพล หงษ์ทอง^{1,*} อีร์โชติ โลกธาตุ¹ และ ณรงค์ศักดิ์ รอบคอบ²

¹หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวิจัยและประเมิน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

²สาขาวิชาการวิจัยและประเมิน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

*Email: Natthaphon.ho@ksu.ac.th

รับบทความ: 2 กันยายน 2567 แก้ไขบทความ: 10 ตุลาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 11 ตุลาคม 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบความรู้สึกเชิงจำนวน เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) และ 3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนบ้านบึงกาฬ ปีการศึกษา 2567 จำนวน 24 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดความรู้สึกเชิงจำนวน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐาน สถิติทดสอบที และการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า 1) ความรู้สึกเชิงจำนวน เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และ 3) ความรู้สึกเชิงจำนวนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($r = 0.946$)

คำสำคัญ: ความรู้สึกเชิงจำนวน การจัดการเรียนรู้แบบเปิด แนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบมีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริง นอกจากนี้ การศึกษาคณิตศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ทันสมัยและสอดคล้องกับสภาพเศรษฐกิจ สังคม และความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วในยุคโลกาภิวัตน์ (The institute for the promotion of teaching science and technology, 2017) ความรู้สึกเชิงจำนวน (Number Sense) เป็นความสามารถที่สำคัญในวิชาคณิตศาสตร์ (Jordan, Kaplan, Ramineni and Locuniak, 2009) โดยหมายถึง ความเข้าใจในแนวคิดเกี่ยวกับจำนวนและความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน ซึ่งรวมถึงความสามารถในการจัดการกับจำนวน การประมาณค่า และการตัดสินใจเกี่ยวกับจำนวนในสถานการณ์ต่าง ๆ ความรู้สึกเชิงจำนวนถือเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการเรียนรู้และพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์ โดยหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานได้กำหนดคุณภาพผู้เรียนไว้โดยให้ผู้เรียนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มีความเข้าใจเชิงตัวเลขในเรื่องการบวก การลบ พร้อมทั้งสามารถเข้าใจความสัมพันธ์ของตัวเลขและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบได้ (Ministry of Education, 2017) การส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรู้สึกเชิงจำนวนจึงมีความสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพผู้เรียนด้านคณิตศาสตร์

อย่างไรก็ตาม สภาพปัญหาการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ยังคงมีความท้าทาย ผู้เรียนหลายคนยังขาดความเข้าใจในแนวคิดทางคณิตศาสตร์อย่างลึกซึ้ง เนื่องจากวิธีการสอนที่เน้นการท่องจำและการแก้ปัญหาตามแบบแผนมากกว่าการคิดวิเคราะห์และการเข้าใจความหมายของเนื้อหา โดยเมื่อพิจารณาจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนบ้านบึงกาฬ ปีการศึกษา 2566 พบว่า ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ National Test (NT) พบว่า นักเรียนบ้านบึงกาฬมีผลการทดสอบความสามารถด้านการคำนวณต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศ แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนยังไม่ประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากใบงานคณิตศาสตร์ของนักเรียน พบว่า นักเรียนไม่สามารถแสดงแทนจำนวนที่กำหนดให้ได้ ไม่สามารถตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบได้ กล่าวคือ นักเรียนขาดความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของตัวเลขและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบได้ การพัฒนาให้ผู้เรียนมีความรู้สึกเชิงจำนวนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการควบคู่กับการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการแบบเปิด (open approach) เป็นแนวทางหนึ่งที่มีส่วนร่วมของผู้เรียนในการคิดค้นและแก้ปัญหาด้วยตนเอง ให้ผู้เรียนมีความรู้สึกเชิงจำนวนจึงมีความสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพผู้เรียนด้านคณิตศาสตร์ และวิธีการแบบเปิด Inprasitha (2022) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบเปิด ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนการสอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาปลายเปิด ขั้นที่ 2 การเรียนรู้ด้วยตนเองของนักเรียน ขั้นที่ 3 การนำเสนอแนวคิดและอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียน และ ขั้นที่ 4 การสรุปโดยการเชื่อมโยงแนวคิดของนักเรียนที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน (Nohda, 2000) ซึ่งช่วยให้นักเรียนเรียนรู้คณิตศาสตร์ในแบบของตนเองและสนับสนุนให้พวกเขาแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้นักเรียนแก้ปัญหาและแบ่งปันความคิดของตนเองเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ จากที่กล่าวมาการจัดการเรียนรู้แบบเปิดนั้นเป็นแนวทางจัดการเรียนรู้ที่มุ่งให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาคณิตศาสตร์ในระดับสูง สอดคล้อง Wadeesirisak and Pattanjak (2022) พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิด นักเรียนมีความเข้าใจทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงแนวคิดเกี่ยวกับความเป็นรูปธรรมเพื่อนำเสนอ และสื่อความหมายเข้าใจกลไกความเป็นนามธรรมได้อย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับ Bowornsak, Suriyon and Srikhao (2023) พบว่าชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้วิธีการแบบเปิด โดยทีมครูร่วมกันออกแบบและจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เริ่มต้นด้วยสถานการณ์ปัญหา จากนั้นครูให้โอกาสนักเรียนคิดด้วยตัวเอง ส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจทางคณิตศาสตร์สูงขึ้น และคงทวนวิธีการนี้ช่วยกระตุ้นการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การสร้างความเข้าใจเชิงลึก และการเสริมสร้างความมั่นใจของผู้เรียนในการแสดงความคิดเห็น การจัดการเรียนรู้แบบเปิดยังส่งเสริมการเรียนรู้ที่มีความหมายและเน้นการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างผู้เรียน ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ในระยะยาว สอดคล้องกับ Vannakovida, Changsri and Inprasitha (2024) รายงานว่าในชั้นเรียนที่จัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการแบบเปิดนักเรียนแสดงออกถึงความรู้สึกเชิงจำนวนด้วยการเขียนอธิบายแสดงแทนด้วยสื่อที่จัดเตรียมไว้ กล่าวคือ การจัดการเรียนรู้แบบเปิดช่วยพัฒนาให้นักเรียนมีความรู้สึกเชิงจำนวนได้ผ่านการใช้สื่อประกอบการแสดงแทน

ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้แบบเปิด นอกจากการกำหนดประเด็นสถานการณ์ปัญหาให้ผู้เรียนได้เข้าถึงปัญหาแล้ว สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ครูผู้สอนต้องคำนึงถึงคือ การแสดงแทนในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น เพราะการแสดงแทนจะช่วยสร้างความคิดรวบยอดในการเรียน ช่วยลดความเป็นนามธรรมและช่วยสร้างความรู้ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการเรียนรู้ในเรื่องนั้น ๆ การใช้สื่อในการแสดงแทนวิธีการแก้ปัญหาจะช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่เป็นรูปธรรมนำไปสู่การแทนด้วยทางคณิตศาสตร์ (Chaipruksathon, Pattanjak and Inprasitha, 2018)

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) เป็นการจัดการเรียนรู้เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจในแนวคิดทางคณิตศาสตร์อย่างเป็นระบบ ผ่านการใช้สื่อแสดงแทน ได้แก่ การใช้วัตถุจริง (concrete) การใช้ภาพหรือสัญลักษณ์ (pictorial) และการใช้ความคิดเชิงนามธรรม (abstract) Inma and Poonpaiboonpipat (2021) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด CPA ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความเข้าใจจากสิ่งที่มองเห็นได้ไปสู่การคิดวิเคราะห์เชิงนามธรรมอย่างมีประสิทธิภาพนำไปสู่ความเข้าใจในหลักการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องกับกับ Lokkathat, Phukrongtung and Kanngandee (2023) รายงานว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ส่งผลให้นักเรียนมีเมโนทัศน์และความเข้าใจทางคณิตศาสตร์สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อนักเรียนมีความรู้ความเข้าใจที่ดี สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองผ่านสื่อที่ครูผู้สอนออกแบบไว้ ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นตามลำดับ

จากที่กล่าวมาข้างต้น การพัฒนาการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องคำนึงถึงการส่งเสริมความรู้เชิงจำนวน ซึ่งในการวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) เพื่อเสริมสร้างความรู้เชิงจำนวนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1. เพื่อเปรียบเทียบความรู้เชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)
- 2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)
- 3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้เชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

สมมติฐานการวิจัย

- 1. ความรู้เชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)
- 2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)
- 3. ความรู้เชิงจำนวนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

วิธีดำเนินการวิจัย

- 1. แบบแผนการวิจัย
การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยผู้วิจัยดำเนินการทดลองตามแผนการวิจัย แบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังการทดลอง (Edmonds and Kennedy, 2017) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบแผนการวิจัย

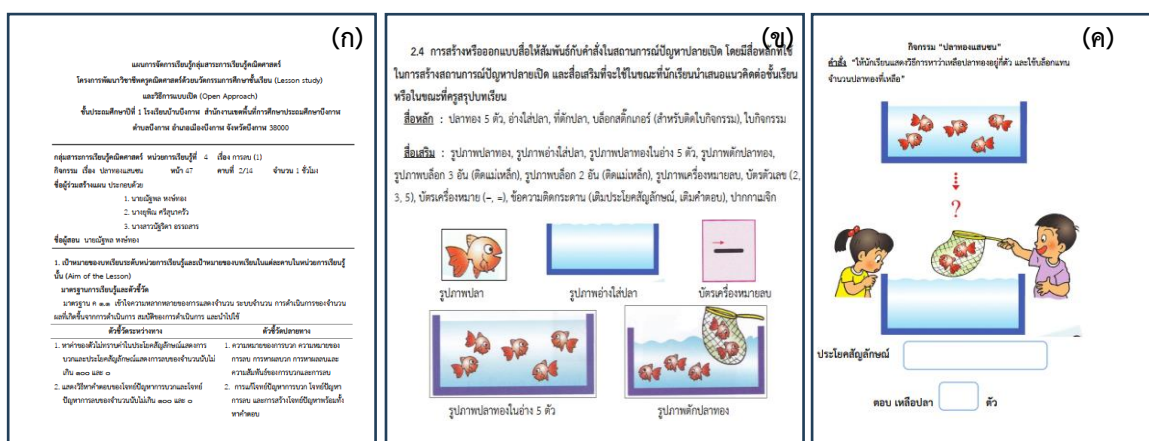
Group	Pretest	Treatment	Posttest
n	T ₁	X	T ₂
n	แทน กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย		
X	แทน การจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)		
T ₁	แทน การทดสอบวัดความรู้เชิงจำนวนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้		
T ₂	แทน การทดสอบวัดความรู้เชิงจำนวนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการจัดการเรียนรู้		

2. กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

ประชากร คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนบ้านบึงกาฬ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาบึงกาฬ
กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนบ้านบึงกาฬ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาบึงกาฬ ปีการศึกษา 2567 จำนวน 24 คน ที่ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม โดยใช้ห้องเรียนเป็นกลุ่มสุ่ม

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) จำนวน 14 แผน แผนละ 1 คาบ รวมทั้งสิ้น 14 คาบ โดยผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 14 แผน เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 1 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ ผลการประเมินพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean = 4.22 , S.D. = 0.82)



ภาพที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้ (ก) ตัวอย่างการออกแบบตามแนวคิด CPA Approach (ข) และ ตัวอย่างใบกิจกรรม (ค)

จากภาพที่ 2 เป็นตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) โดยผู้วิจัยได้ออกแบบปัญหาการบวก โดยใช้ปัญหาการรวมกันของปลาในโถแก้ว โดยใช้สื่อตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ดังนี้ ผู้วิจัยใช้ปลาและภาพปลาในโถแก้วแทนสื่อที่เป็นรูปธรรม (Concrete) และในการแสดงแทนจำนวนปลาด้วยบล็อกแทนสื่อภาพแสดงแทน (Pictorial) และใช้ใบกิจกรรมเป็นสื่อให้นักเรียนได้แสดงสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่เป็นนามธรรม (Abstract)

3.2 แบบทดสอบวัดความรู้เชิงจำนวน เป็นแบบทดสอบปรนัย 3 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน โดยใช้วัดความรู้เชิงจำนวนครอบคลุมทั้ง 5 ด้าน (National Council of Teachers of Mathematics, 1989) ได้แก่ 1) ความเข้าใจด้านความหมายของจำนวน จำนวนเชิงการนับ จำนวนเชิงอันดับที่ และขนาดของจำนวน จำนวน 4 ข้อ 2) ความเข้าใจความสัมพันธ์ที่หลากหลายของจำนวน จำนวน 4 ข้อ 3) ความเข้าใจเกี่ยวกับขนาดสัมพันธ์ของจำนวนและการเปรียบเทียบจำนวน จำนวน 4 ข้อ 4) ความเข้าใจผลที่เกิดขึ้นของการดำเนินการของจำนวน จำนวน 4 ข้อ และ 5) ความสามารถในการคิดคำนวณในใจได้อย่างยืดหยุ่นและการประมาณค่าของจำนวน จำนวน 4 ข้อ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความรู้สึกรู้จักเชิงจำนวน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

ความรู้สึกรู้จักเชิงจำนวน	ตัวอย่างข้อสอบ
1. ความเข้าใจด้านความหมายของจำนวน จำนวนเชิงการนับ จำนวนเชิงอันดับที่ และขนาดของจำนวน	จากภาพ  ก. 1 คัน ข. 2 คัน ค. 3 คัน
2. ความเข้าใจความสัมพันธ์ที่หลากหลายของจำนวน	ข้อใดต่อไปนี้มีผลลัพธ์เท่ากับ 3 ก. มินกเกาะอยู่ 5 ตัว บินหนีไป 3 ตัว ข. มีบล็อก 5 อัน หยิบออกไป 1 อัน ค. มีรถจอดอยู่ 6 คัน ขับออกไป 3 คัน
3. ความสามารถในการคิดคำนวณในใจได้อย่างยืดหยุ่นและการประมาณค่าของจำนวน	มีขนมในงาน 7 ชิ้น ต้องหยิบออกไปกิน 3 ชิ้น จึงจะเหลือ 3 ชิ้น ก. 5 ชิ้น ข. 4 ชิ้น ค. 3 ชิ้น
4. ความเข้าใจผลที่เกิดขึ้นของการดำเนินการของจำนวน	ข้อใดมีผลลัพธ์เท่ากับ 9 - 3 ก. 10 - 4 ข. 8 - 4 ค. 10 - 3
5. ความเข้าใจเกี่ยวกับขนาดสัมพันธ์ของจำนวนและการเปรียบเทียบจำนวน	ข้อใดมีผลลัพธ์มากที่สุด ก. นานี้มีดอกไม้ 6 ดอก ให้มานะ 1 ดอก ข. มีขนมในงาน 6 ชิ้น หยิบออกไป 2 ชิ้น ค. มีรถจอดอยู่ 6 คัน ขับออกไป 3 คัน

โดยผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบวัดความรู้สึกรู้จักเชิงจำนวน จำนวน 25 ข้อ นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน จากนั้นนำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายเพื่อหาคุณภาพของแบบทดสอบ โดยคัดเลือกแบบทดสอบจำนวน 20 ข้อ ที่มีค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 มีค่าความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.22 – 0.71 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.42 – 1.00 ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.76

3.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ เป็นแบบทดสอบปรนัย 3 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน ครอบคลุมจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ต้องการวัด และเนื้อหาที่ต้องการวัด โดยผู้วิจัยได้นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 25 ข้อ นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน จากนั้นนำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายเพื่อหาคุณภาพของแบบทดสอบ โดยคัดเลือกแบบทดสอบจำนวน 20 ข้อ ที่มีค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 มีค่าความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.20 – 0.80 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.20 – 1.00 ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบแบบทดสอบมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.81 (ตัวอย่างแบบทดสอบดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

จุดประสงค์	ข้อสอบ
1. เข้าใจความหมายของการลบในความหมายของการเอาออกไปหรือหักออกไป	จากภาพ เหลือขนมที่ถาดอยู่กี่ชิ้น ก. 2 ชิ้น ข. 3 ชิ้น ค. 4 ชิ้น
2. เข้าใจความหมายของการลบในความหมายของความแตกต่าง	จากภาพ รถสีเหลืองกับรถสีแดง ต่างกันอยู่กี่คัน ก. 4 คัน ข. 5 คัน ค. 6 คัน
3. หาผลลัพธ์การลบจำนวนที่มีตัวตั้งไม่เกิน 10	ข้อใดผลลัพธ์มากกว่า $7 - 2$ ก. $7 - 3$ ข. $8 - 3$ ค. $9 - 3$

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนบ้านบึงภาพ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาบึงภาพ จำนวน 24 คน ตามขั้นตอน ดังนี้

4.1 ปฐมนิเทศนักเรียน ชี้แจงวัตถุประสงค์ และขั้นตอนการจัดการเรียนรู้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย

4.2 ทดสอบก่อนเรียนกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้แบบทดสอบวัดความรู้สึกลงจำนวน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

4.3 ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) จำนวน 14 แผน แผนละ 1 คาบ รวมทั้งสิ้น 14 คาบ ระยะเวลาสัปดาห์ละ 5 คาบ รวมทั้งสิ้น 3 สัปดาห์

4.4 เมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยทดสอบหลังเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดความรู้สึกลงจำนวน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ฉบับเดิม

4.5 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ และนำเสนอผลการวิจัยในลำดับต่อไป

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบความรู้สึกลงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) โดยนำข้อมูลตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล Normality Test (Shapiro-Wilk) พบว่าข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ (ดังตารางที่ 4) จึงนำข้อมูลไปทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติทดสอบที (Paired t-test)

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล Normality Test (Shapiro-Wilk) ของคะแนนความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

คะแนน	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	w	p-value
หลังเรียน	24	20	17.54	1.81	0.937	.142
ก่อนเรียน			6.67	1.12		

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) โดยนำข้อมูลตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล Normality Test (Shapiro-Wilk) (ดังตารางที่ 5) พบว่าข้อมูลที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ จึงนำข้อมูลไปทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติทดสอบที (Paired t-test)

ตารางที่ 5 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล Normality Test (Shapiro-Wilk) ของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

คะแนน	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	w	p-value
หลังเรียน	24	20	17.67	1.90	0.938	.154
ก่อนเรียน			4.21	1.58		

3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ที่มีต่อความรู้สึกเชิงจำนวนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ผู้วิจัยแบ่งการสรุปผลออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เปรียบเทียบความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) โดยใช้คะแนนจากแบบทดสอบวัดความรู้สึกเชิงจำนวน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 และใช้สถิติทดสอบที (Paired t-test) ผลปรากฏดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)

คะแนน	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	ร้อยละ	t	p-value
หลังเรียน	24	20	17.54	1.81	87.7	22.36**	.00
ก่อนเรียน			6.67	1.12	33.35		

** ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตารางที่ 6 พบว่า ความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.54 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 87.7 และก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.67 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 33.35 กล่าวคือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มีความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และใช้สถิติทดสอบที (Paired t-test) ผลปรากฏดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)

คะแนน	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	ร้อยละ	t	p-value
หลังเรียน	24	20	17.67	1.90	88.35	24.69**	.00
ก่อนเรียน			4.21	1.58	21.01		

** ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.67 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 88.35 และก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 21.01 กล่าวคือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA)

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลความสัมพันธ์ระหว่างความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จากคะแนนทดสอบหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) ผลปรากฏดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการศึกษาการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ระหว่างความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

Correlations		ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	ความรู้สึกเชิงจำนวน
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	Pearson's Correlations	1	.947**
	p-value		.00
ความรู้สึกเชิงจำนวน	Pearson's Correlations	.947**	1
	p-value	.00	

** ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตารางที่ 8 พบว่า ความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.947

อภิปรายผล

การดำเนินการวิจัย เรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ที่มีต่อความรู้สึกเชิงจำนวนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.54 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 87.7 และก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.67 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 33.35 กล่าวคือ

นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มีความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบเปิด เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้เกิดสถานการณ์ปัญหากับผู้เรียน ให้ผู้เรียนได้คิด แก้ปัญหา ผ่านสื่อที่ครูผู้สอนเตรียมไว้ ทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง โดยอาศัยการเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านสื่อการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ซึ่งเริ่มต้นจากการเรียนรู้จากสื่อที่เป็นรูปธรรมจับต้องได้ จากนั้นจึงเริ่มเขียนเป็นสื่อกึ่งนามธรรม เช่น การแทนด้วยภาพ การแทนด้วยบาร์โมเดล เป็นต้น จากนั้นนักเรียนจึงได้นำประสบการณ์ที่ได้รับจากสื่อจริง สื่อกึ่งนามธรรม เขียนแสดงแทนเป็นองค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์ ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับจำนวน การใช้จำนวนในบริบทต่าง ๆ ความสัมพันธ์ของจำนวน เข้าใจขนาดสัมพัทธ์ของจำนวน มีความรู้สึกเชิงจำนวนของผลการบวก ลบ คูณ หารของจำนวน รวมทั้งรู้ผลลัพธ์ คิดในใจได้อย่างดีและหลากหลาย รู้จักใช้ประสบการณ์เกี่ยวกับจำนวนมาเป็นเกณฑ์ในการอ้างอิง ซึ่งล้วนแต่เป็นองค์ประกอบของความรู้เชิงจำนวน สอดคล้อง Thammawiwat, Sangaroon and Thinwiangthong (2024) รายงานว่าในชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปิด ช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขนาดได้ มีการพิจารณาคำตอบความสมเหตุสมผลของคำตอบ มีการตระหนักรู้ด้วยตนเอง เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบเปิด เป็นการจัดการเรียนรู้ผ่านการนำเสนอปัญหา เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกแก้ปัญหาด้วยตนเอง พร้อมทั้งตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบผ่านการอภิปรายร่วมกันทั้งชั้น สอดคล้องกับ Pawattana *et al.* (2021) รายงานว่า ในชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปิดนักเรียนมีการคิดที่หลากหลาย มีขั้นตอนการแสดงความคิด อธิบายวิธีคิด ให้เหตุผล สร้างความหมายในการคำนวณเชิงสัญลักษณ์ได้ เนื่องจากการเรียนรู้แบบเปิด เน้นการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ปัญหาปลายเปิด หาแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ทำให้นักเรียนมีการคิดที่หลากหลาย และเป็นระบบ สอดคล้องกับ Hongthong, Samnakbankhok and Akkharanit (2024) รายงานว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปิดมีการสร้างสถานการณ์ปัญหาเป็นลักษณะของปัญหาปลายเปิดซึ่งครูผู้สอนได้เปิดโอกาสให้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการแสดงแนวคิดทางคณิตศาสตร์ด้วยความเข้าใจของตนเอง ทำให้เกิดแนวคิดที่มีความแตกต่างและหลากหลาย นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากแนวคิดของเพื่อน ๆ จากการอภิปรายแนวคิดร่วมกันทั้งชั้นเรียนผ่านสื่อนำเสนอ สอดคล้องกับ Hongthong, Sangsrikaew and Pimpasalee (2024) รายงานว่าการนำเสนอสื่อจริง สื่อเสมือนจริง เข้ามาช่วยในการให้นักเรียนสำรวจปัญหา ทำให้นักเรียนเข้าใจและสรุปผลได้ง่ายขึ้นสอดคล้องกับ Kunjanthuek *et al.* (2023). รายงานว่าการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) นักเรียนได้เรียนรู้จากสื่อที่เป็นรูปธรรม และวัตถุจริงที่จับต้องได้ เพื่อให้นักเรียนเกิดความคุ้นเคยกับสิ่งที่นำมาจัดการเรียนรู้ เกิดการจดจำผ่านการสัมผัส หยิบจับ ได้เห็นถึงรูปร่าง รูปทรง ขนาดของวัตถุที่นำมาใช้จัดการเรียนรู้ ส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเชิงคณิตศาสตร์มากขึ้นสอดคล้องกับ Mekkhala, Jermtaisong and Lhongsap (2023) รายงานว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) และตัวต่อเลโก้ มีมโนคติทางคณิตศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ร้อยละ 70 เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) และตัวต่อเลโก้ เป็นวิธีการสอนที่ช่วยเพิ่มทักษะทางคณิตศาสตร์ให้กับผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้เรียนสามารถมององค์ความรู้ในรายวิชาคณิตศาสตร์จากเป็นนามธรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.67 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 88.35 และก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 21.01 กล่าวคือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบเปิดเป็นการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงผ่านสถานการณ์ปัญหา ทำให้นักเรียนเกิดองค์ความรู้ด้วยตนเอง เปิดโอกาสให้นักเรียนได้สำรวจและแก้ปัญหาด้วยตัวเองยังเสริมสร้างทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ โดยเมื่อใช้ร่วมกันกับแนวคิด CPA ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการเรียนรู้ที่เริ่มจากการใช้วัตถุที่เป็นรูปธรรม (Concrete) ตามด้วยการใช้ภาพหรือสัญลักษณ์ (Pictorial) และจบด้วยการใช้แนวคิดเชิงนามธรรม (Abstract) ทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงและทำความเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับ Hongthong, Samnakbankhok and Akkharanit (2024) รายงานว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปิด เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ ผ่านสถานการณ์ปัญหาที่ครูผู้สอนกำหนดขึ้น โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนเป็นผู้ระบุสถานการณ์ปัญหา ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาด้วยตนเองผ่านสื่อเสริมที่ครูผู้สอนได้ออกแบบขึ้น อีกทั้งมีการอภิปรายข้อสรุปของปัญหาร่วมกันทั้งชั้นเรียน เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงความเข้าใจของนักเรียนทำให้นักเรียนมีความเข้าใจ ในเนื้อหาและส่งผลให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น สอดคล้องกับ Kalyason, Khechornphak, and Juntachum (2022) รายงานว่า นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการแบบเปิดมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 70 เนื่องจากการจัดกิจกรรม

การเรียนรู้แบบเปิด เน้นการสอนให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์ที่หลากหลายในการแก้ปัญหาปลายเปิด ตลอดจนการสรุปองค์ความรู้ด้วยตนเอง ทำให้มีองค์ความรู้ที่คงทน และสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาได้จริง ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น สอดคล้องกับ Onnanai, Sangsrikaew and Pimpasalee (2023) รายงานว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์สูงขึ้น เนื่องมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามวิธีการ Concrete Pictorial Abstract เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เรียนผ่านสื่อจริง ที่มีลักษณะเป็นรูปธรรม ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดองค์ความรู้ได้ง่ายยิ่งขึ้น สอดคล้องกับ Lekkathat, Phukrongtung and Kannandee (2023) รายงานว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ส่งผลให้นักเรียนมีมโนทัศน์ทางคณิตศาสตร์สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อนักเรียนมีความรู้ความเข้าใจที่ดี สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองผ่านสื่อที่ครูผู้สอนออกแบบไว้ ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

3. ความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.947 กล่าวคือ ค่าสหสัมพันธ์มีค่าสูงมากบ่งชี้ว่าเมื่อความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนดีขึ้น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 จะดีขึ้นตามไปด้วย ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบเปิดช่วยให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและประยุกต์ใช้ความรู้สึกเชิงจำนวนในบริบทที่หลากหลาย ซึ่งความรู้สึกเชิงจำนวนนั้นถือว่าเป็นทักษะพื้นฐานที่สำคัญในเชิงคณิตศาสตร์ ไม่ได้เป็นเพียงแค่ความรู้ความจำเท่านั้น แต่เป็นความเข้าใจในเรื่องความสัมพันธ์ของจำนวนและตัวเลข ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการดำเนินการของจำนวนและตัวเลข ส่งผลให้นักเรียนมีองค์ความรู้ในเนื้อหาคณิตศาสตร์เรื่องการลบมากขึ้น ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้แนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ยังช่วยเสริมสร้างความรู้สึกเชิงจำนวนโดยการให้โอกาสนักเรียนได้ใช้วัสดุและภาพในการเข้าใจความสัมพันธ์ของตัวเลขก่อนที่จะเข้าสู่การแก้ปัญหาในเชิงนามธรรม การเชื่อมโยงระหว่างความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจึงเกิดขึ้นอย่างเป็นธรรมชาติ และมีผลในทางบวกต่อการเรียนรู้ในรายวิชาคณิตศาสตร์ กล่าวคือ ความรู้สึกเชิงจำนวน เป็นความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับตัวเลขและความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลข ซึ่งครอบคลุมถึงความสามารถในการใช้ตัวเลขในการคาดคะเน ประมาณค่า แก้ไขโจทย์ปัญหา เข้าใจการบวก ลบ คูณ หาร และเห็นความเชื่อมโยงของตัวเลขในสถานการณ์ต่าง ๆ ในขณะที่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การลบ เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดความรู้ ความเข้าใจของนักเรียน ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของความรู้สึกเชิงจำนวน ส่งผลให้เมื่อผู้เรียนมีความรู้สึกเชิงจำนวนสูงขึ้น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนจึงสูงขึ้นตามไปด้วย Jordan, Glutting and Ramineni (2010) กล่าวว่าความรู้สึกเชิงจำนวนมีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตลอดจนความสามารถในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ประยุกต์ที่นำเสนอในบริบทต่างๆ สอดคล้องกับ Kirkland *et al.* (2024) กล่าวว่าความรู้สึกเชิงจำนวนสามารถทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ในระดับชั้นของนักเรียนได้ สอดคล้องกับ Carbonneau, Marley and Selig (2013) พบว่าการสอนที่ใช้วัตถุจริง (manipulatives) และแนวคิด CPA ช่วยให้นักเรียนพัฒนาความเข้าใจทางคณิตศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องการคำนวณพื้นฐาน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

1. ความรู้สึกเชิงจำนวนของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01
3. ความรู้สึกเชิงจำนวนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การลบ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 มีความสัมพันธ์กันทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.947

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. การจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ครูผู้สอนควรวางแผนบทเรียนอย่างรอบคอบ รวมถึงคาดการณ์แนวคิดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นของนักเรียน รวมทั้งจัดเตรียมสื่อแต่ละขั้นตอนในการเรียนรู้ของนักเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนักเรียนกำลังเรียนรู้ด้วยตนเอง การเรียนรู้ด้วยตนเองนี้ช่วยให้นักเรียนใช้ทักษะคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ควรมีการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบเปิดร่วมกับแนวคิด Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) ที่มีต่อตัวแปรด้านความรู้ ทักษะกระบวนการอื่นที่เหมาะสมกับบริบทครู นักเรียน สถานศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะคณิตศาสตร์ในด้านต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ต้องขอขอบพระคุณ ดร.ณรงค์ศักดิ์ รอบคอบ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยและการพัฒนานวัตกรรมเพื่อใช้ในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาเครื่องมือวิจัย ตลอดจนผู้บริหาร คณะครู นักเรียนที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยในชั้นเรียน ผู้วิจัยได้มีการขออนุญาตผู้เข้าร่วมวิจัย และปิดบังรายชื่อของผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคน โดยได้คำนึงหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หลักความเคารพในบุคคล หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย และหลักความยุติธรรม

References

- Bowornsak, L., Suriyon, A. and Srikhao, S. (2023). Development of Students' Mathematical Reasoning Ability for 8th Grade Students in Classroom using Innovation of Lesson Study and Open Approach (in Thai). *Journal of Yala Rajabhat University*, 18(3), 54-63
- Carbonneau, K. J., Marley, S. C. and Selig, J. P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 380-400.
- Chaiprueksathon, W., Pattanajak, A. and Inprasitha, M. (2018). Representations in flow of lesson in classroom using lesson study and open approach. In *Proceedings of The 19st National Graduate Research Conference* (pp. 1060-1069). Khon Kaen: Faculty of Education, Khon Kaen University.
- Edmonds, W.A. and Kennedy, T.D. (2017). *An applied guide to research designs quantitative qualitative and mixed methods (2nd edition)*. Los Angeles SAGE Publications Ltd.
- Hongthong, N., Samnakbankhok, H. and Akkharanit, V. (2024). Mathematical Understanding on Division of Grade 4 Student in Classroom Using Innovation of Lesson Study and Open Approach (in Thai). *Journal of Computer and Creative Technology*, 2(1), 6–16.
- Hongthong, N., Sangsrikaew, P. and Pimpasalee, W. (2024). Development Of Critical Thinking Skill And Mathematical Achievement On Quadratic Function Of Grade 9 Students Using Open Approach And Geogebra (in Thai). *Journal of Education and Innovation*, 26(2), 106–117.
- Inma, S. and Poonpaiboonpipat, W. (2021). The development of mathematical visualization abilities through learning implementation based on concrete pictorial abstract: CPA approach with stick and ball geometry kit on three-dimensional geometry of grade 6 students (in Thai). *Journal of Industrial Education*, 20(2), 22-32.
- Inprasitha, M. (2022), Lesson study and open approach development in Thailand: a longitudinal study, *International Journal for Lesson and Learning Studies*, 11(5), 1-15.
- Jordan, N. C., Glutting, J. and Ramineni, C. (2010). The importance of number sense to mathematics achievement in first and third grades. *Learning and individual differences*, 20(2), 82-88.
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C. and Locuniak, M. N. (2009). Early math matters: kindergarten number competence and later mathematics outcomes. *Developmental psychology*, 45(3), 850.
- Kalyason, M., Khechornphak, T. and Juntachum, N. (2022). development of mathematics learning achievement using the open approach of the grade 3 students (in Thai). *Srinakharinwirot Academic Journal of Education*, 23(1), 19–36.

- Kirkland, P. K., Guang, C., Cheng, Y. and McNeil, N. M. (2024). Mature number sense predicts middle school students' mathematics achievement. **Journal of Educational Psychology**.
- Kunjanthuek, P., Ugsonkid, S., Chuntra, C. and Tangkawsakul, S. (2023). The Study of Mathematical Problem-Solving Ability on Conic Section of Mathayomsuksa Four Students on Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) (in Thai). **Journal of Legal Entity Management and Local Innovation**, 9(7), 232-243.
- Lokkathat, T., Phukrongtung, S. and Kanngandee, P., (2023). The Development of Mathematical Concepts on The Decimal of Prathomsuksa 5 Students Using Cpa (Concrete-Pictorial-Abstract) Approach (in Thai). In **Proceeding of the 3rd kamphaeng phet rajabhat university Student national Conference** (pp 370-380). kamphaeng phet: kamphaeng phet rajabhat university.
- Mekkhala, P., Jermtaisong, R. and Lhongsap, P. (2023). The Development of Mathematics Conceptual Through the Concrete-Pictorial-Abstract (CPA) Learning Management and LEGO of the Primary 4 (Grade 4) Students (in Thai). **Journal of Education, Prince of Songkla University Pattani Campus**, 34(3), 212–225.
- Ministry of Education. (2017). **Indicators and Core Content Mathematics Department (Revised Version B.E. 2560, A.D.2017) The Basic Education Care Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)**. (in Thai). The Agricultural Cooperative Federation of Thailand Limited.
- National Council of Teachers of Mathematics (1989). **Curriculum and evaluation standards for school mathematics**. NCTM.
- Nohda, N. (2000). Teaching by open-approach method in Japanese mathematics classroom. In **Proceedings 24th of the Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education** (pp 39-53).
- Onnanai, P., Sangsrikaew, P. and Pimpasalee, W. (2023). The Development of Mathematics learning achievement on Linear Equations with One Variable for Grade 7 Students by Using Concrete Pictorial Abstract (CPA) together with the Bar Model (in Thai). In **Proceeding of the 3rd kamphaeng phet rajabhat university Student national Conference** (pp 332-341). kamphaeng phet: kamphaeng phet rajabhat university.
- Pawattana, A., Chusorn, P., Nillapun, S., Prasarnphanich, S., Kanhapong, A. and Chantes, P. (2021). The Study of Creative Problem Solving for Grade 2 students on the title the number greater than 1000 by using Open Approach and Lesson Study (in Thai). **Neu Academic and Research Journal**, 11(3), 301–316.
- Thammawiwat, N., Sangaroon, K. and Thinwiangthong, S. (2024). Students' Creative Problem Solving in Mathematics Classroom Using Lesson Study and Open Approach (in Thai). **Mahachula Academic Journal**, 11(1), 148-162.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2017). A guide to using the curriculum to learn mathematics (revised version B.E.2017) according to the core curriculum for basic education, 2008 (in Thai). Retrieved 30 August 2024, from **SciMath**: <https://www.scimath.org/ebook-mathematics/item/8380-2560-2551-8380>.
- Vannakovid, P., Changsri, N. and Inprasitha, M. (2024). Students' Number Sense in Classroom Using Lesson Study and Open Approach. In **Proceedings of The 21st National Graduate Research Conference** (pp. 1-8). Khon Kaen: Faculty of Education, Khon Kaen University.
- Wadeesirisak, T. and Pattanjak, A. (2022). An analysis of student's mathematical understanding through flow of lesson in open-ended problem solving (in Thai). **Journal of MCU Social Science Review**, 11(6), 140-154.



Development of Mathematics Learning Activities Based on Constructivist Theory Cooperated with Electronic Media to Promote Problem Solving Abilities on Triangle for Grade 6 Students

Suwanan Chiawdee^{1,*} Maliwan Phattarachaleekul² and Nipaporn Chutiman²

¹Mathematical Education Program, Faculty of Science, Mahasarakham University

²Faculty of Science, Mahasarakham University

*Email: 65010285005@msu.ac.th

Received <30 July 2024>; Revised <9 September 2024>; Accepted <8 October 2024>

Abstract

The purposes of this study were: (1) to develop of mathematics activities learning based on Constructivist Theory cooperated with electronic media to promote problem solving abilities on Triangle to meet the efficiency criterion of 80/80; (2) to find the effectiveness index of the learning based on Constructivist Theory cooperated with electronic media to promote problem solving abilities on Triangle; and (3) to compare the mathematical achievement and problem solving ability of students learning based on Constructivist Theory cooperated with electronic media to promote problem solving abilities on Triangle to 70 percent of criteria. The participants in this study were 17 students who studied in Grade 6 at Banchok School in the second semester. However, they were selected by using cluster random sampling. The research instruments were: (1) mathematics learning activities based on Constructivist Theory cooperated with electronic media; (2) the learning achievement test; and (3) the mathematical problem-solving ability test. The statistics for data analysis are percentage, mean, standard deviation, and Hotelling's T^2 to test the hypothesis. The results of the study were as follows: (1) mathematics learning activities Based on Constructivist Theory cooperated with electronic Media were 86.71/80.00, respectively; (2) the effectiveness index of plans for organization of mathematics learning Based on Constructivist Theory Cooperated with Electronic Media was 0.5953 indicating that the students' scores increased by 59.53 percent, respectively; and (3) mathematics learning activities based on Constructivist Theory cooperated with electronic media accounted over 70 percent criteria at the .05 level of significance and mathematical problem-solving ability of students at over 70 percent criteria at the .05 level of significance.

Keywords: Constructivist Theory, Problem solving ability, Electronic media

การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์
ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา
เรื่อง รูปสามเหลี่ยม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

สุนันท์ เชี่ยวดี^{1*} มะลิวัลย์ ภัทรชาลิกุล² และ นิภาพร ชูติมันต์²

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*Email: 65010285005@msu.ac.th

รับบทความ: 30 กรกฎาคม 2567 แก้ไขบทความ: 9 กันยายน 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 8 ตุลาคม 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 (2) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 (3) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหา ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านโชค อำเภอบัวเขต จังหวัดสุรินทร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 17 คน ที่ได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่มเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ (1) แผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ (2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (3) แบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหามathematics สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐาน โดยใช้ Hotelling's T^2 ผลการวิจัย พบว่า (1) กิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 86.71/80.00 (2) ดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เท่ากับ 0.6440 แสดงว่านักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นร้อยละ 64.40 (3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ที่ระดับนัยสำคัญ .05 และความสามารถในการแก้ปัญหามathematics ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ที่ระดับนัยสำคัญ .05

คำสำคัญ: ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ความสามารถในการแก้ปัญหา สื่ออิเล็กทรอนิกส์

บทนำ

จากประสบการณ์การสอนโดยตรงของผู้วิจัย และการสัมภาษณ์ครูผู้สอนโรงเรียนบ้านโชค อำเภอบัวเขต จังหวัดสุรินทร์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาสุรินทร์ เขต 3 พบว่า ปัญหาการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนอย่างหนึ่งคือ ขาดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาตินขั้นพื้นฐาน (O-NET) กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เมื่อเทียบกับกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ยังต่ำกว่าเกณฑ์ ดังนั้นเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ให้มีคุณภาพ จำเป็นต้องคิดรูปแบบการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษางานวิจัยที่มีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นทักษะการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ เป็นทฤษฎีที่เน้นในเรื่องการสร้างความรู้ใหม่โดยเชื่อว่าผู้เรียนมีความรู้เดิมอยู่แล้ว (Rordraengkha, 1998) การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในตัวผู้เรียน โดยผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้จากความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ตนพบเห็นกับความรู้ความเข้าใจเดิมมาก่อน โดยพยายามทำความเข้าใจเกี่ยวกับเหตุการณ์ และปรากฏการณ์ที่พบมาสร้างเป็นโครงสร้างทางปัญญา (Chaicharoen, 2011) ทฤษฎีนี้สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างความเข้าใจด้วยตนเองและเชื่อมโยงความรู้เดิมกับสถานการณ์ปัญหาใหม่

นอกจากนี้ในการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนจำเป็นต้องปรับปรุงให้ทันสมัยตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาสื่ออิเล็กทรอนิกส์เพื่อช่วยส่งเสริมการแก้โจทย์ปัญหาที่ผู้เรียนสามารถวัดผลได้ด้วยตัวเอง และครูสามารถติดตามผลการเรียนของผู้เรียนได้ดี ซึ่ง Quizizz เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้กับการทำข้อสอบก่อนเรียน-หลังเรียนเพื่อวัดผลการเรียนรู้ของผู้เรียน หรือจัดกิจกรรมการสอบแบบเกมส์เพื่อเพิ่มความสุขสนทนในการเรียน (Bachelor's degree of Educational Technology and Computer science, Faculty of Education, Suan Sunandha University, 2020) และ Canva เป็นแพลตฟอร์มที่ใช้สำหรับสร้างงานกราฟฟิคออนไลน์ ซึ่งปัจจุบันที่ได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจาก Canva มีเครื่องมือจำนวนมาก ทำงานออกแบบได้หลายประเภทโดยที่ผู้ใช้อาจจะไม่จำเป็นต้องมีความรู้หรือทักษะการออกแบบมากนัก เพราะมี Template สำเร็จรูป ให้เลือกใช้มากมายโดยแยกออกเป็นหมวดหมู่ ตามสิ่งที่ต้องการออกแบบ (Chukruea, 2022) การใช้สื่อเหล่านี้จะส่งเสริมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ โดยสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่น่าสนใจและกระตุ้นการคิดวิเคราะห์

จากเหตุผลและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านโชค อำเภอบัวเขต จังหวัดสุรินทร์ เพื่อจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ และยังมีการนำสื่ออิเล็กทรอนิกส์เข้ามาประยุกต์ใช้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
2. เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6
3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ใช้เป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ในกลุ่มเครือข่ายการจัดการศึกษาบัวเขต 1 (ไตรศรี) อำเภอบัวเขต จังหวัดสุรินทร์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาสุรินทร์ เขต 3 จำนวน 13 โรงเรียน รวมจำนวนนักเรียนทั้งสิ้น 376 คน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นนักเรียนโรงเรียนบ้านโชค ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มเครือข่ายการจัดการศึกษาบัวเขต 1 (ไตรศรี) อำเภอบัวเขต จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 17 คน ได้มาด้วยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้หน่วยการสุ่มเป็นห้องเรียน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีรายละเอียด ดังนี้

1. แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 18 แผน 18 ชั่วโมง โดยแบ่งออกเป็น 6 เรื่องย่อย ได้แก่ ชนิดและสมบัติของรูปสามเหลี่ยม จำนวน 2 แผน ส่วนต่าง ๆ ของรูปสามเหลี่ยม 3 แผน การสร้างรูปสามเหลี่ยม 3 แผน ความยาวรอบรูปของรูปสามเหลี่ยม 3 แผน พื้นที่ของรูปสามเหลี่ยม 3 แผน และโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับรูปสามเหลี่ยม 4 แผน มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.86 อยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุดโดยมีขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน หมายถึง ขั้นเตรียมความพร้อมของผู้เรียนโดยการแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ ทบทวนความรู้เดิม สร้างความสนใจจากผู้เรียนด้วยการตั้งคำถามจาก Quizizz และใช้ Canva ในการทบทวนความรู้เดิม

1.2 ขั้นสอน หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจเดิมที่มีอยู่ เป็นขั้นพัฒนาทักษะการแก้ปัญหา ผู้เรียนมีบทบาทโดยการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง มีปฏิสัมพันธ์กับกลุ่ม ซึ่งประกอบด้วย 3 กิจกรรมย่อย คือ ขั้นเผชิญปัญหา และแก้ปัญหาเป็นรายบุคคล ขั้นไตร่ตรองระดับกลุ่มย่อย และขั้นไตร่ตรองระดับชั้นเรียน

1.3 ขั้นสรุป หมายถึง ขั้นที่ครูและผู้เรียนร่วมกันสรุปหลักการ และวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม ซึ่งมีครูเป็นผู้ช่วยสรุปในเนื้อหาที่ไม่ครอบคลุม เพื่อให้ได้สาระสำคัญและหลักการที่ถูกต้อง

1.4 ขั้นฝึกทักษะและการนำไปใช้ หมายถึง ขั้นที่ผู้เรียนนำความรู้ไปประยุกต์กับสถานการณ์ปัญหาต่าง ๆ ให้เกิดความชำนาญ เกิดประโยชน์สูงสุด จากการทำแบบฝึกทักษะและใบกิจกรรม

1.5 ขั้นการวัดและประเมินผล หมายถึง ขั้นการวัดและประเมินผลผู้เรียนตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น จากการทำแบบฝึกทักษะ แบบทดสอบจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ Quizizz จากการสังเกตพฤติกรรมระหว่างร่วมกิจกรรมรายบุคคล/รายกลุ่ม

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เป็นแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ รวม 20 คะแนน ผ่านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาระการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้มาตรฐานและตัวชี้วัดจากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) และจำนวนข้อสอบ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.80 - 1.00 (ตัวอย่างในตารางที่ 1) มีค่าความยาก ตั้งแต่ 0.40 - 0.79 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 - 0.80 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.85

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์	
1. รูปสามเหลี่ยมที่มุม 50° 80° และ 50° เป็นรูปสามเหลี่ยมชนิดใด ก. สามเหลี่ยมด้านเท่า ข. สามเหลี่ยมหน้าจั่ว ค. สามเหลี่ยมด้านไม่เท่า ง. สามเหลี่ยมมุมฉาก	9. ถ้า $\triangle COK$ เป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่มีฐาน CK ยาว 5 เซนติเมตร ด้านประกอบมุมยอดมีความยาวรวมกัน 14 เซนติเมตร ข้อใดคือ ความยาวของด้าน CO ก. 14 เซนติเมตร ข. 12 เซนติเมตร ค. 9 เซนติเมตร ง. 7 เซนติเมตร
11. $\triangle KLD$ เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า มีความยาวด้าน KL เท่ากับ 4 เซนติเมตร ความยาวรอบรูปของรูปสามเหลี่ยมเท่ากับข้อใด ก. 4 เซนติเมตร ข. 8 เซนติเมตร ค. 12 เซนติเมตร ง. 16 เซนติเมตร	14. รูปสามเหลี่ยมที่มีฐานยาว 40 เซนติเมตร และมีความสูงเป็นสองเท่าของความยาวของฐาน มีพื้นที่ตรงกับข้อใด ก. 1,700 ตารางเซนติเมตร ข. 1,650 ตารางเซนติเมตร ค. 1,600 ตารางเซนติเมตร ง. 1,550 ตารางเซนติเมตร

3. แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เป็นแบบทดสอบอัตนัย จำนวน 3 ข้อประกอบไปด้วย โจทย์ปัญหาเกี่ยวกับความยาวรอบรูปของรูปสามเหลี่ยม 1 ข้อ และโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับการหาพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยม 2 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.80 - 1.00 (ตัวอย่างในตารางที่ 2) มีค่าความยาก ตั้งแต่ 0.50 - 0.60 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.48 - 0.72 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับ เท่ากับ 0.85 ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนนดังตารางที่ 3

3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ได้รับความรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สูตร Hotelling's T²

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยคำนวณหาค่า E₁ จากใบกิจกรรม แบบฝึกเสริมทักษะ พฤติกรรมระหว่างเรียน และทดสอบย่อย และคำนวณหาค่า E₂ จากคะแนนทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม

การทดสอบ	กระบวนการ (E ₁)	ผลลัพธ์ (E ₂)
ประสิทธิภาพ	86.71	80.00
การแปลผล	เป็นไปตามเกณฑ์	เป็นไปตามเกณฑ์

จากตารางที่ 4 พบว่า แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 86.71/80.00 หมายความว่า ประสิทธิภาพด้านกระบวนการ (E₁) เท่ากับ 86.71 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.00 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.00 แสดงว่า ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E₂) เท่ากับ 80.00 ซึ่งประสิทธิภาพด้านกระบวนการมีค่าเฉลี่ยมากกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพในส่วนของแบบฝึกเสริมทักษะ ใบกิจกรรม และการทดสอบย่อยก่อนเรียนโดยใช้แอปพลิเคชัน Quizizz ทำให้นักเรียนได้คะแนนมาก เนื่องจากในช่วงการเรียนรู้มีความเข้าใจในเนื้อหา สามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว แสดงว่าแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ทั้งนี้เนื่องจากแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ผ่านขั้นตอนการสร้างแผนอย่างเป็นระบบและเหมาะสม มีการศึกษาหลักสูตร วิเคราะห์หลักสูตร ศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา จากนั้นจึงสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจและให้คำแนะนำ แล้วจึงนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่านตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมและให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงแก้ไข นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปทดลองใช้ เพื่อหาคุณภาพก่อนที่จะนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จึงทำให้แผนการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ (Khunrat, 2020) ที่ได้ศึกษาการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การคูณ โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.95/76.83 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Charoenphio, 2023) ได้ศึกษาการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งผลการวิจัยพบว่า แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 77.83/77.50 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

2. การวิเคราะห์หาค่าดัชนีประสิทธิผลของการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน จำนวน 20 ข้อ เมื่อสอนจบทั้ง 18 แผน แล้วได้ทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยแบบทดสอบคู่ขนาน ซึ่งได้ค่าดัชนีประสิทธิผลปรากฏผล ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าดัชนีประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์

n	คะแนนเต็ม	ผลรวมคะแนนทดสอบก่อนเรียน	ผลรวมคะแนนทดสอบหลังเรียน	ดัชนีประสิทธิผล (E.I.)
17	20	149	272	0.6440

จากตารางที่ 5 พบว่า ดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 0.6440 คิดเป็นร้อยละ 64.40 แสดงว่าหลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา แล้วนักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้น 0.6440 แสดงว่านักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนร้อยละ 64.40 ทั้งนี้เป็นเพราะแผนการจัดการเรียนรู้ได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง จากผู้เชี่ยวชาญทั้งด้านเนื้อหา และประสบการณ์ ทำให้ได้แผนการจัดการเรียนการสอนที่มีความเหมาะสม อีกทั้งการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา ยังเน้นให้ผู้เรียนได้เผชิญกับปัญหา ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยมีครูคอยกระตุ้นให้นักเรียนวิเคราะห์โจทย์ปัญหา แนวทางการแก้ปัญหา มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกลุ่มและห้องเรียน รวมทั้งสื่ออิเล็กทรอนิกส์ยังช่วยกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนได้อย่างดี จึงทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ (Chanthakarn, 2018) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ เรื่อง ลำดับ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เท่ากับ 0.6841 คิดเป็นร้อยละ 68.41 หมายความว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 68.41 จะเห็นได้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้ เห็นได้จากการพิจารณาค่าดัชนีประสิทธิผล พบว่า ผู้เรียนมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยก่อนเรียนค่อนข้างสูง เนื่องจากวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ช่วยให้ผู้เรียนได้เผชิญกับปัญหาและได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง อีกทั้งการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ จะช่วยให้ผู้เรียนมีความตื่นตัว และสนใจในการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในการจัดการเรียนการสอนยิ่งขึ้น

3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70

เพื่อการทดสอบตัวแปรพหุคูณ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการหาความสัมพันธ์ของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

ความสัมพันธ์ของผลการเรียนรู้	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	1	0.331*
ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์	0.331*	1

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 6 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงนำตัวแปรไปเปรียบเทียบโดยวิธีทางสถิติ Hotelling's T²

ตารางที่ 7 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยวิธีทางสถิติ Hotelling's T²

ค่าสถิติทดสอบ	Value	F	Hypothesis df	Error df	p-value
Hotelling's Trace	5.627	42.201	2.000	15.000	0.000*

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 7 พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบ Univariate Tests

ตารางที่ 8 ผลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยวิธีทางสถิติ Univariate Tests

ผลการเรียนรู้	SOV	SS	df	MS	F	p-value
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	Intercept	68.000	1	68.000	8.242	.011*
	Error	132.000	16	8.250		
ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	Intercept	933.882	1	933.882	89.949	.000*
	Error	166.118	16	10.382		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 8 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.00 คิดเป็นร้อยละ 80.00 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เป็นเพราะผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยแผนการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ได้ผลดี เพราะเป็นการสอนที่ส่งเสริมให้นักเรียนคิดแก้ปัญหาอย่างมีระบบ มีสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนในการทำโจทย์สอดคล้องกับ (Nongnuan, 2019) ได้ศึกษาการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ เรื่อง สถิติเบื้องต้น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ที่ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ของตนเอง โดยผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ตามความเข้าใจของตนเอง ส่งผลต่อความสามารถของผู้เรียนได้ดี นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ย 75.21

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.41 คิดเป็นร้อยละ 90.03 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เพราะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ได้ผลดี เพราะเป็นการสอนที่ส่งเสริมให้นักเรียนคิดแก้ปัญหาอย่างมีระบบ เน้นให้ผู้เรียนได้สร้างความรู้ความเข้าใจที่มีความหมายของตนเอง มีสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนในการทำโจทย์ที่มีความหลากหลายและแปลกใหม่ สอดคล้องกับ (Wansri, 2022) การพัฒนาการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีของคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับสื่อ DLIT ที่ส่งเสริมทักษะในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่อง ความน่าจะเป็น สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 27.27 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.785 จากการทดสอบด้วยสถิติการวิเคราะห์แบบ One sample t-test ได้ค่า t เท่ากับ 7.142 แสดงว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับสื่อ DLIT มีผลทักษะในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่อง ความน่าจะเป็น สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย ผลการวิจัยสามารถสรุป ได้ดังนี้

1. กิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 86.71/80.00 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80

2. ดัชนีประสิทธิผลของแผนการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เท่ากับ 0.6440 แสดงว่าหลังจากจัดกิจกรรมการเรียนการสอนแล้วคิดเป็นร้อยละ 64.40

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง รูปสามเหลี่ยม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหา เรื่อง รูปสามเหลี่ยม เป็นไปตามเกณฑ์ ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาควรศึกษารูปแบบ และวิธีการให้เข้าใจและครบถ้วนทุกขั้นตอน และควรชี้แจงข้อตกลง ข้อปฏิบัติ และเกณฑ์ต่าง ๆ ให้นักเรียนเข้าใจก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้

1.2 ในการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์นั้น ครูควรสำรวจอุปกรณ์ของนักเรียนว่ามีพร้อมหรือไม่ และควรแจ้งให้นักเรียนโหลดแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการสอนให้พร้อม ก่อนเริ่มการจัดการเรียนการสอน

1.3 ครูควรแจ้งผลการทำกิจกรรม หรือการทดสอบให้นักเรียนทราบทันที เพื่อให้นักเรียนทราบคะแนนของตนเอง ซึ่งจะทำให้เกิดความรู้สึกกระตือรือร้น และปรับปรุงข้อบกพร่องของตนเองในการเรียนรู้ซ้ำต่อไป

2. ข้อเสนอแนะในการศึกษาค้นคว้าต่อไป

2.1 การทำแบบฝึกเสริมทักษะในการวิจัยครั้งนี้ พบว่า นักเรียนทำแบบฝึกเสริมทักษะไม่ทันกับเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะให้ขยายเวลาให้มากขึ้น

2.2 ในการทำวิจัย พบว่า นักเรียนมีโทรศัพท์ไม่ครบทุกคน ผู้วิจัยจึงเสนอแนะอาจใช้โทรศัพท์ 2 คนต่อ 1 เครื่อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิวัลย์ ภัทรชาลิกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร.นิภาพร ชุตินันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้บริหาร คณะครู และนักเรียนทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาการวิจัยครั้งนี้

References

- Bachelor's degree of Educational Technology and Computer science, Faculty of Education, Suan Sunandha University. (2020). **Training documents for the project to create online tests with the ready-made program Quizizz to create motivation for studying.** Faculty of Education, Suan Sunandha Rajabhat University.
- Chaicharoen, S. (2011). **Educational technology: teaching system development** (in Thai). Khon Kaen: Khon Kaen University.
- Chanthakarn, T. (2018). Development of learning activities according to the concept of constructivist theory on sequence, Mathayom 5 level (in Thai). In **the 2nd National Academic Conference on Innovation or Learning and Inventions** (pp. 195-205). Pathum Thani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- Charoenphio, C. (2023). Development of mathematics learning activities According to the concept of constructivist theory together with the use of electronic media that promotes problem-solving skills About percentages and ratios of students in grade 6 (in Thai). **Master's Thesis**, M.Ed. Maha Sarakham: Rajabhat Maha Sarakham University.

- Chukruea, S. (2022). **Training documents for online graphic design courses with the program**. Mixed media development work Information Technology Division Mahidol University.
- Khunrat, K. (2020). Development of learning activities on multiplication by applying constructivist theory of students in grade 4 (in Thai). **Master's Thesis**. Maha Sarakham: Rajabhat Maha Sarakham University.
- Nongnuan, S. (2019). Development of mathematics learning activities According to the concept of constructivist theory on basic statistics of Mathayom 5 students. **degree thesis Master of Science**, City: Thaksin University.
- Rordraengkha, W. (1998). Knowledge creation theory (Constructivism). **Institute journal Promoting the teaching of science and technology**, 45(101), 7-12.
- Wansri, C. (2022). Development of learning activities based on constructivist theoretical concepts combined with DLIT media that promotes skills in solving mathematical problems. Probability For Mathayom 5 students (in Thai). **Master's thesis**. Maha sarakham: Mahasarakham University.



The design of STEM activities on thermal properties of matter for primary students

Udom Tipparach^{1*} Teerawat Piromjitpong¹ Cherdchai Wuttiya¹ and Supanasa Chimjarn²

¹Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani 34190

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani 34190

*Email: udom.t@ubu.ac.th

Received <21 October 2024>; Revised <23 November 2024>; Accepted <24 November 2024>

Abstract

Due to the curiosity of children at the young ages, the primary school years are crucial times of learning for cultivating students' interest in science, building up science process skills, and developing scientific attitudes. In this work, we have designed learning activities and applied STEM activities on thermal properties of matter for primary students to enhance students' understanding the concept of thermal properties mainly thermal expansions of solids, liquids, and gases. We have also developed students' science process skills and students' attitudes toward science at the same time through STEM education. The activities provided in this research were the expansions of air in self-inflating balloon experiments when heated, the expansions of water in flasks when heated, and the expansions of iron nails and holes on metal disks when heated. The STEM activities were assigned to train the students to apply their knowledge and skills to build straw thermometers. During the lessons, we observed that the students actively engaged in the activities. After attending the lessons, the satisfaction surveys showed that the levels of the satisfaction of students and teachers were high.

Keywords: STEM activity; Thermal property; Thermal expansion; Straw thermometer; Primary students

การออกแบบกิจกรรมเสริมศึกษาเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา

อุดม ทิพราน^{1*} อธิวัฒน์ ภิรมจิตร์ม่อง¹ เชิดชัย วุฒินา¹ และ สุพรรณิศา นิมากร²

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

*Email: udom.t@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากความอยากรู้อยากเห็นของเด็กในวัยเยาว์ ช่วงเวลาของการเรียนระดับประถมศึกษาจึงเป็นช่วงเวลาที่สำคัญอย่างยิ่งยวดสำหรับการเรียนรู้ เพื่อปลูกฝังความสนใจวิชาวิทยาศาสตร์ พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และสร้างเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและใช้กิจกรรมเสริมศึกษาที่เกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของสสารกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องสมบัติทางความร้อน โดยหลักใหญ่เป็นการขยายตัวของสสารในรูปของแข็ง ของเหลว และแก๊ส นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทัศนคติของนักเรียนต่อวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกันโดยผ่านทางเสริมศึกษา กิจกรรมที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ การขยายตัวของแก๊สในลูกโป่งเมื่อได้รับความร้อน การขยายตัวของน้ำในขวดรูปกรวยเมื่อได้รับความร้อน และการขยายตัวของตะปูเหล็กและรูบนแผ่นโลหะเมื่อได้รับความร้อน ผู้วิจัยใช้กิจกรรมเหล่านี้เพื่อให้ฝึกนักเรียนชั้นประถมศึกษาใช้ความรู้และทักษะมาใช้ในการสร้างเทอร์โมมิเตอร์จากหลอดกาแฟ ในระหว่างบทเรียน นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมอย่างกระตือรือร้น หลังจากที่ได้เข้าร่วมกิจกรรมแล้ว ผลการสำรวจความพึงพอใจแสดงให้เห็นว่าระดับความพึงพอใจของนักเรียนและครูอยู่ในระดับสูง

คำสำคัญ: กิจกรรมเสริมศึกษา; สมบัติทางความร้อน; การขยายตัวจากความร้อน; เทอร์โมมิเตอร์หลอดกาแฟ;
นักเรียนประถมศึกษา

บทนำ

วัยเด็กเป็นวัยที่อยากรู้อยากเห็น เด็ก ๆ จะชอบสังเกตสิ่งรอบ ๆ ตัว เด็กเรียนรู้ได้ดีเมื่อได้รับประสบการณ์ตรงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นรอบตัวโดยการสังเกต การทดลอง ประสบการณ์ที่ได้รับและเริ่มพัฒนาการทางความคิด (cognitive development) จากตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมที่สังเกตได้ในชั้นเรียนและสิ่งรอบตัว ไปสู่การสรุปเป็นองค์ความรู้ (Slavin, 2018) และสามารถนำความรู้และทักษะไปใช้หรือนำไปปรับใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้

จากผลการศึกษาคะแนนความสามารถในการอ่าน การคิดเชิงวิเคราะห์ (PISA) ของนักเรียนไทยในระดับมัธยมศึกษาพบว่า คะแนนในวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และการอ่าน เป็น 394 409 และ 379 ตามลำดับ ในขณะที่คะแนนเฉลี่ยของประเทศอื่น ๆ เป็น 472 485 และ 476 ตามลำดับ (IPST, 2024) ผลนี้แสดงให้เห็นว่า คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนไทยต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยของประเทศอื่น ๆ ทุกวิชา ปัญหาเกิดจากปัญหาหลายประการ เช่น โรงเรียนขาดครูที่มีความพร้อม ครูขาดวัสดุอุปกรณ์ในการจัดการเรียนรู้ นักเรียนขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้ บทเรียนไม่ดึงดูดความสนใจของนักเรียน การจัดการเรียนรู้ไม่ได้มาตรฐานตามกำหนด เป็นต้น จึงทำให้นักเรียนขาดทักษะหลายด้าน เช่น ทักษะการเรียนรู้ ทักษะการคิดวิเคราะห์ เป็นต้น

นักวิชาการด้านการศึกษาสอนว่า การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) ได้กลายเป็นส่วนสำคัญในหลักสูตรระดับประถมศึกษา (Brown, 2012) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากประโยชน์ที่มีคุณค่าหลายประการของการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ทำให้เกิดการส่งเสริมและสนับสนุนให้นักเรียนกลายเป็นผู้คิดวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ นักแก้ปัญหา มีความคิดสร้างสรรค์ และประโยชน์อื่น ๆ อีกมาก (Baber, 2015; Basile & Lopez, 2015) ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ (Experiential Learning Theory - ELT) ของ Kolb (1984) อธิบายขั้นตอนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนมีส่วนร่วมกับการเรียนรู้จากประสบการณ์ เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในโปรแกรมการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ทฤษฎี ELT ของ Kolb ถือว่าเป็นแกนหลักของการเรียนรู้ STEM (Brown, 2012; Sanders, 2009) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของการเรียนรู้แบบผสมผสานที่อาจมีต่อความสำเร็จในแบบสะเต็มศึกษาโดยให้เวลาส่วนหนึ่งในการสอนเป็นการเรียนรู้จากประสบการณ์ ครูในโรงเรียนมองและใช้การศึกษาแบบสะเต็มศึกษาเป็นเครื่องมือในการเตรียมนักเรียนสำหรับการเข้าศึกษาต่อในอุดมศึกษาและการประกอบอาชีพในอนาคต ทักษะที่หลากหลายซึ่งนักเรียนต้องการในชีวิตต่อไปสามารถปลูกฝังได้ในโปรแกรมการศึกษาแบบสะเต็มศึกษาในปัจจุบัน ทักษะเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในหลักสูตรเพื่อเตรียมนักเรียนให้พร้อมสำหรับศึกษาต่อในระดับสูงและการประกอบอาชีพ (Brown, 2012; Owens, 2009) ดังนั้น การเรียนรู้แบบผสมผสานจึงกลายเป็นที่สนใจ เนื่องจากมีเป้าหมายเพื่อมอบประโยชน์เหล่านี้ให้นักเรียน ตามที่ P21, 21st Century Learning ซึ่งเป็นองค์กรไม่แสวงหาผลกำไรระดับชาติของสหรัฐอเมริกาประกาศส่งเสริมทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ในห้องเรียน ทักษะเหล่านี้ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญหลายประการ และแบ่งออกเป็น 4 C ของการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 ได้แก่ การคิดวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ (critical thinking) การทำงานร่วมกัน (collaboration) การสื่อสาร (communication) และความคิดสร้างสรรค์ (creativity) (P21 Partnership for 21st Century Learning, 2015) ในการจัดการเรียนรู้แบบ STEM นักเรียนได้เรียนรู้และพัฒนา 4 C เหล่านี้ พร้อมกับทักษะที่มีประโยชน์อื่นๆ อีกหลายอย่าง วิธีการเรียนรู้แบบผสมผสานมุ่งเน้นที่จะผนวกทักษะเหล่านี้เข้าไปในหลักสูตร โดยเฉพาะวิชาวิทยาศาสตร์ (IPST, 2019)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทย (สสวท.) ได้ส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนแบบ STEM และมีการนำไปใช้ในหลายโรงเรียนและหลายระดับการศึกษา โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านการบูรณาการวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ผ่านกิจกรรมและโครงการที่สร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่เป็นประโยชน์ ตัวอย่างของการจัดการเรียนรู้แบบ STEM ในประเทศไทย เช่น โครงการบ้านนักวิทยาศาสตร์น้อยประเทศไทยซึ่งโครงการนี้จัดโดยมูลนิธิสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ร่วมกับมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งเยอรมนี (Deutsche Telekom Foundation) และมูลนิธิสมเด็จพระมหิตลาธิเบศร อดุลยเดชวิกรม พระบรมราชชนก โครงการสะเต็มศึกษา (STEM Education) ของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (Office of the Basic Education Commission, OBEC, 2024) เป็นต้น โครงการเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับเด็กในระดับปฐมวัยและประถมศึกษา โดยใช้กิจกรรมการทดลองและการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ การจัดการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมโครงการวิทยาศาสตร์ (Science Projects) ที่ในโรงเรียนมัธยมศึกษา นักเรียนจะได้ทำโครงการที่บูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชา เช่น การสร้างหุ่นยนต์, การพัฒนานวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม หรือการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการทำงานร่วมกัน ตลอดจนจัดแบบบูรณาการในระดับอุดมศึกษา

แม้ว่าจะมีการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าโปรแกรมการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาในการศึกษาระดับประถมศึกษาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหลักสูตร แต่การนำโปรแกรมการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาไปปฏิบัติจริงกลับมีค่อนข้างน้อย รูปแบบและคุณภาพหลากหลายอย่างมาก และยังมีมาตรฐานในการจัดการเรียนรู้ขึ้นกับงบประมาณและประสบการณ์ของครู ทำให้ได้คุณภาพและผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียนแตกต่างกันไป

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของสสารที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนในระดับประถมศึกษาทั้งในและต่างประเทศ (Wanapop and Chaboo, 2021; Baser, Geban; 2007) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับโมเดลเกี่ยวกับความร้อนและอุณหภูมิ ความร้อนกับการเปลี่ยนสถานะของสสาร เป็นต้น แต่ยังไม่พบการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติการขยายตัวของความร้อนของสสารในระดับประถมศึกษาทั้งที่เป็นเรื่องง่าย เด็กนักเรียนสามารถสังเกตได้ง่ายทั้งการทดลองและในชีวิตประจำวัน ในขณะที่ในต่างประเทศ สมาคมวิชาการได้จัด workshops สำหรับครูประถมศึกษาเพื่อสอนเรื่องความร้อนให้นักเรียน (Hitt and Townsend, 2015; Clayton, Downing, and Callaway, 1982)

โดยปกติ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ได้จัดกิจกรรมเสริมความรู้และทักษะให้กับนักเรียนภายใต้โครงการห้องเรียนวิทยาศาสตร์เวลาพิเศษในวันศุกร์หรือเสาร์-อาทิตย์ นักเรียนที่เข้าร่วมโครงการเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย กิจกรรมส่วนใหญ่ได้ดัดแปลงมาจากบทปฏิบัติการฟิสิกส์ในระดับมหาวิทยาลัยให้มีระดับความยากง่ายเหมาะสมกับระดับของนักเรียน ต่อมาโรงเรียนประถมศึกษาสนใจจะให้นักเรียนเข้าร่วมโครงการ จึงเป็นที่มาของคำถามว่านักเรียนประถมศึกษาสามารถทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้หรือไม่ กิจกรรมดังกล่าวจะทำให้ให้นักเรียนและครูมีความพึงพอใจผลการจัดการเรียนรู้หรือไม่

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเสนอรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาที่เข้าค่ายห้องเรียนวิทยาศาสตร์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผู้วิจัยทดลองใช้กิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสร้างองค์ความรู้ พัฒนาทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ นำความรู้ไปใช้ และศึกษาเจตคติของนักเรียน ครู และผู้ปกครอง ที่เข้าร่วมโครงการ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะมีส่วนสนับสนุนภารกิจด้านการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาให้เหมาะสมกับกลุ่มนักเรียนระดับประถมศึกษาทั้งเนื้อหาวิชาการและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยการแก้ไขปัญหาที่ว่าโรงเรียนไม่มีวัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องมือวิทยาศาสตร์ กิจกรรมดังกล่าวจะไม่เพียงแต่สนับสนุนให้ครูประถมศึกษาสามารถจัดการเรียนการสอนที่มีคุณภาพสูงเท่านั้น แต่ยังสร้างแรงบันดาลใจให้นักเรียนแสวงหาความรู้ วิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เพื่อนำความรู้ไปใช้ได้จริง ซึ่งท้ายที่สุดแล้วจะช่วยให้สังคมมีความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และมีความคิดสร้างสรรค์มากขึ้น

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการ (Action Research) ผู้วิจัยได้ออกแบบการวิจัยโดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบไปด้วย 1) การวางแผนออกแบบบทเรียนเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์การเรียนรู้และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาทดลองใช้กับการทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กและนำกิจกรรมมาปรับปรุง 2) การนำกิจกรรมไปใช้กับการบริการวิชาการค่ายห้องเรียนวิทยาศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์ 3) สังเกตและบันทึกผล 4) ประเมินความพึงพอใจของนักเรียนและครูผู้เข้าร่วมโครงการ

คำถามวิจัย กิจกรรมการทดลองประกอบด้วย การขยายตัวของสสารและกิจกรรมสะเต็มศึกษาสามารถสร้างความสนใจการเรียนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษาหรือไม่ และกิจกรรมดังกล่าวสามารถสร้างความพึงพอใจกับนักเรียนและครูได้หรือไม่

วัตถุประสงค์การวิจัยครั้งนี้คือ 1.) เพื่อสร้างกิจกรรมการเรียนรู้และกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสารสำหรับนักเรียนประถมศึกษา และ 2.) เพื่อวัดความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสารสำหรับนักเรียนประถมศึกษา

ผู้วิจัยได้ศึกษาบทเรียนตามหลักสูตรประถมศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 (Ministry of Education, 2560) พบว่ามีสาระเกี่ยวกับวัสดุและความร้อน เช่น มาตรฐาน ว2.1: (ตัวชี้วัด) อธิบายการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อทำให้อุ่นขึ้นหรือทำให้เย็นลง โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ (สาระการเรียนรู้แกนกลาง) อธิบายการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อทำให้อุ่นขึ้นหรือทำให้เย็นลง โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ การที่นักเรียนจะเรียนได้ตามมาตรฐานการเรียนรู้เช่นนี้ ครูจำเป็นต้องจัดการเรียนรู้แบบ Active learning ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้สร้างบทเรียนประกอบไปด้วยกิจกรรมการทดลองเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร โดยจัดให้นักเรียนได้เรียนโดยการลงมือทดลอง การทดลองประกอบด้วย การขยายตัวของแก๊สเมื่อได้รับความร้อน การขยายตัวของของเหลว (น้ำผสมแอลกอฮอล์) เมื่อได้รับความร้อน และการขยายตัวของของแข็ง (โลหะ) เมื่อได้รับความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 1 กิจกรรมการทดลองเพื่อสร้างเสริมความเข้าใจโมเดลเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสารจะทำให้นักเรียนลงมือทำการทดลองเพื่อค้นหาข้อสรุปว่าเมื่อสสาร ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส เมื่อได้รับความร้อนแล้ว สสารจะขยายตัว การทดลองทั้งหมดผู้วิจัยและนักศึกษาผู้ช่วยได้กำกับดูแลนักเรียนอย่างใกล้ชิดเพื่อความปลอดภัยจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ออกแบบบทเรียนเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์การเรียนรู้และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ดังภาพที่ 1

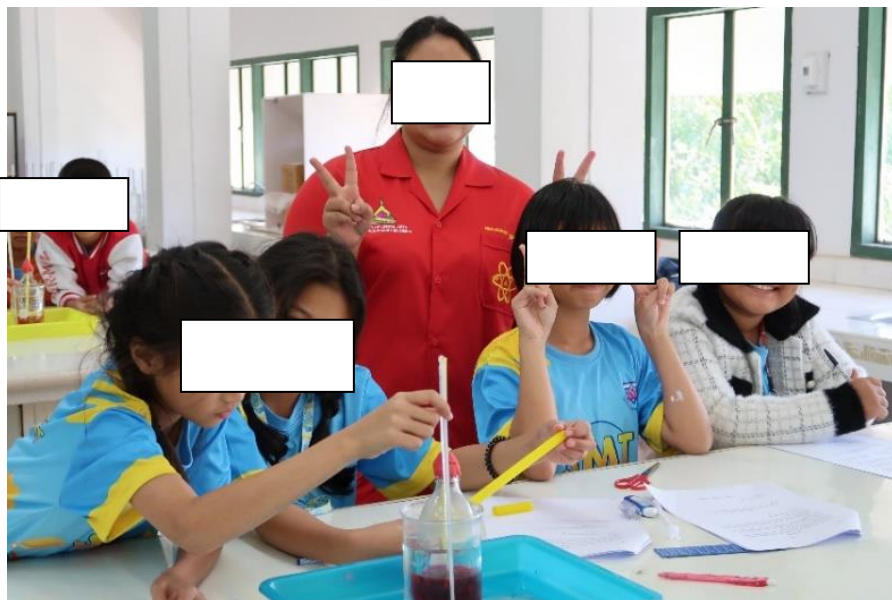
สถานะปกติ	สถานะเมื่อได้รับความร้อน	เหตุผล
-----------	--------------------------	--------

 ลูกโป่งแฟบ	 ลูกโป่งพองตัวเมื่อขวดอยู่ในน้ำร้อน	ลูกโป่งที่ปิดปากขวดพองโตขึ้นเมื่อวางขวดในน้ำร้อน นักเรียน สรุปลงได้ว่าอากาศในขวดขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อนขึ้น คำถามท้าทาย: ถ้าต้องการให้ลูกโป่งพองโตมากกว่านี้ นักเรียนจะทำได้อย่างไร
 ระดับน้ำในท่อต่ำ	 ระดับน้ำในท่อสูงขึ้นเมื่อร้อน	ระดับของเหลวในท่อแก้วในขวดรูปกรวยสูงขึ้นเมื่อได้รับความร้อน นักเรียน สรุปลงได้ว่า ของเหลว (น้ำผสมแอลกอฮอล์) ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน คำถามท้าทาย: ถ้าต้องการให้ของเหลวขยายตัวมากกว่านี้ นักเรียนจะทำได้หรือไม่ การทดลองนี้มีประโยชน์อย่างไร
 ก่อนเผาไฟ: ตะปูกลัดติดขนาดพอดีกับรูโลหะ	 หลังเผาไฟทันที: ตะปูร้อนขยายตัวโตขึ้น ไม่สามารถใส่ในรูโลหะได้	เจาะรูแผ่นโลหะเอาตะปูสอดใส่ได้พอดีเมื่อเผาไฟ ตะปูร้อนขึ้นมันขยายตัว มีขนาดโตขึ้น ไม่สามารถเข้าในรูเดิมได้ นักเรียน สรุปลงได้ว่าตะปูโลหะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน คำถามท้าทาย: การทดลองนี้มีประโยชน์อย่างไร

ภาพที่ 1 กิจกรรมของนักเพื่อศึกษาเรียนรู้สมบัติทางความร้อนของสสารของแข็ง ของเหลว แก๊ส เมื่อได้รับความร้อน

ผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาเพื่อให้นักเรียนใช้ความรู้เรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร (ของเหลว) และมองเห็นประโยชน์ของความรู้วิทยาศาสตร์ว่าสามารถนำไปใช้ได้จริง กิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาที่ออกแบบให้นักเรียนลงมือปฏิบัติคือการสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ (Straw thermometer) โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Science) คือการขยายตัวของของเหลวเมื่อได้รับความร้อน เทคโนโลยี (Technology) ที่ใช้คือ วัสดุ อุปกรณ์ประกอบไปด้วย หลอดกาแฟ ขวดแก้วหรือขวดพลาสติกใส น้ำผสมแอลกอฮอล์และไส้สี (สีแอลกอฮอล์เพื่อให้ขยายตัวไว ผสมน้ำเพื่อให้ปลอดภัยจากการติดไฟ ไส้สีผสมอาหารเพื่อให้เกิดการขยายตัวได้ง่าย) ดินน้ำมันเพื่อปิดปากขวดไม่ให้อากาศรั่วออก ให้อากาศกดดันไม่ให้ของเหลวใน

ขวดขยายสูงขึ้น แต่ให้ส่วนขยายสูงขึ้นในท่อหลอดกาแฟ การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering) คือการออกแบบและการวางแผน การใช้ท่อที่เหมาะสม การสร้างสเกลสำหรับเทียบอุณหภูมิ คณิตศาสตร์ (Mathematics) คือการแบ่งสเกลเป็นเซนติเมตรและแปลงความยาวของของเหลวที่สูงขึ้นไปเป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 นักเรียนการทำเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ (Straw thermometer)

ผู้วิจัยได้ทดลองใช้กิจกรรมที่สร้างขึ้นทดลองใช้กับกลุ่มทดสอบเครื่องมือ (กลุ่ม tryout) กิจกรรมการเรียนรู้โดยทดลองใช้กับนักเรียนประถมศึกษาปีที่ 5-6 โรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่ง จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 28 คน ภาคต้น ปีการศึกษา พ.ศ. 2566 นำผลที่ได้จากการสังเกต การสอบถาม การตอบคำถามของนักเรียน ข้อกังวลเรื่องความปลอดภัย การสัมภาษณ์ ครูผู้สอน และผู้ปกครอง มาปรับปรุงกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อการบริการวิชาการของคณะวิทยาศาสตร์

หลังจากปรับปรุงชุดทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ เทคนิคและวิธีการ การสร้างแบบทดสอบ คำถามประกอบการทดลอง และการนำไปใช้แล้ว ผู้วิจัยได้บริการวิชาการให้กับนักเรียนประถมศึกษา ชั้นปีที่ 5-6 โรงเรียนอนุบาลอุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ (กลุ่มทดลอง Experimental group) นักเรียนเข้าร่วมโครงการ 3 ห้อง ห้องละ 30-32 คน รวม 94 คน ครูผู้สอนติดตามนักเรียน จำนวน 6 คน อาจารย์ผู้วิจัย ห้องละ 2 คน ผู้ช่วยอาจารย์ห้องละ 4 คน ในแต่ละห้อง นักเรียนในแต่ละห้องถูกจัดให้ทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน โดยกิจกรรมทั้งหมด ประกอบไปด้วย กิจกรรมการทดลองการขยายตัวของสสาร 1 ชั่วโมง 30 นาที และ กิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา การสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ (Straw thermometer) 1 ชั่วโมง 30 นาที รวมเวลา 3 ชั่วโมง ระหว่างเรียนผู้วิจัยได้ถามคำถามนักเรียน สังเกตการตอบคำถาม การทำกิจกรรมการทดลอง และกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา หลังการวิจัยผู้วิจัยได้ถามนักเรียนและครูเพื่อประเมินความพึงพอใจ

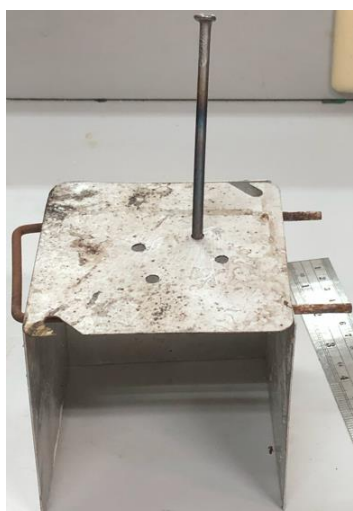
ผลการวิจัยและการอภิปราย

ชุดกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นชุดที่ 1 ประกอบด้วยการขยายตัวของแก๊ส สามารถใช้เพื่อศึกษาการขยายตัวของแก๊สเมื่อได้รับความร้อน เริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง ลูกโป่งที่คลอบปากขวดแฟบ เมื่อเอาขวดวางในบีกเกอร์น้ำร้อน รอประมาณ 3-5 นาที เพื่อให้ความร้อนส่งผ่านขวดแก้วเข้าสู่แก๊สภายในขวด นักเรียนสังเกตเห็นลูกโป่งพองตัว นักเรียนบางคนเกิดคำถามว่า อากาศมาจากไหน เพิ่มเติมอย่างไร ผู้วิจัยพานักเรียนค้นหาคำตอบโดยใช้คำถามนำว่าอากาศไม่สามารถเข้าหรือออกจากขวดได้ แต่อากาศได้รับพลังงานความร้อนทำให้อากาศขยายตัว อากาศขยายตัวออกสู่ภายนอกไม่ได้มันจึงดันลูกโป่งให้มีปริมาตรมากขึ้น ลูกโป่งจึงพองตัว ในทางกลับกัน เมื่อเราเอาขวดลูกโป่งออกจากแก้วน้ำร้อน ไม่นาน ลูกโป่งจะแฟบเพราะขวดเย็นตัวลง พลังงานลดลง ปริมาตรอากาศจึงลดลง

การทดลองที่ 2 ใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์อุ่นน้ำในขวดรูปกรวยโดยใส่แท่งแก้วที่ของเหลวภายในสามารถไหลเข้าไปในท่อแก้วได้ เมื่ออุ่นไฟให้ร้อนด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ น้ำภายในท่อแก้วสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการใช้น้ำแทนของเหลวในแก้วไม่ได้ลดลง ของเหลวในท่อสูงขึ้นได้อย่างไรเมื่อทำให้ร้อน ในที่สุด นักเรียนตอบได้ว่าภายในขวดรูปกรวยของเหลวไม่ได้ลดลงจากการสังเกตและไม่ได้สูงขึ้นเพราะความดันอากาศภายในขวดดันไว้ ของเหลวที่ไหลขึ้นไปทางท่อแก้วเป็น

ของเหลวที่ขยายตัวเนื่องจากได้รับความร้อน นักเรียนบางคนถามว่าเหตุใดจึงทำน้ำให้เป็นสี ผู้วิจัยอธิบายว่าเพื่อให้นักเรียนสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย บางคนถามว่าภายในเป็นอะไร ทำไมต้องทำเช่นนั้น ผู้วิจัยอธิบายว่ามันคือของเหลวเป็นของผสมระหว่างน้ำกับแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำช่วยให้ขยายตัวเร็วขึ้น บางคนถามว่าทำไมเราไม่ใช้แอลกอฮอล์อย่างเดียวจะสังเกตเห็นขยายตัวเร็วขึ้น ผู้วิจัยตอบว่าแอลกอฮอล์ติดไฟเร็ว อันตรายจากไฟไหม้อาจเกิดขึ้น เพื่อลดอันตรายจากไฟไหม้ จึงผสมกับน้ำ เป็นต้น

การทดลองชุดที่ 3 การขยายตัวของตะปูโลหะ ตะปูโลหะของแข็งที่ขนาดพอดีกับรูสามารถเข้าไปในรูโลหะได้ เมื่อเผาไฟตะปูร้อนแล้วไม่สามารถเอาเข้ารูได้ มันจะติดขัด เด็กนักเรียนสามารถตอบคำถามได้ว่า ตะปูร้อนแล้วขยายตัวโตขึ้นทำให้มันเข้ารูโลหะไม่ได้ นอกจากนี้แล้ว เด็กนักเรียนยังสงสัยว่า ถ้าเจาะรูให้เล็กกว่าเล็กน้อย สภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องตะปูจะไม่สามารถเข้ารูได้ ถ้าเผาไฟที่แผ่นโลหะแล้วจะโตขึ้นหรือจะเล็กลง ซึ่งเป็นคำถามที่เราเคยพบมาแล้วเมื่อเราใช้กับกลุ่มทดลองใช้เครื่องมือ (tryout) ภาพที่ 3 (ก) ผลพบว่าตะปูที่เข้ารูไม่ได้ในตอนแรกติด ภาพที่ 3 (ข) เมื่อเอาแผ่นโลหะลงไฟให้ร้อน ผลคือตะปูเข้ารูโลหะนั้นได้ แสดงว่าเมื่อแผ่นโลหะร้อน รูของโลหะก็ขยายตัวเช่นกัน



(ก) ตะปูขนาดโตกว่ารู ติดไม่สามารถลงรูได้



(ข) เมื่อเผาแผ่นโลหะให้ร้อน รูบนแผ่นโลหะขยายตัว ตะปูเข้าได้

ภาพที่ 3 (ก) ตะปูเข้ารูเล็กกว่าเล็กน้อยไม่ได้ (ข) เมื่อแผ่นโลหะร้อน รูบนแผ่นขยายตัวโตขึ้น ตะปูเข้ารูโลหะได้

จากการทดลองทั้ง 3 กิจกรรม นักเรียนสรุปได้ว่า สสารทุกชนิดไม่ว่าจะเป็น แก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะขยายตัว จากการที่นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้โดยสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตัวเองจากการทดลองหรือการจัดประสบการณ์เรียนรู้ให้ สอดคล้องกับทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) (Bada & Olusegun, 2015) และสอดคล้องกับการวิจัยของกลุ่มวิจัยอื่นๆ (Baber, 2015; Basile & Lopez, 2015) และปรัชญาการศึกษาการเรียนรู้จากประสบการณ์จริงของดิวอี้ (Williams, 2017) ทำให้นักเรียนเกิดความเชื่อมั่นและภาคภูมิใจว่าความรู้ที่ได้มาจากประสบการณ์การเรียนรู้จะเข้าใจจริง

กิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของสสารเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจทำให้นักเรียนเห็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การบูรณาการความรู้หลายด้าน เพื่อฝึกการทำงาน เริ่มต้นให้นักเรียนวางแผนสร้างเครื่องมือวัดระดับความร้อนของน้ำในแก้ว โดยนักเรียนเข้าใจแล้วว่า ถ้าน้ำภายนอกร้อนของเหลวภายในขวดจะขยายตัว น้ำเย็นของเหลวหดตัว นักเรียนใส่หลอดกาแฟลงในขวด แล้วปิดด้วยดินน้ำมัน วัดความยาวของของเหลว วัดอุณหภูมิ เมื่อจุ่มในน้ำอุ่น ของเหลวในหลอดกาแฟสูงขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของสสาร วัดความสูงและวัดอุณหภูมิ สร้างสเกลและสามารถเปรียบเทียบอุณหภูมิได้

จากการสังเกต นักเรียนสนใจทำกิจกรรม กล่าวถามคำถามและการตอบคำถามได้ดีมาก ทำงานเป็นกลุ่มได้ หลังการเรียน เมื่อผู้วิจัยถามถาม นักเรียนบอกว่าสนุก น่าสนใจ ง่าย ไม่ต้องจดมาก ไม่ต้องจำเพราะสังเกตเห็นเข้าใจง่าย จากการสอบถามคุณครู คุณครูบอกว่ากิจกรรมง่ายดี เห็นชัดเจน ดึงดูดความสนใจนักเรียนได้ แต่ที่โรงเรียนไม่มีผู้ช่วยครู ถ้าทำการทดลองจริงเกรงว่าอาจเกิดอันตรายกับนักเรียน ครูอาจดัดแปลงทดลองบางส่วน บางส่วนอาจสาธิต เช่นการเผาตะปู เพราะตะปูร้อนอาจเป็นอันตรายกับนักเรียน ต้องระวังมาก เมื่อสอบถามกลุ่มผู้ปกครองในกลุ่มแอปพลิเคชันไลน์ โดยเฉพาะผู้ปกครองนักเรียนกลุ่มทดสอบเบื้องต้น (tryout) โรงเรียนบ้านบัววัด แสดงความเห็น ว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่น่าสนใจ ลูก ๆ ชอบ เรียนโดยไม่ต้องจดมาก ได้ทดลองด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนมั่นใจว่าความรู้ที่ได้เกิดจากการทดลองเรียนรู้เอง ผลการสำรวจจากแบบสอบถามคำถามพบว่านักเรียนและครูทั้งกลุ่มทดสอบเครื่องมือและกลุ่มเข้าร่วมโครงการบริการวิชาการประเมินความพึงพอใจในระดับสูง



ภาพที่ 4 กิจกรรมเสริมศึกษา การสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟของนักเรียน

ผลของการจัดกิจกรรมสอดคล้องกับการวิจัยของกลุ่มวิจัยอื่นๆ (Baber, 2015; Basile & Lopez, 2015) และ การศึกษาการเรียนรู้จากประสบการณ์จริงตามปรัชญาการศึกษาของดิวอี้ (Williams, 2017) และทฤษฎี Constructivism การเรียนรู้โดยผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Bada & Olusegun, 2015) นักเรียนได้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ทักษะการเรียนรู้โดยไม่ต้องจดและจำ ได้ค้นพบความรู้จากการทำการทดลอง ได้ฝึกทำโครงงานเสริมศึกษาอย่างง่ายภายใต้การกำกับดูแลของผู้วิจัยและผู้ช่วยอาจารย์ ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของนักเรียนมีต่อกิจกรรม 4.66 จาก 5.0 ซึ่งอยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัย

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
1. นักเรียนเห็นว่า การเรียนวิทยาศาสตร์ต้องได้ทดลองวิทยาศาสตร์	4.65	0.48	สูง
2. นักเรียนคิดว่าทดลองวิทยาศาสตร์และการทำเทอร์โมมิเตอร์เป็นสิ่งน่าสนใจ	4.52	0.49	สูง
3. การทดลองวิทยาศาสตร์ทำให้นักเรียนเข้าใจเข้าใจวิชาวิทยาศาสตร์และสนุก	4.71	0.45	สูง
4. นักเรียนคิดว่าความรู้และทักษะวิทยาศาสตร์สามารถนำไปใช้ได้จริง	4.72	0.45	สูง
5. หากมีโครงการค่ายวิทยาศาสตร์หรือการทดลองวิทยาศาสตร์หรือการทำกิจกรรมวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะเข้าร่วม	4.71	0.45	สูง
เฉลี่ย	4.66	0.46	สูง

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของครูต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัยแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของครูมีต่อกิจกรรม 4.60 จาก 5.0 ซึ่งอยู่ในระดับสูง เช่นกัน เมื่อสอบถามด้วยวาจาต่อไปว่า หากมีโครงการเช่นนี้ สนใจจะเข้าร่วมหรือไม่ นักเรียนและครูครูยืนยันว่าสนใจมากและจะเข้าร่วม นอกจากนั้นนักเรียน ครูและผู้ปกครองกลุ่มทดสอบลองใช้เครื่องมือวิจัย อยากรู้ให้จัดกิจกรรมเช่นนี้ให้นักเรียน ภาคเรียนละ 4-5 กิจกรรม เนื่องจากอาจารย์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจัดกิจกรรมสนุก ได้ความรู้และทักษะ ซึ่งผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมให้นักเรียนตลอดปีการศึกษา 2566

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของครูต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัย

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
1. ความเชื่อมั่นในอาจารย์ผู้สอน	4.67	0.47	สูง
2. วิธีการจัดการเรียนรู้	3.83	0.83	สูง
3. ความเหมาะสมของวัสดุ อุปกรณ์ การทดลอง สื่อการเรียนรู้	4.67	0.47	สูง
4. ความรู้ ทักษะ และประโยชน์ของผู้เรียนได้รับ	4.83	0.37	สูง
5. ท่านสนใจจะพานักเรียนจะเข้าร่วมโครงการค่ายวิทยาศาสตร์หรือการทดลองวิทยาศาสตร์หรือการทำกิจกรรมวิทยาศาสตร์ ในโอกาสต่อไป	5.00	0.00	สูง
เฉลี่ย	4.60	0.43	สูง

สรุปผลการวิจัย

เราได้ออกแบบกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษา ได้ทดลองทดสอบการใช้งานเบื้องต้น นำข้อบกพร่องไปปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับเวลาและวัยของนักเรียน โดยคำนึงถึงความปลอดภัย กิจกรรมประกอบ 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นกิจกรรมเพื่อสร้างองค์ความรู้เรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร และกิจกรรมส่วนที่สองเป็นกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาเพื่อเสริมทักษะการนำความรู้ไปใช้และเพื่อให้นักเรียนเห็นการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์คือการสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ กิจกรรมทั้งสองสามารถสามารถใช้แก้ปัญหาการขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์การเรียนรู้ และสามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียนและทำให้นักเรียนเกิดความรู้ในหลักวิชาวิทยาศาสตร์ เห็นคุณค่าความรู้ที่เรียนมา นำความรู้และทักษะไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ นักเรียนและครู มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้เพิ่มเติมศึกษาในระดับสูง

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. คำถามที่ดีของครูจะนำไปสู่ความอยากรู้อยากเห็นของนักเรียน เช่น RUBEN ของโลหะเมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเล็กลงหรือโตขึ้น บางคนตอบว่าเล็กลงเพราะโลหะขยายตัวออกด้านข้างทุกด้าน ด้านนอกขยายออกขณะที่ด้านในโลหะขยายออกทำให้รูเล็กลง บางคนตอบว่า โลหะขยายออกทุกด้านยาวขึ้น-กว้างขึ้นทุกด้าน รูจะกว้างขึ้น ซึ่งเป็นคำถามท้าทาย และคำตอบที่แตกต่างของนักเรียน ครูควรจะต้องเอาโอกาสเช่นนี้ไปพิสูจน์ให้นักเรียนเห็นเชิงประจักษ์ ตามเจตนารมณ์ของหลักสูตร
2. การทดลองบางอย่างครูและผู้ช่วยต้องกำกับดูแลใกล้ชิดและระมัดระวังเป็นพิเศษ เช่นการต้มน้ำเพื่อให้ น้ำขยายตัวไม่ควรให้ร้อนเกิน 60 °C เพราะน้ำร้อนอาจพุ่งออกมาและเป็นที่ให้เกิดอุบัติเหตุที่น้ำร้อนลวกได้
3. การผสมแอลกอฮอล์กับน้ำควรผสมให้มีสัดส่วนของน้ำมากกว่าแอลกอฮอล์ เพื่อป้องกันการติดไฟของแอลกอฮอล์ หากมีแอลกอฮอล์มากจะทำให้ติดไฟได้ง่าย และเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ได้ นอกจากนั้นควรมีผ้าชุบน้ำไว้คลุมไฟเพื่อดับไฟในกรณีเกิดไฟไหม้
4. การวิจัยนี้เป็นกิจกรรมต่อเนื่อง 3 ชั่วโมง 30 นาที หากครูจะนำไปใช้สอนในโรงเรียน สามารถแบ่งออกเป็นกิจกรรมการทดลอง 1 ครั้ง (2 คาบเรียน หรือ 100 นาที) และกิจกรรมเสริมศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องการขยายตัวของสสาร (วัสดุ) เมื่อได้รับความร้อน 1 ครั้ง (2 คาบเรียนหรือ 100 นาที) ก็ได้
5. อาจมีแบบทดสอบเพื่อให้มั่นใจว่านักเรียนสามารถนำความรู้ไปอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้ เช่น เหตุใดการทำรางรถไฟจึงไม่ใช้เหล็กเชื่อมกันเป็นเส้นยาว ทำไมจึงนำรางมาต่อกันเป็นท่อนๆ และทำให้มีช่องว่างระหว่างท่อนเหล็กแต่ละท่อน เป็นต้น

References

- Baber, L., Graham, E., Taylor, J. L., Reese, G., Bragg, D. D., Lang, J., & Zamani-Gallaher, E. M. (2015). Illinois STEM College and Career Readiness: Forging a Pathway to Postsecondary Education by Curbing Math Remediation. In Brief. Office of Community College Research and Leadership. Retrieved 24 November 2024, <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED558789.pdf>
- Bada, S. O., & Olusegun, S. (2015). Constructivism learning theory: A paradigm for teaching and learning. *Journal of Research & Method in Education*, 5(6), 66-70. Retrieved 24 November 2024, <https://iosrjournals.org/iosr-jrme/papers/Vol-5%20Issue-6/Version-1/I05616670.pdf>
- Baser, M., & Geban, Ö. (2007). Effectiveness of conceptual change instruction on understanding of heat and temperature concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25(1), 115–133.
- Basile, V., & Lopez, E. (2015). And Still I See No Changes: Enduring Views of Students of Color in Science and Mathematics Education Policy Reports. *Science Education*, 99(3), 519-548. Retrieved 24 November 2024, from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/sce.21156>
- Brown, J. (2012). The current status of STEM education research. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 13(5), 7-11. Retrieved 24 November 2024, from <https://www.jstem.org/jstem/index.php/JSTEM/article/view/1652/1490>
- Clayton, Glen T., Harry D. Downing, and Thomas O. Callaway (1982). Physical science workshop course for elementary teachers. Retrieved 20 November 2024, from https://scholarworks.sfasu.edu/physicsandastronomy_facultypubs/11/
- Hitt, A. M., & Townsend, J. S. (2015). The heat is on! using particle models to change students' conceptions of heat and temperature. *Science Activities*, 52(2), 45-52.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). Announcement on 2022 PISA Results, Retrieved 1 October 2024, from <https://pisathailand.ipst.ac.th/news-21/>.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). Primary Science 4 Vol 2 (in Thai), 2019.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. New Jersey, NJ: Prentice-Hall.
- Ministry of Education, Basic education core curriculum, AD. 2008 revised 2017 (English version). Retrieved 1 October 2024 from <http://academic.obec.go.th/web/document/view/113>

Office of the Basic Education Commission (OBEC), Retrieved 24 October 2024 from

<https://sesa.obec.go.th/index.php?name=project&file=detail&id=793>

Owens, T. M. (2009). Improving science achievement through changes in education policy. *Science Educator*, 18(2), 49-55.

P21 Framework definition, Appendix B. (2015). Retrieved 1 October 2024, from

<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED519462.pdf>

Sanders, M. (2009). Integrative STEM education: primer. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.

Slavin, Robert E., (2018). *Educational Psychology: Theory and Practice* 12th Edition, Pearson, NY.

Williams, M. K. (2017). John Dewey in the 21st century. *Journal of Inquiry and Action in Education*, 9(1), 7.

Wanapop, M., Chaboo, W., (2021). Action research to develop problem-solving skills with creativity-based learning on physical properties of materials for primary 4 students (in Thai). *Proceedings of National & International Conference* 14 (2), 99.



Journal of Science and Science Education (JSSE)

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสถลมารค ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425 โทรสาร 045-353422

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

พิมพ์วันที่ 25 พฤศจิกายน 2567