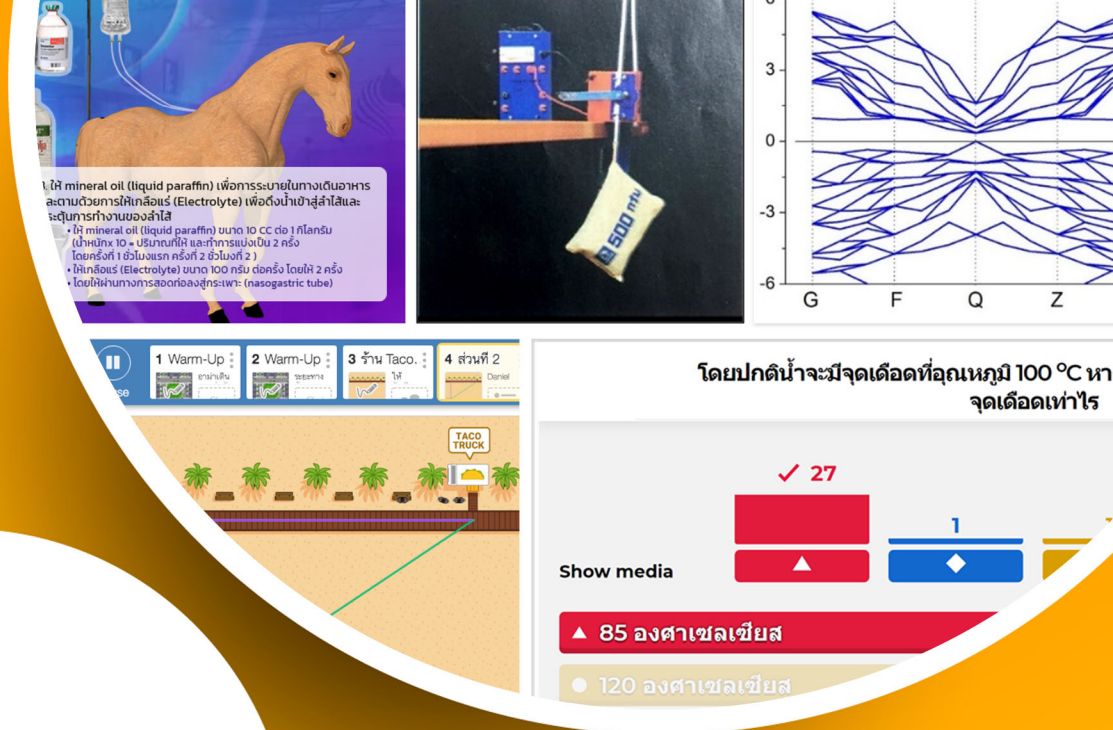




ISSN 2586-9256 (Print)
ISSN 2697-410X (Online)

JSSE Journal of Science
and Science Education

**วารสารวิทยาศาสตร์
และวิทยาศาสตร์ศึกษา**

**ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 (ก.ค. – ธ.ค. 2564)
Vol. 4, No. 2 (Jul. – Dec. 2021)**



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 10 ธันวาคม 2564

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 และทุกบทความจะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในแต่ละสาขาวิชา (Peer Review) อย่างน้อย 2 ท่าน ผลงานที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระน่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน ทั้งนี้ วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษามีกำหนดเผยแพร่บทความปีละ 2 ฉบับหรือเล่ม โดยเล่มที่ 1 เป็นเผยแพร่บทความระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน และเล่มที่ 2 เผยแพร่บทความระหว่างกรกฎาคม – ธันวาคม ในกรณีที่มิกิจกรรมหรือโอกาสพิเศษของคณะวิทยาศาสตร์และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทางกองบรรณาธิการอาจจะมีการพิจารณาเผยแพร่ฉบับเพิ่มเติม (Supplementary Issue) นอกเหนือจากฉบับปกติเป็นรายกรณีไป

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความผลงานวิจัย (Research Articles) เป็นผลงานที่เตรียมจากข้อมูลที่ผู้เขียนหรือคณะผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตัวเอง

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

กำหนดออก

เล่มที่ 1 มกราคม – มิถุนายน ของทุกปี

เล่มที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม ของทุกปี

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

ที่ปรึกษาวารสาร

คณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและวิเทศสัมพันธ์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ศักดิ์ศรี สุภาพร

บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐุม จารุจรัส

บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการจากภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์วิชัย ธีระระกูล

มหาวิทยาลัยมหิดล

ศาสตราจารย์ประพนธ์ จันทร์นิตย์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์โกสินทร์ จันทน์ไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์สันติ แนนศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศาสตราจารย์วินิจ พรหมอารักษ์

สถาบันวิทยสิริเมธี

รองศาสตราจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ชาติรี ฝ่ายคำตา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

รองศาสตราจารย์อศรา ก้านจักร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์พัชรินทร์ ปัญจบุรี

มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชดา แก้วคง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรัตน์ วัฒนกลสิขซ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธิดา รักกะเปา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชราวัน นาใจแก้ว

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทน์ จันทร์สุริย์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

กองบรรณาธิการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ศาสตราจารย์ศิริพร จิงสุทธีวงศ์

ภาควิชาเคมี

รองศาสตราจารย์มะลิวรรณ อมตงไชย

ภาควิชาเคมี

รองศาสตราจารย์สายันต์ แสงสุวรรณ

ภาควิชาเคมี

รองศาสตราจารย์วรศักดิ์ สุขบท

ภาควิชาฟิสิกส์

รองศาสตราจารย์เชิดศักดิ์ บุตรจอมชัย

ภาควิชาฟิสิกส์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติกา สระมณีอินท

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลย์ขวัญ ธีระเชาว์กุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐ ดิษเจริญ

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ สีบุตร

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวิน นามมัน

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์

กองบรรณาธิการจัดการวารสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ วุฒิพรหม

ภาควิชาฟิสิกส์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ช่อทิพย์ กัณหาโชติ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กานต์ตระกูล วุฒิสเลลา

ภาควิชาเคมี

ฝ่ายประสานงานวารสาร นางสาวอมรรัตน์ วัชรสุรีย์ นายณัฐพงษ์ สืบสุข และนางสุกัญญา พิมพ์บุญมา

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ

ทาง JSSE เปิดรับบทความวิจัยและบทความวิชาการทั้งภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ต้นฉบับบทความประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนบทคัดย่อ และส่วนเนื้อเรื่อง มีความยาวรวมกันไม่เกิน 16 หน้า ทั้งนี้ ถ้าบทความใดมีความยาวมากกว่า 16 หน้า ทางกองบรรณาธิการจะเป็นผู้พิจารณาตามความเหมาะสมอีกครั้ง โดยจัดพิมพ์ต้นฉบับบทความด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2013 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK สำหรับหัวเรื่องให้ใช้ตัวหนาขนาด 18 point ชื่อผู้เขียน ขนาด 14 point สถาบันต้นสังกัดของผู้เขียนขนาด 12 point ส่วนของเนื้อหาขนาด 14 point และให้ตั้งค่าหน้ากระดาษเป็นขนาด 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

สุภาพร พรไตร และโรสลีนา อาแวหามะ. (2561). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการถ่ายเทอีนที่อยู่บนโครโมโซมเพศด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติบนฐานการสืบเสาะวิทยาศาสตร์. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 1(1), 38-48.

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษเป็น

Porntrai, S. and Awaehama, S. (2018). Developing learning achievement on sex-linked gene inheritance using a science inquiry-based hands-on activity (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 38-48.

การอ้างอิงจากบทความในรายงานการประชุมวิชาการ

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

ตัวอย่างบทความภาษาไทย

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

เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษได้ดังนี้

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

การอ้างอิงจากหนังสือ

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

ตัวอย่าง

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

การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

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

ตัวอย่างวิทยานิพนธ์ภาษาไทย

อิกมะฮ์ อาแวกะจิ (2558). การพัฒนาความเข้าใจโมเดลวิทยาศาสตร์ เรื่องสมดุลเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบายในชั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา. 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/administratior/paper/APA%206th%20New.pdf>



ดาวน์โหลดไฟล์เทมเพลตบทความได้ใน

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



ถ้อยแถลงบรรณาธิการ

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

ทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เล็งเห็นความสำคัญข้างต้น จึงได้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ขึ้นมาเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 4 เล่มที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2564 ซึ่งประกอบด้วยบทความทั้งหมด 14 เรื่อง จำแนกเป็นบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ 6 เรื่อง บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 7 เรื่อง และบทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 เรื่อง

กองบรรณาธิการวารสารฯ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาในการประเมินบทความและให้ข้อเสนอแนะที่มีค่าเพื่อทำให้บทความเหล่านั้นมีความน่าสนใจและมีประโยชน์ต่อวงการมากขึ้น ทั้งนี้ ขอเชิญชวนนักวิจัยและนักวิชาการ ครูอาจารย์ นิสิตหรือนักศึกษา นักเรียน และผู้สนใจส่งบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิทยานิพนธ์ หรือบทความโครงการ มาเผยแพร่ในวารสารฯ สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ จะรักษามาตรฐานคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพของวารสารฯ อย่างต่อเนื่องเท่าที่จะทำได้ และขออนุญาตปฏิเสธการเผยแพร่บทความที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือบทความมีรูปแบบต้นฉบับไม่ถูกต้องโดยไม่ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ

อนึ่ง ตั้งแต่วารสารปีที่ 4 เล่มที่ 2 (มิถุนายน - ธันวาคม 2564) ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ ได้ดำเนินการเลือกสาขาวิชาย่อย (sub-subject) ของวารสาร จำนวน 5 สาขาย่อย ได้แก่ (1) การศึกษา ซึ่งอยู่ในสาขาวิชาสังคมศึกษา (2) เคมีทั่วไป (3) คอมพิวเตอร์ทั่วไป (4) คณิตศาสตร์ทั่วไป และ (5) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ทั่วไป ซึ่งอยู่ในกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ นอกจากนี้ ทางวารสารฯ อยู่ระหว่างการจัดทำประกาศเรียกเก็บค่าธรรมเนียมตีพิมพ์บทความในวารสาร ในอัตรา 1,500 บาท/บทความ โดยจะเรียกเก็บเมื่อต้นฉบับบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ประเมินและกองบรรณาธิการฯ ตอบรับการตีพิมพ์แล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาสร)
หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารฯ

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร	ข
กองบรรณาธิการ	ค
คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ	ง
ถ้อยแถลงบรรณาธิการ	ช
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Research Articles in Science)	
1) ระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา	131-144
ชาญชัย ศุภอรธกร* และโยธิน ศิลา	
2) การศึกษาอิทธิพลของการเจือโลหะทรานซิชันในสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียมเทลลูไรด์เพื่อการประยุกต์ทางสปินทรอนิกส์ด้วยทฤษฎีฟังก์ชันนอลความหนาแน่น	145-154
นันทวัฒน์ ไชยโอชะ วริศรา ทาจิตร และวรศักดิ์ สุขบท*	
3) ผลของดินผสมกากกาแฟต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งจีน	155-163
มัทนภรณ์ ใหม่คามิ*	
4) ตัวแบบส่วนแบ่งการตลาดของบริษัทบริการส่งอาหาร	164-171
สุพจน์ สืบบุตร*	
5) ผลเฉลยที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $15^x + 51^y = z^2$	172-177
มนตรี ทองมูล* ศศิธร บัณฑิต และธนา นันทิกานูจนะ	
6) การจำลองการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอนใน 2 มิติ	178-189
จิตกร ผลโยธย*	
บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Research Articles in Science Education)	
7) ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์	190-203
นภาลัย ต๊ะเสาร์ และสุพิดา จำรัส*	
8) การพัฒนาความตรงเวลาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในรายวิชาเคมี ด้วยการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะ สื่อสังคมออนไลน์ ตัวออกและบัตรสะสมคะแนน ผ่านการออกแบบบทเรียนโดยใช้กิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ	204-216
พรพรรณ สกนธวัฒน์ และสุวัฒน์ ผาบัณฑา*	
9) การพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง สำหรับนักศึกษาครูสาขาชีววิทยา ด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19	217-230
ฉัตรมงคล สีสระงค์* และณมนรัก คำฉัตร	
10) การตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาสำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์	231-243
เพ็ญญา คำแพง* และสุชาติ วัฒนชัย	
11) การสร้างและการใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5	244-254
ทิวากร แก่นชา กานต์ตะรัตน์ วุฒิสเลา และสุระ วุฒิพรหม*	

	หน้า
12) การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบพลวัต GeoGebra เรื่อง ปริซึม เพื่อเพิ่มความคิด เชิงเรขาคณิตสามมิติ	255-263
มลฤดี มณีล้ำ และไพรินทร์ สุวรรณศรี*	
13) ผลของการใช้ Kahoot เป็นเครื่องมือช่วยวัดประเมินผลระหว่างเรียนในการจัดการเรียนรู้ แบบ 4E×2 ที่มีต่อสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์	264-278
เจษฎา ราชภรณ์นิยม* กัญญาณัฐ จงพังกกลาง มนมนัส สุดสัน กรกมล ชูช่วย สุมาลี เทียนทองดี และอารยา สี บทความวิชาการทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Academic Articles in Science Education)	
14) แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยการบูรณาการห้องเรียนกลับด้านกับการสอนแบบสืบเสาะแบบ 5E โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริงในการสอนคณิตศาสตร์	279-288
วุฒิชัย ภูติ*	
ดัชนีผู้เขียน	289

บทความวิจัย

ระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูม เพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา

ชาญชัย ศุภอรธกร^{1,*} และโยธิน ศิลา¹¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190*Email: chanchai.s@ubu.ac.th

รับบทความ: 7 กรกฎาคม 2564 แก้ไขบทความ: 3 สิงหาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 13 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

ระบบการสอบบนเว็บได้รับความนิยมในรูปแบบทั่วไปของการประเมินขั้นสูงทางเทคโนโลยี การจัดจำแนกของบลูมใช้กันอย่างแพร่หลายในการจัดหมวดหมู่เพื่อกำหนดระดับความสามารถทางปัญญาที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา 2) สอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา นอกจากนั้น ระบบยังสามารถทำการวิเคราะห์ความยากง่ายของข้อสอบในแต่ละข้อ ระบบแบ่งผู้ใช้งานเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) อาจารย์ 2) ผู้เรียน และ 3) ผู้ดูแลระบบ สถาปัตยกรรมของระบบประกอบด้วยการทำงาน 4 โมดูล ได้แก่ 1) โมดูลการจัดการคำถาม 2) โมดูลการสอบ 3) โมดูลการวิเคราะห์ และ 4) โมดูลการจัดการระบบ ผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.25 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76 และค่าเฉลี่ยร้อยละความพึงพอใจของผู้ใช้มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.00 ดังนั้นระบบเป็นเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์ผลการสอบในด้านพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับสติปัญญาตามการจัดจำแนกของบลูม อาจารย์ผู้สอนรับทราบถึงปัญหาจากการเรียนของผู้เรียนในแต่ละคนเพื่อที่จะปรับการสอนให้มีความเหมาะสม

คำสำคัญ: ระบบการสอบบนเว็บ การจัดจำแนกของบลูม วัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา

อ้างอิงบทความนี้

ชาญชัย ศุภอรธกร และโยธิน ศิลา. (2564). ระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 131-144.

Web-based examination system applying Bloom's taxonomy to classify educational learning objectives

Chanchai Supaartagorn^{1,*} and Yothin Sira¹

¹Major of Information Technology, Department of Mathematics, Statistics and Computer, Faculty of Science,
Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

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

Received <7 July 2021>; Revised <3 August 2021>; Accepted <13 August 2021>

Abstract

Web-based examination system has been popular in the most common forms of technology enhanced assessment. Bloom's Taxonomy is widely used as a classification scheme to determine different levels of cognitive competencies. The objectives of this research are to 1) design and develop the web-based examination system applying Bloom's taxonomy to classify educational learning objectives 2) examine the users' satisfaction with the web-based examination system applying Bloom's taxonomy to classify educational learning objectives. In addition, the system can analyze the item's difficulty. There are 3 user groups. 1) teacher 2) student and 3) system administrator. The system architecture consists of 4 modules: 1) question management module 2) examination module 3) analysis module and 4) system management module. The results indicated that the average satisfaction level was good, the average was 4.25, the standard deviation was 0.76 and an average percentage of user satisfaction was 85.00. A system is a tool that analyzes the results of exams for cognitive competencies according to Bloom's Taxonomy. Teachers are aware of the learning problems of each student to adjust the teaching accordingly.

Keywords: Web-Based Examination System, Bloom's Taxonomy, Educational Learning Objectives



Cite this article:

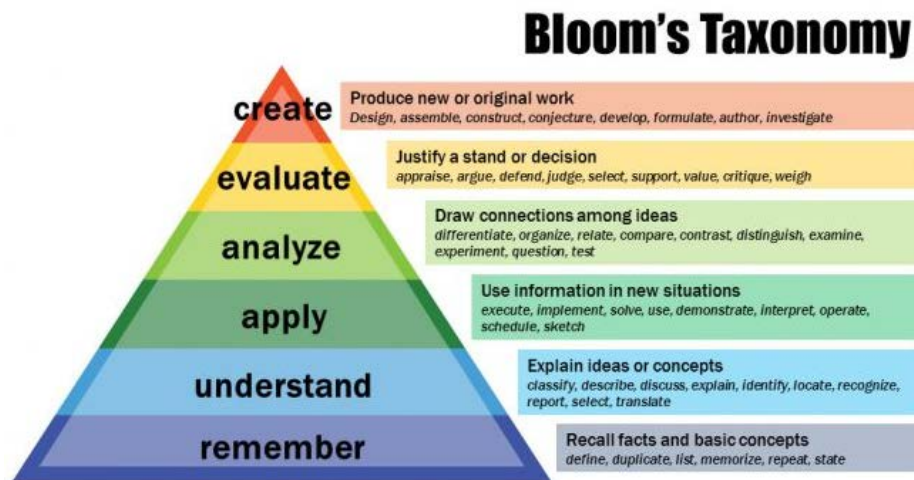
Supaartagorn, C. and Sira, Y. (2021). Web-based examination system applying Bloom's taxonomy to classify educational learning objectives (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 131-144.

บทนำ

ในปัจจุบันการใช้คอมพิวเตอร์ได้รับความนิยมมากขึ้นในแวดวงการศึกษา โดยเฉพาะในระดับอุดมศึกษา โดยที่คอมพิวเตอร์มีบทบาทสำคัญในการสอนและการประเมินผู้เรียน ในช่วงแรกของการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้สำหรับการประเมินผู้เรียนจะเป็นในลักษณะของการสอบบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งเรียกว่า Computer based testing (CBT) โดยเริ่มในปี 1990 (Educational Testing Service, 1992) และต่อมาได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากข้อดีหลายประการ เช่น การแจ้งผลการสอบไปยังผู้สอบได้ในทันที การรวบรวมสารสนเทศโดยคอมพิวเตอร์ให้สำหรับผู้สอนและผู้เรียน (Akdemir and Oguz, 2008) ต่อมาการเติบโตอย่างรวดเร็วของอินเทอร์เน็ตทำให้ช่องทางการสื่อสารรูปแบบใหม่ เวิลด์ไวด์เว็บ (WWW) ได้รับความนิยมในภาคการศึกษา เนื่องจากการเข้าถึงได้ง่าย ทุกเวลาและทุกสถานที่ ทำให้มีการพัฒนาระบบการสอบบนเว็บ (Web-based Examination System – WES) มาใช้ประเมินผลการเรียนของผู้เรียนมากยิ่งขึ้น ผู้สอนจะทำการสร้างคำถามเพื่อให้ผู้เรียนเข้ามาทำการสอบ ซึ่งผู้เข้าสอบจะทำการสอบและส่งคำตอบ หลังจากนั้นผู้สอนสามารถทำการสรุปผลรายงานการสอบได้โดยอัตโนมัติ ทั้งหมดนี้สามารถเข้าถึงระบบผ่านทางบราวเซอร์บนอินเทอร์เน็ต (Abass, Olajide, and Samuel, 2017) มีงานวิจัยที่ได้พัฒนาระบบการสอบบนเว็บหลายงาน เช่น ระบบ Web-based Assessment and Test Analyses (WATA) ซึ่งประกอบไปด้วยฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญ 3 ส่วน คือ 1) เครื่องมือสำหรับผู้สอนในการบริหารและจัดการสอบ 2) เครื่องมือสำหรับผู้เรียนในการสอบ และ 3) เครื่องมือสำหรับผู้สอนในการสร้างรายงานผลการสอบและการวิเคราะห์ผลการสอบ (Wang, et al., 2004) ระบบการสอบบนเว็บในการศึกษาทางวิทยาการคอมพิวเตอร์ ในมหาวิทยาลัยและมัธยมศึกษาในเมืองจ้อเจียง ประเทศจีน โดยฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญ คือระบบการให้คะแนน ซึ่งระบบจะมีการคิดคะแนนที่ได้จากการสอบของผู้เข้าสอบแต่ละคนให้โดยอัตโนมัติ เช่นเดียวกับระบบ Web-based Exam Management Systems (EMS) ซึ่งมีฟังก์ชันการให้คะแนนอัตโนมัติสำหรับการสอบ โดยระบบจะช่วยอำนวยความสะดวกตั้งแต่การทำข้อสอบ การส่งคำตอบจากการสอบ การรวบรวมคำตอบ และการรายงานผลการสอบ (Rashad, et al., 2010)

อย่างไรก็ตาม ระบบการสอบบนเว็บดังกล่าว โดยเฉพาะในฟังก์ชันการรายงานผลการสอบ ยังไม่มีการรายงานวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของผู้เข้าสอบเพื่อกำหนดระดับความสามารถทางปัญญาที่แตกต่างกัน โดยในปี 1956 เบนจามิน บลูม (Benjamin Bloom) นักจิตวิทยาการศึกษาที่มหาวิทยาลัยชิคาโก ได้คิดค้นการจัดจำแนกของบลูม (Bloom's Taxonomy) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้ของมนุษย์ และแบ่งพฤติกรรมที่เกี่ยวกับสติปัญญา (Cognitive Domain) โดยภายหลังได้มีการปรับเปลี่ยนระดับของพฤติกรรมที่เกี่ยวกับสติปัญญา เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกยุคดิจิทัล ซึ่งการเรียนรู้ไม่ได้อยู่แค่ผู้สอนและผู้เรียน แต่ยังมีสื่อและเครื่องมือดิจิทัลมาเป็นส่วนหนึ่งในการเรียนรู้อีกด้วย โดยแบ่งระดับความรู้สติปัญญาเป็น 6 ระดับ โดยจำแนกระดับความสามารถจากต่ำสุดไปถึงสูงสุด ได้แก่ (Institute for Innovative Learning, 2018)

1. การจดจำ (Remembering) ใช้ความจำเพื่อสร้างหรือค้นหานิยาม ข้อเท็จจริง หรือทบทวนข้อมูลที่เคยเรียนมาก่อนหน้านี้
2. การทำความเข้าใจ (Understanding) สร้างความหมายจากรูปแบบการใช้หลายประเภท อาจจะเป็นข้อความ ภาพ หรือกิจกรรม เช่น การแปลความ การสร้างตัวอย่าง การจำแนก การสรุป
3. การประยุกต์ใช้ (Applying) สามารถใช้เนื้อหาที่เรียนมาเพื่อนำไปปฏิบัติผ่านสื่อ เช่น แบบจำลอง การนำเสนอ การสัมภาษณ์ และการเลียนแบบ
4. การวิเคราะห์ (Analyzing) แบ่งเนื้อหาหรือแนวคิดออกเป็นส่วนย่อย ระบุความเชื่อมโยงซึ่งกันและกันของแต่ละส่วน และความเชื่อมโยงต่อโครงสร้างในภาพรวม
5. การประเมิน (Evaluating) ใช้เกณฑ์และมาตรฐานเพื่อพิจารณาผ่านการตรวจสอบและการวิจารณ์
6. การสร้างสรรค์ (Creating) รวบรวมองค์ประกอบและสร้างให้เป็นสิ่งที่สมบูรณ์ เรียบเรียงให้เกิดรูปแบบหรือโครงสร้างใหม่ผ่านการสร้าง วางแผน และการผลิต



ภาพที่ 1 การจัดจำแนกของบลูม (Bloom's Taxonomy) (Center for Teaching, 2021)

จากทฤษฎีการจัดจำแนกของบลูม และความก้าวหน้าของอินเทอร์เน็ตกับเทคโนโลยีเว็บไซต์เว็บ ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา โดยแบ่งผู้ใช้งานเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) อาจารย์ สามารถทำการสร้างข้อสอบและระบุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ในแต่ละข้อตามทฤษฎีการจัดจำแนกของบลูม สามารถดูรายงานผลการวิเคราะห์คะแนนสอบของผู้เข้าสอบแต่ละคน 2) ผู้เรียน สามารถทำการเข้าสอบบนเว็บและดูรายงานผลการสอบของตนเองได้ และ 3) ผู้ดูแลระบบ สามารถจัดการข้อมูลรายวิชา ข้อมูลข้อสอบ ข้อมูลผู้เข้าสอบ นอกจากนั้น ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบเพื่อปรับปรุงแก้ไขระบบให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน รวมทั้งระบบจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้จากทุกสถานที่ ทุกเวลาอย่างสะดวกและรวดเร็ว ทั้งนี้เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับอาจารย์ผู้สอนในการนำระบบมาพัฒนาปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ในการเรียนมากที่สุด

วัตถุประสงค์

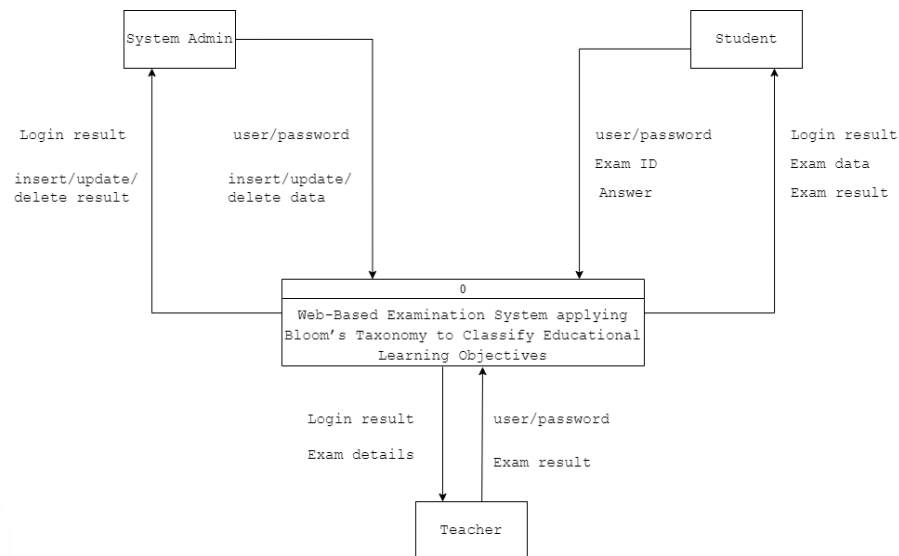
1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา
2. เพื่อสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา

วิธีการวิจัย

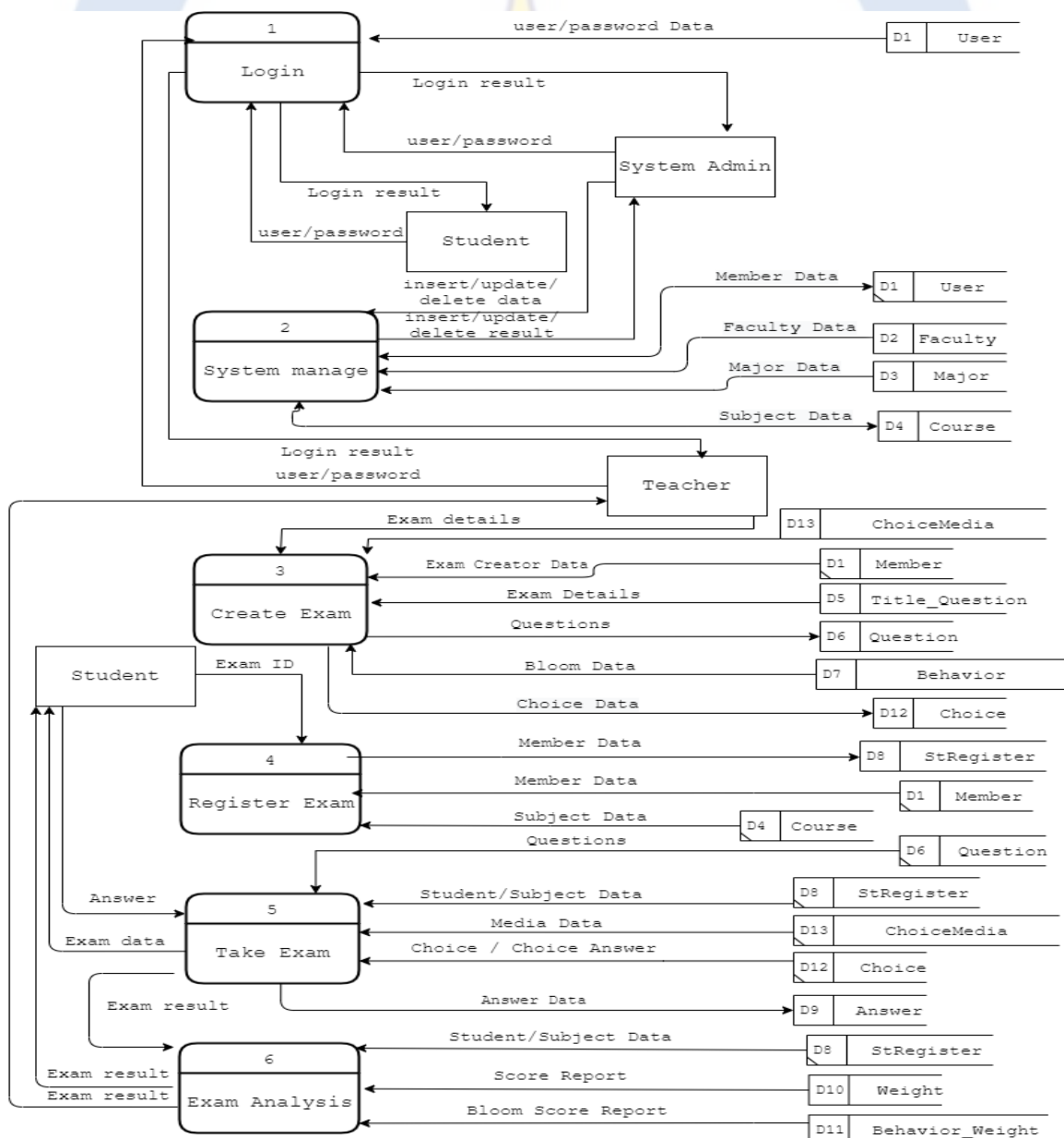
ระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา ประกอบด้วยขั้นตอนวิธีการวิจัย ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการของผู้ใช้ (User requirement) ผู้วิจัยเริ่มการดำเนินงานโดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนา ความเป็นไปได้ทั้งด้านการปฏิบัติงานว่าสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ระบบหรือไม่ ความเหมาะสมของระบบกับผู้ใช้ ความสามารถในการปฏิบัติงานในระบบใหม่ นอกจากนั้น ยังมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น ได้แก่ ศึกษางานวิจัยทางด้านระบบการสอบออนไลน์ แนวคิดการจัดจำแนกของบลูม

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System analysis and design) โดยใช้แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram - DFD) เพื่อแสดงการไหลของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอกเข้ามาในระบบ และแสดงการไหลของข้อมูลจากกระบวนการหนึ่งไปยังอีกกระบวนการหนึ่ง แผนภาพบริบท (Context Diagram) และ แผนภาพกระแสข้อมูล (DFD level 1) ของระบบ แสดงดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ตามลำดับ

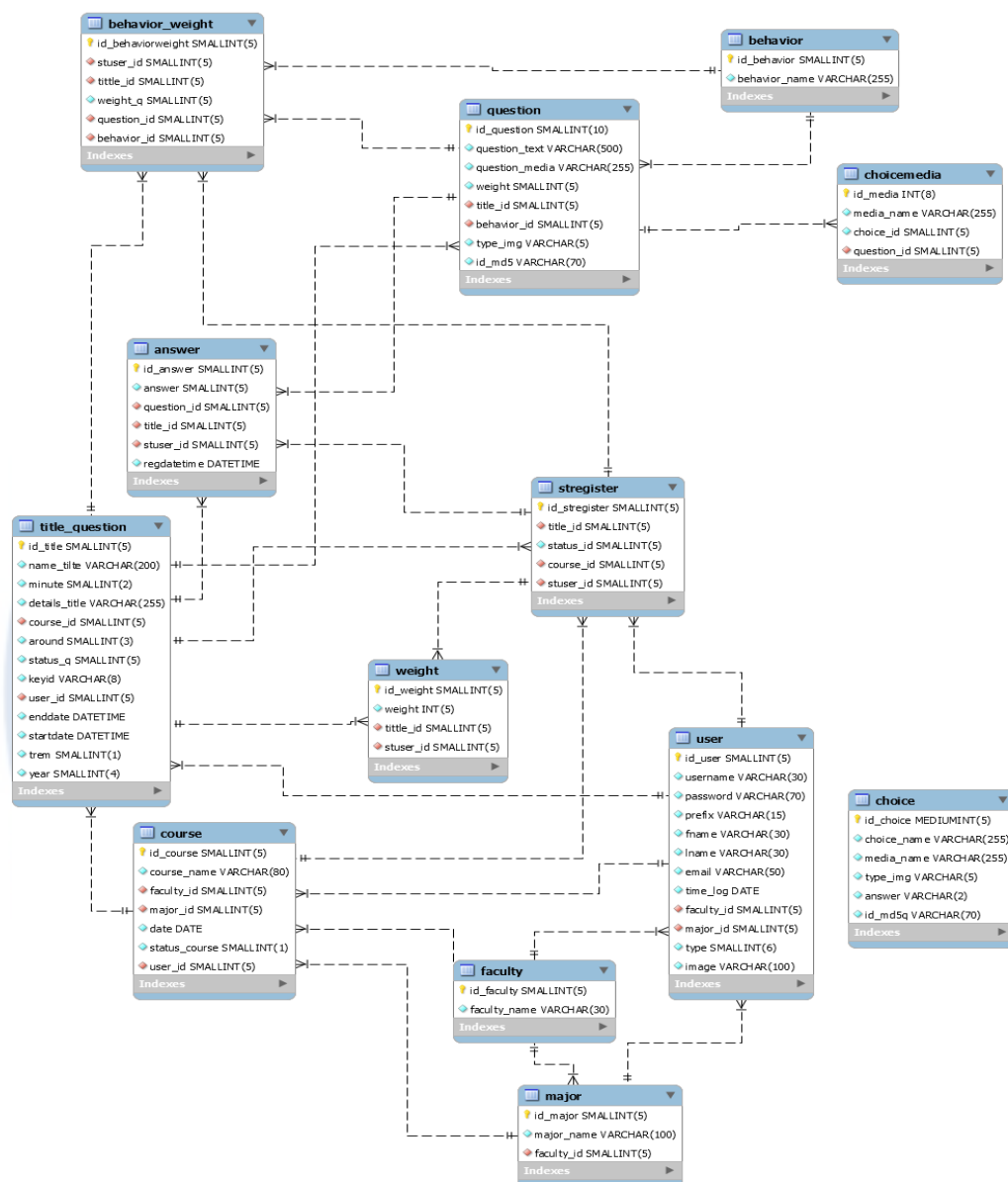


ภาพที่ 2 แผนภาพบริบท (Context Diagram) ของระบบ



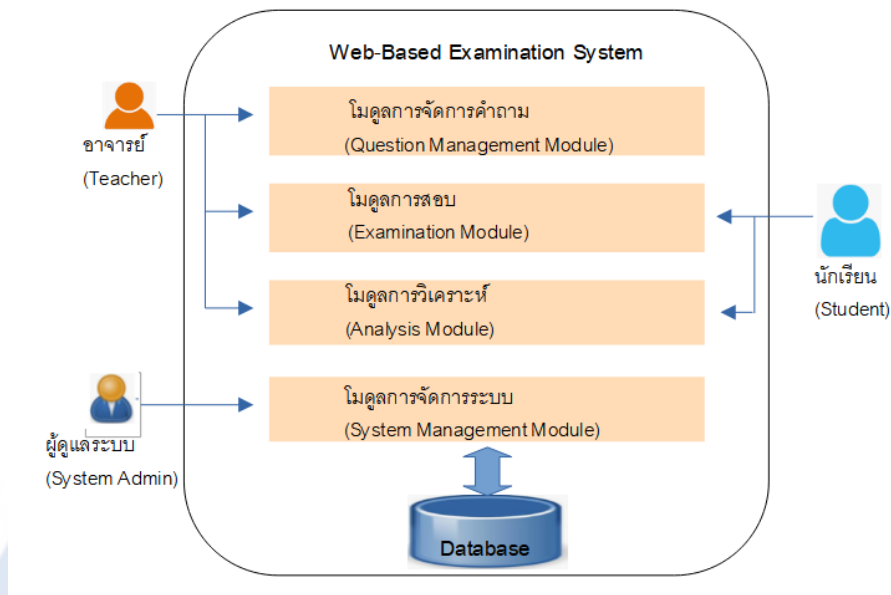
ภาพที่ 3 แผนภาพกระแสข้อมูล (DFD level 1) ของระบบ

นอกจากนั้น ผู้วิจัยได้ใช้แผนภาพความสัมพันธ์ของเอนทิตี (Entity Relationship Diagram – ER Diagram) เพื่อแสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของฐานข้อมูล แผนภาพความสัมพันธ์ของเอนทิตี แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนภาพความสัมพันธ์ของเอนทิตี (ER Diagram) ของระบบ

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาระบบ (System development) ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมภาษา PHP ในการพัฒนาร่วมกับ Bootstrap framework ในการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) และฐานข้อมูล MySQL สำหรับการจัดเก็บข้อมูลของระบบ โดยในการพัฒนาระบบผู้วิจัยได้กำหนดสถาปัตยกรรมของระบบ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สถาปัตยกรรมของระบบ

จากสถาปัตยกรรมของระบบ ประกอบไปด้วย 4 โมดูล คือ

- 1) โมดูลการจัดการคำถาม (Question management module) เป็นโมดูลที่อาจารย์ผู้สอนทำการสร้างคำถามในรูปแบบปรนัย การสร้างตัวเลือกในแต่ละข้อคำถาม และการกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ในแต่ละข้อคำถามตามวิธีการจัดจำแนกของบลูม
- 2) โมดูลการสอบ (Examination module) เป็นโมดูลที่อาจารย์ผู้สอนกำหนดการเปิด-ปิดการสอบในรายวิชาของตนเอง รวมทั้งการกำหนดเวลาในการทำข้อสอบ การกำหนดกลุ่มผู้เรียนที่ให้สิทธิในการเข้ามาสอบ นอกจากนี้ในส่วนของผู้เรียนที่ได้รับสิทธิจะสามารถเข้าสู่ระบบเพื่อทำการสอบตามระยะเวลาที่อาจารย์ผู้สอนกำหนด
- 3) โมดูลการวิเคราะห์ (Analysis module) เป็นโมดูลที่ผู้เรียนสามารถเข้ามาดูคะแนนสอบของตนเอง และในส่วนนี้อาจารย์ผู้สอนสามารถเข้ามาดูสรุปผลการวิเคราะห์จากการสอบของผู้เรียน ซึ่งประกอบด้วย สรุปคะแนนรวมที่ได้ในแต่ละข้อ สรุปคะแนนแยกตามพฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยการจัดจำแนกของบลูม และสรุปความยากง่ายของข้อสอบในแต่ละข้อ (Item difficulty, P) (Iramaneerat, 2009) โดยสามารถคำนวณค่า P ได้จาก

$$P = R/N$$

P คือ ค่าดัชนีความยากง่าย

R คือ จำนวนผู้สอบที่ตอบข้อสอบข้อนั้นถูก

N คือ จำนวนผู้สอบทั้งหมดที่ทำข้อสอบข้อนั้น

และกำหนดช่วงของค่า P เพื่อสรุปผลความยากง่ายของข้อสอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงของค่าดัชนีความยากง่าย

ค่าดัชนีความยากง่าย	ความหมาย
มากกว่า 0.91	ข้อสอบที่ง่ายเกินไป
0.76-0.91	ข้อสอบที่ดี
0.45-0.75	ข้อสอบที่ดีมาก
0.25-0.44	ข้อสอบที่พอใช้
น้อยกว่า 0.25	ข้อสอบที่ยากเกินไป

- 4) โมดูลการจัดการระบบ (System management module) เป็นโมดูลที่ผู้ดูแลระบบจะสามารถทำการจัดการข้อมูลของระบบ ทั้งการเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลผู้ใช้งาน ข้อมูลรายวิชา และข้อมูลข้อสอบ

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบระบบ (System testing) ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของผู้เชี่ยวชาญ และส่วนของผู้ใช้ทั่วไป ส่วนของผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ อาจารย์ประจำในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน และในส่วนของผู้ใช้ทั่วไป ได้ใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ลงทะเบียนในรายวิชา 1143103 โครงสร้างข้อมูลและขั้นตอนวิธี โดยอาจารย์ผู้สอนได้ทำการสร้างข้อสอบจำนวน 12 ข้อในระบบ และให้กลุ่มตัวอย่างซึ่งได้เรียนในเนื้อหาที่ออกข้อสอบแล้ว ทำการสอบชุดข้อสอบดังกล่าว ภาพที่ 6 แสดงบรรยากาศในระหว่างที่นักศึกษาทำข้อสอบ นอกจากนั้น ภายหลังจากการทดลองทำข้อสอบแล้ว กลุ่มตัวอย่างยังได้ทำการตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินระดับความพึงพอใจต่อการใช้งาน โดยแบบสอบถามเป็นการสำรวจความพึงพอใจในลักษณะแบบมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) ใช้เกณฑ์ 5 ระดับของลิเคิร์ต (Likert's scale) แบบสอบถามส่วนนี้ผู้วิจัยได้นำไปทดลองใช้ (Try-Out) กับกลุ่มประชากรที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มที่จะศึกษา ได้แก่ นักศึกษาในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 30 ชุด หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (Reliability) ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา ปรากฏผลได้ค่า 0.962



ภาพที่ 6 การทดสอบระบบในรายวิชา โครงสร้างข้อมูลและขั้นตอนวิธี

ขั้นตอนที่ 5 การบำรุงรักษาระบบ (System Maintenance) เป็นการตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของระบบเพื่อทำการแก้ไข ปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังมีการจัดทำคู่มือเอกสารการใช้งานของระบบ

ผลการวิจัย

จากการพัฒนาระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา ซึ่งได้กำหนดสถาปัตยกรรมของระบบ ดังภาพที่ 5 นั้น โดยภาพรวมของระบบเริ่มจากหน้าหลักของโปรแกรม (ภาพที่ 7) ผู้ใช้ทำการ login เข้าสู่ระบบตามสิทธิ์ในการใช้งาน ในส่วนของโมดูลการจัดการคำถาม อาจารย์ผู้สอนจะสามารถทำการสร้างข้อคำถามแบบปรนัยในรายวิชาของตนเองได้ (ภาพที่ 8) ส่วนของโมดูลการสอบ ผู้เรียนจะเข้าสู่ระบบเพื่อทำการสอบในรายวิชาของตนเอง ในช่วงเวลาที่อาจารย์ผู้สอนเปิดระบบให้สามารถทำการสอบได้ (ภาพที่ 9) ส่วนของโมดูลการวิเคราะห์ อาจารย์ผู้สอนสามารถดูสรุปคะแนนเฉลี่ยแยกตามพฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยการจัดจำแนกของบลูมทั้งชั้นเรียน (ภาพที่ 10) สรุปคะแนนรายบุคคลแยกตามพฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยการจัดจำแนกของบลูม (ภาพที่ 11) และสรุปความยากง่ายของข้อสอบในแต่ละข้อด้วยการหาค่าดัชนีความยากง่าย (ภาพที่ 12) ส่วนของโมดูลการจัดการระบบ ผู้ดูแลระบบสามารถทำการสร้างรายวิชาใหม่ได้ (ภาพที่ 13)



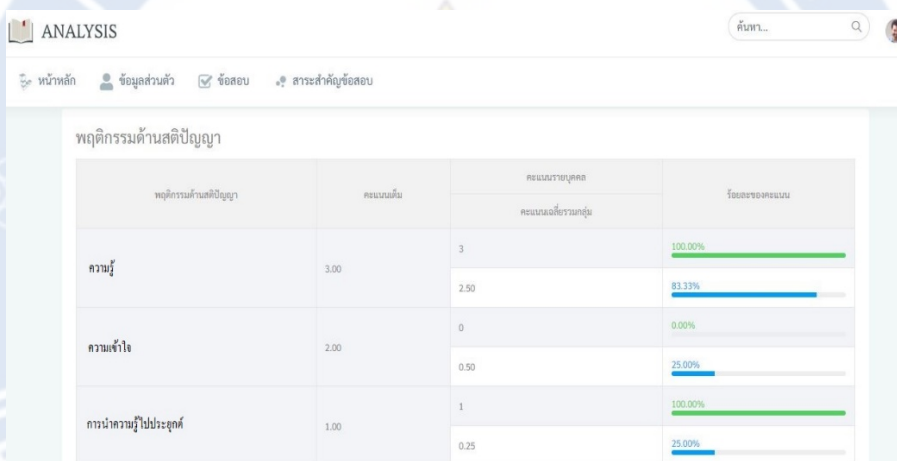
ภาพที่ 7 หน้าหลักของโปรแกรม

ภาพที่ 8 หน้าจอการสร้างข้อคำถามแบบปรนัย

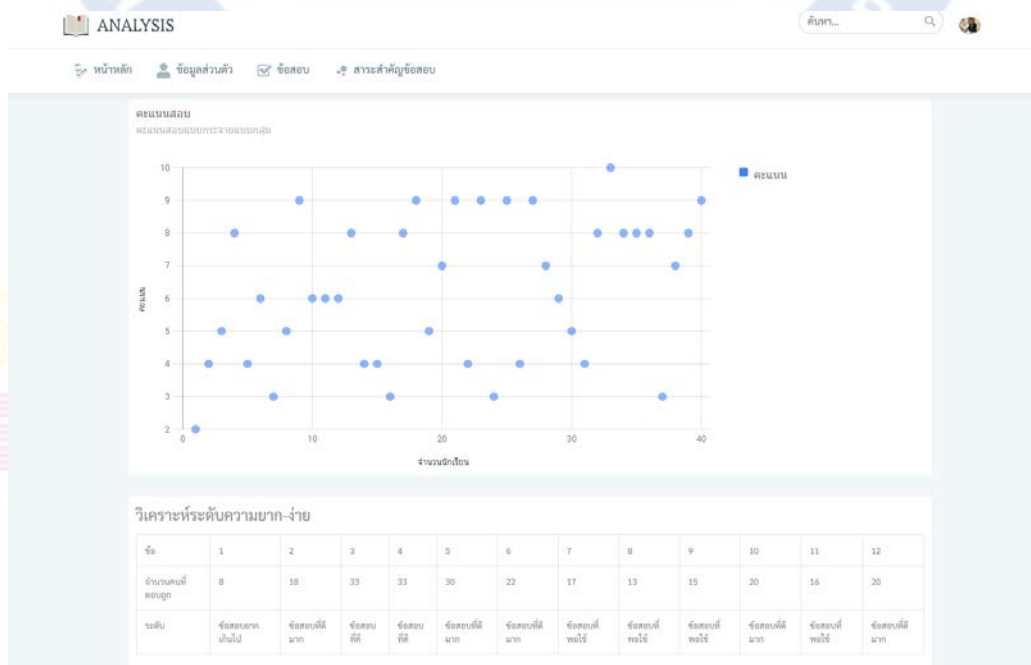
ภาพที่ 9 หน้าจอการทำข้อสอบของผู้เรียน



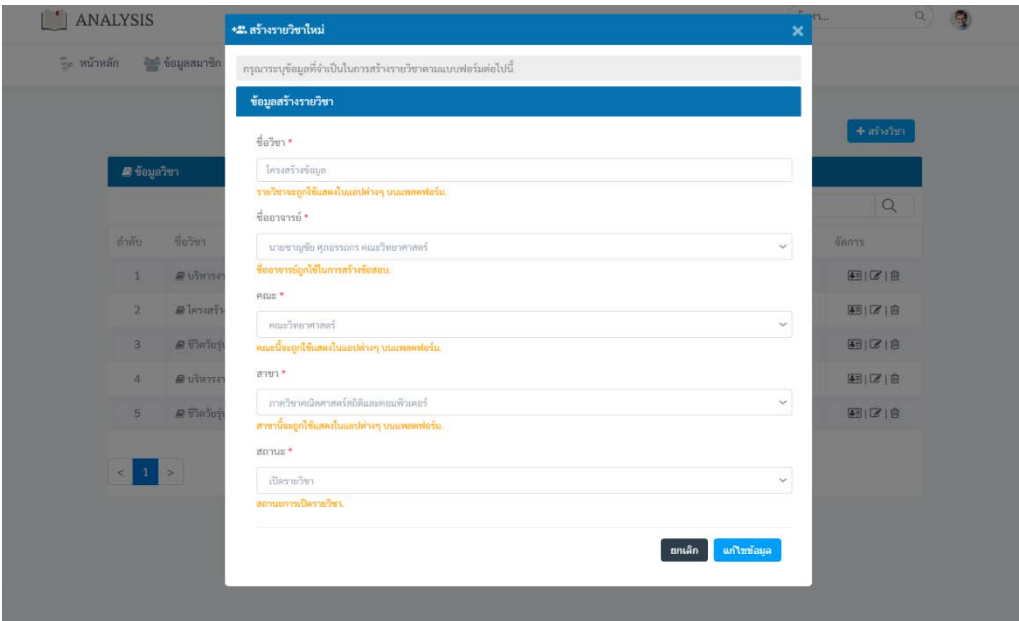
ภาพที่ 10 หน้าจอสรุปคะแนนเฉลี่ยแยกตามพฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยการจัดจำแนกของบloomทั้งชั้นเรียน



ภาพที่ 11 หน้าจอสรุปคะแนนรายบุคคลแยกตามพฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยการจัดจำแนกของบloom



ภาพที่ 12 หน้าจอสรุปความยากง่ายในแต่ละข้อด้วยการหาดัชนีความยากง่าย



ภาพที่ 13 หน้าจอผู้ดูแลระบบในการสร้างรายวิชาใหม่

สำหรับการประเมินระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานของระบบ ผู้วิจัยได้แบ่งการประเมินเป็น 2 ส่วน คือ 1) ส่วนของผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นอาจารย์ประจำในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 3 คน ด้วยแบบสอบถามประเมินคุณภาพ จำนวน 5 ด้าน ผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63 รายละเอียดดังตารางที่ 2 และ 2) ส่วนของผู้ใช้ทั่วไป โดยภาพรวมอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.25 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76 รายละเอียดดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านการใช้งาน (Usability Testing)	4.60	0.74	ดีมาก
2. ด้านหน้าที่และความถูกต้อง (Functional Requirement Testing)	4.55	0.81	ดีมาก
3. ด้านฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing)	4.75	0.48	ดีมาก
4. ด้านความปลอดภัย (Security Testing)	4.73	0.60	ดีมาก
5. ด้านสมรรถนะการทำงานของระบบ (Performance Testing)	4.67	0.52	ดีมาก
ภาพรวมทั้งหมด	4.66	0.63	ดีมาก

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ทั่วไป

หัวข้อการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านการใช้ประโยชน์ (Usefulness)	4.18	0.77	ดี
2. ด้านความถูกต้อง (Accuracy)	4.19	0.76	ดี
3. ด้านการให้สิทธิ์การใช้งาน (Authority)	4.31	0.76	ดี
4. ด้านวัตถุประสงค์การใช้งาน (Objectivity)	4.28	0.78	ดี
5. ด้านฟังก์ชันการทำงาน (Functionality)	4.29	0.80	ดี
6. ด้านการออกแบบ (Design)	4.25	0.77	ดี
7. ด้านความปลอดภัย (Security)	4.28	0.66	ดี
8. ด้านคุณค่า (Value)	4.24	0.77	ดี
ภาพรวมทั้งหมด	4.25	0.76	ดี

ในส่วนของระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ทั่วไป เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อในแต่ละด้าน โดยแสดงค่าเฉลี่ยร้อยละความพึงพอใจของผู้ใช้มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.00 และค่าร้อยละของแต่ละคำถาม รายละเอียดดัง ตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยร้อยละและค่าร้อยละในแต่ละคำถามของผู้ใช้ทั่วไป

คำถาม	ร้อยละของระดับคะแนนการให้ข้อมูล				
	ดีมาก (5)	ดี (4)	ปานกลาง (3)	พอใช้ (2)	ควรปรับปรุง (1)
ด้านที่ 1 ด้านการใช้ประโยชน์ (Usefulness)					
1.1 เว็บไซต์พลิเคชันช่วยอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลการสอบ	37.50	47.50	15.00	0	0
1.2 เว็บไซต์พลิเคชันช่วยอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลการแสดงผลพฤติกรรมด้านสติปัญญา	35.00	50.00	12.50	2.50	0
1.3 เว็บไซต์พลิเคชันช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลการแสดงผลการสอบ	37.50	42.50	17.50	0	2.50
ด้านที่ 2 ด้านความถูกต้อง (Accuracy)					
2.1 เว็บไซต์พลิเคชันมีความถูกต้องในการแสดงข้อมูลข้อสอบ	42.50	42.50	12.50	2.50	0
2.2 เว็บไซต์พลิเคชันมีความถูกต้องในการรายงานผลการสอบ	32.50	55.00	10.00	2.50	0
2.3 เว็บไซต์พลิเคชันมีความถูกต้องในการคำนวณคะแนนสอบและพฤติกรรมด้านสติปัญญา	37.50	42.50	17.50	2.50	0
ด้านที่ 3 ด้านการให้สิทธิ์การใช้งาน (Authority)					
3.1 การใช้ชื่อและรหัสผ่านเข้าสู่ระบบเป็นการกำหนดสิทธิ์ในการทำงาน	50.00	35.00	12.50	2.50	0
3.2 การให้สิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ	45.00	40.00	15.00	0	0
ด้านที่ 4 ด้านวัตถุประสงค์การใช้งาน (Objectivity)					
4.1 วัตถุประสงค์สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้	47.50	37.50	15.00	0	0
4.2 ผู้ใช้สามารถเข้าใจการทำงานเว็บไซต์พลิเคชันได้ตรงตามวัตถุประสงค์	40.00	37.50	20.00	2.50	0
4.3 เว็บไซต์พลิเคชันมีความสามารถในการทำงานตรงตามวัตถุประสงค์	52.50	30.00	17.50	0	0
ด้านที่ 5 ด้านฟังก์ชันการทำงาน (Functionality)					
5.1 เว็บไซต์พลิเคชันมีความสามารถเข้าสอบและออกจากการสอบ	47.50	35.00	15.00	2.50	0
5.2 เว็บไซต์พลิเคชันมีความสามารถส่งข้อสอบ	50.00	30.00	20.00	0	0
ด้านที่ 6 ด้านการออกแบบ (Design)					
6.1 ความเหมาะสมในการเลือกใช้สี ขนาด ตัวอักษรบนเว็บไซต์พลิเคชัน	37.50	50.00	12.50	0	0
6.2 ความเหมาะสมในการใช้สัญลักษณ์หรือรูปภาพในการสื่อความหมาย	45.00	42.50	10.00	2.50	0
6.3 ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบและเมนูต่างๆ	45.00	37.50	12.50	5.00	0
6.4 ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบาย	42.50	40.00	15.00	2.50	0

ด้านที่ 7 ด้านความปลอดภัย (Security)					
7.1 การตรวจสอบสิทธิ์ก่อนการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันในระบบ	42.50	47.50	10.00	0	0
7.2 การใช้สิทธิ์บนเว็บแอปพลิเคชันมีความปลอดภัยต่อข้อมูลส่วนตัว	35.00	52.50	12.50	0	0
ด้านที่ 8 ด้านคุณค่า (Value)					
8.1 การใช้เว็บแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลคำตอบแต่ละข้อได้	37.50	47.50	12.50	2.50	0
8.2 การใช้เว็บแอปพลิเคชันสามารถตรวจสอบพฤติกรรมด้านสติปัญญาของผู้เรียนได้	45.00	37.50	15.00	2.50	0
8.3 การใช้เว็บแอปพลิเคชันช่วยเพิ่มความสะดวกในการสอบ	45.00	37.50	17.50	0	0
เฉลี่ยร้อยละ 85.00					

อภิปรายผลการวิจัย

ระบบการสอบบนเว็บโดยใช้การจัดจำแนกของบลูมเพื่อจำแนกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ทางการศึกษา เป็นเครื่องมือที่ช่วยวิเคราะห์ผลการสอบในด้านพฤติกรรมที่เกี่ยวกับสติปัญญาตามการจัดจำแนกของบลูม ทำให้อาจารย์ผู้สอนรับทราบถึงปัญหาจากการเรียนของผู้เรียนในแต่ละคนเพื่อที่จะได้ปรับการสอนให้มีความเหมาะสมสำหรับแต่ละคน สอดคล้องกับงานวิจัยของ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ สาขาวิชาวิศวกรรมการศึกษา มหาวิทยาลัยพริทอเรีย ประเทศแอฟริกาใต้ (Bruyn, Mostert and Schoor, 2011) ที่ได้พัฒนาระบบการสอบบนคอมพิวเตอร์และใช้การจัดจำแนกของบลูมในส่วนของการวิเคราะห์ผลการสอบ เพื่อให้ได้รับการรับรู้ของนักศึกษาและอาจารย์เกี่ยวกับระดับและการใช้การประเมินวัตถุประสงค์ จากการศึกษาเป็นที่ยอมรับว่าเป็นวิธีการประเมินที่เหมาะสมในการทดสอบในระดับความรู้ความเข้าใจที่หลากหลาย นอกจากนั้น ระบบยังมีส่วนของการวิเคราะห์ความยากง่ายของข้อสอบในแต่ละข้อ ทำให้อาจารย์ผู้สอนใช้ในการพิจารณาปรับปรุงคุณภาพข้อสอบ โดยค่าสถิติที่ได้ทำให้ทราบว่าประเด็นใดที่ผู้เรียนมีความเข้าใจผิดอยู่มาก อาจารย์ผู้สอนควรเน้นย้ำในประเด็นนั้น ในส่วนของเทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาจะเป็นระบบที่ทำงานในลักษณะ web-based application ทำให้ทั้งอาจารย์ผู้สอนและผู้เรียนได้รับความสะดวกในการเข้าถึงระบบได้จากทุกที่ ทุกเวลาและทุกอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Bruyn, Mostert and Schoor, 2011) ที่พัฒนาระบบการสอบบนคอมพิวเตอร์ และ (Kaya, Kaya, and Dağdeviren, 2014) ที่พัฒนาระบบการสอบบนเว็บ โดยผู้เรียนส่วนใหญ่มองว่าเป็นประสบการณ์เชิงบวกในการเรียนรู้ ที่จะช่วยยกระดับการประเมินไปสู่ระดับที่สูงขึ้น นอกจากนั้น ตัวอาจารย์ผู้สอนก็ประหยัดเวลาในการตรวจข้อสอบ และตัวผู้เรียนก็สามารถตรวจสอบผลการสอบของตนเองได้ในทันที

สรุป

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความต้องการของผู้ใช้ โดยศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคเกี่ยวกับเทคโนโลยีและวิธีการพัฒนาระบบ และด้านการปฏิบัติงานว่าสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ คือกลุ่มของอาจารย์และผู้เรียนหรือไม่ จากนั้นรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง จนได้แนวคิดของการพัฒนาระบบการสอบบนเว็บ ในส่วนของการวิเคราะห์และออกแบบระบบได้ใช้แผนภาพกระแสข้อมูล และแผนภาพความสัมพันธ์ของเอนทิตี หลังจากนั้น ในการพัฒนาได้กำหนดสถาปัตยกรรมของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 โมดูล คือ 1) โมดูลการจัดการคำถาม 2) โมดูลการสอบ 3) โมดูลการวิเคราะห์ และ 4) โมดูลการจัดการระบบ ถัดมาได้ทำการทดสอบระบบ โดยให้นักศึกษาในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ลงทะเบียนในรายวิชา 1143103 โครงสร้างข้อมูลและขั้นตอนวิธี ทดลองทำข้อสอบบนระบบการสอบบนเว็บ และทำการสำรวจความพึงพอใจ โดยใช้มาตราแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ สำหรับสถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ โดยนำค่าเฉลี่ยที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคิร์ต สรุปผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานของระบบอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.25 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.76 ค่าเฉลี่ยร้อยละความพึงพอใจของผู้ใช้มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.00 เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พบว่า 3 ลำดับแรกที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดจากการสำรวจความพึงพอใจ คือ ด้านการให้สิทธิ์การใช้งาน ด้านฟังก์ชันการทำงาน และด้านวัตถุประสงค์การใช้งานกับด้านความปลอดภัย มีค่าเท่ากับ 4.31,

4.29 และ 4.28 ตามลำดับ สุดท้ายทำการบำรุงรักษาระบบ โดยตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของระบบเพื่อทำการแก้ไข ปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์ และจัดทำเอกสารคู่มือการใช้งานเพื่อนำเสนอผู้ใช

เอกสารอ้างอิง

- Abass, O. A., Olajide, S. A., and Samuel, B. O. (2017). Development of Web-based Examination System Using Open Source Programming Model. **Turkish Online Journal of Distance Education**, 30-42.
- Akdemir, O., and Oguz, A. (2008). Computer-based testing: An alternative for the assessment of Turkish undergraduate students. **Computers & Education**, 51(3), 1198–1204.
- Center for Teaching. (2021). **Bloom's Taxonomy**. Retrieved February 8, 2021, from <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/>
- E. de Bruyn., E. Mostert and A. van Schoor. (2011). Computer-based testing - the ideal tool to assess on the different levels of Bloom's taxonomy. In **International Conference on Interactive Collaborative Learning**. (pp. 444-449). Piestany, Slovakia.
- Educational Testing Service (1992). **Computer-based testing at ETS 1991-1992**. New Jersey: Princeton.
- Institute for Innovative Learning. (2018). **Bloom's Taxonomy** (in Thai). Retrieved February 8, 2021, from <https://il.mahidol.ac.th/th/i-Learning-Clinic/lecturer-and-learning-management-articles/การจัดจำแนกของบลูม-blooms-taxonomy-2/>
- Iramaneerat, C. (2009). Multiple choice exam analysis (in Thai). **Siriraj Medical Bulletin**, 2(1), 31-37.
- Kaya, B. Y., Kaya, G., and Dağdeviren, M. (2014). A Sample Application of Web Based Examination System for Distance and Formal Education. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 141, 1357–1362.
- Rashad, M. Z., Mahmoud S, K., Ahmed E, H., and Mahmoud A, Z. (2010). An Arabic WebBased Examination. **International Journal of Electrical & Computer Sciences**, 10(1), 48-54.
- Wang, T. H., Wang, K. H., Wang, W. L., Huang, S. C., and Chen, S. Y. (2004). Web-based Assessment and Test Analyses (WATA) system: development and evaluation. **Journal of Computer Assisted Learning**, 20(1), 59–71.
- Zhenming, Y., Liang, Z., and Guohua, Z. (2003). A novel web-based online examination system for computer science education. **Annual Frontiers in Education**. (pp. 7-10). Boulder, CO.



บทความวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของการเจือโลหะทรานซิชันในสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียมเทลลูไรด์ เพื่อการประยุกต์ทางสปินทรอนิกส์ด้วยทฤษฎีฟังก์ชันนอลความหนาแน่น

นนทวัฒน์ ไชยโอชะ¹ วริศรา ทาจิตร¹ และวรศักดิ์ สุขบท^{1*}¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: w.sukkabot@gmail.com

รับบทความ: 11 กรกฎาคม 2564 แก้ไขบทความ: 12 สิงหาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 13 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

สมบัติทางโครงสร้าง อิเล็กทรอนิกส์และแม่เหล็กของสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียมเทลลูไรด์ที่เจือด้วยโลหะทรานซิชันได้รับการศึกษาโดยวิธีทฤษฎีฟังก์ชันนอลความหนาแน่น จากการคำนวณพลังงานก่อเกิด (Ge, Cr)Te มีสภาพเสถียรที่สุด เมื่อเจือโลหะทรานซิชันทำให้ค่าคงที่แลชชีและปริมาตรลดลง สมบัติทางแม่เหล็กเกิดจากโลหะทรานซิชัน เทลลูเรียม และเจอร์เมเนียมตามลำดับ โดยสมบัติทางแม่เหล็กเกิดจากไฮบริดเซชันแบบพี-ดีเอ็กเซงค์ (Ge, Mn)Te เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานลดลง เมื่อเจือ Co Ni และ Cu เข้าไปทำให้สารเหล่านี้เป็นโลหะ เมื่อเจือ V Cr และ Fe เข้าไปทำให้สารเหล่านี้มีสภาพครึ่งโลหะสุดท้าย งานวิจัยนี้ให้ความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบของการเจือโลหะทรานซิชันเพื่อการประยุกต์ทางสปินทรอนิกส์

คำสำคัญ: ความเป็นแม่เหล็ก โลหะทรานซิชัน เจอร์เมเนียมเทลลูไรด์ การคำนวณฟังก์ชันนอลความหนาแน่น

SCI
UBU ATOMIC

อ้างอิงบทความนี้

นนทวัฒน์ ไชยโอชะ วริศรา ทาจิตร และวรศักดิ์ สุขบท. (2564). การศึกษาอิทธิพลของการเจือโลหะทรานซิชันในสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียมเทลลูไรด์เพื่อการประยุกต์ทางสปินทรอนิกส์ด้วยทฤษฎีฟังก์ชันนอลความหนาแน่น. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 145-154.

Insight into the role of transition metals doping in GeTe for spintronic application: Spin density functional study

Nontawat Chaiyaocha¹, Waritsara Thajitr¹ and Worasak Sukkabot^{1*}

Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

**Email: w.sukkabot@gmail.com*

Received <11 July 2021>; Revised <12 August 2021>; Accepted <13 August 2021>

Abstract

The structural, electronic and magnetic properties of GeTe semiconductors doped with several transition metals are determined by the spin density functional theory. Due to the formation energies, (Ge, Cr)Te is the most stable among all doped systems. The incorporation of transition metals convinces the reduction of lattice parameters and volumes. The total magnetization is mainly contributed from transition metal, Te and Ge atoms, respectively. The p-d exchange hybridization gives rise to the magnetism. (Ge, Mn)Te is the semiconductor with a reduced band gap. Co, Ni and Cu impurities convert semiconductor to metal. Possibility of p-type half metallicity in V-, Cr- and Fe-substituted GeTe is achieved. Finally, the theoretical work delivers the valuable clues for improving the understanding of transition-metal doping impacts and sheds some light on the exploration of spintronic materials based on transition-metal doped GeTe.

Keywords: Magnetism, transition metal, GeTe, density functional calculations



Cite this article:

Chaiyaocha, N., Thajitr, W. and Sukkabot, S. (2021). Insight into the role of transition metals doping in GeTe for spintronic application: Spin density functional study. **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 145-154.

Introduction

Diluted magnetic semiconductors have been investigated in the recent years because of their outstanding prospective in the spintronic applications (Dietl, 2007; Dietl, 2007; Ohno et al., 2002; Wolf et al., 2006). For the utilization in the spintronic applications, it is highly necessary to find new half-metallic materials well-suited with semiconductors (Dietl et al., 2014). This efficiency is triggered by the mixture of semiconductor band gap manipulation and tunable magnetic properties into a single semiconductor system. At the moment, there are three main groups of diluted magnetic semiconductors such as II-VI, III-V and IV-VI semiconductor group. II-VI and III-V semiconductor groups have been in an expansive focus of the interest, while so far less discovered materials are IV-VI compounds. Since the introduction of manganese (Mn) in the GeTe host successfully transformed it into the dilute magnetic semiconductor (Rodot et al., 1966; Cochrane et al., 1974). GeTe semiconductors doped with 3d transition metals have been paid the substantial attention in term of theoretical and experimental viewpoints. In term of theoretical study, Zhao et al. (2006) implemented the density functional method to investigate various ternary transition-metal GeTe semiconductors in rock-salt phase. The half-metallic ferromagnetic performance was found in Cr- and V-substituted GeTe compounds. (Ciucivara et al. (2007) determined the magnetization of the Mn and hole densities using GGA+U technique. The total magnetization approximately increased up to x of 0.5 and then dropped beyond that. The magnetic properties of GeTe in both rock-salt and zinc-blende phase doped with V, Cr, and Mn were conveyed using density functional study by Liu et al. (2012) Some of the studied compounds were half metallic. Aside from the theoretical study, there is a large body of experimental research. For example, Fukuma et al. (2007) fabricated the $\text{Ge}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Te}$ ferromagnetic semiconductor with Curie temperature close to 180 K using molecular-beam epitaxy. J. D. Liu et al. (Liu et al., 2013) studied the magnetic and transport performances of $\text{Ge}_{0.98}\text{Fe}_{0.02}\text{Te}$ thin film. The relatively high Curie temperature with 160 K was obtained. For Mn doping in GeTe semiconductor, there have been various experimental works. Fukuma et al. (2008) tried to grow the $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ diluted magnetic semiconductor by means of molecular beam epitaxy. The ferromagnetic order and Curie temperature of 100 K were gained. Zvereva et al. (2010) investigated the magnetic properties and electron spin resonance of $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ diluted magnetic semiconductors with x ranging from 0.07 to 0.44. The Curie temperatures were amplified with increasing Mn contents with the high value of 90 K. Exhausting the molecular beam epitaxy, $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ with Mn content ($x \approx 0.5$) was grown by Lechner et al. (2010) The phase separation was induced. Lim et al. (2011) and Lim et al. (2011) presented the magnetotransport studies of $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ferromagnetic semiconductor in the presence of the hydrostatic pressures. The natural properties of $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ferromagnetic semiconductor were mainly sensitive with the applied pressures.

All of the above-mentioned studies activate my interests to explore for more transition metals doping in GeTe semiconductors, especially in the hardly studied transition metal cases. In view of the large body of obtainable experimental work, we embark on a systematic theoretical study of the GeTe semiconductors doped with several transition metals (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni and Cu) in order to discover the emergence of half-metallic behavior. Utilizing the generalized gradient approximation (GGA) with exchange functional proposed by the Perdew, Burke and Ernzerhof (PBE) (Perdew et al., 1996) in the CASTEP package (Clark et al., 2005; Segall et al., 2002), these atomistic properties of GeTe semiconductors doped with different transition metals are declared and analyzed. The remaining part of this manuscript is outlined as follows. In Section 2, we concisely describe the structures and elucidate the first-principle calculations. The main results of each configuration including the lattice parameters, volumes, formation energies, band gaps, magnetizations, electronic band structures, density of states and partial density of states are presented in Section 3. The mechanism for the half metallic emergence in these compounds is analyzed. These calculations open the gate for further utilization of these materials for the spintronic applications. Finally, a conclusion is successfully presented.

Theory and Methodology

The observed structural, electronic and magnetic properties of GeTe semiconductors doped with several transition metals are discussed in the theoretical context. This scenario is determined by the spin density functional theory with the help of CASTEP package for all calculations. In this manuscript, the exchange-correlation potentials are utilized under the generalized gradient approximation (GGA) proposed by Perdew et al. (1996). The extension of the plane wave function basis up to 520 eV is used throughout these calculations. Using MonkhorstePack method, the Brillouin zone incorporation is performed over the $4 \times 4 \times 4$ grid. GeTe crystallizes in rock-salt phase at the equilibrium condition. (Fukuma et al., 2007; Fukuma et al., 2008; Fukuma et al., 2001) Hence, rock-salt GeTe semiconductor with a space group of $Fm\bar{3}m$ is a modelling structure. Taking all these parameters into the consideration, the calculations of bulk GeTe semiconductor are used to primarily verify the precision of the computational method. The lattice constant of GeTe is 6.009 Å which agrees well with the literatures (6.016 Å (Liu et al., 2016), 5.996 Å (Tung et al., 1969), 5.862 Å (Okoye, 2002), 5.995 Å (Okoye, 2002) and 5.996 Å (Seddon et al., 1976)). In addition, the band gap of GeTe with 0.346 eV consents with the previous data (0.23 eV (Lewis, 1973), 0.20 eV (Chang et al., 1966; Tsu et al., 1968), 0.244 eV (Okoye, 2002) and 0.201 eV (Okoye, 2002)). Consequently, this employed technique is appropriate to further study the electronic and magnetic properties of GeTe semiconductor with Ge replacement by transition metals like V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni and Cu. For the inquiries, the substitutional method is used to define the doped systems. A $2 \times 1 \times 1$ pure GeTe supercell containing 16 atoms is generated as exemplified in Figure 1. Latter, one of Ge atoms in the supercell is substituted by transition metal to set the transition-metal doped GeTe. All transition-metal doped GeTe are fully minimized by the Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) algorithm (Broyden, 1970; Fletcher, 1970; Goldfarb, 1970; Shanno, 1970). The convergence benchmark of the total energy, maximum force, the maximum stress and maximum displacement are 2.0×10^{-6} eV/atom, 1.0×10^{-5} eV/Å, 0.05 GPa and 0.001 Å, respectively. For the analysis, the electronic and magnetic properties consisting of lattice parameters, volumes, formation energies, band gaps, magnetizations, spin-polarized band structures, density of states and partial density of states are calculated for the equilibrium lattice parameters. Gaussian smearing technique with a smearing value of 0.1 eV is used to evaluate the total and partial density of states.

Results and discussions

This work systematically presents the results for the structural, electronic and magnetic properties of GeTe doped with several transition metals like V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni and Cu from the perspective of spintronics. Here, we shed light on the problem of transition-metal doped GeTe compounds using the generalized gradient approximation (GGA) with the Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) exchange functional. In general, the doping can simultaneously affect the electronic and magnetic properties of the studied materials. First, the formation energies of GeTe with Ge substitution by transition metal are itemized in Table I. The formation energies of GeTe with Ge substitution by transition metals (TM) are calculated from this relation, $E^f(TM) = E_{Dope}(TM) - E_{pure} - (\mu_{TM} - \mu_{Ge})$. Here, $E^f(TM)$ is the formation energy of GeTe doped with the studied transition metal. $E_{Dope}(TM)$ is the total energy of the doped GeTe and E_{pure} is the total energy of the pure GeTe. μ_{TM} is the chemical potential of transition metal and μ_{Ge} is the chemical potential of Ge atom. The chemical potential (μ) is computed from the free atom energy. For the calculations, the free atom is placed in the center of a very huge empty cubic box with lattice constant of 30 atomic units. As can be seen from the formation energies, (Ge, Cr)Te is the most stable among all doped structures. To perceive the change in the structural properties by different transition metals, Table II lists the lattice parameters and volumes. The incorporation of transition metals causes significant decreases of lattice parameters and volumes. This is due to the fact that radius of host (143 pm) is greater than one of the impurities as itemized

in Table II. In addition, the band gaps of GeTe semiconductors doped with different transition metals are itemized in Table II. Mn doping in GeTe remains a semiconductor with a decreased band gap, whereas the others are metallic. The insight on the magnetic properties is gained by analyzing the magnetic moments of each element as exposed in Table II. The key contributions to the total magnetization are mainly from transition metal, Te and Ge atoms, respectively. The high-to-low net magnetic moments are observed in (Ge, Mn)Te, (Ge, Cr)Te, (Ge, Fe)Te, (Ge, V)Te, (Ge, Co)Te, (Ge, Ni)Te and (Ge, Cu)Te, correspondingly. A schematic diagram of the spin-polarized band structure of pure GeTe semiconductor is illustrated in Figure 2 under different spin channels along the symmetry paths in the irreducible Brillouin zone. The symmetry between the alpha and beta spin channel reflects the semiconducting behaviour. The insight on the effect of the transition metal dopants on the spin-resolved band structures is achieved in Figure 3 computed along the high symmetric paths in the first Brillouin zone. GeTe with the substitution of transition metals demonstrate the spin-polarized band structures, exhibiting the magnetism. (Ge, Mn)Te is categorized as semiconductor. V, Cr and Fe doping in GeTe semiconductor are half metallic. In (Ge, V)Te and (Ge, Cr)Te, alpha spin channel is metal but beta spin channel is semiconductor. In (Ge, Fe)Te, alpha spin channel remains semiconductor but beta spin channel is metal. (Ge, Co)Te, (Ge, Ni)Te and (Ge, Cu)Te are characterized as metal because the Fermi level is crossing through the conduction and valence bands. Hence, V, Cr and Fe doping in GeTe semiconductor are the promising dilute magnetic semiconductors which are appropriate for spintronic applications.

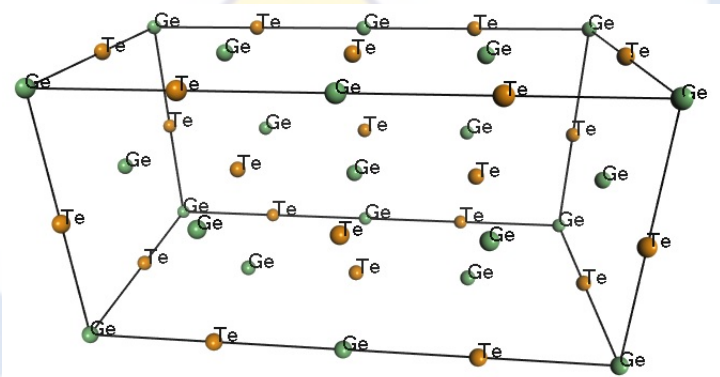


Figure 1: The 2×1×1 GeTe supercell in zinc-blende phase.

Table 1: The formation energies of GeTe with Ge substitution by V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni and Cu.

Ge substitute	Formation energy (eV)
(Ge, V)Te	-3.840
(Ge, Cr)Te	-6.481
(Ge, Mn)Te	-3.866
(Ge, Fe)Te	-5.346
(Ge, Co)Te	-3.867
(Ge, Ni)Te	-0.484
(Ge, Cu)Te	1.120

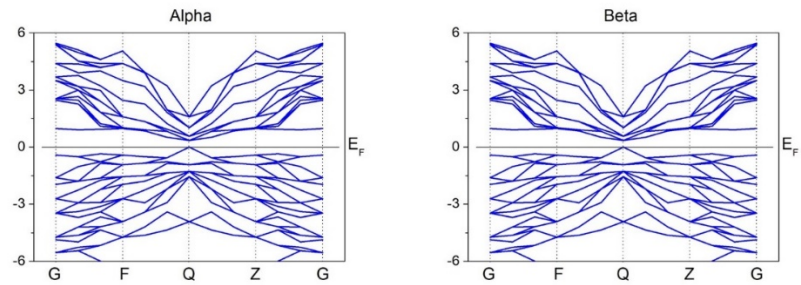


Figure 2: Spin-polarized band structures of GeTe.

Table 2: The calculated lattice parameters, volumes, band gaps and magnetic moments of GeTe with Ge substitution by the transition metals (TM = V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni and Cu).

parameters	GeTe	(Ge, V)Te	(Ge, Cr)Te	(Ge, Mn)Te	(Ge, Fe)Te	(Ge, Co)Te	(Ge, Ni)Te	(Ge, Cu)Te
a (Å)	12.017	11.943	11.938	11.963	11.874	11.854	11.821	11.868
b (Å)	6.009	5.946	5.947	5.969	5.945	5.925	5.917	5.928
c (Å)	6.009	5.945	5.947	5.971	5.941	5.921	5.917	5.937
Volume (Å ³)	433.855	422.135	422.228	426.345	419.405	415.862	413.874	417.651
Radius of the dopant (pm)	-	132	125	124	124	125	125	128
Band gap (eV)	0.346	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000
M _{total} (μ _B)	0.000	3.741	5.191	5.058	4.051	3.030	2.013	1.007
M _{Ge} (μ _B)	0.000	0.110	0.120	0.020	0.090	0.090	0.070	0.030
M _{Te} (μ _B)	0.000	0.160	0.220	0.020	0.100	0.130	0.150	0.140
M _{TM} (μ _B)	-	3.120	4.450	4.840	3.530	2.250	1.030	0.170

To explore the intrinsic origins of magnetism, it is necessary to understand the orbital contributions localized in these compounds. Here, we shed light on this task by means of total and partial density of states. For the demonstration, the total and partial density of states of undoped GeTe and transition-metal doped GeTe are plotted in Figure 4. The alpha spin and beta spin channel of GeTe are symmetric and display the semiconductor. The conduction bands close up to the band edge are mainly derived from Ge-p states. In the region with the energy greater 2.0 eV, the conduction bands are generated from the couple of Ge-p and Te-p states. The valence bands are mainly initiated from Te-p states. The mixture of Ge-p and Te-p states are also dominated in the valence bands with the energy lower than -2.0 eV. When incorporating GeTe with transition metals, both spin channels are not symmetric. V, Cr, Fe, Co, Ni and Cu induce the d orbital across or nearby the Fermi level. Mn introduces the d orbital close to the conduction band edges, thus responsibility to reduce the band gap. The existence of the exchange hybridization between d states of the transition metal and Te-p states gives rise to the magnetism, called p-d exchange hybridization. Both spin channels of (Ge, Mn)Te are fully occupied, making it the semiconductor with a reduced band gap. (Ge, Co)Te, (Ge, Ni)Te and (Ge, Cu)Te become metallic because both spin channels are partially filled. In (Ge, V)Te and (Ge, Cr)Te, alpha spin channel is partially occupied but beta spin channel is fully occupied. In (Ge, Fe)Te, alpha spin channel remains fully filled but beta spin channel is partly filled. Hence, V, Cr and Fe doping transform the semiconducting to half metallic performance. The hybridization of d states of V, Cr and Fe with Te-p states

provides a gap with spin polarization of 100% at Fermi level. The p-type carrier is additionally demonstrated in V-, Cr- and Fe-doped GeTe semiconductor because of the strong p-d exchange hybridization nearby the Fermi level. Finally, this work demonstrates the numerical results with the aim to provide some theoretical guidance to experimentalists attempting to fabricate the transition-metal doped GeTe materials indeed appropriate for spintronic devices.

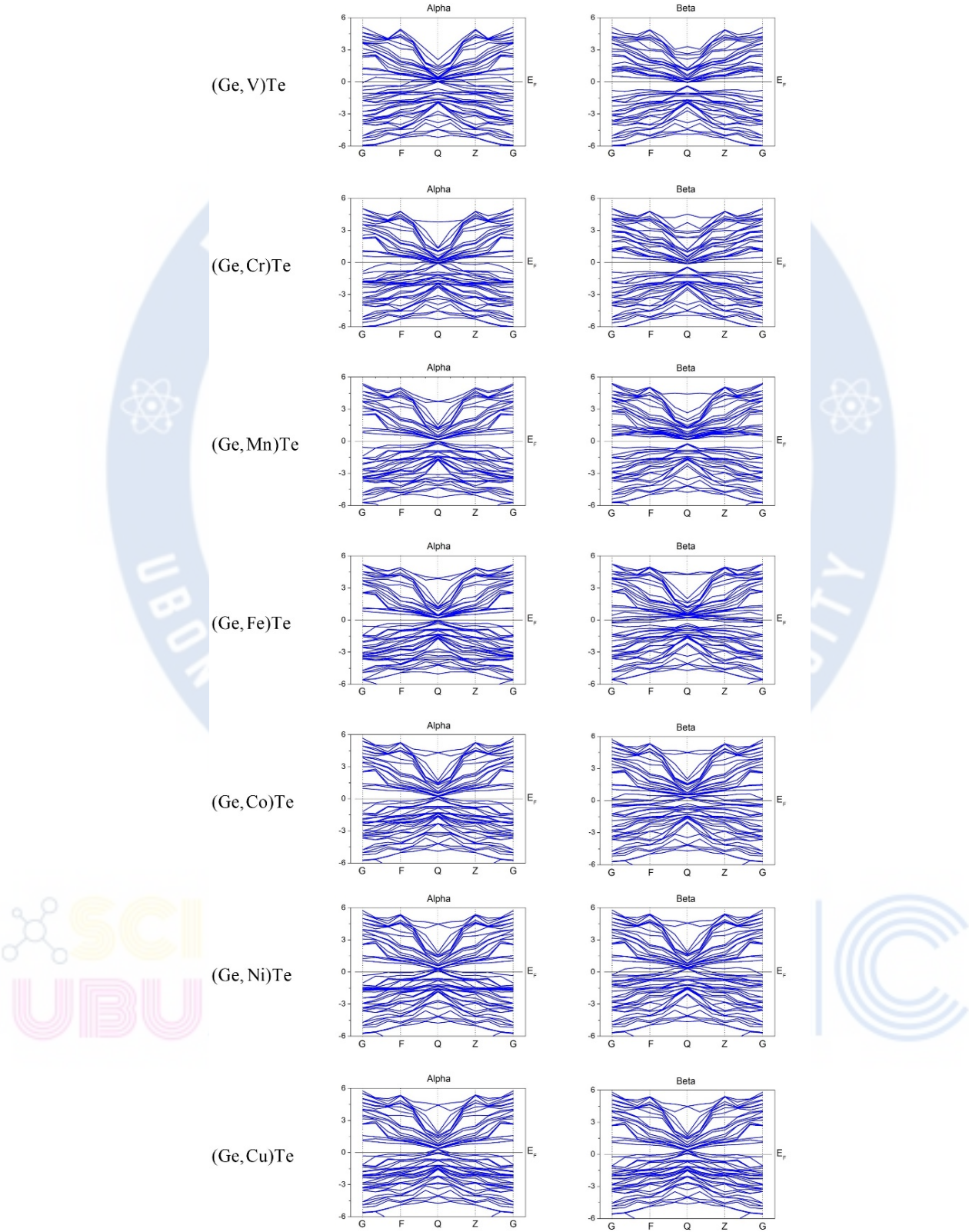


Figure 3: Spin-polarized band structures of (Ge, V)Te, (Ge, Cr)Te, (Ge, Mn)Te, (Ge, Fe)Te, (Ge, Co)Te, (Ge, Ni)Te and (Ge, Cu)Te.

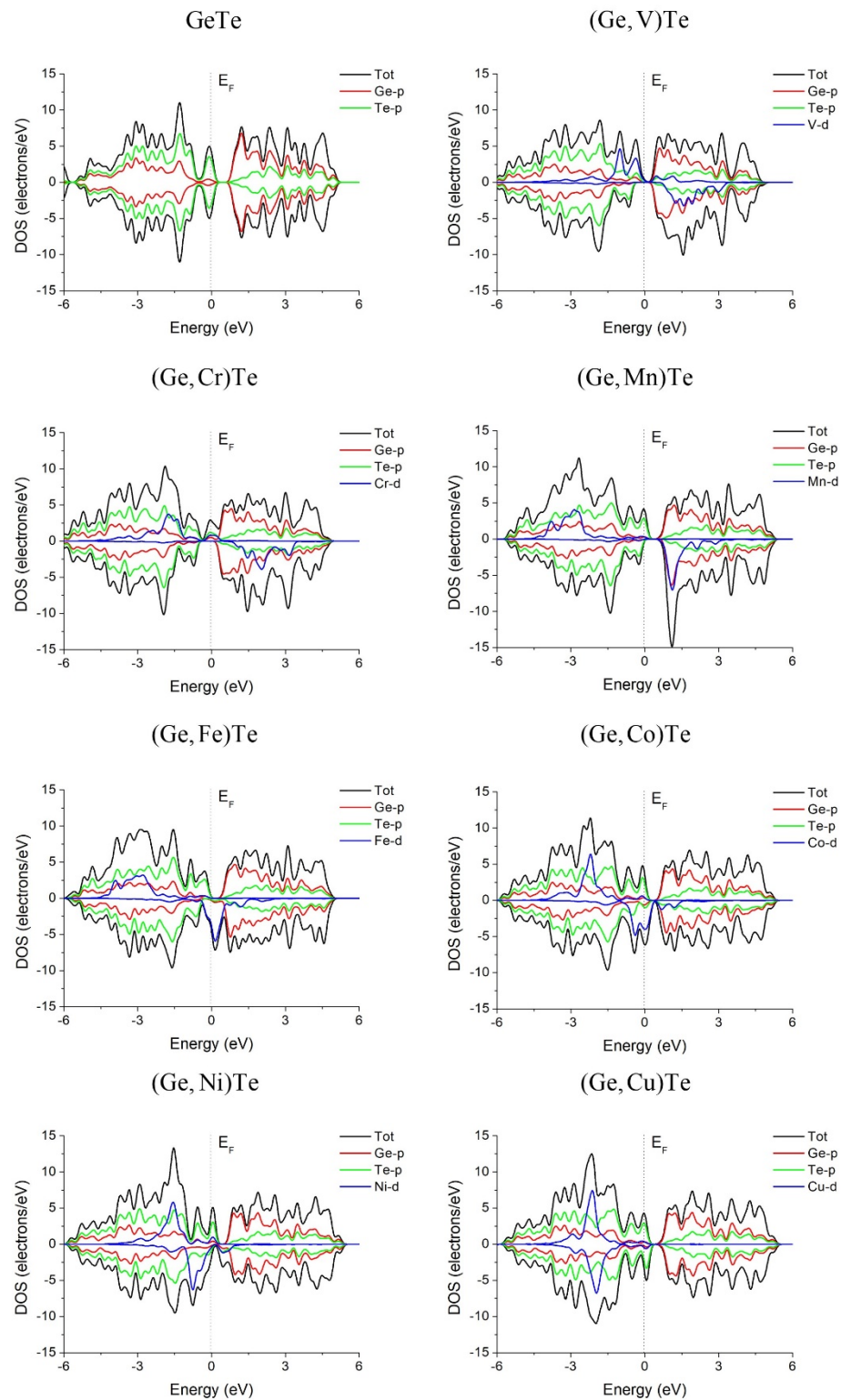


Figure 4: The total and partial density of states of GeTe, (Ge, V)Te, (Ge, Cr)Te, (Ge, Mn)Te, (Ge, Fe)Te, (Ge, Co)Te, (Ge, Ni)Te and (Ge, Cu)Te.

Conclusion

By means of spin density functional calculations, we reveal that the transition metals play a strategic role in tuning the structural, electronic and magnetic properties of rock-salt GeTe semiconductors doped with various transition metals. Through the formation energies, (Ge, Cr)Te is the most stable among all doped systems. The introduction of transition metals decreases the lattice parameters and volumes because the radius of host is larger than one of the impurities. In addition, the source of the net magnetic

moment is correspondingly donated from transition metal, Te and Ge. In the presence of the transition-metal dopants, the spin polarization of the electronic band structures is illuminated. Using the partial density of states, the magnetism is formed by p-d exchange hybridization with d orbitals from transition metal and p orbitals from Te. Mn doping in GeTe remains the semiconductor with a condensed band gap. Co, Ni and Cu change the GeTe semiconductor to metal. The p-type half metal is characterized in (Ge, V)Te, (Ge, Cr)Te and (Ge, Fe)Te which become the dilute magnetic semiconductors. Finally, we believe that these computational results will serve as a basis for developing a more cloudless picture of transition metals doping in GeTe semiconductor for the spintronic applications.

Acknowledgment

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

References

- Broyden, C. G. (1970). The convergence of a class of double-rank minimization algorithms: 2. The new algorithm. **IMA journal of applied mathematics**, 6(3), 222.
- Chang, L. L., Stiles, P. J. and Esaki, L. (1966). Electron Barriers in Al-Al₂O₃-SnTe and Al-Al₂O₃-GeTe Tunnel Junctions. **IBM Journal of Research and Development**, 10(6), 484.
- Ciucivara, A., Sahu, B. R. and Kleinman, L. (2007). Density functional study of Ge_{1-x}Mn_xTe. **Physical Review B**, 75(24), 241201.
- Clark, S. J., Segall, M. D., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Probert, M. I., Refson, K. and Payne, M. C. (2005). First principles methods using CASTEP. **Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials**, 220(5-6), 567.
- Cochrane, R. W., Plischke, M. and Ström-Olsen, J. O. (1974). Magnetization studies of GeTe_{1-x}MnTe_x pseudobinary alloys. **Physical Review B**, 9(7), 3013.
- Dietl, T. (2007). **The Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials**. Wiley, New York.
- Dietl, T. (2007). **Lecture Notes on Semiconductor Spintronics**.
- Dietl, T. and Ohno, H. (2014). Dilute ferromagnetic semiconductors: Physics and spintronic structures. **Reviews of Modern Physics**, 86(1), 187.
- Fletcher, R. (1970). A new approach to variable metric algorithms. **The computer journal**, 13(3), 317.
- Fukuma, Y., Murakami, T., Asada, H. and Koyanagi, T. (2001). Film growth of Ge_{1-x}Mn_xTe using ionized-cluster beam technique. **Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures**, 10(1-3), 273.
- Fukuma, Y., Asada, H., Moritake, N., Irisa, T. and Koyanagi, T. (2007). Ferromagnetic semiconductor Ge_{1-x}Cr_xTe with a Curie temperature of 180 K. **Applied Physics Letters**, 91(9), 092501.
- Fukuma, Y., Asada, H., Miyawaki, S., Koyanagi, T., Senba, S., Goto, K. and Sato, H. (2008). Carrier-induced ferromagnetism in Ge_{0.92}Mn_{0.08}Te epilayers with a Curie temperature up to 190 K. **Applied Physics Letters**, 93(25), 252502.
- Goldfarb, D. (1970). A family of variable-metric methods derived by variational means. **Mathematics of computation**, 24(109), 23.
- Lechner, R. T., Springholz, G., Hassan, M., Groiss, H., Kirchschrager, R., Stangl, J. and Bauer, G. (2010). Phase separation and exchange biasing in the ferromagnetic IV-VI semiconductor Ge_{1-x}Mn_xTe. **Applied physics letters**, 97(2), 023101.
- Lewis, J. E. (1973). Optical properties and energy gap of GeTe from reflectance studies. **physica status solidi (b)**, 59(1), 367.
- Lim, S. T., Hui, L., Bi, J. F. and Teo, K. L. (2011). Weak localization and antilocalization of hole carriers in degenerate p-Ge_{1-x}Mn_xTe. **Journal of Applied Physics**, 110(11), 113916.

- Lim, S. T., Bi, J. F., Hui, L. and Teo, K. L. (2011). Exchange interaction and Curie temperature in $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ferromagnetic semiconductors. **Journal of Applied Physics**, 110(2), 023905.
- Liu, Y., Bose, S. K. and Kudrnovský, J. (2012). Half-metallicity and magnetism of GeTe doped with transition metals V, Cr, and Mn: A theoretical study from the viewpoint of application in spintronics. **Journal of Applied Physics**, 112(5), 053902.
- Liu, J. D., Miao, X. S., Tong, F., Luo, W. and Xia, Z. C. (2013). Ferromagnetism and electronic transport in epitaxial $\text{Ge}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ thin film grown by pulsed laser deposition. **Applied Physics Letters**, 102(10), 102402.
- Liu, Y., Bose, S. K. and Kudrnovský, J. (2016). Electronic structure and magnetism of $\text{Ge}(\text{Sn})\text{TM}_x\text{Te}_{1-x}$ (TM= V, Cr, Mn): A first principles study. **AIP Advances**, 6(12), 125005.
- Ohno, H., Matsukura, F. and Ohno Y. (2002). Semiconductor spin electronics. **JSAP Int**, 5, 4.
- Okoye, C. M. I. (2002). Electronic and optical properties of SnTe and GeTe. **Journal of Physics: Condensed Matter**, 14(36), 8625.
- Perdew, J. P., Burke, K. and Ernzerhof, M. (1996). Generalized gradient approximation made simple. **Physical review letters**, 77(18), 3865.
- Rodot, M., Lewis, J., Rodot, H., Villers, G., Cohen, J. and Mollard, P. (1966). Magnetic interactions between Mn spins diluted in GeTe. **JOURNAL OF THE PHYSICAL SOCIETY OF JAPAN**, 21, 627.
- Seddon, T., Gupta, S. C. and Saunders, G. A. (1976). Hole contribution to the elastic constants of SnTe. **Solid State Communications**, 20(1), 69.
- Segall, M. D., Lindan, P. J., Probert, M. A., Pickard, C. J., Hasnip, P. J., Clark, S. J. and Payne, M. C. (2002). First-principles simulation: ideas, illustrations and the CASTEP code. **Journal of physics: condensed matter**, 14(11), 2717.
- Shanno, D. F. (1970). Conditioning of quasi-Newton methods for function minimization. **Mathematics of computation**, 24(111), 647.
- Tsu, R., Howard, W. E. and Esaki, L. (1968). Optical and electrical properties and band structure of GeTe and SnTe. **Physical Review**, 172(3), 779.
- Tung, Y. W., & Cohen, M. L. (1969). Relativistic band structure and electronic properties of SnTe, GeTe, and PbTe. **Physical Review**, 180(3), 823.
- Wolf, S. A., Chtchelkanova, A. Y. and Treger, D. M. (2006). Spintronics-A retrospective and perspective. **IBM Journal of Research and Development**, 50(1), 101.
- Zhao, Y. H., Xie, W. H., Zhu, L. F. and Liu, B. G. (2006). Half-metallic ferromagnets based on the rock-salt IV–VI semiconductor GeTe. **Journal of Physics: Condensed Matter**, 18(45), 10259.
- Zvereva, E. A., Savelieva, O. A., Primenko, A. E., Ibragimov, S. A., Slyn'ko, E. I. and Slyn'ko, V. E. (2010). Anomalies in electron spin resonance spectra of $\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ diluted magnetic semiconductors. **Journal of Applied Physics**, 108(9), 093923.

บทความวิจัย

ผลของดินผสมกากกาแฟต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งจีน

มัทนภรณ์ ใหม่คามิ^{1*}¹สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี

*Email: mattanaporn@vru.ac.th

รับบทความ: 4 กรกฎาคม 2564 แก้ไขบทความ: 7 กันยายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 7 กันยายน 2564

บทคัดย่อ

ผักบุ้งจีนเป็นผักเศรษฐกิจที่บริโภคกันอย่างแพร่หลายและมีคุณค่าทางอาหารสูง เมื่อกระแสด้านนิยมนักปลูกผักปลอดภัยและผักอินทรีย์มีมากขึ้น กากกาแฟจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของวัสดุปลูก เนื่องจากมีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชที่อาจช่วยในการเติบโตของผักบุ้งจีนได้ การทดลองนี้ได้ศึกษาผลของดินผสมกากกาแฟในอัตราส่วนต่าง ๆ ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกเมล็ดผักบุ้งจีนไม่แตกต่างกันเมื่อเพาะในดินที่มีกากกาแฟผสม 0 5 10 15 และ 20% แต่ดินที่มีกากกาแฟผสม 5 10 และ 15% ส่งเสริมเวลาเฉลี่ยในการงอกและดัชนีการงอกได้ หลังการปลูก 2 สัปดาห์ ผักบุ้งจีนที่ปลูกด้วยดินผสมกากกาแฟ 5% มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความยาวลำต้น และจำนวนใบมากกว่าที่ปลูกด้วย 15 และ 20% และหลังการปลูก 4 สัปดาห์ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งจีนแต่ละทรีตเมนต์ไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าผักบุ้งจีนที่ปลูกในดินผสมกากกาแฟ 0 5 และ 10% มีจำนวนรากมากกว่าที่ปลูกในดินที่มีผสมกากกาแฟ 15 และ 20% ส่วน pH ทุกทรีตเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นการผสมกากกาแฟไปในดินในอัตราส่วนที่เหมาะสมอาจเป็นวัสดุปลูกทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้

คำสำคัญ: ผักบุ้งจีน กากกาแฟ การงอก

อ้างอิงบทความนี้

มัทนภรณ์ ใหม่คามิ. (2564). ผลของดินผสมกากกาแฟต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบุ้งจีน. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 155-163.

Effect of soil containing coffee grounds on germination and growth of water convolvulus seedling

Mattanaporn Maikami^{1*}

¹*Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathumthani*

**Email: mattanaporn@vru.ac.th*

Received <4 July 2021>; Revised <7 September 2021>; Accepted <7 September 2021>

Abstract

Water convolvulus is an economically vegetable crop as it is widely consumed and contains high nutrients. There is currently an increasing trend of pesticide-free and organic vegetables. Spent coffee grounds (SCGs) is an alternative to make use of mixing into the soil for planting since it contained numerous plant minerals which possibly promote water convolvulus production. The present work investigates the effect of various soil-SCGs ratios on germination and growth of water convolvulus. Results of the study have shown that there was no difference in germination percentage of the plants among SCG with soil 0, 5, 10, 15, and 20%, however, 5, 10 and 15% of SCG enhanced mean germination time and germination index. At 2 weeks after planting, plants on soil containing 5% SCGs have larger stem dimensions, stem length, and more leave number than those on soil containing 15 and 20% SCGs. At four weeks after planting, there was no difference in the fresh and dry weight of the plants among the experimental soil mediums. On the other hand, the plant on soil containing 0, 5 and 10% SCGs had higher root numbers than those 15 and 20% groups. There was an increase in the pH value of all the experimental mediums. Therefore, mixing SCG into the soil in an appropriate ratio was possible as an alternative to promote plant growth.

Keywords: Water convolvulus, spent coffee grounds, germination

SCI
UBU ATOMIC

Cite this article:

Maikami, M. (2021). Effect of soil containing coffee grounds on germination and growth of water convolvulus seedling (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 155-163.

บทนำ

ผักบุ้งจีน (water convolvulus) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* จัดอยู่ในวงศ์ CONVOLVULACEAE เป็นผักที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย ปลูกง่าย และโตเร็ว (Nuanprom, 2005) เจริญเติบโตได้ดีในดินทุกประเภท โดยเฉพาะดินที่ชุ่มชื้นและระบายน้ำได้ดี (Saengngam, Bootpetch and Hengcharoen, 2020) ดังนั้นระหว่างปลูกจึงควรคลุมดินเพื่อรักษาความชุ่มชื้นของดินและลดการระเหยของน้ำ (Adthlungrong and Insung, 2015) ผักบุ้งจีนมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 18 - 25 วันหลังหว่านเมล็ด นอกจากผักบุ้งจีนจะเป็นผักเศรษฐกิจที่บริโภคภายในประเทศแล้วยังเป็นผักส่งออกที่สำคัญของประเทศไทย (Wilaiporn, 2018) เกษตรกรผู้ปลูกผักบุ้งจีนมักมีการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อเร่งการเจริญเติบโตเพื่อให้ได้ผักบุ้งที่มีขนาดลำต้นใหญ่ ใบเขียว และมีน้ำหนักมากออกสู่ตลาด โดย Adthlungrong and Insung (2015) รายงานว่าการปลูกผักบุ้งจีนจะใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ในอัตราส่วน 15-20 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง หลังหว่านเมล็ด 5 - 7 วัน และ 10 - 12 วัน หรือใช้ปุ๋ยสูตรดังกล่าวอัตรา 10 กรัมละลายน้ำ 20 ลิตรรดให้ทั่วแปลง แต่เมื่อกระแสมนิยมผักอินทรีย์และผักปลอดภัยมีมากขึ้น รวมถึงผักบุ้งจีนเพื่อให้ได้ผักที่มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่นิยมแพร่หลายมากที่สุดในโลก ได้จากการคั้นของส่วนสะสมอาหารภายในเมล็ดกาแฟ (*Coffea* sp.) ที่ผ่านการคั่วบด โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก คือ กาแฟอะราบิก้า (*C. arabica*) และกาแฟโรบัสต้า (*C. canephora*) (Brunerová et al., 2020; Chrysargyris et al., 2020) ปัจจุบันธุรกิจร้านขายกาแฟสดเกิดเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เมื่อคั่วกาแฟออกมากในแต่ละครั้งจะเหลือกากกาแฟ (spent coffee grounds, SCG) ซึ่งเป็นขยะ โดย Campos-Vega et al. (2015) รายงานว่าในการชงกาแฟสดจะมีเมล็ดกาแฟเพียง 5 - 10% ที่ผ่านน้ำร้อนลงไปยังแก้วกาแฟ โดยส่วนที่เป็นกากกาแฟจะมีมากกว่า 45% และส่วนที่เหลือเป็นผนังผล (pericarp) ซึ่งในปี ค.ศ. 2011 มีส่วนที่เหลือทิ้งจากธุรกิจกาแฟ 6 ล้านตัน (Mussatto et al., 2011) ซึ่งในปัจจุบันน่าจะมีปริมาณสูงกว่านี้มาก หากไม่นำมาใช้ประโยชน์จะเป็นการสูญเสียคุณค่าของกากกาแฟโดยเปล่าประโยชน์ (Chaichan, Chaichan and Sawain, 2017) โดย Hardgrove and Livesley (2016) กล่าวว่ากากกาแฟเป็นขยะอินทรีย์ที่เป็นทรัพยากรทางเศรษฐกิจและเชิงพาณิชย์ สามารถนำมาเป็นอาหารสัตว์ ไบโอดีเซล หรือถ่านกัมมันต์ได้ (Cruz et al., 2012) นอกจากนี้กากกาแฟยังสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีหรือผสมกับดินเป็นวัสดุปลูกสำหรับปลูกพืช โดยกากกาแฟสามารถช่วยปรับโครงสร้างดิน (Yamane et al., 2014; Cruz et al., 2012) และมีธาตุอาหารหลายชนิด เช่น ไนโตรเจน (1.0-2.5%) ฟอสฟอรัส (0.02-0.5%) และโพแทสเซียม (0.35%) (Yamane et al., 2014; Hardgrove and Livesley, 2016; Chrysargyris et al., 2020) นอกจากนี้ Mussatto et al. (2011) ยังรายงานว่ากากกาแฟมีธาตุอาหารรองอีกหลายชนิด เช่น แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี จะเห็นได้ว่ากากกาแฟมีธาตุอาหารจำเป็นของพืชสอดคล้องกับ Ronga et al. (2016) ที่รายงานว่ากากกาแฟมีธาตุอาหารที่เพียงพอในการส่งเสริมการเจริญของไม้กระถางและอาจทำหน้าที่ทดแทนฟอสเฟตได้ แต่อย่างไรก็ตามนอกจากธาตุอาหารพืชแล้วในกากกาแฟยังมีสารคาเฟอีน แทนนิน และกรดคลอโรจินิก (chlorogenic acid) ที่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในดินและพืช และลดการปลดปล่อยไนโตรเจน (biological N immobilization) แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นยาฆ่าแมลงและสารกำจัดวัชพืชตามธรรมชาติ (Yamane et al., 2014; Cruz et al., 2012; Hardgrove and Livesley, 2016) แม้ว่าการนำกากกาแฟมาผสมกับดินมักทำให้ pH ของดินลดลง แต่พืชแต่ละชนิดก็สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีค่า pH ที่ความเหมาะสมแตกต่างกัน (Mussatto et al. 2011; Hardgrove and Livesley, 2016) อย่างไรก็ตามยังไม่พบหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับประสิทธิภาพของกากกาแฟสดที่นำไปเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตรมากนัก (Chulaka, Kaewsorn and Jeenprasom, 2014) ซึ่งพืชแต่ละตอบสนองต่ออัตราส่วนของดินที่ผสมกากกาแฟแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาการงอกและการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนที่ปลูกในดินที่มีการผสมกากกาแฟเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุปลูกในสัดส่วนต่าง ๆ

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษามลของดินที่ผสมกากกาแฟในสัดส่วนต่าง ๆ ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน ทำการทดสอบที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ระหว่างเดือนตุลาคม 2563 ถึง กุมภาพันธ์ 2564 โดยทำการทดลอง 3 การทดลอง ดังนี้

การเปรียบเทียบการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักบงจีน

นำเมล็ดพันธุ์ผักบงจีนพันธุ์การค้า 6 ตัวอย่างที่หาซื้อได้ตามท้องตลาด มาเพาะในตะกร้าขนาด $14 \times 14 \times 6$ ซม. ที่มีกรรงกระดาษหนังสือพิมพ์ โดยใส่ดินปลูก 40 กรัม/ตะกร้า ในแต่ละตะกร้าจะเพาะผักบงจีน 15 เมล็ด ชนิดละ 3 ตะกร้า รดน้ำ ตะกร้าละ 30 มล. วันละ 2 ครั้ง (เช้า - เย็น) เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จัดบันทึกการงอกทุกวัน โดยพิจารณาจากเมล็ดที่มีรากแทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมามีความยาวราก 1 มม. ตามหลักการประเมินความงอกของ International Seed Testing Association (ISTA, 2014) จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณความงอกของเมล็ดพันธุ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การงอก (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}}$$

การเปรียบเทียบการงอกของเมล็ดพันธุ์ผักบงจีนในดินที่ผสมกากกาแฟในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

นำเมล็ดพันธุ์ผักบงจีนที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกดีที่สุด จากการทดลองที่ 1 มาเปรียบเทียบการงอกในวัสดุปลูกที่เป็นดินปลูกผสมกากกาแฟ 5 อัตราส่วน ได้แก่ 0 5 10 15 และ 20% อัตราส่วนละ 40 กรัม/ทริตเมนต์ โดยเพาะเมล็ดพันธุ์ผักบงจีนในตะกร้าขนาด $14 \times 14 \times 6$ ซม. ตะกร้าละ 10 เมล็ด ทริตเมนต์ละ 3 ตะกร้า ดูแลผักบงจีนเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และบันทึกการงอกทุกวัน โดยพิจารณาจากเมล็ดที่มีรากแทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมามีความยาวราก 1 มม. ตามหลักการประเมินความงอกของ International Seed Testing Association (ISTA, 2014) จากนั้นนำข้อมูลมาศึกษาดังต่อไปนี้

1. เปอร์เซ็นต์การงอก (%) ตรวจนับต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตายหลังเพาะ จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณความงอกของเมล็ดพันธุ์เป็นเปอร์เซ็นต์ตามสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การงอก (\%)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอก} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}}$$

2. ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอก (Mean Germination Time: MGT, day) โดยนำข้อมูลมาคำนวณตามสูตรดังนี้ (Ellis and Roberts, 1981)

$$\text{เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)} = \frac{\text{ผลรวมของ (จำนวนเมล็ดที่งอกในแต่ละวัน} \times \text{จำนวนวันที่นับหลังจากวันเพาะเมล็ด)}}{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกปกติทั้งหมด}}$$

3. ดัชนีการงอก (Germination index: GI) เป็นวิธีการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดจากอัตราความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ ทำการตรวจประเมินเช่นเดียวกับการหาการเปอร์เซ็นต์การงอก แล้วนำข้อมูลมาคำนวณตามสูตรดังนี้ (Zhi, 2000)

$$\text{ดัชนีการงอก} = \frac{\text{ผลบวกของ (จำนวนต้นกล้าปกติที่งอกในแต่ละวัน)}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}}$$

4. ดินผสมกากกาแฟที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไปวัด pH ตามวิธีของ Department of Land Development (2010)

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของเมล็ดพันธุ์ผักบงจีนในดินที่ผสมกากกาแฟในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

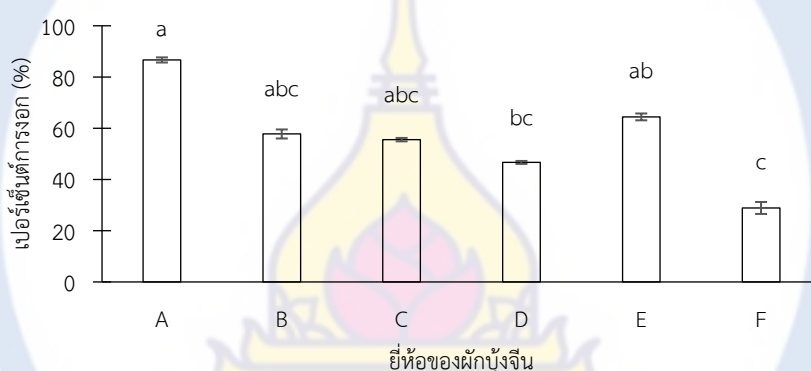
นำเมล็ดพันธุ์ผักบงจีนที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกดีที่สุด จากการทดลองที่ 1 มาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตในวัสดุปลูกที่เป็นดินปลูกผสมกากกาแฟ 5 ระดับ ได้แก่ 0 5 10 15 และ 20% อัตราส่วนละ 400 กรัม/ทริตเมนต์ โดยเพาะเมล็ดพันธุ์ผักบงจีนในถุงดำขนาด $8 \times 8 \times 17.5$ ซม. ถุงละ 2 เมล็ด ทริตเมนต์ละ 3 ถุง รดน้ำครั้งละ 50 มล./ถุง วันละ 2 ครั้ง (เช้า - เย็น) วัดการเจริญเติบโตจากความสูงของต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบของต้นกล้าผักบงจีนทุกสัปดาห์ เมื่อครบ 4 สัปดาห์ นำต้นกล้าผักบงจีนมาวัดน้ำหนักสด - แห้ง และความยาวราก แล้วนำดินผสมกากกาแฟที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไปวัด pH ตามวิธีของ Department of Land Development (2010)

การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (Steel and Torrie, 1980)

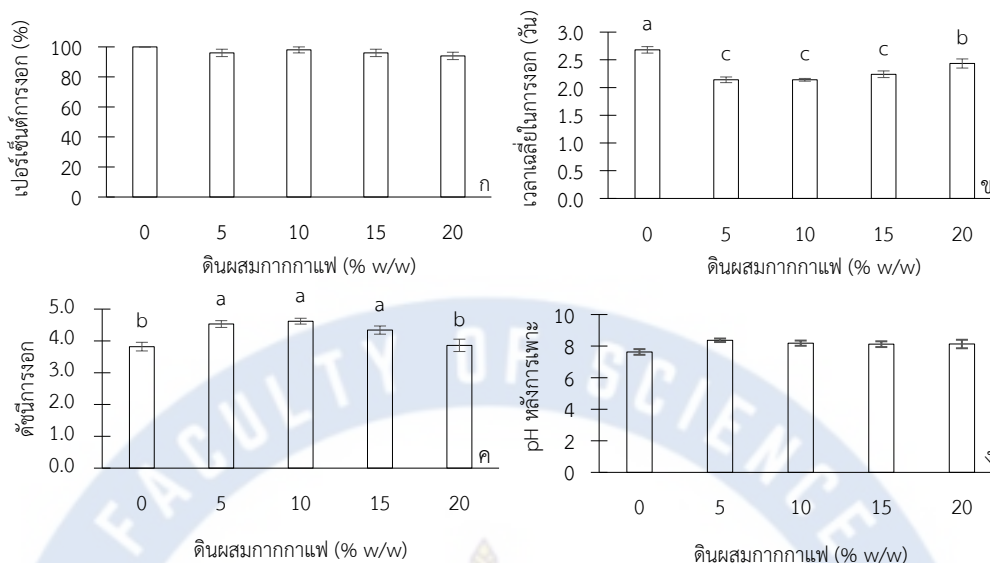
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด 6 ตัวอย่าง โดยเลือกเฉพาะเมล็ดสมบูรณ์ มีขนาดเมล็ดใกล้เคียงกัน ไม่ฝ่อ และมีรอบระยะเวลาการผลิในช่วงปี พ.ศ. 2563 มาทดสอบการงอกเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า เมล็ดผักบุ้งจีน A สามารถงอกได้ดีที่สุดคิดเป็น 86.66% (ภาพที่ 1) แต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับ B C และ E โดยเมล็ดผักบุ้งจีน F มีเปอร์เซ็นต์การงอกน้อยกว่าผักบุ้งจีนตัวอย่างอื่นเพียง 28.88% อาจเป็นเพราะเมล็ดผักบุ้งจีน F มีเปอร์เซ็นต์การงอกตามที่ระบุไว้ข้างซองที่สุดเพียง 50% เท่านั้น ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนอื่นระบุเปอร์เซ็นต์การงอก 70-89% ส่วนความบริสุทธิ์ (PURITY) ของเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีนไม่แตกต่างกันที่ระดับ 94-99% อย่างไรก็ตามอัตราการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของคุณภาพของเมล็ดด้วย เช่น ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (seed vigor) ความชื้นของเมล็ด (seed moisture) และสุขภาพเมล็ดพันธุ์ (seed health) (Wetchakama and Khaengkhan, 2018) ดังนั้นจากการทดลองเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีน A จึงถูกเลือกนำไปใช้ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 1 เปอร์เซนต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีน ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a b และ c) ที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

นำเมล็ดผักบุ้งจีนที่มีเปอร์เซ็นต์การงอกดีที่สุด มาเพาะในวัสดุปลูกที่เป็นดินปลูกผสมกากกาแฟ 5 ระดับ ได้แก่ 0 5 10 15 และ 20% เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อเปรียบเทียบการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนในดินที่ผสมกากกาแฟ จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอก (ภาพที่ 2ก และ 3ก) ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาเวลาเฉลี่ยในการงอก (ภาพที่ 2ข) และดัชนีการงอก (ภาพที่ 2ค) ดินที่ผสมกากกาแฟ 5 10 และ 15% มีเวลาเฉลี่ยในการงอก และดัชนีการงอกไม่แตกต่างกัน โดยใช้เวลาเฉลี่ยในงอกสั้น และดัชนีการงอกดีกว่าดินที่ผสมกากกาแฟ 0 และ 20% แสดงว่าการผสมกากกาแฟลงไปในดิน 5-15% สามารถส่งเสริมการงอกได้ ซึ่งสอดคล้องกับ Chrysargyris et al. (2020) ที่รายงานว่ากากกาแฟสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดพืชในสกุลกะหล่ำ (*Brassica*) ได้เมื่อผสมในอัตราส่วน 2.5-5% อาจเป็นเพราะการใช้กากกาแฟในปริมาณที่เหมาะสมสามารถช่วยปรับโครงสร้างดิน (Yamane et al., 2014; Cruz et al., 2012) และมีธาตุอาหารที่ช่วยในการงอกของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นสูงสามารถทำลายการพักตัวได้ (Osuna et al., 2015) แต่การผสมกากกาแฟลงไปในดิน 20% อาจมีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดเนื่องจากกากกาแฟมีส่วนผสมของแทนนิน มีผลยับยั้งการทำงานของจิบเบอเรลลิน ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นการงอกของเมล็ด (Chulaka, Kaewsorn and Jeenprasom, 2014) นอกจากนั้นปริมาณกากกาแฟที่มากเกินไปจะลดการปลดปล่อยไนโตรเจนของดิน (Yamane et al., 2014; Cruz et al., 2012; Hardgrove and Livesley, 2016) ส่วน pH ในแต่ละทรีตเมนต์ (ภาพที่ 2ง) พบว่ากากกาแฟทำให้ pH ในดินปลูกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ



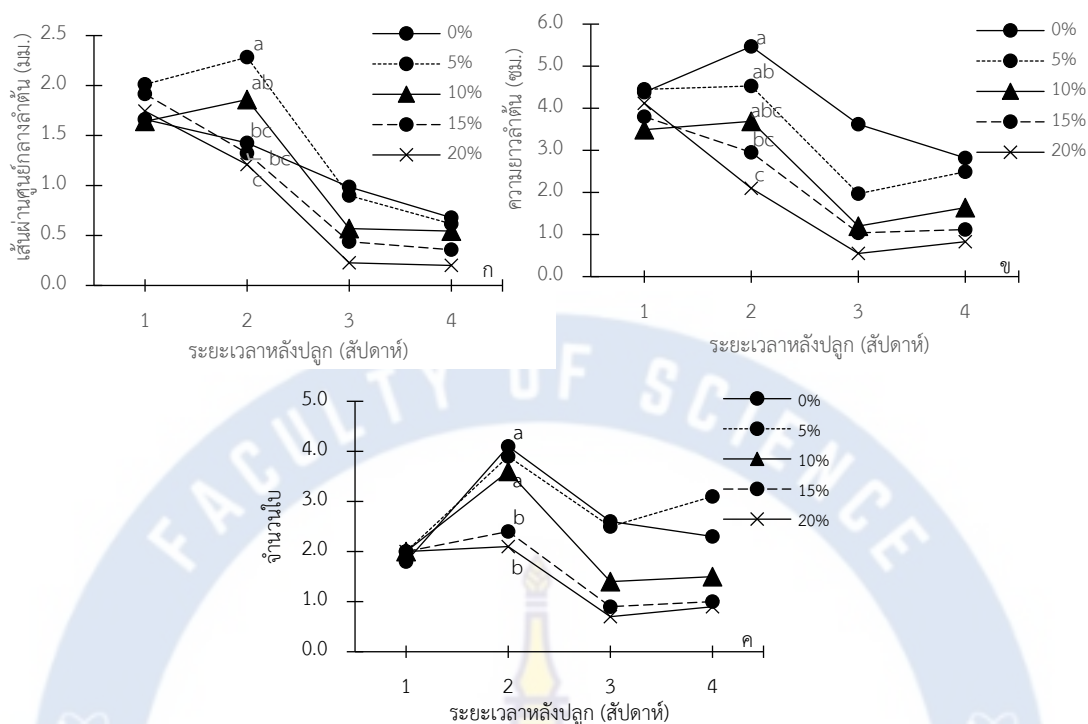
ภาพที่ 2 เปอร์เซ็นต์การงอก (ก) เวลาเฉลี่ยในการงอก (ข) ดัชนีการงอก (ค) และ pH หลังการเพาะเมล็ด (ง) ของผักบุ้งจีน ในดินผสมกากกาแฟ 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a b และ c) ที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)



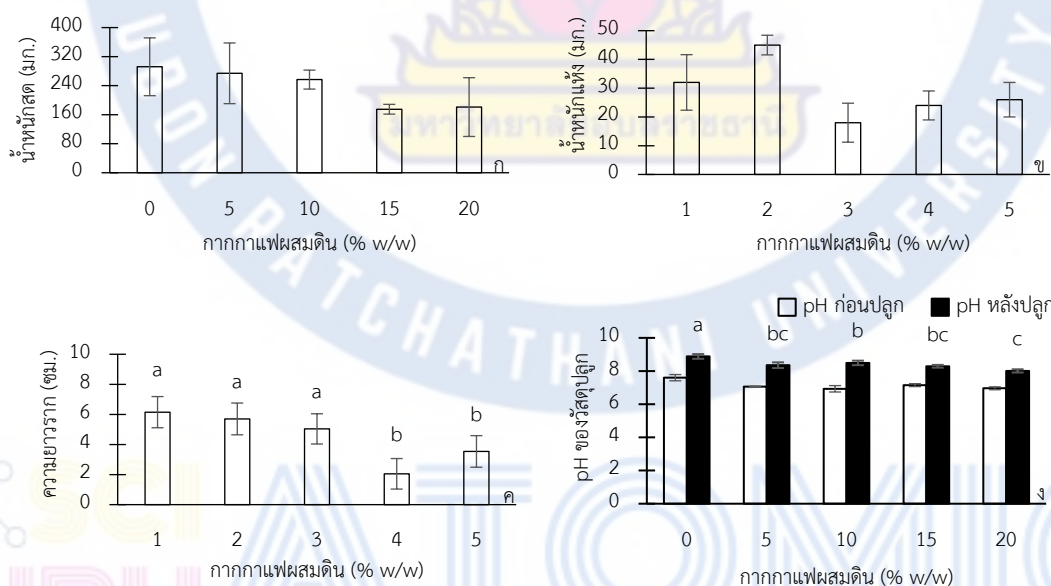
ภาพที่ 3 การงอก (ก) และการเจริญเติบโต (ข) ของผักบุ้งจีนในดินที่ผสมกากกาแฟในอัตราส่วนต่าง ๆ และการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค) ผักบุ้งจีน

จากการเพาะเมล็ดผักบุ้งจีนในดินปลูกผสมกากกาแฟในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบผลต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดผักบุ้งจีน (ภาพที่ 3ข) ในทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์พบว่า มีเพียงสัปดาห์ที่ 2 ที่เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ภาพที่ 3 ค) ความยาวลำต้น และจำนวนใบที่แตกต่างกัน และมีค่ามากกว่าสัปดาห์อื่น (ภาพที่ 4) เมื่อพิจารณาเฉพาะสัปดาห์ที่ 2 พบว่าดินผสมกากกาแฟ 5% (2.01 ± 0.03 มม.) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของผักบุ้งจีนมีขนาดใหญ่กว่าต้นที่เพาะเลี้ยงด้วยดินผสมกากกาแฟ 0 15 และ 20% (ภาพที่ 4ก) ส่วนความยาวลำต้นของต้นที่ปลูกในดินผสมกากกาแฟ 0% (4.38 ± 0.66) และ 5% (4.45 ± 0.46) ยาวกว่าที่เลี้ยงด้วยดินผสมกากกาแฟ 15 และ 20% (ภาพที่ 4ข) และมีแนวโน้มจำนวนเช่นเดียวกับความยาวลำต้นที่เมื่อปลูกผักบุ้งจีนในดินผสมกากกาแฟ 15 และ 20% ที่พบว่า มีจำนวนใบน้อยกว่าดินผสมกากกาแฟอัตราส่วนอื่น ๆ (ภาพที่ 4 ค)

จากการทดลองพบว่าเมื่อดินผสมกากกาแฟมากกว่า 10% (ภาพที่ 4) ทำให้การเจริญเติบโตของผักบุ้งจีนลดลงเนื่องจากอัตราส่วนกากกาแฟที่สูงทำให้ความพรุนช่องบรรจุอากาศ (air-filled porosity) ของดินลดลงส่งผลให้คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของดินไม่เหมาะสม อีกทั้งยังส่งผลให้แมกนีเซียม และสังกะสีที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ลดลง (Chrysargyris et al., 2020) นอกจากนั้นต้นกล้าผักบุ้งมีการเจริญเติบโตลดลงหลังปลูก 2 สัปดาห์ อาจเกิดจากไม่ได้ใส่ปุ๋ย โดย Adthlungrong and Insung (2015) ได้แนะนำให้ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ แบ่งใส่ 2 ครั้ง หลังหว่านเมล็ด 7 วัน และ 15 วัน แสดงให้เห็นว่าการเติมกากกาแฟเพียงอย่างเดียวลงไปดินนั้น มีธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้งจีน



ภาพที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ก) ความยาวลำต้น (ข) และจำนวนใบ (ค) ของผักบุ้งจีน ในดินผสมกากกาแฟ 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a b และ c) ที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 5 น้ำหนักสด (ก) น้ำหนักแห้ง (ข) ความยาวราก (ค) และ pH ของวัสดุปลูกก่อนและหลังปลูก (ง) ผักบุ้งจีนที่ปลูกในดินผสมกากกาแฟ 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.) ตัวอักษรพิมพ์เล็ก (a b และ c) ที่แตกต่างกัน หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

หลังจากเพาะปลูกผักบุ้งจีน 4 สัปดาห์ในดินปลูกผสมกากกาแฟ 0 5 10 15 และ 20% ครบ 4 สัปดาห์ พบว่าน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 5ก และข) แต่ความยาวรากที่ปลูกในดินที่ผสมกากกาแฟ 0 5 และ 10% (ภาพที่ 5ค) มากกว่าที่ปลูกในดินที่ผสมกากกาแฟ 15 และ 20% อาจเกิดจากแทนนินในกากกาแฟที่มีปริมาณมากจนเป็นพิษต่อการเกิดราก ซึ่งรากมีหน้าที่สำคัญในการดูดลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ (Chulaka, Kaewsorn and Jeenprasom, 2014) กลไกหลักของกากกาแฟที่อาจยังยั้งการเจริญเติบโตของพืชคือลดการปลดปล่อยไนโตรเจน (biological N immobilization) ซึ่งไนโตรเจนเกี่ยวข้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ (Hardgrove and Livesley, 2016) ส่วน pH ในวัสดุปลูกนั้นเพิ่มขึ้นจากก่อนปลูกในทุก

ทรีตเมนต์ (ภาพที่ 5ง) อาจมีสาเหตุมาจากคาเฟอีนสามารถลดความเป็นกรดของดินและปรับปรุงองค์ประกอบของดินได้ (Darnaudery et al., 2018) แต่ pH เปลี่ยนแปลงนี้จะไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักบั้งจีน เนื่องจากน้ำหนักสดและน้ำแห้งไม่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การผสมกากกาแฟลงไปในดินปลูกอัตราส่วนต่าง ๆ ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การงอกเมล็ดผักบั้งจีน แต่ดินปลูกที่มีกากกาแฟผสม 5 10 และ 15% สามารถส่งเสริมเวลาเฉลี่ยในการงอกและดัชนีการงอกได้ ส่วนการปลูกผักบั้งจีนในดินที่ผสมกากกาแฟอย่างเดียวสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตได้เพียง 2 สัปดาห์ โดยสัปดาห์ที่ 2 กากกาแฟ 5% ส่งผลให้ศูนย์กลางลำต้น ความยาวลำต้น และจำนวนใบดีกว่า 15 และ 20% เมื่อครบ 4 สัปดาห์ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบั้งจีนที่ปลูกในดินผสมกากกาแฟอัตราส่วนต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน แต่ความยาวรากที่ปลูกในดินที่ผสมกากกาแฟ 0 5 และ 10% มากกว่าที่ปลูกในดินผสมกากกาแฟ 15 และ 20% ในขณะที่ pH ของดินที่ผสมกากกาแฟอัตราส่วนต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการผสมกากกาแฟลงในดินปลูก 5 – 15% สามารถกระตุ้นให้เมล็ดผักบั้งจีนงอกได้เร็วขึ้น แต่การเจริญเติบโตของผักบั้งจีนต้องใช้ไนโตรเจนในปริมาณมาก การผสมกากกาแฟลงในดินปลูกเพียงอย่างเดียว อาจมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักบั้งจีน เนื่องจากในกากกาแฟมีปริมาณไนโตรเจนเพียง 1 - 2.5% เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามการผสมกากกาแฟในอัตราส่วนที่เหมาะสมร่วมกับดินปลูกอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Adthalungrong, A. and Insung, L. (2015). **Water Convolvulus Planting** (in Thai). Horticulture Research Institute, Department of Agriculture.
- Brunerová, A., Roubík, H., Brožek, M., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D. A., and Herák, D. (2020). Valorization of bio-briquette fuel by using spent coffee ground as an external additive. **Energies**, 13(1), 54.
- Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castaneda, H. A., and Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, 45(1), 24-36.
- Chaichan, W., Chaichan, W. and Sawain, A. (2017). **Plant Pots from Co-Production of Spent Coffee Grounds, Shell Lime and Rubber Wood Sawdust** (in Thai). Trang: Department of Environment, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya.
- Chrysargyris, A., Antoniou, O., Xylia, P., Petropoulos, S., and Tzortzakakis, N. (2020). The use of spent coffee grounds in growing media for the production of Brassica seedlings in nurseries. **Environmental Science and Pollution Research**, 28(19), 24279-24290
- Chulaka, P., Kaewson, P. and Jeenprasom, P. (2014). Effect of growing media containing coffee ground on germination and growth of tomato seedling (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (in Thai). **Agricultural Science Journal**, 45(2): 349-352.
- Cruz, R., Baptista, P., Cunha, S., Pereira, J. A., and Casal, S. (2012). Carotenoids of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds. **Molecules**, 17(2), 1535-1547.
- Darnaudery, M., Fournier, P., and Lechaudel, M. (2018). Low-input pineapple crops with high quality fruit: promising impacts of locally integrated and organic fertilisation compared to chemical fertilisers. **Experimental Agriculture**, 54(2), 286-302.
- Department of Land Development. (2010). **Operating Manual Soil Chemical Analysis Process** (in Thai). Bangkok: Department of Land Development.

- Ellis, R. A. and Roberts, E.H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. **Seed Science and Technology**, 9, 373-409.
- Hardgrove, S. J., and Livesley, S. J. (2016). Applying spent coffee grounds directly to urban agriculture soils greatly reduces plant growth. **Urban Forestry & Urban Greening**, 18, 1-8.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2014. **International Rules for Seed Testing**. Brassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association.
- Mussatto, S. I., Carneiro, L. M., Silva, J. P., Roberto, I. C., and Teixeira, J. A. (2011). A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. **Carbohydrate Polymers**, 83(2), 368-374.
- Nuanprom, S. (2005). Effect of seedling rates on yield standard of Chinese water spinach (in Thai). **Special Problem** Department of Horticultural Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen Kasetsart University.
- Osuna, D., Prieto, P., and Aguilar, M. (2015). Control of seed germination and plant development by carbon and nitrogen availability. **Frontiers in Plant Science**, 6, 1-14.
- Ronga, D., Pane, C., Zaccardelli, M., and Pecchioni, N. (2016). Use of spent coffee ground compost in peat-based growing media for the production of basil and tomato potting plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 47(3), 356-368.
- Saengngam, T., Bootpetch, S., and Hengcharoen A. (2020). Management of chemical fertilizers based on soil analysis with soil amendments to increase yield of water convolvulus (*Ipomoea aquatica* forsskal) in Pak Chong soil series (in Thai). **Journal of Agricultural Science and Management**, 2(3), 94-104
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. (1980). **Principle and Procedure of Statistic**. New York: MC Graw-Hill Book Company.
- Wetchakama, N. and Khaengkhan, P. (2018). Improvement of seed qualities with seed priming techniques (in Thai). **Prawarun Agricultural Journal**, 15(1), 17-30.
- Wilaiporn, S. (2019). Effect of aerobic compost and chemical fertilizers on water convolvulus yield (in Thai). **Thai Agricultural Research Journal**, 37(1), 48-57.
- Yamane, K., Kono, M., Fukunaga, T., Iwai, K., Sekine, R., Watanabe, Y., and Iijima, M. (2014). Field evaluation of coffee grounds application for crop growth enhancement, weed control, and soil improvement. **Plant Production Science**, 17(1), 93-102.
- Zhi, J.Z. (2000). Germination test. In **Guideline for Agricultural Seed Testing Rules**. (pp.43-51). Beijing: Standards Press of China.





บทความวิจัย

ตัวแบบส่วนแบ่งการตลาดของบริษัทบริการส่งอาหาร

สุพจน์ สิบบุตร

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

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

รับบทความ: 21 สิงหาคม 2564 แก้ไขบทความ: 15 กันยายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 15 กันยายน 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ส่วนแบ่งการตลาดของบริษัทบริการส่งอาหารด้วยระบบสมการผลต่าง โดยเริ่มต้นจากการศึกษารูปแบบการวิเคราะห์ในรูปแบบลูกโซ่มาร์คอฟแล้วแปลงเป็นระบบสมการผลต่าง เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบได้มีการสุ่มตัวอย่างนักศึกษาจำนวน 121 คน เพื่อตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับการกลับมาใช้บริการและความพึงพอใจการบริการของแต่ละบริษัท ข้อมูลทั้งสองด้านนี้จะนำมาพิจารณาคำนวณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ มีการใช้โปรแกรมไพธอนเข้ามาช่วยในการคำนวณหาผลเฉลยของตัวแบบเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมส่วนแบ่งการตลาดระยะยาวของบริษัทบริการส่งอาหาร ซึ่งจากการกำหนดเงื่อนไขของส่วนแบ่งการตลาดที่แตกต่างกัน 3 เงื่อนไขพบว่า เมื่อผ่านไประยะยาวค่าส่วนแบ่งการตลาดจะเข้าสู่สัดส่วนคงที่ค่าเดียวกันทั้ง 3 กรณี ซึ่งผลที่ได้นี้จะเป็ข้อมูลสารสนเทศเชิงคณิตศาสตร์ที่มีประโยชน์ให้กับบริษัทบริการส่งอาหารได้เตรียมพร้อมบริหารจัดการทั้งในแง่การตลาดและการบริการ

คำสำคัญ: ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ระบบสมการผลต่าง ส่วนแบ่งการตลาด

SCI
UBU ATOMIC

อ้างอิงบทความนี้

สุพจน์ สิบบุตร. (2564). ตัวแบบส่วนแบ่งการตลาดของบริษัทบริการส่งอาหาร. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 164 - 171.

Research Article

Food delivery company market share model

Supot Seebut

Department of Mathematics Statistics and Computers, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

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

Received <21 August 2021>; Revised <15 September 2021>; Accepted <15 September 2021>

Abstract

The objective of this research is to present mathematical modeling of the market share of food delivery companies using a system of a difference equation. It starts from studying the analytical model in Markov chain form and then converts it into a system of a difference equation. To determine the parameters of the model, 121 students were randomly assigned to answer a questionnaire on service return and service satisfaction of each company. Both of these data are considered when calculating the parameters of the model. A python program was used to calculate the model's solution to analyze the long-term market share behavior of a food delivery company. According to the terms of the market share, 3 different conditions, it was found that over the long term, the market share will converge to the same constant ratio in all three cases. The result will be mathematical information that is useful for food delivery companies to be prepared to manage both in terms of market and service.

Keywords: mathematical models, system of difference equations, market share

SCI
UBU ATOMIC

Cite this article:

Seebut, S. (2021). Food Delivery Company Market Share Model. *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 164 - 171.

Introduction

Mathematical modeling is an actual problematic activity in the form of a mathematical equation for easy analysis, research and subsequent operations. A mathematical model is generated after the process is complete and the descriptions associated with it provide useful information on the problem to be solved (Fox, 2011; Giordano, Fox and Horton, 2013; Albright & Fox, 2019).

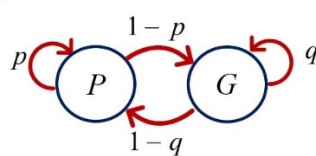
The Markov chain is a mathematical tool that applies probability theory by studying the behavior or probability of operating a situation. Past and future situations are considered independent of each other. When we know the current situation that is, if the current situation is known, there is no need for additional information about the past situation to predict the future. This process reduces the amount of data even more so that we can study or make predictions about the situation in the future. For this reason, the Markov chain is applied in many fields. (Zhang & Zhang, 2009; Andrieu, Doucet and Holenstein, 2010; Vasanthi, Subha and Nambi, 2011; Svoboda & Lukas, 2012; Myers, Wallin and Wikström, 2017; Bidabad & Bidabad, 2019; Yu & Sato, 2019; Seebut, 2020).

For the study of market share of business competitors of the same type The Markov chain has been applied to consider the market share. This has yielded good results (Kassa, Abrham and Seid, 2017). This study examines and analyzes the market share of food delivery companies in the form of a Markov chain model. The model helps to know the market trend of each food delivery company that they should plan their customer service and increase their market share by some tactic.

However, it was found that analyzing the behavior of mathematical models with the Markov chain is not convenient for the study of interested cases and long-term consideration of the model's behavior. because it is in a form that cannot substitute variables and has an immediate solution This problem can be solved by converting the Markov chain to a system of differential equations instead (Seebut, 2020). This method allows to immediately find the result of the solution in the case of interest by substituting variables.

Modeling

For the study of market share of food delivery companies, two food delivery companies with major competitors Food Panda and Grab food were selected. The market share of food delivery behaviors between Food Panda and Grab Food was determined using the Markov diagram as follows:



Set to

- p is probability of customers returning to Food Panda service.
- q is probability of customers returning to Grab Food service.
- P is the state of the Food Panda service selection ratio.
- G is the state of the Grab Food service selection ratio.

To determine the p and q parameters, 121 customers were sampled to answer questionnaires about each company's return to service and service satisfaction. The results of the analysis are as shown in Figure 1.

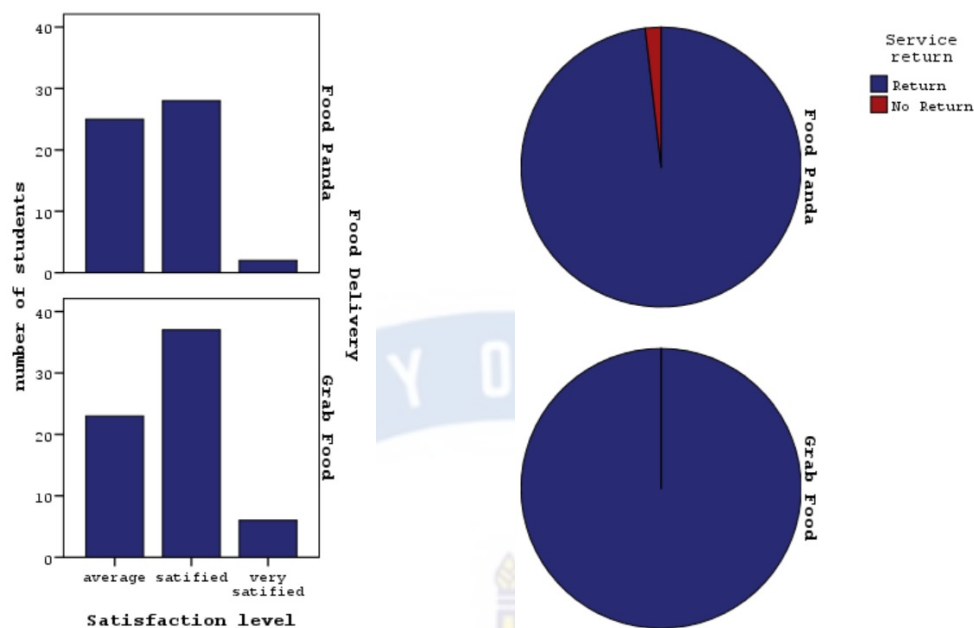


Figure 1. A bar chart showing customer satisfaction and a pie chart showing the percentage of return for each food delivery company.

The result can be considered for the parameters p and q as follows.

Consider the information obtained from a survey of Food Panda costumers.

According to the Food Panda customer satisfaction survey, the average score is 3.5818, so the average score ratio is $3.5818/5$.

The percentage of costumers who would like to use Food Panda again in the survey was 98.20%.

Consider the value

$$p = \left(\frac{3.5818}{5} \right) \left(\frac{98.20}{100} \right)$$
$$p = 0.7035$$

Consider the information obtained from a survey of Grab Food costumers.

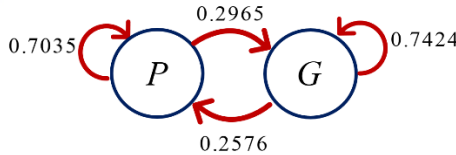
According to the Grab Food customer satisfaction survey, the average score is 3.7121, so the average score ratio is $3.7121/5$.

The percentage of costumers who would like to use Grab Food again in the survey was 100%.

Consider the value

$$q = \left(\frac{3.7121}{5} \right) \left(\frac{100}{100} \right)$$
$$q = 0.7424$$

Substituting the values of $p = 0.7035$ and $q = 0.7424$ gives a new Markov diagram as follows:



From the Markov chain diagram, an equation can be written to analyze the proportion of market share for each company in time n^{th} using the following the system of difference equation:

$$\begin{aligned} P_{n+1} &= 0.7035 P_n + 0.2576 G_n \\ G_{n+1} &= 0.2965 P_n + 0.7424 G_n \end{aligned} \tag{1}$$

System of equation (1) can be converted into a matrix

$$\begin{bmatrix} P_{n+1} \\ G_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7035 & 0.2576 \\ 0.2965 & 0.7424 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_n \\ G_n \end{bmatrix}$$

Let

$$P_n = a\lambda^n, G_n = b\lambda^n$$

Substituting back into the system of equation we get that

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} a\lambda^{n+1} \\ b\lambda^{n+1} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0.7035 & 0.2576 \\ 0.2965 & 0.7424 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a\lambda^n \\ b\lambda^n \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \lambda^{n+1} &= \begin{bmatrix} 0.7035 & 0.2576 \\ 0.2965 & 0.7424 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \lambda^n \\ \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \lambda &= \begin{bmatrix} 0.7035 & 0.2576 \\ 0.2965 & 0.7424 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

Let

$$v = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \text{ and } M = \begin{bmatrix} 0.7035 & 0.2576 \\ 0.2965 & 0.7424 \end{bmatrix}$$

From the system of equation (2) we get that

$$M \bar{v} = \lambda \bar{v}$$

$$(M - I\lambda) \bar{v} = \bar{0}$$

$$\det(M - \lambda I) = 0$$

Applying knowledge of linear algebra will be

The eigenvalue $\lambda_1 = 1$ corresponds to the eigenvector $v_1 = \begin{bmatrix} 0.8688 \\ 1 \end{bmatrix}$.

The eigenvalue $\lambda_2 = 0.4459$ corresponds to the eigenvector $v_2 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$.

The general solution of the system of difference equation is

$$\begin{aligned} P_n &= 0.8688c_1 - c_2(0.4459)^n \\ G_n &= c_1 + c_2(0.4459)^n \end{aligned} \quad (3)$$

Solution with python program

Considering the model's solution in the system of equation (3), the study is divided into 3 cases as follows:

Case 1 set the initial conditions $(P_0, G_0) = (1, 0)$.

When $(P_0, G_0) = (1, 0)$ is substituted into the model according to the system of equations (3) to determine the values c_1 and c_2 , this initial conditional market share model is

$$\begin{aligned} P_n &= 0.4649 + (0.5351)(0.4459)^n \\ G_n &= 0.5351 - (0.5351)(0.4459)^n \end{aligned} \quad (4)$$

Case 2 set the initial conditions $(P_0, G_0) = (0.5, 0.5)$

When $(P_0, G_0) = (0.5, 0.5)$ is substituted into the model according to the system of equations (3) to determine the values c_1 and c_2 , this initial conditional market share model is

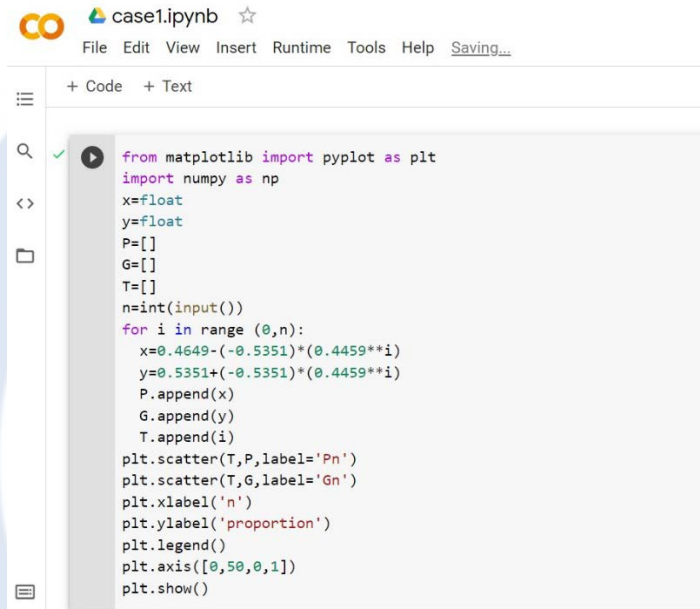
$$\begin{aligned} P_n &= 0.4649 + (0.0351)(0.4459)^n \\ G_n &= 0.5351 - (0.0351)(0.4459)^n \end{aligned} \quad (5)$$

Case 3 set the initial conditions $(P_0, G_0) = (0, 1)$

When $(P_0, G_0) = (0, 1)$ is substituted into the model according to the system of equations (3) to determine the values c_1 and c_2 , this initial conditional market share model is

$$\begin{aligned} P_n &= 0.4649 - (0.4649)(0.4459)^n \\ G_n &= 0.5351 + (0.4649)(0.4459)^n \end{aligned} \quad (6)$$

Consider numerical solutions to summarize the long-term behavior of the model as in the system of equations (4), (5), and (6) by writing a Python program to help calculate it. Figure 2 shows an example of Python code used to calculate the numerical solution of a system of equations (4).



```

from matplotlib import pyplot as plt
import numpy as np
x=float
y=float
P=[]
G=[]
T=[]
n=int(input())
for i in range (0,n):
    x=0.4649-(-0.5351)*(0.4459**i)
    y=0.5351+(-0.5351)*(0.4459**i)
    P.append(x)
    G.append(y)
    T.append(i)
plt.scatter(T,P,label='Pn')
plt.scatter(T,G,label='Gn')
plt.xlabel('n')
plt.ylabel('proportion')
plt.legend()
plt.axis([0,50,0,1])
plt.show()

```

Figure 2. The Python code to calculate the numerical solution of a system of equations (4).

Long-term behavior of solutions

From the operation of mathematical modeling on a system of difference equations, the solution in each case of the initial value can be determined by substituting the value n , where $0 \leq n < \infty$. The solution can be summarized as follows.

In case of initial value $(P_0, G_0) = (1, 0)$

It means that the proportion of the initial market share $n=0$, customers choose all Food Panda services. The model analysis results show that the long-term market share behavior will converge to the value of $(0.4649, 0.5351)$ as shown in Fig. 3a. The results in the graph show that over time, the share of market share between food delivery choices between Food Panda and Grab Food was $0.4649 : 0.5351$. Although initially the ratio was 1 to 0, which means that initially 100% of customers opted for Food Panda, over time, 46.49% of customers opted for Food Panda and 53.5% opted for the service. of Grab Food.

In case of initial value $(P_0, G_0) = (0.5, 0.5)$

It means that the proportion of the initial market share $n=0$, customers choose to use the services of Food Panda and Grab Food, each half or equal. The model analysis results show that the long-term market share behavior will converge to the value of $(0.4649, 0.5351)$ as shown in Fig. 3b. The results in the graph show that over time, the share of market share between food delivery choices between Food Panda and Grab Food was $0.4649 : 0.5351$. Although initially the ratio was 0.5 to 0.5, which means that 50% of customers choose Food Panda and Grab Food for the same amount, over time, 46.49% of customers opted for Food Panda and 53.5% opted for the service of Grab Food.

In case of initial value $(P_0, G_0) = (1, 0)$

It means that the proportion of the initial market share $n=0$, customers choose all Grab Food services. The model analysis results show that the long-term market share behavior will converge to the value of $(0.4649, 0.5351)$ as shown in Fig. 3c. The results in the graph show that over time, the share of market share between food delivery choices between Food Panda and Grab Food was 0.4649 : 0.5351. Although initially the ratio was 0 to 1, which means that initially 100% of customers opted for Grab Food, over time, 46.49% of customers opted for Food Panda and 53.5% opted for the service of Grab Food.

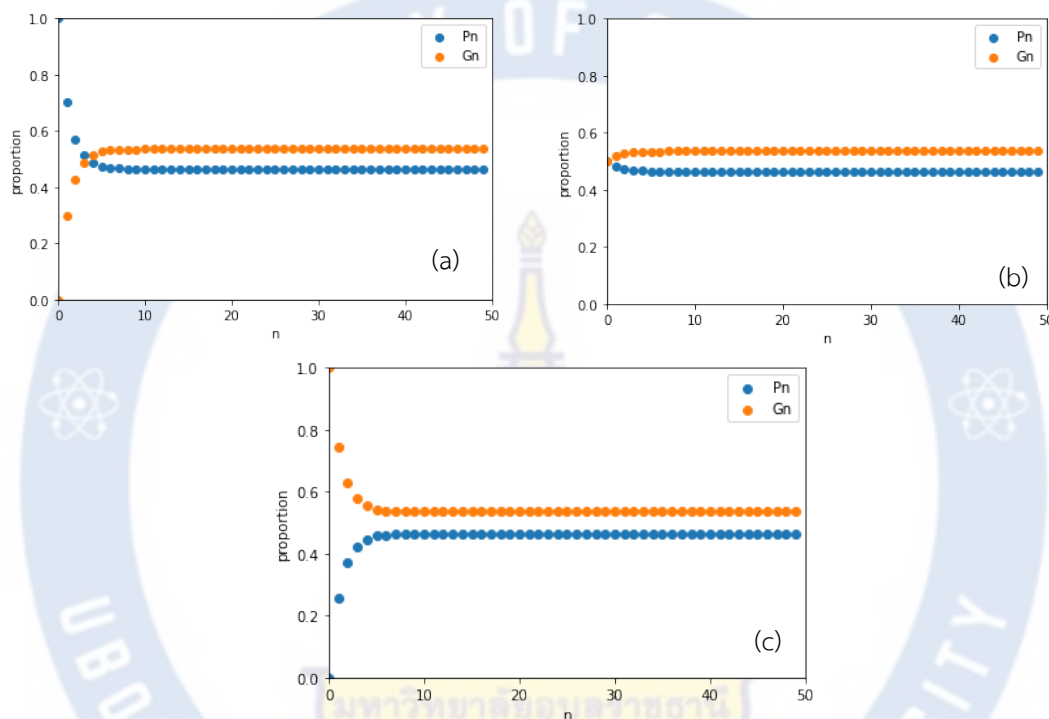


Figure 3. The proportion of market share between Food Panda and Grab Food, where (a) the initial value $(P_0, G_0) = (1, 0)$, (b) the initial values $(P_0, G_0) = (0.5, 0.5)$, and (c) the initial value $(P_0, G_0) = (0, 1)$.

Summary

Results from considering a system of difference equation related to food delivery service selection. To illustrate the long-term behavior of food delivery service choices in the future as a result of model interpretation, three initial conditions were studied and considered, with values $(1, 0)$, $(0.5, 0.5)$, and $(0, 1)$, all of which could explain what case $(1, 0)$ means customers initially choose to use all Food Panda services, case $(0.5, 0.5)$ means that customers initially choose Food Panda and Grab Food with equal proportions, and case $(0, 1)$ means that customers initially choose all Grab Food. As a result, it appears that in all three cases, when considering the long-term behavior of choosing a food delivery service from the model, the solution converged to the point $(0.4649, 0.5351)$ same in all cases.

It can be interpreted that if one customer is wanting to choose a food delivery service. The likelihood of a customer choosing Food Panda with a probability of 0.4649 and the likelihood of a customer choosing Grab Food with a probability of 0.5351 or can be interpreted as a proportion of the two companies' market share. This can be used to predict the customer that the n^{th} market share has 100 customers who want to choose food delivery service. From this model, it is predicted that the number of customers $(100)(0.4649) = 46$ people choose Food Panda and the number of customers $(100)(0.5351) = 54$ People choose Grab Food, where this mathematical intelligence has the effect of preparing and improving the services of the two

companies in order to effectively serve their customers and to come up with various strategies to increase their company's market share.

References

- Albright, B. and Fox, W. P. (2019). **Mathematical modeling with excel**. CRC Press.
- Andrieu, C., Doucet, A. and Holenstein, R. (2010). Particle markov chain monte carlo methods. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)**, 72(3), 269-342.
- Bidabad, B. and Bidabad, B. (2019). Complex probability and Markov stochastic process. **Indian Journal of Finance and Banking**, 3(1), 13-22.
- Fox, W. P. (2011). **Mathematical modeling with Maple**. Nelson Education.
- Giordano, F. R., Fox, W. P. and Horton, S. B. (2013). **A first course in mathematical modeling**. Nelson Education.
- Kassa, A. M., Abrham, E. and Seid, T. (2017). Application of markov chain analysis model for predicting monthly market share of restaurants. **International Journal of Recent Engineering Research and Development**, 2(30), 48-55.
- Myers, D., Wallin, L. and Wikström, P. (2017). An introduction to Markov chains and their applications within finance. Retrieved 21 March 2019, from **Department of Mathematical Sciences, Chalmers University of Technology**: <http://www.math.chalmers.se/Stat/Grundutb/CTH/mve220/1617/readingprojects16-17/IntroMarkovChainsandApplications.pdf>.
- Seebut, S. (2020). Mathematical modeling of stock market states using the system of a difference equation. **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 200-208.
- Svoboda, M. and Lukas, L. (2012). Application of Markov chain analysis to trend prediction of stock indices. In **Proceedings of 30th international conference mathematical methods in economics** (pp. 848-853). Karviná: Silesian University, School of Business Administration.
- Vasanthi, S., Subha, M. V. and Nambi, S. T. (2011). An empirical study on stock index trend prediction using markov chain analysis. **Journal of Banking Financial Services and Insurance Research**, 1(1), 72-91.
- Yu, K. and Sato, T. (2019). Modeling and analysis of error process in 5G wireless communication using two-state Markov chain. **IEEE Access**, 7, 26391-26401.
- Zhang, D. and Zhang, X. (2009). Study on forecasting the stock market trend based on stochastic analysis method. **International Journal of Business and Management**, 4(6), 163-170.





บทความวิจัย

ผลเฉลยที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $15^x + 51^y = z^2$

มนตรี ทองมูล^{1*} ศศิธร ปัจจุโส² และธนา นันทิกาญจนะ²

¹ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

²สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

*Email: montri.t@msu.ac.th

รับบทความ: 24 กันยายน 2564 แก้ไขบทความ: 21 ตุลาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 24 ตุลาคม 2564

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ เราได้ศึกษาผลเฉลยที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $15^x + 51^y = z^2$ โดยที่ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ พบว่า คำตอบของสมการไดโอแฟนไทน์มีผลเฉลยที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(x, y, z) = (1, 0, 4)$

คำสำคัญ: สมการไดโอแฟนไทน์เอกโพเนนเชียล ข้อคาดการณ์ของคาตาลัน

อ้างอิงบทความนี้

มนตรี ทองมูล ศศิธร ปัจจุโส และธนา นันทิกาญจนะ. (2564). ผลเฉลยที่ไม่เป็นจำนวนเต็มลบของสมการไดโอแฟนไทน์ $15^x + 51^y = z^2$. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 172 - 177.

The non-negative integer solutions of Diophantine equation $15^x + 51^y = z^2$

Montri Thongmoon^{1,*}, Sasitorn Putjuso² and Thana Nuntigrangjana²

¹Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham

²School of general science, Faculty of Liberal Art, Rajamangala University of Technology Rattanakosin,

Wang Klai Kangwon Campus, Prachuapkhirikhan

*Email: montri.t@msu.ac.th

Received <21 September 2021>; Revised <21 October 2021>; Accepted <24 October 2021>

Abstract

In this paper, we study non-negative integer solutions of Diophantine equation $15^x + 51^y = z^2$ where x , y and z are non-negative integers. We show that the Diophantine equation has only one solution $(x, y, z) = (1, 0, 4)$ in non-negative integers.

Keywords: Exponential Diophantine equation, Catalan's conjecture



Cite this article:

Thongmoon, M., Putjuso, S. and Nuntigrangjana, T. (2021). The non-negative integer solutions of Diophantine equation $15^x + 51^y = z^2$. *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 172 - 177.

Introduction

The Diophantine equations of type $a^x + b^y = c^z$ have been studied (Acu, 2005; Acu, 2007; Suvarnamani, Singta and Chotchaisthit, 2011; Sroysang, 2012a; Sroysang, 2012b; Sroysang, 2012c; Sroysang, 2013; Rabago, 2013a; Rabago, 2013b; Rabago, 2013c; Rabago, 2013d; Rabago, 2013e). In 2005 (Acu, 2005), Acu studied Diophantine equations of type $a^x + b^y = c^z$ for primes a and b . In 2007 (Acu, 2007), Acu studied Diophantine equations $2^x + 5^y = z^2$. In 2008 (Pumnea and Nicoar; 2008), Pumnea et al. studied Diophantine equations of the form $a^x + b^y = z^2$, for example: $2^x + 7^y = z^2$, $2^x + 11^y = z^2$ and $2^x + 13^y = z^2$ and. In 2011 (Suvarnamani, 2011), Suvarnamani studied Diophantine equation $2^x + p^y = z^2$ where p is prime number which more than 2, he found that (i) For each prime number p , this equation has a solution $(x, y, z) = (3, 0, 3)$, (ii) For $p = 3$, the Diophantine equation this equation has a solution $(x, y, z) = (4, 2, 5)$ and (iii) For $p = 1 + 2^{k+1}$ where k is non-negative integer, this equation has a solution $(x, y, z) = (2k, 1, 1+2k)$. In 2011 (Suvarnamani, Singta and Chotchaisthit, 2011), Suvarnamani et al. studied Diophantine two equations $4^x + 7^y = z^2$ and $4^x + 11^y = z^2$. In 2012-2013, Sroysang published series of papers in relation to the Diophantine equation $a^x + b^y = c^z$ (Sroysang, 2012a; Sroysang, 2012; Sroysang, 2012c; Sroysang, 2013). In 2013 (Rabago, 2013c), Rabago gave all solutions to several Diophantine equations of type $p^x + q^y = z^2$, for examples: $5^x + 31^y = z^2$, $7^x + 29^y = z^2$, $13^x + 23^y = z^2$, $47^x + 97^y = z^2$ and $61^x + 83^y = z^2$. In 2013 (Rabago, 2013d), Rabago studied the two Diophantine equations $3^x + 19^y = z^2$ and $3^x + 91^y = z^2$. In the same year (Rabago, 2013e), Rabago studied the two Diophantine equations $17^x + 19^y = z^2$ and $71^x + 73^y = z^2$. In most of these papers, the authors used theory of congruence and/or Catalan's conjecture to find all solutions, or to show the non-existence of solutions to the Diophantine equations of type $p^x + q^y = z^2$. In 2014 (Sroysang, 2014), Sroysang studied the Diophantine equation $46^x + 64^y = z^2$, he used theory of congruence and/or Catalan's conjecture to find all solutions, or to show the non-existence of solutions and he found that this equation has no non-negative integers solution. Furthermore, he posed some open problem about the Diophantine equation in the form $m^x + n^y = z^2$ where $m = 10a + b$, $n = 10b + a$ with a, b are in $\{0, 1, 2, \dots, 9\}$. We see that there are many Diophantine equations in the previous form. In 2021 (Ngarm-pong, Raumtum and Thongmoon, 2021), Ngarm-pong et al. studied the Diophantine equation $13^x + 31^y = z^2$, they found that this equation has no solution in non-negative integers.

In this paper, we study the Diophantine equation

$$15^x + 51^y = z^2 \quad \text{..... (1)}$$

Where x, y and z are non-negative integers. This equation is one type of Sroysang's open problem.

Preliminaries

Proposition 2.1 (Catalan's conjecture) (Mihailescu, 2004) $(3, 2, 2, 3)$ is a unique solution (a, b, x, y) for the Diophantine equation $a^x - b^y = 1$ where a, b, x and y are non-negative integers with $\min\{a, b, x, y\} > 1$.

Main Results

Lemma 3.1 The Diophantine equation $15^x + 1 = z^2$ has only one solution $(x, z) = (1, 4)$ in non-negative integer.

Proof. Let x and z be non-negative integers. Clearly, when $x = 0$ and $z = 0$. Then we will consider in case $x > 0$ by divided into two cases:

Case 1. If $x = 1$, then Diophantine equation $15^x + 1 = z^2$ becomes $z^2 = 16$. So $z = 4$, then we get that $(x, z) = (1, 4)$ is a non-negative integers solution of Diophantine equation $15^x + 1 = z^2$.

Case 2. If $x > 1$, We see that $15^x = z^2 - 1 = (z - 1)(z + 1)$. Assume that $z - 1 = 15^u$ and $z + 1 = 15^{x-u}$ where u is non-negative integer and $x > 2u$. Then

$$15^{x-u} - 15^u = (z + 1) - (z - 1) = 2.$$

We see that

$$15^u(15^{x-2u} - 1) = 2.$$

We will consider two subcases:

Subcase 2.1 If $15^u = 1$ and $15^{x-2u} - 1 = 2$, we imply that $u = 0$ and $15^x - 1 = 2$. We have that $15^x = 3$, this is impossible.

Subcase 2.2 If $15^u = 2$ and $15^{x-2u} - 1 = 1$. This is impossible.

From Case 1. and Case 2., the Diophantine equation $15^x + 1 = z^2$ has only one solution $(x, z) = (1, 4)$ in non-negative integers.

Lemma 3.2 The Diophantine equation $51^x + 1 = z^2$ has no solution in non-negative integer.

Proof. Let x and z be non-negative integers. Clearly, when $x = 0$ and $z = 0$. From $51^x + 1 = z^2$ we see that $z^2 - 51^x = 1$. By Catalan's conjecture, this equation has no non-negative solution when $\min\{z, 2, 51, x\} > 1$. Since x and z are non-negative integers. We will consider two cases as follows:

Case 1. If $z = 1$, then we get $51^x = 0$ which has no non-negative solution.

Case 2. If $x = 1$, then we get $z^2 - 51^x = 1$. This imply that $z^2 = 52$ which has no non-negative solution. Therefore, the Diophantine equation $51^x + 1 = z^2$ has no solution in non-negative integer.

Theorem 3.3 The Diophantine equation (1) has only one solution $(x, y, z) = (1, 0, 4)$ in non-negative integers.

Proof. Let x, y and z be non-negative integers. Clearly, if $z = 0$, then the Diophantine equation $15^x + 51^y = 0$ has no solution (x, y) in non-negative integers. Now, let $z > 0$ and we will consider in three cases:

Case 1. If $x = 0$, then the Diophantine equation (1) can be written as $1 + 51^y = z^2$. By Lemma 3.2, this equation has no non-negative integer solutions.

Case 2. If $y = 0$, then the Diophantine equation (1) can be written as $15^x + 1 = z^2$. By Lemma 3.1, this has only one solution $(x, z) = (1, 4)$ in non-negative integer. Therefore $(x, y, z) = (1, 0, 4)$ is a non-negative integer solution of the Diophantine equation (1).

Case 3. If $xy > 0$, then we will consider in two subcases:

Subcase 3.1 If x is even, assume that $x = 2k$ for some non-negative integer k . Then the Diophantine equation (1) can be written as

$$15^{2k} + 51^y = z^2$$

i.e.,

$$51^y = z^2 - 15^{2k} = (z-15^k)(z+15^k)$$

Assume that $z - 15^k = 51^u$ and $z + 15^k = 51^{y-u}$ where u is non-negative integer and $y > 2u$. Then

$$51^{y-u} - 51^u = 2(15^k).$$

We see that

$$51^u(51^{y-2u} - 1) = 2(15^k).$$

We will consider in four subcases:

Subcase 3.1.1 If $51^u = 1$ and $51^{y-2u} - 1 = 2(15^k)$, we imply that $u = 0$ and $51^y - 1 = 2(15^k)$. We have that $50(51^{y-1} + 51^{y-2} + \dots + 51 + 1) = 2(15^k)$. Then we get $25t = 15^k$ where $t = 51^{y-1} + 51^{y-2} + \dots + 51 + 1$. We see that $t \equiv 1 \pmod{3}$. Then $5^2t = 3^k5^k$. This is impossible because $5^2t \equiv 1 \pmod{3}$ but $3^k5^k \equiv 0 \pmod{3}$.

Subcase 3.1.2 If $51^u = 2$ and $51^{y-2u} - 1 = 15^k$, this is impossible.

Subcase 3.1.3 If $51^u = 15^k$ and $51^{y-2u} - 1 = 2$, this is impossible.

Subcase 3.1.4 If $51^u = 2(15^k)$ and $51^{y-2u} - 1 = 1$, this is impossible.

Subcase 3.2 If x is odd, then $x = 2k + 1$ for some non-negative integer k . Then the Diophantine equation (1) becomes:

$$15^{2k+1} + 51^y = z^2$$

we will consider in two subcases:

Subcase 3.2.1 If y is even, then $y = 2m$ for some positive integer m .

Then the Diophantine equation (1) becomes:

$$15^{2k+1} + 51^{2m} = z^2$$

i.e.,

$$15^{2k+1} = z^2 - 51^{2m} = (z - 51^m)(z + 51^m).$$

We will consider in four subcases:

Subcase 3.2.1.1 If $z - 51^m = 1$ and $z + 51^m = 15^{2k+1}$, then $15^{2k+1} - 1 = 2(51^m)$.

We have that $14(15^{2k} + 15^{2k-1} + \dots + 15 + 1) = 2(51^m)$. Then we get $7t = 51^m$

Where $t = 15^{2k} + 15^{2k-1} + \dots + 15 + 1$. Since $7t \equiv 0 \pmod{7}$, then $51^m \equiv 0 \pmod{7}$. Contradiction to $51^m \equiv 1, 2, 4 \pmod{7}$.

Subcase 3.2.1.2 If $z - 51^m = 15$ and $z + 51^m = 15^{2k}$, then $15^{2k} - 15 = 2(51^m)$.

We have that $15(15^{2k-1} - 1) = 2(51^m)$. Since $15(15^{2k-1} - 1) \equiv 0 \pmod{5}$, then $2(51^m) \equiv 0 \pmod{5}$. Contradiction to $2(51^m) \equiv 2 \pmod{5}$.

Subcase 3.2.1.3 If $z - 51^m = 15^{2k}$ and $z + 51^m = 15$, then $15 - 15^{2k} = 2(51^m)$.

We have that $15(1 - 15^{2k-1}) = 2(51^m)$. Since $15(1 - 15^{2k-1}) \equiv 0 \pmod{5}$, then $2(51^m) \equiv 0 \pmod{5}$. Contradiction to $2(51^m) \equiv 2 \pmod{5}$.

Subcase 3.2.1.4 If $z - 51^m = 15^{2k+1}$ and $z + 51^m = 1$, then $1 - 15^{2k+1} = z + 51^m = 2(51^m)$. This is impossible because that LHS is negative integer, but RHS is positive integer.

Subcase 3.2.2 If y is odd, then $y = 2m + 1$ for some non-negative integer m . Then the Diophantine equation (1) becomes: $15^{2k+1} + 51^{2m+1} = z^2$ we see that z^2 and z are also evens. Then z is either in the form $4s$ or $4s+2$ for some non-negative integer s . So we will consider in two subcases:

Subcase 3.2.2.1 If $z = 4s$, then we get that $15^{2k+1} + 51^{2m+1} = 16s^2$. Since $15^{2k+1} + 51^{2m+1} \equiv 2 \pmod{4}$, then $16s^2 \equiv 2 \pmod{4}$. Contradiction to $16s^2 \equiv 0 \pmod{4}$.

Subcase 3.2.2.2 If $z = 4s+2$, then we get that $15^{2k+1} + 51^{2m+1} = 16s^2 + 16s + 4$. Since $15^{2k+1} + 51^{2m+1} \equiv 2 \pmod{4}$, then $16s^2 + 16s + 4 \equiv 2 \pmod{4}$. Contradiction to $16s^2 + 16s + 4 \equiv 0 \pmod{4}$.

From Case 1., 2. and Case 3., we have that the Diophantine equation (1) has only one solution $(x, y, z) = (1, 0, 4)$ in non-negative integers. The proof is completed.

Theorem 3.4 Let $n \geq 2$ be a positive integer. Then the Diophantine equation $15^x + 51^y = w^{2n}$ has only one solution $(x, y, w, n) = (1, 0, 2, 2)$ in non-negative integers.

Proof. Let $n \geq 2$ be a positive integer and w, x, y be non-negative integers. Assume that $z = w^n$, then the Diophantine equation $15^x + 51^y = w^{2n} = z^2$. By Theorem 3.3, we see that $z = 4$. Then $w^n = 4$ and we see that $w = 4$ and $n = 1$ or $w = 2$ and $n = 2$. By assumption $n \geq 2$, then we get that $w = 2$ and $n = 2$. Thus, the Diophantine equation $15^x + 51^y = w^{2n}$ has only one solution $(x, y, w, n) = (1, 0, 2, 2)$ in non-negative integers.

Conclusion

In this paper, we show that the Diophantine equation $15^x + 51^y = z^2$ has only one solution $(x, y, z) = (1, 0, 4)$ in non-negative integers. Furthermore, there are many Diophantine equations in the form $m^x + n^y = z^2$ where $m = 10a + b$, $n = 10b + a$ with a, b are in $\{0, 1, 2, \dots, 9\}$. The methods to find non-negative solutions of them are still open problems.

Acknowledgement

This work was financially supported by Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus, Thailand (Grant No. GKN001/2560).

References

- Mihailescu P. (2004). Primary cyclotomic units and a proof of Catalan's conjecture. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 27, 167-195
- Acu D. (2005). On a Diophantine equations of type $a^x + b^y = c^z$. *General Mathematics*, 13(1), 67-72.
- Acu D. (2007). On a Diophantine equation $2^x + 5^y = z^2$. *General Mathematics*, 15(4), 145-148.
- Suvarnamani, A. (2011). Solutions of the diophantine equation $2^x + p^y = z^2$. *International Journal of Mathematical Sciences and Applications*, 1(3), 1415-1419.
- Suvarnamani, A., Singta, A., and Chotchaisthit, S. (2011). On two Diophantine Equations $4^x + 7^y = z^2$ and $4^x + 7^y = z^2$. *Science and Technology RMUTT Journal*, 1, 25-28.
- Sroysang, B. (2012a). More on the Diophantine Equation $8^x + 19^y = z^2$. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 81(4), 601-604.
- Sroysang, B. (2012b). On the Diophantine Equation $31^x + 32^y = z^2$. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 81(4), 609-612.
- Sroysang, B. (2012c). On the diophantine equation $3^x + 5^y = z^2$. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 81(4), 605-608.
- Sroysang, B. (2013). On the diophantine equation $3^x + 17^y = z^2$. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 89(1), 111-114.
- Sroysang, B. (2014). On the diophantine equation $46^x + 64^y = z^2$. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 91(1), 399-402.
- Rabago, J.F.T. (2013a). On an Open Problem by B. Sroysang, Konuralp. *Journal of Mathematics*, 1(2), 3032.
- Rabago, J.F.T. (2013b). A Note on an Open Problem by B. Sroysang. *Science and Technology RMUTT Journal*, 3(1), 41-43.
- Rabago, J.F.T. (2013c). More on Diophantine Equations of Type $p^x + q^y = z^2$. *International Journal of Mathematics and Scientific Computing*, 3(1), 15-16.
- Rabago, J.F.T. (2013d). On Two Diophantine Equations $3^x + 19^y = z^2$ and $3^x + 91^y = z^2$. *International Journal of Mathematics and Scientific Computing*, 3(1), 28-29.
- Rabago, J.F.T. (2013e). On Two Diophantine Equations $17^x + 19^y = z^2$ and $71^x + 73^y = z^2$. *International Journal of Mathematics and Scientific Computing*, 2(1), 19-24.
- Pumnea, C.E. and Nicoar, A.D. (2008). On a diophantine equation of $a^x + b^y = z^2$. *Educatia Matematica*, 4(1), 65-75.
- Ngarm-pong, S., Raumtum, W. andThongmoon, M. (2021). The solution of diophantine equation $13^x + 31^y = z^2$. *Science and Technology RMUTT Journal*, Submitted.



บทความวิจัย

การจำลองการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอนใน 2 มิติ

จิตกร ผลโยญ*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

*Email: polyon@yahoo.com

รับบทความ: 23 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 30 พฤศจิกายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 3 ธันวาคม 2564

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อจำลองการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอนใน 2 มิติ โดยออกแบบและเขียนโปรแกรมจำลองวัตถุตัวอย่าง คำนวณการสร้างภาพ k-space และคำนวณการสร้างภาพคืน โดยใช้โปรแกรม Visual C# วัตถุตัวอย่างแทนด้วยความเข้มของจุดภาพพื้นที่หน้าตัดของหลอดตัวอย่างบรรจุสารละลาย จำนวน 3 หลอด ที่ยาวเท่ากันมัดติดกัน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละหลอดเท่ากับ 20 mm ให้สัดส่วนของความเข้มของภาพในแต่ละหลอดเป็น 1 : 2 : 3 โดยความเข้มของจุดภาพในแต่ละหลอดตัวอย่างแทนความหนาแน่นของโปรตอน ในการคำนวณ ได้ใช้บริเวณในการสร้างภาพ (FOV) เป็น $50 \times 50 \text{ mm}^2$ และใช้ความละเอียดของภาพเป็น 128×128 จุดภาพ ในงานวิจัยนี้ได้คำนวณการสร้างภาพ k-space จากการแปลงฟูเรียร์ และการสร้างภาพคืนจากการแปลงฟูเรียร์กลับ โดยใช้เงื่อนไขการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอนใน 2 มิติ ผลการคำนวณ พบว่า ภาพ k-space ของวัตถุจำลองที่ได้ให้ภาพที่ชัดเจน และภาพที่คำนวณได้ในกระบวนการสร้างภาพคืน มีสัดส่วนความเข้มของภาพสอดคล้องกับความเข้มของภาพวัตถุตัวอย่าง แต่มีคมชัดของภาพลดลงเล็กน้อย เนื่องจากความเข้มของสีบางส่วนในภาพ k-space หายไปในระหว่างการแปลงค่าตำแหน่งจากการแปลงฟูเรียร์กลับ นอกจากนี้ ในการสร้างภาพคืนมีการเกิดภาพซ้อนกับภาพตรงข้ามที่อยู่นอก FOV แต่ยังสามารถแก้ไขได้โดยการปรับขนาดของภาพ k-space ให้ตรงกับขนาดของภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนโดยการปรับระยะของข้อมูลในแนวแกน k_x และระยะของข้อมูลในแนวแกน k_y ให้สอดคล้องกับระยะของข้อมูลในแนวแกน x และระยะข้อมูลในแนวแกน y ตามลำดับ

คำสำคัญ: การสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอน การแปลงฟูเรียร์ การแปลงฟูเรียร์กลับ การสร้างภาพคืน

อ้างอิงบทความนี้

จิตกร ผลโยญ. (2564). การจำลองการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอนใน 2 มิติ. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 178 - 189.

Research Article

Simulation of 2D Magnetic Resonance Imaging

Chittakorn Polyon*

*Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190***Email: polyon@yahoo.com*

Received <23 November 2021>; Revised <30 November 2021>; Accepted <3 December 2021>

Abstract

This research aims to simulate 2D Magnetic Resonance Imaging (MRI). A Visual C# program was designed and performed to simulate an object sample, calculate k-space images, and calculate reconstructed images. The pixel's intensity represents the selection, the cross-sectional area of 3 water sample tubes of the same length tied together. The diameter of each tube is 20 mm. The image intensity ratio in each tube is 1:2:3, where the intensity of the image spot in each sample tube represents the proton density. In the calculations, the field of view (FOV) was used as $50 \times 50 \text{ mm}^2$, and the image resolution was 128×128 pixels. In this research, using 2D MRI conditions, the k-space images were calculated from the Fourier transform, and the reconstructed images were calculated from the inverse Fourier Transform. The calculation results showed that the k-space images of the simulated object were given clear pictures and images computed in the process of image reconstruction were a proportion of the image intensities corresponding to the intensities of the sample object image, but reducing image sharpness because some of the color intensities in the k-space image were lost during the inverse Fourier transform process. In addition, in the image reconstruction, the object image is overlapping (aliasing) with the opposite image outside the FOV. However, it can also be corrected by adjusting the size of the k-space image to match the size of the reconstruction image by adjusting the axial data distance k_x and the axial data distance k_y according to the axial data distance x and the axial data distance y , respectively.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging, Fourier transform, inverse Fourier transform, image reconstruction

Cite this article:

Polygon, C. (2021). Simulation of 2D Magnetic Resonance Imaging (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 178 - 189.

บทนำ

การสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอน (Magnetic Resonance Imaging, MRI) (Bushong, 1988; Partain, et al., 1988; Preston and Dietz, 1991; Hashemi, et al., 2017) เป็นเทคนิคการสร้างภาพบริเวณภายในของวัตถุ โดยใช้ปรากฏการณ์การสั่นพ้องแม่เหล็กนิวเคลียร์ (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) ซึ่งจะเกิดเฉพาะนิวเคลียสที่มีค่าสปินไม่เป็นศูนย์ โดยทั่วไปนิวเคลียสที่นิยมศึกษาเป็นนิวเคลียสของไฮโดรเจนหรือเรียกว่า โปรตอน (^1H) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโมเลกุล เช่น น้ำ ไขมัน โปรตีน เป็นต้น มีค่าสปินเป็น $\frac{1}{2}$ เมื่อนิวเคลียสของไฮโดรเจนได้รับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่เท่ากับความถี่ลาร์มอร์ (Larmor frequency) ของนิวเคลียสนั้น จะทำให้สถานะสมดุลของแมกนีไทเซชัน (magnetization) เปลี่ยนไป และเมื่อหยุดให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปแล้วแมกนีไทเซชันของนิวเคลียสนี้จะคายพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่เท่ากับความถี่ลาร์มอร์ออกมา และเกิดเป็นสัญญาณ NMR ในขดลวดรับสัญญาณ ซึ่งขนาดของสัญญาณ NMR ที่มาจากเนื้อเยื่อต่าง ๆ จะขึ้นกับปริมาณความหนาแน่นของโปรตอน จึงทำให้สามารถแยกชนิดของเนื้อเยื่อได้ ในการสร้างภาพที่เกิดจากความหนาแน่นของโปรตอน เราใช้การเข้ารหัสของตำแหน่งในรูปของความถี่ของสัญญาณที่ได้มาจากวัตถุ ซึ่งทำได้โดยใช้แม่เหล็กเกรเดียนต์ร่วมกับแม่เหล็กหลัก สนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ (gradient magnetic fields) ที่เพิ่มเข้ามาในระบบ MRI มีความสำคัญอย่างมากต่อการสร้างภาพ MRI โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ลาร์มอร์ของนิวเคลียสของวัตถุกับความเข้มสนามแม่เหล็กหลัก ในการสร้างภาพ MRI ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ ทั้ง 3 แกนที่ตั้งฉากกัน คือ ในแนวแกน x ในแนวแกน y และในแนวแกน z ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ทำให้นิวเคลียสในบริเวณต่าง ๆ ของวัตถุที่อยู่ในสนามแม่เหล็กหลักมีความเข้มแตกต่างกัน ทำให้ได้สัญญาณที่เป็นผลรวมของสัญญาณ NMR มีความถี่ต่างกัน ในการประมวลผลภาพจากสัญญาณที่ได้นี้ จะใช้วิธีการแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) (Bracewell, 1986; Gallagher, et al., 2008) ในการแยกความถี่การสั่นพ้องของนิวเคลียสแต่ละตัวออกมา ทำให้สามารถสร้างภาพของวัตถุได้ ซึ่งความถี่ที่แยกออกมานี้จะเป็นตัวบ่งบอกตำแหน่งของนิวเคลียสที่ส่งสัญญาณนี้ออกมา

การวิจัยการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก (magnetic resonance) เพื่อให้ได้สัญญาณของภาพที่ดี มีนักวิจัยหลายกลุ่มที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างภาพนี้ ซึ่งแต่ละกลุ่มวิจัยมีวิธีในการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กที่แตกต่างกันออกไป เช่น การสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอน (Magnetic Resonance Imaging, MRI) (Edelstein, et al., 1980) การสร้างภาพการสั่นพ้องทางแม่เหล็กของอิเล็กตรอน (Electron Paramagnetic Resonance Imaging, EPRI) (Eaton and Eaton, 1984; Testa, et al., 1993; Alecci, et al., 1994) และการสร้างภาพการสั่นพ้องทางแม่เหล็กของโปรตอนและอิเล็กตรอนพร้อมกัน โดยการลดสนามแม่เหล็กสำหรับอิเล็กตรอน (Field-Cycled Proton-Electron Double-Resonance Imaging, FC-PEDRI) (Lurie, et al., 1998; Puwanich, et al., 1999; Li, et al., 2002; Polyon, et al., 2008) เป็นต้น โดยแต่ละวิธีก็จะพยายามทำให้เห็นสัญญาณของภาพที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งจะมีการใช้สนามแม่เหล็กในการสร้างภาพที่แตกต่างกันไป เช่น มีการเพิ่มสนามแม่เหล็กในการสร้างภาพหรือถ้าต้องการสร้างภาพที่สนามแม่เหล็กต่ำและให้ได้ภาพที่มีสัญญาณชัด ต้องเลือกความถี่ที่เหมาะสม ในการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กด้วยเทคนิคนี้ก็ได้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 1999 มีกลุ่มนักวิจัยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเข้ารหัสของ MRI ที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากขึ้น (Pruessmann, et al., 1999) โดยได้มีการกำหนดกรอบในการเก็บข้อมูลที่สัมพันธ์กันกับกรอบข้อมูลของบริเวณวัตถุที่ต้องการสร้างภาพ ทำให้ได้ภาพของวัตถุที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากไม่มีสัญญาณที่มารบกวนภาพหรือทำให้เกิดภาพซ้อน (aliasing) ในภาพ ต่อมาในปี 2008 มีกลุ่มนักวิจัยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการแปลงฟูเรียร์กับการสร้างภาพของ MRI (Gallagher, et al., 2008) ซึ่งในการใช้สมการแปลงฟูเรียร์ได้มีการปรับฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น การเอาความถี่ต่ำออกจากภาพ ทำให้ได้ภาพที่ชัดขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอนผ่านการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ใน 2 มิติ โดยใช้เงื่อนไขของสนามแม่เหล็กเกรเดียนต์ ซึ่งเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้ความถี่และเฟส ข้อมูลที่ได้อยู่ในโดเมนที่เป็นส่วนกลับกับโดเมนของภาพวัตถุซึ่งเรียกว่า k-space ข้อมูลที่ได้นี้จะนำไปประมวลผลโดยใช้การแปลงฟูเรียร์กลับ (Inverse Fourier transform) เพื่อถอดรหัสความถี่และเฟสซึ่งจะให้ตำแหน่งต่าง ๆ ของโปรตอนที่สอดคล้องกัน ทำให้ได้ภาพโปรตอนที่ต้องการได้ เราเรียกขั้นตอนนี้ว่าการสร้างภาพคืน (image reconstruction) การวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาเพื่อทำนายลักษณะของสัญญาณภาพเบื้องต้นโดยไม่ต้องรอภาพสัญญาณของวัตถุที่ถ่ายด้วยด้วยเครื่อง MRI ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสร้างภาพลดลง

ทฤษฎี

การสร้างภาพการสั่นพ้องทางแม่เหล็กของโปรตอน (Magnetic Resonance Imaging, MRI)

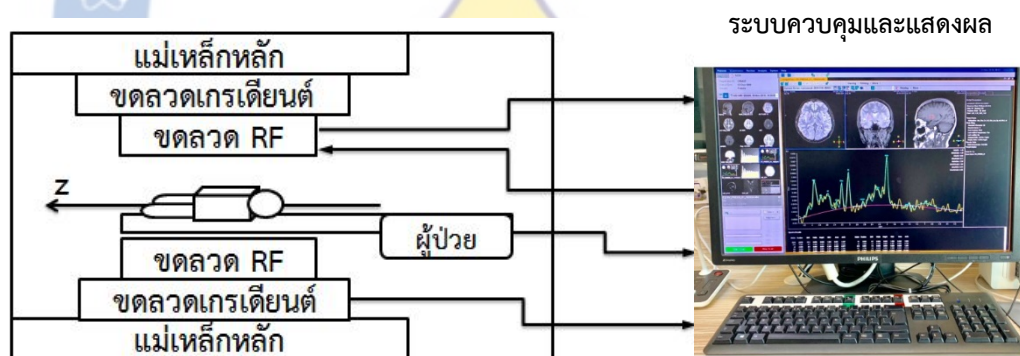
การสร้างภาพการสั่นพ้องทางแม่เหล็กของโปรตอน หรือ MRI เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับสร้างภาพอวัยวะภายในร่างกาย โดยใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ลาร์มอร์เข้าสู่ร่างกายขณะอยู่ในสนามแม่เหล็กความเข้มสม่ำเสมอ และรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาจากโปรตอนในร่างกาย แล้วนำสัญญาณที่ได้มาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ทำให้ได้ภาพอวัยวะภายในของร่างกายได้ เช่น สมอง กระดูกสันหลัง ตับ ไต ข้อ เป็นต้น ซึ่งจะให้ภาพที่มีความคมชัดมาก สามารถแยกเนื้อเยื่อของร่างกายที่ปกติและที่ผิดปกติออกจากกันได้โดยที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อผู้รับการตรวจ ระบบเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างภาพ MRI แสดงดังภาพที่ 1 มีองค์ประกอบดังนี้

1) แม่เหล็กหลัก (main magnet) มีหน้าที่ในการจัดแมกนีโตเซชันของร่างกายให้อยู่ในแนวเดียวกัน ในปัจจุบัน เครื่อง MRI ที่ใช้ตามโรงพยาบาลมีความเข้มของสนามสูงในระดับ 1.5 T หรือสูงกว่า

2) ขดลวดเกรเดียนต์ (gradient coils) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กความเข้มต่ำที่เปลี่ยนแปลงขนาดของสนามแบบเชิงเส้นตามตำแหน่ง ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กตามตำแหน่งคงที่ อุปกรณ์ชุดนี้เป็นส่วนสำคัญสำหรับการสร้างภาพโดยเฉพาะการเลือกส่วนของตัวอย่าง (slice selection) หรือการเข้ารหัสตำแหน่ง (frequency encoding)

3) ขดลวดคลื่นวิทยุ (radio frequency coils) หรือ เรียกว่าขดลวด RF ซึ่งใช้ในการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ใช้ในการกระตุ้นสปินของโปรตอนและใช้รับสัญญาณ NMR ของสปินโปรตอนในร่างกาย

4) ระบบควบคุม (control system) ทำหน้าที่ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าสำหรับแม่เหล็กหลัก ควบคุมกระแสไฟฟ้าสำหรับขดลวดเกรเดียนต์ ควบคุมการส่งพัลส์ของคลื่น RF ที่ใช้ในการกระตุ้นโปรตอน ควบคุมการรับสัญญาณ NMR จากร่างกาย ซึ่งอยู่ภายในขดลวด RF และทำการประมวลผลของสัญญาณที่ได้ให้ออกมาเป็นภาพโดยการสร้างภาพขึ้น



ภาพที่ 1 ระบบการสร้างภาพ MRI

ขดลวดเกรเดียนต์จะมีขนาดความเข้มต่ำ สามารถเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กในแต่ละตำแหน่งในแต่ละช่วงเวลาได้ และสามารถเพิ่มหรือลดอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ตามความต้องการ อุปกรณ์ชุดนี้เป็นส่วนสำคัญสำหรับการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กที่ได้จากขดลวดเกรเดียนต์ เรียกว่า เกรเดียนต์สนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มไม่สูงมาก โดยสนามแม่เหล็กนี้จะมีการรวมกับสนามแม่เหล็กหลัก ($\overline{B}_0$) ที่มีความเข้มสม่ำเสมอ ทำให้ผลของสนามแม่เหล็กรวมมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มขึ้นกับตำแหน่ง เกรเดียนต์ (G) มีขนาดเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยระยะทาง เกรเดียนต์ในระบบการสร้างภาพ MRI มีทั้งหมด 3 ทิศทางที่ตั้งฉากกัน คือ ทิศทางในแนวแกน x, y และ z แทนด้วยสัญลักษณ์ G_x , G_y และ G_z ตามลำดับ โดยที่ความเข้มของสนามแม่เหล็ก ($\overline{B}_z$) ที่ตำแหน่ง x, y และ z ใด ๆ

หลักการในการสร้างภาพ MRI ใน 2 มิติ เริ่มจากการเลือกส่วนของตัวอย่าง (slice) ในระนาบ 2 มิติ เพื่อให้โปรตอนที่อยู่ในส่วนของตัวอย่างเท่านั้นที่มีการตอบสนองต่อความถี่ในการสั่นพ้อง ซึ่งเลือกกระตุ้นเฉพาะแมกนีโตเซชัน ($\overline{M}$) ในส่วนของตัวอย่างเท่านั้น ขณะที่แมกนีโตเซชันของโปรตอนที่อยู่นอกส่วนของตัวอย่างจะไม่ถูกรบกวนเพราะพัลส์ RF ที่ใช้ในการกระตุ้นแมกนีโตเซชันจะมีผลต่อความถี่ในการสั่นพ้องของโปรตอนในส่วน of ตัวอย่างเท่านั้น ในการเลือกส่วนของตัวอย่างในวัตถุที่วางอยู่ในแนวแกน z เมื่อเปิดเกรเดียนต์ในแนวแกน z (G_z) และกระตุ้นด้วยพัลส์ RF ผลของ G_z ทำให้ความถี่ในการสั่นพ้องของโปรตอนมีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นกับระยะทาง ซึ่งทำให้ $\overline{M}$ ของโปรตอนมีการกระจายช่วงความถี่ในการสั่นพ้องตามระยะทาง ดังนั้น ในการเลือกกระตุ้น $\overline{M}$ ของโปรตอนในส่วน of ตัวอย่างที่ต้องการก็เพียงแค่เลือกพัลส์ RF ที่มีช่วงความถี่ (profile) ที่ต้องการเท่านั้น

ในขั้นตอนการเลือกส่วนของตัวอย่าง (ในแนว z) จะทำให้ได้สัญญาณจากโปรตอนอยู่ในส่วนของตัวอย่าง การเข้ารหัสตำแหน่งของสัญญาณที่ได้จากส่วนของตัวอย่าง เราใช้เกรเดียนต์อีก 2 แนวที่เหลือ คือ แนวแกน x และแนวแกน y เพื่อแยกข้อมูลและเข้ารหัสตำแหน่งในส่วนของตัวอย่าง ซึ่งทำได้โดยการเข้ารหัสความถี่ (frequency encoding) ในแนวแกน x และการเข้ารหัสเฟส (phase encoding) ในแนวแกน y จากหลักการแปลงฟูเรียร์ใน 2 มิติ (2D Fourier transform) ในลำดับพัลส์ (pulse sequence) แบบ spin-warp (Edelstein, et al., 1980) ลักษณะการเข้ารหัสแสดงดังภาพที่ 2 ข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสโดยใช้ความถี่และเฟส คือ สัญญาณ FID ที่มีขนาดขึ้นกับความหนาแน่นและคุณสมบัติของโปรตอน โดยมีความถี่และเฟสที่ใช้ขึ้นกับตำแหน่งของโปรตอนนั้น ๆ ในการสร้างภาพ MRI ข้อมูลที่ได้จากการกระตุ้นจะอยู่ในโดเมนที่เป็นส่วนกลับของภาพวัตถุ เรียกว่า k-space (D. Moratal, et al., 2008) นั่นคือ ส่วนที่ใหญ่ในโดเมนหนึ่ง จะเป็นส่วนที่เล็กในอีกโดเมนหนึ่ง ข้อมูลใน k-space ประกอบด้วยสัญญาณ NMR ที่ได้จากขั้นตอนในการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กซึ่งต้องส่งประมวลผลด้วยการแปลงฟูเรียร์กลับ ในการสร้างเป็นภาพ k-space จะเป็นข้อมูล 2 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยข้อมูลในแนวแกน x ได้มาจากการเข้ารหัสจากการเก็บความถี่ (k_x) และมีข้อมูลในแนวแกน y ได้มาจากการเข้ารหัสจากการเก็บเฟส (k_y) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเกรเดียนต์ G_x และ G_y ดังสมการ

$$k_x = \frac{\gamma}{2\pi} G_x t_x \quad (1)$$

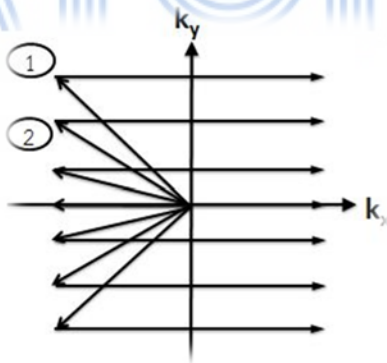
และ

$$k_y = \frac{\gamma}{2\pi} G_y t_y \quad (2)$$

เมื่อ t_x และ t_y คือ ช่วงเวลาที่เปิดเกรเดียนต์ G_x และ G_y ตามลำดับ และ γ คือ อัตราส่วนไจโรแมกเนติก (gyromagnetic ratio)

$\omega_1\phi_1$	$\omega_2\phi_1$	$\omega_3\phi_1$	$\omega_4\phi_1$	$\omega_5\phi_1$
$\omega_1\phi_2$	$\omega_2\phi_2$	$\omega_3\phi_2$	$\omega_4\phi_2$	$\omega_5\phi_2$
$\omega_1\phi_3$	$\omega_2\phi_3$	$\omega_3\phi_3$	$\omega_4\phi_3$	$\omega_5\phi_3$
$\omega_1\phi_4$	$\omega_2\phi_4$	$\omega_3\phi_4$	$\omega_4\phi_4$	$\omega_5\phi_4$
$\omega_1\phi_5$	$\omega_2\phi_5$	$\omega_3\phi_5$	$\omega_4\phi_5$	$\omega_5\phi_5$

ภาพที่ 2 ภาพส่วนของตัวอย่างที่มีขนาด 5x5 จุดภาพ ที่แสดงการเข้ารหัสตำแหน่งในส่วนของตัวอย่าง โดยใช้หลักการของ spin-warp ซึ่งใช้การเข้ารหัสทั้งความถี่ (ω) และเฟส (ϕ) ทั้งสองแนวของภาพ



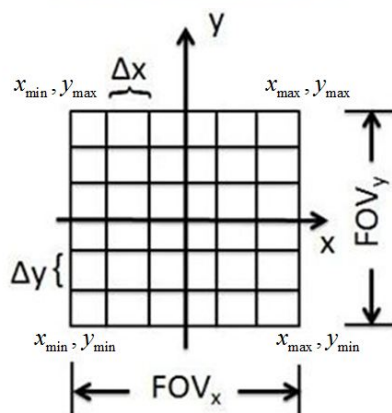
ภาพที่ 3 ภาพในการเก็บข้อมูลแบบ k-space

ในการสร้างภาพ k-space จากการเข้ารหัสความถี่ (ω) และการเข้ารหัสเฟส (ϕ) ของตำแหน่งวัตถุตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 4 เราสามารถเขียนสมการการแปลงฟูเรียร์ $G(\omega, \phi)$ ของวัตถุตัวอย่าง $g(x, y)$ ได้เป็น

$$G(\omega, \phi) = \sum_{y_{\min}}^{y_{\max}} \sum_{x_{\min}}^{x_{\max}} g(x, y) e^{-i(\gamma G_x x t + \gamma G_y y t)} \Delta x \Delta y \quad (3)$$

หรือ ในเทอมของ $G(k_x, k_y)$ เป็น

$$G(k_x, k_y) = \sum_{y_{\min}}^{y_{\max}} \sum_{x_{\min}}^{x_{\max}} g(x, y) e^{-i2\pi(k_x x + k_y y)} \Delta x \Delta y \quad (4)$$



$$\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m} \quad \text{และ} \quad \Delta y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{n}$$

ภาพที่ 4 การกำหนดขนาดของ Δx และ Δy ในวัตถุตัวอย่าง

จากสมการที่ (3) และ (4) ค่า Δx และ Δy เป็นระยะเล็ก ๆ ของด้านวัตถุ ซึ่งหาได้จากวิธีการแบ่งกรอบของภาพ (Field of View, FOV) ออกเป็น m และ n ส่วน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4 จากสมการ (4) จะเห็นว่าการแปลงฟูเรียร์อยู่ในรูปของฟังก์ชันเชิงซ้อน (complex function) ซึ่งสามารถแยกสมการออกเป็นสมการส่วนจริง (Real part) และสมการส่วนจินตภาพ (Imaginary part) ได้ดังนี้

$$G(k_x, k_y) = \sum_{y_{\min}}^{y_{\max}} \sum_{x_{\min}}^{x_{\max}} g(x, y) \left\{ \cos[2\pi(k_x x + k_y y)] - i \sin[2\pi(k_x x + k_y y)] \right\} \Delta x \Delta y \quad (5)$$

ส่วนจริง :

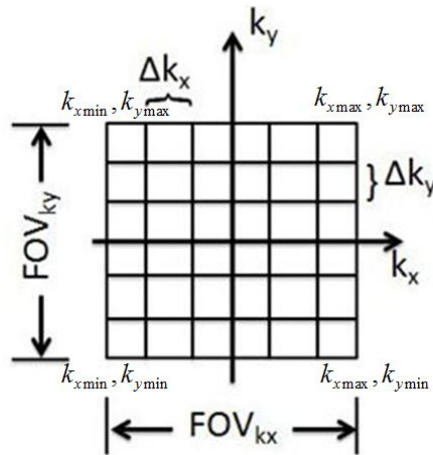
$$G_R(k_x, k_y) = \sum_{y_{\min}}^{y_{\max}} \sum_{x_{\min}}^{x_{\max}} g(x, y) \cos[2\pi(k_x x + k_y y)] \Delta x \Delta y \quad (6)$$

ส่วนจินตภาพ :

$$G_I(k_x, k_y) = - \sum_{y_{\min}}^{y_{\max}} \sum_{x_{\min}}^{x_{\max}} g(x, y) \sin[2\pi(k_x x + k_y y)] \Delta x \Delta y \quad (7)$$

ในการสร้างภาพคืนจากการถอดรหัสความถี่ (ω) และเฟส (ϕ) ของตำแหน่งวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในรูปแบบของ k-space ทำได้โดยการแปลงฟูเรียร์กลับ (Inverse Fourier transform) ดังสมการ

$$g(x, y) = \sum_{k_{y_{\min}}}^{k_{y_{\max}}} \sum_{k_{x_{\min}}}^{k_{x_{\max}}} G(\omega, \phi) e^{-i(\omega t + \phi)} \omega \phi \quad (8)$$



$$\Delta k_x = \frac{k_{x\max} - k_{x\min}}{m} \text{ และ } \Delta k_y = \frac{k_{y\max} - k_{y\min}}{n}$$

ภาพที่ 5 การกำหนดขนาดของ Δk_x และ Δk_y ในภาพ k-space

ทำนองเดียวกันกับสมการ (4) จากสมการ (8) เขียนใหม่ได้เป็น

$$g(x, y) = \sum_{k_{y\min}}^{k_{y\max}} \sum_{k_{x\min}}^{k_{x\max}} G(k_x, k_y) e^{-i2\pi(k_x x + k_y y)} \Delta k_x \Delta k_y \quad (9)$$

ซึ่งสามารถแยกได้เป็นวัตถุส่วนจริง (real part, g_R) และวัตถุส่วนจินตภาพ (imaginary part, g_I) ดังสมการ

$$\text{ส่วนจริง : } g_R(x, y) = \sum_{k_{y\min}}^{k_{y\max}} \sum_{k_{x\min}}^{k_{x\max}} G(k_x, k_y) \cos[2\pi(k_x x + k_y y)] \Delta k_x \Delta k_y \quad (10)$$

$$\text{ส่วนจินตภาพ : } g_I(x, y) = -\sum_{k_{y\min}}^{k_{y\max}} \sum_{k_{x\min}}^{k_{x\max}} G(k_x, k_y) \sin[2\pi(k_x x + k_y y)] \Delta k_x \Delta k_y \quad (11)$$

ค่า Δk_x และ Δk_y เป็นขนาดเล็ก ๆ ของ k_x และ k_y ซึ่งหาได้จากวิธีการแบ่งกรอบภาพออกเป็น m และ n ส่วน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5

ในการสร้างภาพจากโดเมนหนึ่งไปยังอีกโดเมนหนึ่ง อาจทำให้เกิดภาพซ้อน (aliasing) ได้ เนื่องจากข้อมูลแต่ละโดเมน ไม่สัมพันธ์กัน โดยเราจะมีวิธีหลีกเลี่ยงการเกิดภาพซ้อน ได้โดยให้ค่า Δk_x และ Δk_y สอดคล้องดังสมการ

$$\Delta k_x = \frac{1}{FOV_x} \text{ และ } \Delta k_y = \frac{1}{FOV_y} \quad (12)$$

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างภาพ k-space ของวัตถุตัวอย่างจำลองใน 2 มิติ
2. เพื่อสร้างภาพคืนใน 2 มิติ ของ k-space ของวัตถุตัวอย่างจำลอง

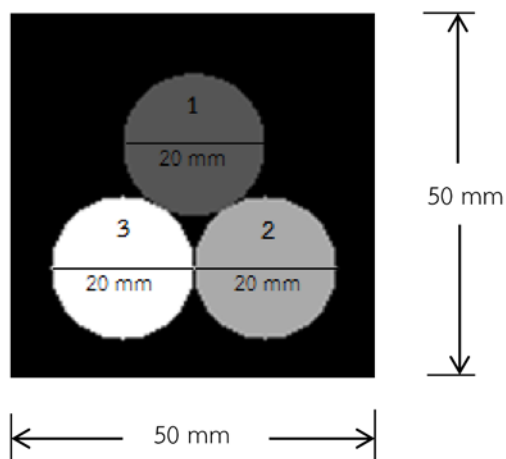
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัย ได้ออกแบบและเขียนโปรแกรมจำลองการสร้างภาพของวัตถุตัวอย่างจำลองใน 2 มิติ โดยการออกแบบ และเขียนโปรแกรมการสร้างภาพ k-space จากภาพวัตถุตัวอย่างจำลองที่สร้างขึ้น รวมทั้งออกแบบและเขียนโปรแกรมการสร้างภาพคืนจากภาพ k-space ที่ได้ มีขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

1) การออกแบบวัตถุตัวอย่างจำลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้วัตถุตัวอย่างจำลองแทนความเข้มของโปรตอน ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดทดลองจำนวน 3 หลอดวางติดกันเป็น 1 ชุด โดยแต่ละหลอดบรรจุโปรตอนที่กระจายกันอย่างสม่ำเสมอ โดยมีความหนาแน่นของโปรตอนในหลอดทดลองที่ 1, 2 และ 3 ด้วยอัตราส่วน 1 : 2 : 3 ตามลำดับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดทดลองแต่ละหลอดมีขนาดเท่ากับ 20 mm และบริเวณที่ใช้ในการสร้างภาพ (FOV) เท่ากับ 50 x 50 mm² ดังแสดงในภาพที่ 6 ในการจำลองการสร้างภาพ

MRI โปรตอนของวัตถุตัวอย่างจำลองนี้ จะเก็บค่าความเข้มของโปรตอนในทอมของจุดภาพด้วยความละเอียดของจุดภาพเท่ากับ 128×128 จุดภาพ โดยใช้สีของจุดภาพเป็นแบบ gray scale มีระดับสีเป็น 256 ระดับ



ภาพที่ 6 ลักษณะของวัตถุตัวอย่างจำลองที่ได้ออกแบบในงานวิจัยนี้

2) การออกแบบและเขียนโปรแกรม

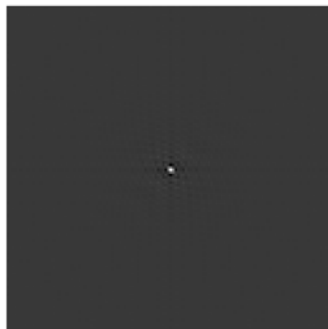
การสร้างภาพ k-space จากภาพวัตถุตัวอย่างจำลองใช้สมการการแปลงฟูเรียร์ในสมการที่ (13)-(15) ซึ่งคำนวณและแสดงผลด้วยโปรแกรม Visual C# โดยจะทำการเข้ารหัสตำแหน่งของวัตถุตัวอย่างจำลอง เมื่อเราต้องการสร้างภาพคืนจากภาพ k-space จะต้องทำการถอดรหัสตำแหน่งของความถี่และเฟสในภาพของ k-space โดยการคำนวณด้วยสมการการแปลงฟูเรียร์กลับและแสดงผลการคำนวณเป็นภาพของวัตถุตัวอย่างจำลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากภาพที่ 7 เป็นภาพของวัตถุตัวอย่างจำลองและภาพ k-space ของวัตถุจำลอง พบว่า ภาพของวัตถุตัวอย่างจำลองที่ได้จากการเก็บข้อมูลจุดภาพสอดคล้องกับความเข้มของจุดภาพในภาพของวัตถุตัวอย่างจำลองที่ได้ออกแบบ ซึ่งได้แสดงพื้นที่หน้าตัดของหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด โดยพื้นที่หน้าตัดของแต่ละวงจะมีความเข้มแตกต่างกัน ซึ่งจะแทนความหนาแน่นของโปรตอนที่กระจายในแต่ละหลอดไม่เท่ากัน โดยพื้นที่หน้าตัดของหลอดทดลองด้านล่างซ้ายจะมีความหนาแน่นของโปรตอนมากที่สุดเนื่องจากมีความเข้มของภาพสว่างที่สุด หลอดทดลองด้านล่างขวาจะมีความหนาแน่นของโปรตอนน้อยกว่าหลอดทดลองด้านล่างซ้ายเนื่องจากมีความเข้มของการสว่างของพื้นที่หน้าตัดลดลง และหลอดทดลองด้านบนจะมีความหนาแน่นของโปรตอนที่กระจายอยู่ภายในหลอดน้อยที่สุด เนื่องจากความเข้มของพื้นที่หน้าตัดมีความสว่างน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความสว่างของพื้นที่หน้าตัดของหลอดทดลองบริเวณใกล้เคียง จากข้อมูลภาพที่เก็บได้ ความเข้มของภาพพื้นที่หน้าตัดของหลอดทดลองที่ 1 : หลอดที่ 2 : หลอดที่ 3 อยู่ในระดับ 85 : 170 : 255 หรือมีอัตราส่วนเป็น 1 : 2 : 3 ตามลำดับ



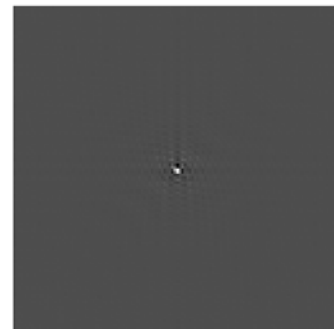
(ก)



(ข)



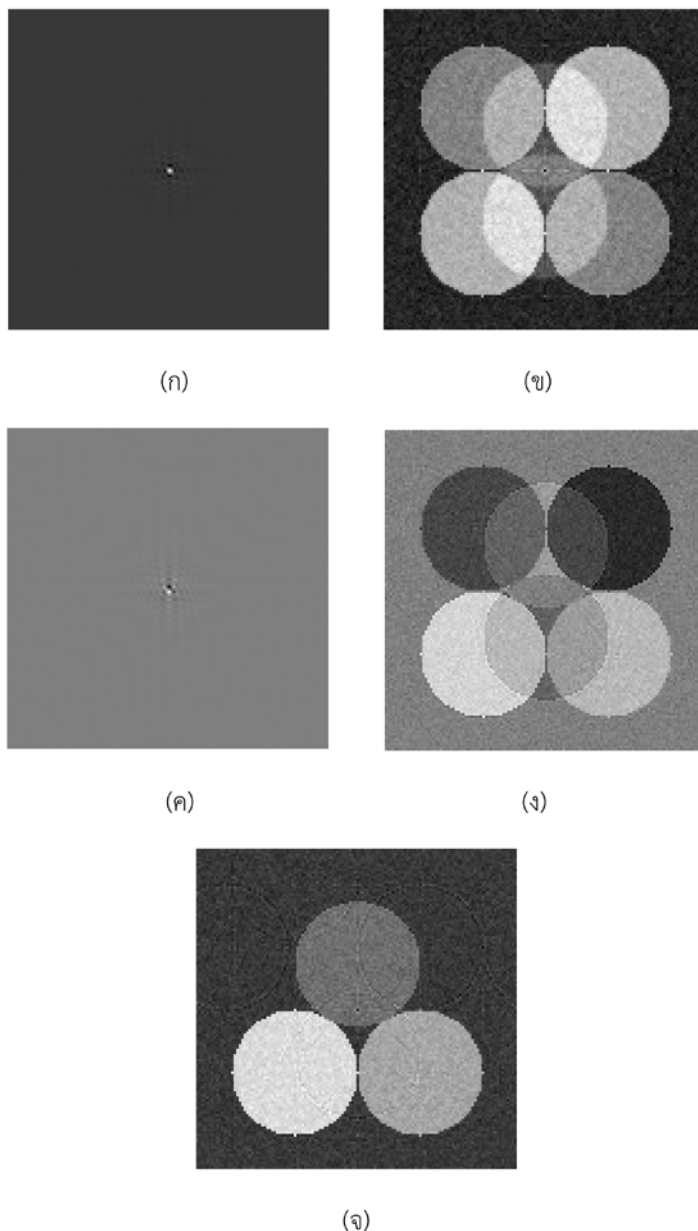
(ค)



(ง)

ภาพที่ 7 (ก) ภาพของวัตถุตัวอย่างจำลองจากการเก็บจุดภาพ (ข) ภาพ k-space ที่ได้จากการคำนวณของสมการของส่วนจริง (ค) ภาพ k-space ที่ได้จากการคำนวณสมการของส่วนจินตภาพ (ง) ภาพ k-space ที่ได้จากการรวมกันของภาพในส่วนจริงและในส่วนจินตภาพ กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณนี้ ดังนี้ $G_x = 0.005$ T, $G_y = 0.005$ T, $t_x = 0.012$ s, $t_y = 0.012$ s และมีความละเอียดของของภาพเป็น 128×128 จุดภาพ

จากการสร้างภาพ k-space จากภาพของวัตถุตัวอย่างจำลอง พบว่า ภาพ k-space ที่ได้จากภาพของวัตถุตัวอย่างจำลองในส่วนจริง (ภาพที่ 7ก) มีลักษณะความเข้มของแสงบนภาพน้อยมาก (ภาพที่ 7ข) เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดภาพสังยุค (conjugate) แบบเสริมในภาพ ทำให้ภาพ k-space ในส่วนจริงนี้มีความเข้มของแสงลดลง ส่วนภาพ k-space ที่ได้จากภาพวัตถุตัวอย่างจำลองในส่วนจินตภาพจะมีความเข้มของแสงมาก (ภาพที่ 7ค) เป็นผลเนื่องมาจากการเกิดภาพสังยุคแบบหักล้างในภาพ ทำให้ภาพ k-space ในส่วนจริงนี้มีความเข้มของแสงมาก เมื่อทำการคำนวณหาภาพ k-space ของภาพวัตถุตัวอย่างจากการรวมกันของภาพ k-space ของภาพวัตถุตัวอย่างทั้งในส่วนจริงและในส่วนจินตภาพ (ภาพที่ 7ง) ภาพที่ได้จะมีความเข้มของแสงมากกว่าภาพ k-space ในส่วนจริงแต่จะมีความเข้มของแสงของภาพน้อยกว่าภาพ k-space ในส่วนจินตภาพ เป็นผลเนื่องมาจากส่วนของภาพสังยุคแบบเสริมในภาพ k-space ส่วนจริงและส่วนของภาพสังยุคแบบหักล้างในภาพ k-space ส่วนจินตภาพ เมื่อรวมกันจะหายไปจากภาพ k-space ของภาพวัตถุตัวอย่างจำลอง ทำให้ได้ภาพ k-space ของภาพวัตถุตัวอย่างจำลองที่แท้จริง

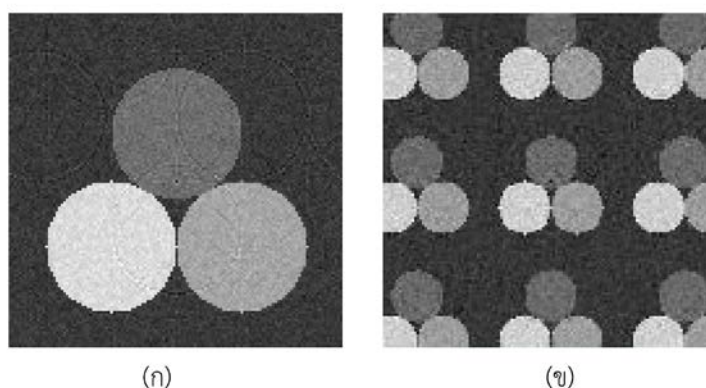


ภาพที่ 8 (ก) ภาพของ k-space จากการเก็บจุดภาพของภาพในส่วนจริง (ข) ภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนของส่วนจริง (ค) ภาพของ k-space จากการเก็บจุดภาพของภาพในส่วนจินตภาพ (ง) ภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนของส่วนจินตภาพ (จ) ภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนของวัตถุตัวอย่างจำลอง กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณนี้ ดังนี้ $G_x = 0.005$ T, $G_y = 0.005$ T, $t_x = 0.012$ s, $t_y = 0.012$ s และมีความละเอียดของของภาพเป็น 128×128 จุดภาพ

จากภาพที่ 8ก เป็นการแสดงภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนจากภาพ k-space ของวัตถุตัวอย่างจำลอง พบว่า ภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนของวัตถุตัวอย่างในส่วนจริง (ภาพที่ 8ข) มีภาพวัตถุจำลอง 2 ชุด ซ้อนกันอยู่ ภาพของวัตถุตัวอย่างอีกชุดที่เพิ่มขึ้นมาเกิดจากการเกิดภาพสังยุคแบบเสริมกันในภาพ ทำให้ภาพสังยุคที่มีความเข้มเหมือนกันกับภาพวัตถุตัวอย่างจำลอง แต่จะมีตำแหน่งของภาพตรงกันข้ามกับภาพตำแหน่งของวัตถุตัวอย่างจริง ส่วนภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนของวัตถุตัวอย่างในส่วนจินตภาพ (ภาพที่ 8ง) พบว่า มีภาพวัตถุตัวอย่างจำลอง 2 ชุด ซ้อนกันอยู่แต่มีความเข้มของพื้นที่หน้าตัดของหลอดทดลองสลับกัน เกิดจากการเกิดภาพสังยุคแบบหักล้างกันในภาพ ซึ่งจะทำได้ภาพวัตถุตัวอย่างและภาพสังยุคของวัตถุตัวอย่างจำลองมีความเข้มและตำแหน่งตรงข้ามกัน เมื่อคำนวณหาภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนของวัตถุตัวอย่างจำลองโดยใช้ทั้งภาพในส่วนจริงและภาพในส่วนจินตภาพมารวมกัน (ภาพที่ 8จ) พบว่า ภาพที่ได้จะเป็นภาพของวัตถุตัวอย่างจำลองเพียงแค่ชุดเดียว แสดงว่า เมื่อนำภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนในส่วนจริงรวมกันกับภาพที่ได้จากการสร้างภาพคืนในส่วนจินตภาพ จะทำให้ภาพสังยุคของภาพในส่วนจริงและของภาพในส่วนจินตภาพหายไป เหลือเป็นเพียงแต่ภาพของวัตถุตัวอย่างที่แท้จริง

จากการคำนวณ พบว่า ความเข้มของภาพที่ได้จากการสร้างภาพคีนของวัตถุตัวอย่างจำลองหลอดที่ 1 : หลอดที่ 2 : หลอดที่ 3 อยู่ในระดับ 111 : 165 : 218 ซึ่งจะมีอัตราส่วนความเข้มของภาพเป็น 1 : 2 : 3 ตามลำดับ มีความถูกต้องตรงตามข้อมูลของวัตถุตัวอย่างจำลองที่ได้ออกแบบ แต่ได้ความละเอียดของภาพลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากการสร้างภาพคีนดังกล่าว เป็นการนำเอาภาพ k-space ของวัตถุตัวอย่างจำลองมาสร้างภาพคีน อาจทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไปในขณะที่แปลงค่าตำแหน่งกลับจากค่าความเข้มของสีในภาพ

ในขั้นตอนการคำนวณการสร้างภาพคีนในการวิจัยนี้ มีบางผลการคำนวณมีภาพซ้อนเกิดขึ้น ดังภาพที่ 9 ทำให้เห็นวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสร้างภาพคีนมีหลายชุดอยู่ในภาพเดียวกัน ซึ่งแก้ได้โดยการปรับค่า FOV ให้ได้ค่าเหมาะสม



ภาพที่ 9 ลักษณะเกิดภาพซ้อนในการสร้างภาพคีนของวัตถุจำลอง (ก) ภาพจากการสร้างภาพคีนของวัตถุจำลอง และ (ข) ภาพซ้อน (aliasing) ที่เกิดขึ้นในภาพจากการสร้างภาพคีนของวัตถุจำลอง ในแต่ละภาพให้ $G_x = 0.005$ T, $G_y = 0.005$ T, $t_x = 0.030$ s, $t_y = 0.030$ s และมีขนาดของภาพ 128×128 จุดภาพ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ในการวิจัยนี้ ได้ออกแบบและเขียนโปรแกรมการสร้างวัตถุตัวอย่างจำลอง การสร้างภาพ k-space และการสร้างภาพคีนของวัตถุตัวอย่างจำลองด้วยโปรแกรม Visual C# โดยใช้สมการการแปลงฟูเรียร์ การแปลงฟูเรียร์กลับ ร่วมกับเงื่อนไขการสร้างภาพการสั่นพ้องแม่เหล็กของโปรตอน ในการคำนวณหาภาพ k-space ของวัตถุจำลองที่สร้างขึ้นได้ด้วยการแปลงฟูเรียร์ จะได้ภาพ k-space ที่ชัดเจน และในการคำนวณเพื่อสร้างภาพคีนจากภาพ k-space ของวัตถุตัวอย่างจำลองด้วยการแปลงกลับฟูเรียร์ จะได้ภาพที่มีความถูกต้องตรงกับวัตถุจำลองที่สร้างขึ้น แต่ความคมชัดของภาพลดลงเล็กน้อย เนื่องจากความเข้มของสีบางส่วนในภาพ k-space หายไปในระหว่างการแปลงค่าตำแหน่งจากการแปลงฟูเรียร์กลับ นอกจากนี้ ในการสร้างภาพคีนมีการเกิดภาพซ้อนกับภาพตรงข้ามที่อยู่นอก FOV แต่ยังสามารถแก้ไขได้โดยการปรับขนาดของภาพ k-space ให้ตรงกับขนาดของภาพที่ได้จากการสร้างภาพคีนโดยการปรับระยะของข้อมูลในแนวแกน k_x และระยะของข้อมูลในแนวแกน k_y ให้สอดคล้องกับระยะของข้อมูลในแนวแกน x และระยะข้อมูลในแนวแกน y ตามลำดับ ภาพของวัตถุตัวอย่างใน k-space และภาพที่ได้จากการสร้างภาพคีนของวัตถุตัวอย่าง มีความละเอียดของเท่ากับ 128×128 จุดภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่เป็นสถานที่สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alecci, M., Ferrai, M., Quaresima, V., Sotgiu, A. and Ursini, C.L. (1994). Simultaneous 280 MHz EPR imaging of rat organs during nitroxide free radical clearance. *Biophysical Journal*, 67, 1274-1279.
- Bracewell, R.N. (1986). *The Fourier transform and its applications*. New York: McGraw-Hill.
- Bushong, S.C. (1988). *An overview of magnetic resonance imaging*, In D.T. Culverwell (Ed.). *Magnetic resonance imaging: physical and biological principles*. (pp. 1-17). Missouri: The C.V. Mosby Company.
- Eaton, S.S. and Eaton, G.R. (1984). EPR imaging. *Journal of Magnetic Resonance*, 59, 474-477.

- Edelstein, W.A., Hutchison, J.M.S, Johnson, G. and Redpath T. (1980). Spin warp NMR imaging and applications to human whole-body imaging. **Physics in Medicine and Biology**, 25, 751-756.
- Gallagher, T.A., Nemeth, A.J. and Hacin-Bey L. (2008). An introduction to the Fourier Transform: Relationship to MRI. **American Journal of Roentgenology**, 190(5), 1396-405.
- Hashemi, R.H., Lisanti, C.J. and Bradley, Jr.W.G. (2017). **MRI: The Basics**, 4th Eds. Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Pruessmann, K.P., Weiger, W., Scheidegger, M.B. and Boesiger P. (1999). SENSE: Sensitivity encoding for fast MRI. **Magnetic Resonance in Medicine**, 42, 952-962.
- Li, H., Deng, Y., He, G., Kuppusamy, P., Lurie, D.J. and Zweier, J.L. (2002). Proton-electron double-resonance imaging of the in vivo distribution and clearance of a triaryl methyl radical in mice. **Magnetic Resonance in Medicine**, 48, 530-534.
- Lurie, D.J., Foster, M.A., Yeung, D. and Hutchison, J.M.S. (1998). Design, construction and use of a large-sample field- cycled –PERDI imager. **Physics in Medicine and Biology**, 43, 1877-1886.
- Moratal, D., Vallés-Luch, A., Martí-Bonmatí, L. and Brummer, M.E. (2008). k-Space tutorial: An MRI educational tool for a better understanding of k-space. **Biomedical Imaging and Intervention Journal**, 4(1), e15.
- Partain, C. L., Price, R. R., Patton, J. A., Kulkarni, M. V. and James, A. E. (1988). **Magnetic Resonance Imaging**. Philadelphia: W.B. Saunder Company.
- Preston, D.W. and Dietz, E.R. (1991). **The art of experimental physics: Introduction to magnetic resonance**. Toronto: Wiley and Sons.
- Polygon C., Lurie D.J., Youngde W., Thomas C. and Thomas I. (2008). Comparison of ^{14}N and ^{15}N nitroxide free radicals Imaged by Field-Cycled Proton-Electron Double-Resonance Imaging (FC-PEDRI) at Low Magnetic Field. **Thai Journal of Physics**, 3, 122-124.
- Puwanich, P., Lurie, D.J. and Foster, M.A. (1999). Rapid imaging of free radicals in vivo using field-cycled PEDRI. **Physics in Medicine and Biology**, 44, 2867-2877.
- Testa, L., Gualtieri, G. and Sotgiu, A. (1993). Electron paramagnetic resonance imaging of a model of a beating heart. **Physics in Medicine and Biology**, 38, 259-266.





บทความวิจัย

ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์

นภาพลัย ต๊ะเสาร์¹ และสุทธิดา จำรัส^{2*}

¹นักศึกษาลัทธิสุตรสาขาวิชาการศึกษา (วิทยาศาสตร์ศึกษา) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

²ภาควิชาหลักสูตร การสอนและการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

*Email: suthida.c@cmu.ac.th

รับบทความ: 16 กรกฎาคม 2564 แก้ไขบทความ: 10 สิงหาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 25 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ เรื่อง ลม พายุ อาากาศ กลุ่มศึกษาที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนแห่งหนึ่งในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 6 คน ดำเนินการวิจัยโดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพร่วมกับสถิติบรรยายเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 7 แผน แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ จำนวน 4 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การแบ่งระดับคำตอบ แต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นคำร้อยละ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีถึงร้อยละ 66.67 ระดับดีมากร้อยละ 16.67 และควรปรับปรุงร้อยละ 16.67 โดยพิจารณาแต่ละองค์ประกอบ พบว่า นักเรียนทำคะแนนในองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้างได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77.08 รองลงมาองค์ประกอบด้านหลักฐานนักเรียนทำคะแนนได้คิดเป็นร้อยละ 54.71 และองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลนักเรียนทำคะแนนได้น้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 41.67 ผลที่ได้แสดงผลจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกนั้นเน้นให้นักเรียนได้ตอบคำถามในรูปแบบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยประเด็นที่ต้องเน้นเพิ่มเติมคือการทำเหตุผลเพื่อเชื่อมโยงคำอธิบายไปยังหลักฐานหรือประจักษ์พยานที่ใช้ในการสร้างคำอธิบายนั้น

คำสำคัญ: อินโฟกราฟิก การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์

อ้างอิงบทความนี้

นภาพลัย ต๊ะเสาร์ และสุทธิดา จำรัส. (2564). ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 190 - 203.

Research Article

Effect of inquiry learning in-cooperated with the use of infographics on the scientific explanation ability of ethnic group students

Napalai Tasao¹ and Suthida Chamrat^{2*}

¹Student in Education Program (Science Education), Faculty of Education, Chiang Mai University

²Department of Curriculum, Instruction and Learning, Faculty of Education, Chiang Mai University

*Email: suthida.c@cmu.ac.th

Received <16 July 2021>; Revised <10 August 2021>; Accepted <25 August 2021>

Abstract

The purpose of this research was to study the effects of inquiry learning in-cooperated with the use of infographic on the ability to create scientific explanations of ethnic students on the topic “the weather”. The study groups in this research were 6 students in Mathayomsuksa 1 at a school in Omkoi District, Chiang Mai Province during the 2nd-semester in academic year 2019. The research methods used for analyzing data was qualitative with descriptive statistic. The research instruments consisted of 7 lesson plans, the interview protocol to assess of scientific explanation ability that comprised of 4 core questions. The interview transcribed data was analyzed by level in each of the 3 components of the scientific explanation including claims, evidence, reasoning in percentage. The research results showed that most students were able to create scientific explanations at a good level by 66.67 percent, a very good level of 16.67 percent, and needs for improvement level at 16.67 percent. Consideration of each component, ability to identify the claim was the students’ highest score with 77.08 percent, followed by ability to use evidence, the students’ score is 54.71 percent and the reasoning component, the lowest of the students’ score is 41.67 percent. The research findings indicated that inquiry learning in-cooperated with the use of infographics promoted the students’ formulating of scientific explanation on given questions. The additional aspect to be emphasized was the connection between scientific explanation to evidence using scientific reasoning.

Keywords: Infographics, scientific explanation, scientific inquiry, ethnic group students

Cite this article:

Tasao, N. and Chamrat, S. (2021). Effect of inquiry learning in-cooperated with the use of infographics on the scientific explanation ability of ethnic group students (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 190 - 203.

บทนำ

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม เป็นปัจจัยในการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศไปสู่เศรษฐกิจและสังคมฐานความรู้ ซึ่งจะทำให้ประเทศมีความสามารถในการปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากกระแสโลกาภิวัตน์และรับมือกับประเด็นอุบัติใหม่ที่มีผลกระทบต่อประเทศ (National Science Technology and Innovation Policy Office, 2015) เนื่องจากวิทยาศาสตร์คือองค์ความรู้เกี่ยวกับธรรมชาติและกระบวนการทางการแสวงหาความรู้ของมนุษย์เพื่อทำความเข้าใจโลกธรรมชาติและโลกที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยสังคมมีส่วนร่วมทำให้เกิดการพัฒนาความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (Science Teachers' Association of Ontario, 2006) ซึ่งการศึกษาวิทยาศาสตร์มีบทบาทในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจและกระบวนการคิด ตลอดจนเตรียมความพร้อมให้นักเรียนเป็นมนุษย์ที่สามารถคิดเพื่อตนเองและเผชิญหน้ากับสิ่งต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้ และคนในสังคมทุกคนจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ประกอบการคิดตัดสินใจ วิเคราะห์ใคร่ครวญสิ่งต่าง ๆ รวมทั้งสร้างคำอธิบายเพื่ออธิบายเหตุการณ์ ปรากฏการณ์หรือกระบวนการ ซึ่งความสามารถหรือสมรรถนะอันนี้มีความสำคัญในการดำรงชีวิต (McNeill and Krajcik, 2008) ดังนั้นการศึกษาวิทยาศาสตร์จึงมีหน้าที่ในการเตรียมนักเรียนให้สามารถใช้เหตุผลในการแก้ปัญหา การสร้างคำอธิบายและการขยายความรู้ไปสู่สถานการณ์ใหม่หรือสถานการณ์ปัญหาบางอย่างที่ไม่คุ้นเคยหรือที่มีบริบทที่ซับซ้อน โดยนักเรียนต้องใช้เหตุผลจากหลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อหาคำตอบ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2016) รวมทั้งต้องใช้ในการสร้างคำอธิบายที่ซับซ้อน เช่น การสร้างแบบจำลองทางความคิด ในสาขาวิชาเฉพาะเมื่อนักเรียนก้าวขึ้นสู่ระดับการศึกษาที่สูงขึ้นไปในอนาคต (Pananchai et al., 2018)

ในการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (scientific inquiry) สามารถพัฒนาผู้เรียนให้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Allen, 1997) นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาความเข้าใจธรรมชาติวิทยาศาสตร์และทักษะทางวิทยาศาสตร์ในหลายประการ (Bybee, 2006) โดยองค์ประกอบสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ คือการได้เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสร้างคำถามทางวิทยาศาสตร์ให้ความสำคัญกับหลักฐานผ่านกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ สร้างคำอธิบายเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ สถานการณ์ เหตุการณ์หรือกระบวนการ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ จากนั้นเชื่อมโยงและขยายความรู้ รวมทั้งสื่อสารความรู้ให้กับผู้อื่นผ่านกระบวนการสะท้อนคิดร่วมกับการประเมินตนเอง (National Research Council, 1996)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ในโรงเรียนแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ในอำเภอมกนัย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นโรงเรียนที่เปิดสอนตั้งแต่ระดับชั้นอนุบาลจนถึงชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 นักเรียนร้อยละ 100 เป็นนักเรียนชาวเขาเผ่ากะเหรี่ยงหรือที่เรียกกันว่าปาเกอะญอ ซึ่งเป็นกลุ่มชาติพันธุ์ที่ใช้ภาษากะเหรี่ยงสะกอในชีวิตประจำวัน มีภาษาไทยเป็นภาษาที่ 2 ใช้ติดต่อสื่อสารกับบุคคลอื่นที่ไม่ใช่ชาวเขาเผ่าเดียวกัน จากประสบการณ์ของผู้วิจัยพบว่าทำให้ยากต่อการทำความเข้าใจการสื่อสารและการเรียนรู้ ซึ่งเป็นอุปสรรคที่สำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

แนวทางหนึ่งที่สามารถดำเนินการได้คือ การใช้เครื่องมือหรือสื่อการจัดการเรียนรู้ที่สามารถถ่ายทอดข้อมูลที่ยากให้เข้าใจง่ายได้โดยลดการใช้ตัวอักษร เพิ่มสัญลักษณ์ที่เข้าใจได้ ซึ่งอินโฟกราฟิกเป็นเครื่องมือที่ตอบเงื่อนไขดังกล่าว (Office for promotion of the learning society and the quality of youth, 2020) สอดคล้องกับ Sakurada (2015) ที่กล่าวว่าอินโฟกราฟิก คือการแปลงข้อมูลให้เป็นภาพ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและสื่อสารกับผู้อื่นด้วยสิ่งที่จับต้องได้ นอกจากนั้นความเชื่อในการนับถือผี ทำให้ไม่มีการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แม้ว่าจะได้ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แล้ว แต่เนื่องจากปัญหาการสื่อสารดังที่นำเสนอไป จึงจำเป็นต้องพัฒนานักเรียนให้มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อจะอธิบายหลักการทางวิทยาศาสตร์ให้กับบุคคลที่มีภูมิสัมพันธด้วยได้ ผ่านตัวแทนความคิด (representations) คือ อินโฟกราฟิก สอดคล้องกับ Gabre (2018) ได้เสนอผลการศึกษาคำอธิบายอินโฟกราฟิกในฐานะเครื่องมือเพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดในบริบทของห้องเรียนมัธยม ซึ่งสามารถช่วยพัฒนาการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ และจากการที่ผู้วิจัยได้ปฏิบัติการสอนนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์มาเป็นเวลา 5 ปีนั้น พบว่า นักเรียนจะสื่อสารในการพูดเข้าใจมากกว่าสื่อสารโดยการเขียน

จากความสำคัญที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยซึ่งเป็นครูผู้สอนสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จึงได้เลือกหัวข้อ ลม ฟ้า อากาศ ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันที่ต้องอาศัยคำอธิบายในเชิงวิทยาศาสตร์มากกว่าข้อสันนิษฐานหรือเรื่องราวเหนือธรรมชาติ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิก เนื่องจากเป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้สืบเสาะความรู้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ใช้ความรู้อย่างมีเหตุผล ฝึกทักษะการคิดและแก้ปัญหา โดยมีการนำอินโฟกราฟิกมาช่วยเป็นเครื่องมือในกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนที่มีอุปสรรคด้านภาษาง่ายต่อการทำความเข้าใจ ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำความเข้าใจปรากฏการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียนผ่านกระบวนการตีความ (interpretivism) (O'donoghue, 2006)

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ 2 ประเภท ดังนี้

1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิก หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ลม พายุ อากาศ ได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 คน ตรวจสอบความสอดคล้องตามจุดประสงค์การเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผล แล้ววิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา (Index of Consistency, IOC) อยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 และนำไปปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ แล้วนำไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา ซึ่งแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีจำนวน 7 แผน ใช้เวลาทั้งสิ้น 10 ชั่วโมง

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ จำนวน 4 ข้อ ซึ่งได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ในประเด็นความสอดคล้องตามจุดประสงค์ และความตรงเชิงเนื้อหา แล้ววิเคราะห์ค่า IOC โดยแบบวัดชุดนี้ที่ได้คัดเลือกข้อคำถามมาใช้ ซึ่งมีค่า IOC เท่ากับ 1.00 โดยทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ แล้วนำไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา

2. ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมผู้วิจัยได้วางแผนดำเนินการสร้างตามลำดับขั้นตอน ซึ่งอ้างอิงจาก Chamrat (2019) ดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเอกสาร ตำราที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
2) ศึกษาหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียนที่อิงตามตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฉบับปรับปรุง 2560 ตามหลักสูตรการศึกษาแกนกลาง พุทธศักราช 2551 (Ministry of Education, 2017) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

3) วิเคราะห์เนื้อหาที่เหมาะสมเพื่อสร้างการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์โดยกำหนดผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง รายละเอียดของสาระการเรียนรู้กิจกรรมการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล

4) กำหนดการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ได้แก่ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ลม พายุ อากาศ ใช้เวลา 10 ชั่วโมง ประกอบด้วยหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ลม พายุ อากาศ ใช้เวลาทั้งหมดในการดำเนินกิจกรรม 10 ชั่วโมง

2.2 การออกแบบอินโฟกราฟิก ในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกจะมีการบูรณาการอินโฟกราฟิกไปในทุกขั้นของการเรียนรู้ อย่างไรก็ตามในขั้นอธิบายและลงข้อสรุปรวมถึงขั้นขยายความรู้ ผู้เรียนจะได้สร้างอินโฟกราฟิกด้วยตนเองเพื่อประกอบการสร้างคำอธิบายและการเชื่อมโยงไปยังปรากฏการณ์อื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมที่ครูและนักเรียนร่วมกันสร้างอินโฟกราฟิก โดยหลักการสร้างอินโฟกราฟิกในแต่ละแผนการจัดการ ได้ประยุกต์ตามลำดับขั้นตอนของ Sakurada (2018) ดังนี้

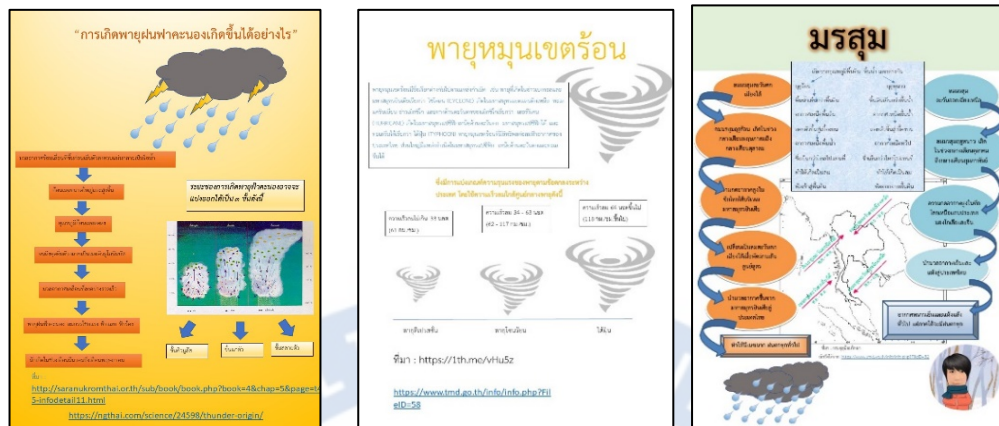
1) กำหนดชื่อเรื่องหรือประเด็นในแต่ละกิจกรรมการเรียนรู้
2) รวบรวมข้อมูล ศึกษา เนื้อหาตามหัวข้อที่ทำโดยละเอียด
3) นำข้อมูลที่ได้มาเรียบเรียง จัดระเบียบข้อมูล
4) ออกแบบอินโฟกราฟิก
5) ตรวจสอบอินโฟกราฟิกทั้งเนื้อหาข้อมูลและการออกแบบในขั้นของกิจกรรมที่มีการระบุ สร้าง และใช้อินโฟกราฟิก ดังแสดงในภาพที่ 1

3. ขั้นตอนการสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์

3.1 คัดเลือกเนื้อหาที่จะนำมาสร้าง ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยพิจารณาความเชื่อมโยงกับเนื้อหา แต่ต้องเป็นสถานการณ์ใหม่ที่นักเรียนไม่เคยเรียนมาก่อน

3.2 เลือกรูปแบบวิธีการวัดที่เหมาะสมกับระดับความสามารถในการสื่อสารของนักเรียน โดยรูปแบบที่เหมาะสมคือ แบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ที่ประกอบด้วยข้อคำถามที่สั้น กระชับ มีรูปภาพหรือ

อินโฟกราฟิกประกอบ มุ่งเน้นวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หลีกเลี่ยงผลจากความสามารถในการอ่านของนักเรียน จึงใช้การสัมภาษณ์เข้ามาประกอบการวัด



ภาพที่ 1 ตัวอย่างอินโฟกราฟิกที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

3.3 สืบค้นข้อมูลตามเนื้อหาที่คัดเลือกไว้เพื่อนำไปสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ กำหนดขอบเขตไว้ 4 ข้อ เพื่อให้เหมาะสมกับระยะเวลาการสัมภาษณ์ไม่เกิน 45 นาทีต่อคน

3.4 รวบรวมข้อมูลที่ได้นำไปสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ พร้อมทั้งสร้างเกณฑ์การประเมิน จากนั้นทดลองเบื้องต้นกับนักเรียนกลุ่มอื่นในระดับชั้นเดียวกับกลุ่มที่ศึกษา ปรับแก้ข้อคำถามให้เหมาะสม ปรับภาพให้มีขนาดใหญ่และชัดเจนขึ้น

3.4 นำแบบสอบถามสัมภาษณ์ที่ได้ให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจสอบและให้คำแนะนำ

3.5 นำคำแนะนำที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญไปปรับปรุงแบบสอบถามสัมภาษณ์

3.6 นำแบบสอบถามสัมภาษณ์ที่ได้ไปใช้ในการเก็บข้อมูลกับนักเรียนจำนวน 6 คน ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ ดังแสดงในภาพที่ 2 และตารางที่ 1



ที่มา: Freemetoo เข้าถึงได้จาก <https://th.freemetoo.com/>

1. จากการพยากรณ์ประจำวันวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ช่วงใดที่มีโอกาสเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (ข้อกล่าวอ้าง)
2. ข้อมูลใดที่ใช้แสดงว่ามีการพยากรณ์อากาศว่าจะเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง (หลักฐาน)
3. เพราะเหตุใดจึงทราบว่าจากการพยากรณ์อากาศช่วงนั้นอาจมีพายุฝนฟ้าคะนอง (การให้เหตุผล)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ (ข้อ 2)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) จากการร่วมกิจกรรมการเรียนการสอนและการให้สัมภาษณ์ โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน โดยอ้างอิงเกณฑ์ของ McNeill & Krajcik (2008) ซึ่งประกอบด้วย รายการประเมิน 3 รายการ คือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ซึ่งแต่ละรายการแบ่งเป็น 3 ระดับคะแนน คือ 0 1 และ 2 คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบภาพรวมและตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ (ข้อ 2)

องค์ประกอบ	ระดับ		
	0	1	2
1) ข้อกล่าวอ้าง ข้อความหรือข้อสรุปที่เป็นคำตอบของปัญหา ตัวอย่างคำถาม (ข้อกล่าวอ้าง) 1. จากการพยากรณ์ประจำวันวันที่ 19 พ.ย. 2562 ช่วงใดที่มีโอกาสเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง	ไม่สามารถสร้างข้อสรุปได้หรือสรุปได้ไม่ถูกต้องตามหลักการวิทยาศาสตร์ นักเรียนไม่สามารถตอบคำถามได้	สร้างข้อสรุปที่ถูกต้องตามหลักการวิทยาศาสตร์ได้บางส่วน ระบุได้ว่ามีเมฆ มีฝน แต่ไม่สามารถระบุช่วงเวลาได้	สร้างข้อสรุปได้ถูกต้องสมบูรณ์ตามหลักการวิทยาศาสตร์ หากระบุข้อกล่าวอ้างได้ว่า จะเกิดฝนฟ้าคะนองช่วงบ่าย
2) หลักฐาน ข้อมูลที่สนับสนุนข้อสรุป ซึ่งจะต้องเหมาะสมและเพียงพอที่จะสรุป ตัวอย่างคำถาม (หลักฐาน) 2. ข้อมูลใดที่ใช้แสดงว่ามีการพยากรณ์อากาศว่าจะเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง	ไม่แสดงหลักฐานหรือแสดงหลักฐานที่ไม่นำไปสู่ข้อสรุป นักเรียนไม่สามารถอธิบายความเชื่อมโยงได้ หรือไม่สามารถตอบคำถามได้	แสดงหลักฐานที่เหมาะสมแต่ไม่เพียงพอที่จะนำไปสู่ข้อสรุป ระบุหลักฐานจากสัญลักษณ์พายุฝนฟ้าคะนองเท่านั้น	แสดงหลักฐานที่เหมาะสมและเพียงพอที่จะนำไปสู่ข้อสรุป ระบุหลักฐานได้มากกว่า 1 อย่างขึ้นไป ได้แก่ สัญลักษณ์พายุฝนฟ้าคะนอง ความเร็วลม
3) การให้เหตุผล การเชื่อมโยงระหว่างข้อสรุปกับหลักฐาน ตัวอย่างคำถาม (การให้เหตุผล) 3. เพราะเหตุใดจึงทราบว่าจากการพยากรณ์อากาศช่วงนั้นอาจมีพายุฝนฟ้าคะนอง	ไม่สามารถให้เหตุผลหรือให้เหตุผลที่ไม่เชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุป นักเรียนไม่สามารถอธิบายความเชื่อมโยงได้ หรือไม่สามารถตอบคำถามได้	เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปได้บางส่วนรวมถึงให้เหตุผลโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ แต่ยังไม่เพียงพอ เชื่อมโยงรูปภาพกับการพยากรณ์ แต่ไม่สามารถบอกเหตุผลได้ หรือไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ของสาเหตุการเกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้	เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปได้ถูกต้องและสมบูรณ์ สามารถเชื่อมโยงข้อมูลการพยากรณ์อากาศ จาก ปริมาณเมฆ ความเร็วลม อุณหภูมิ ที่แปรปรวนที่ส่งผลให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง

โดยตัวอย่างการถอดเกณฑ์เพื่อสร้างแนวการประเมินคำตอบเป็นรายข้อ แสดงในภาพที่ 2

2. ถอดคำบันทึกการสัมภาษณ์เพื่อวิเคราะห์คำตอบของกลุ่มที่ศึกษาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แล้วนำไปให้คะแนนตามเกณฑ์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ มีคะแนนเต็มข้อละ 6 คะแนน ซึ่งได้มาจากคะแนนเต็มที่เป็นไปได้คือ 2 คะแนน จากองค์ประกอบทั้งสามส่วน คำถามสัมภาษณ์มีทั้งหมด 4 ข้อ คะแนนรวม 24 คะแนน

3. อ่านคำบันทึกการสัมภาษณ์อย่างละเอียดอีกครั้งเพื่อวิเคราะห์ว่าทุกคำตอบสอดคล้องกับเกณฑ์การให้คะแนน

4. นำคะแนนที่ได้ในแต่ละองค์ประกอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ไปหาค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนที่ได้

5. สรุปผลคะแนนทั้งหมดที่ได้หาค่าร้อยละ แล้วนำไปจำแนกระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์แสดงระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทั้ง 3 องค์ประกอบ จำแนกเป็นระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยปรับปรุงจากของ McNeil & Krajcik (2008) โดยวัดเป็นรายบุคคลทั้ง 3 ระดับ คือ ระดับดีมาก ระดับดี และระดับควรปรับปรุง ซึ่งการสร้างระดับคะแนนเป็นสามส่วน ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้ในห้องเรียน และลดการเลื่อมกันของช่วงระดับคะแนน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์แสดงระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ช่วงคะแนน	ระดับความสามารถ
17-24	ดีมาก
9-16	ดี
0-8	ควรปรับปรุง

6. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของกลุ่มที่ศึกษา แล้วนำผลคะแนนที่ได้มาเทียบกับเกณฑ์แสดงระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่กำหนดไว้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จำแนกรายข้อและรายองค์ประกอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และลักษณะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ดังนี้

1. ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จำแนกรายข้อ มีรายละเอียด ดังนี้

ในข้อที่ 1 พายุอะไร กลุ่มที่ศึกษาสามารถทำคะแนนได้มากที่สุด 30 คะแนน (ร้อยละ 83.33) โดยมีคะแนนองค์ประกอบข้อกล่าวอ้างมากที่สุด 11 คะแนน (ร้อยละ 91.67) รองลงมา คือหลักฐาน 10 คะแนน (ร้อยละ 83.33) และการให้เหตุผล 9 คะแนน (ร้อยละ 75) สรุปดังแสดงในภาพที่ 3



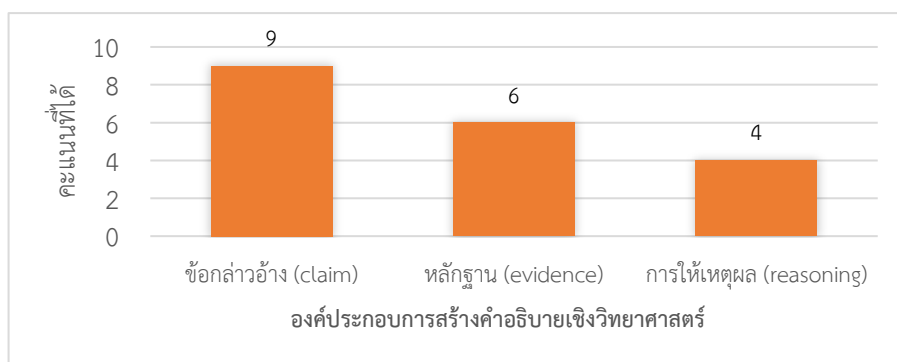
ภาพที่ 3 คะแนนรวมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ข้อที่ 1 พายุอะไร

ในข้อที่ 2 พยากรณ์อากาศ กลุ่มที่ศึกษาสามารถทำคะแนนได้ 21 คะแนน (ร้อยละ 58.33) โดยมีคะแนนองค์ประกอบข้อกล่าวอ้างมากที่สุด 11 คะแนน (ร้อยละ 91.67) รองลงมา คือหลักฐาน 6 คะแนน (ร้อยละ 50) และการให้เหตุผล 4 คะแนน (ร้อยละ 33.33) สรุปดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 คะแนนรวมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อ 2 พยากรณ์อากาศ

ในข้อที่ 3 โลกร้อนจริงหรือ กลุ่มที่ศึกษาสามารถทำคะแนนได้ 19 คะแนน (ร้อยละ 52.78) โดยมีคะแนนองค์ประกอบ ข้อกล่าวอ้างมากที่สุด 9 คะแนน (ร้อยละ 75) รองลงมา คือหลักฐาน 6 คะแนน (ร้อยละ 50) และการให้เหตุผล 4 คะแนน (ร้อยละ 33.33) สรุปดังแสดงในภาพที่ 5



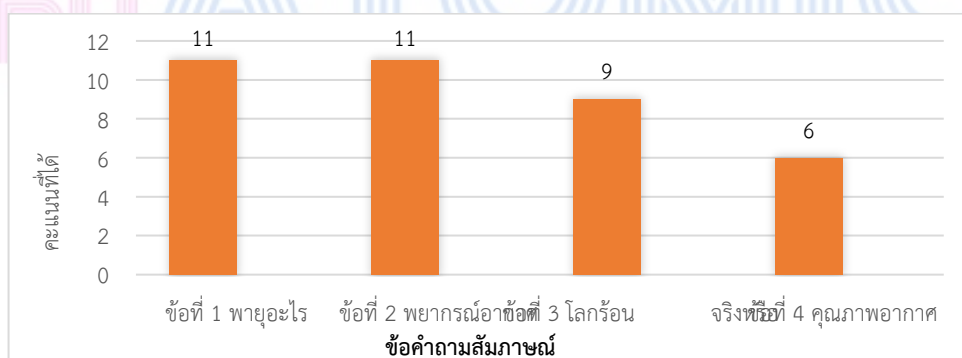
ภาพที่ 5 คะแนนรวมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อ 3 โลกร้อนจริงหรือ

ในข้อที่ 4 คุณภาพอากาศ กลุ่มที่ศึกษาสามารถทำคะแนนได้น้อยที่สุด คือ 13 คะแนน (ร้อยละ 36.11) โดยมีคะแนนองค์ประกอบ ข้อกล่าวอ้างมากที่สุด 6 คะแนน (ร้อยละ 50) รองลงมาคือ หลักฐาน 4 คะแนน (ร้อยละ 33.33) และการให้เหตุผล 3 คะแนน (ร้อยละ 25) สรุปดังแสดงในภาพที่ 6



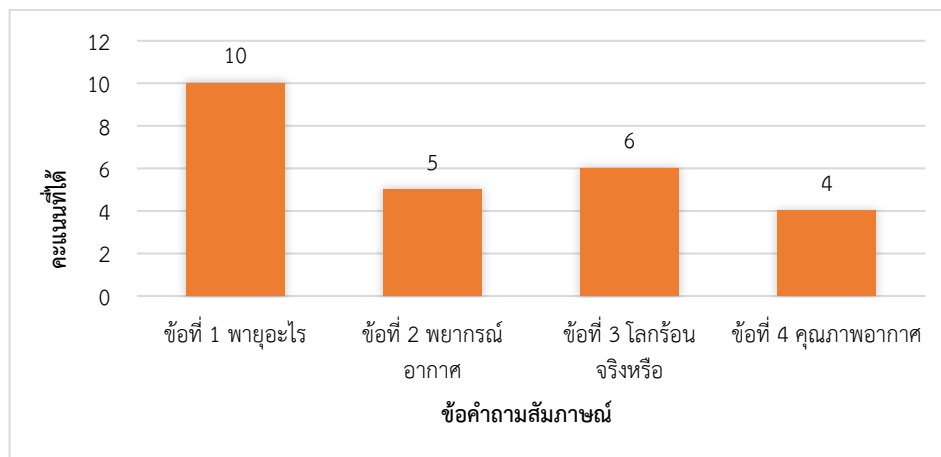
ภาพที่ 6 คะแนนรวมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
จากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อ 4 คุณภาพอากาศ

2. ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จำแนกรายองค์ประกอบ มีรายละเอียด ดังนี้
องค์ประกอบข้อกล่าวอ้าง กลุ่มที่ศึกษาสามารถตอบคำถามในข้อที่ 1 พายุอะไร และข้อที่ 2 พายุกรณอากาศมากที่สุด รองลงมาคือข้อที่ 3 โลกร้อนจริงหรือ และตอบคำถามข้อที่ 4 คุณภาพอากาศน้อยที่สุด โดยมีคะแนน 11 คะแนน (ร้อยละ 91.67), 11 คะแนน (ร้อยละ 91.67), 9 คะแนน (ร้อยละ 75) และ 6 คะแนน (ร้อยละ 50) ตามลำดับ สรุปดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 คะแนนองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้างรายข้อ ของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบหลักฐาน กลุ่มที่ศึกษาสามารถตอบคำถามในข้อที่ 1 พายุอะไร มากที่สุด รองลงมาคือข้อที่ 3 โลกร้อนจริงหรือ ถัดไปคือข้อที่ 2 พยากรณ์อากาศ และตอบคำถามข้อที่ 4 คุณภาพอากาศน้อยที่สุด โดยมีคะแนน 10 คะแนน (ร้อยละ 83.33), 6 คะแนน (ร้อยละ 50), 6 คะแนน (ร้อยละ 50) และ 4 คะแนน (ร้อยละ 33.33) ตามลำดับ สรุปดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 คะแนนองค์ประกอบด้านหลักฐานรายชื่อของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบการให้เหตุผล กลุ่มที่ศึกษาสามารถตอบคำถามในข้อที่ 1 พายุอะไร มากที่สุด รองลงมาคือข้อที่ 2 พยากรณ์อากาศและข้อที่ 3 โลกร้อนจริงหรือ และตอบคำถามข้อที่ 4 คุณภาพอากาศน้อยที่สุด โดยมีคะแนน 9 คะแนน (ร้อยละ 75), 4 คะแนน (ร้อยละ 33.33), 4 คะแนน (ร้อยละ 33.33) และ 3 คะแนน (ร้อยละ 25) ตามลำดับ สรุปดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 คะแนนองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลรายชื่อของแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

3. ลักษณะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

จากการถอดความบันทึกการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ของนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยนำเสนอตัวอย่างของคำตอบที่แสดงถึงระดับคำตอบในแต่ละประเด็นดังต่อไปนี้

ตัวอย่างของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ระดับดีมาก โดยนักเรียนสามารถตอบคำถามระบุข้อกล่าวอ้าง ระบุหลักฐานและแสดงความเป็นเหตุเป็นผลจากหลักฐานไปยังข้อกล่าวอ้างได้ นำเสนอโดยผลการเก็บข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ ข้อที่ 3 โลกร้อนจริงหรือ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยการแยกเป็นองค์ประกอบด้านต่าง ๆ ดังนี้

องค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้าง: เด็กหญิงฝนสามารถตอบคำถามที่แสดงถึงการสร้างข้อสรุปที่เป็นคำตอบของปัญหาได้สมบูรณ์ ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: จากกราฟทั้งสองแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มในอนาคตอุณหภูมิระดับน้ำทะเลทั่วโลกและความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นเช่นไร

ฝน: อุณหภูมิระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้น

ผู้วิจัย: แล้วความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นอย่างไร

ฝน: ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะเพิ่มขึ้น

องค์ประกอบด้านหลักฐาน: เด็กหญิงฝนมีการตอบคำถามที่แสดงหลักฐานที่เหมาะสมและเพียงพอที่จะนำไปสู่ข้อสรุป ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: ข้อมูลใดที่บ่งชี้ว่าอุณหภูมิระดับน้ำทะเลทั่วโลกและความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นเช่นนั้น

ฝน: เพิ่มขึ้นเหมือนกันค่ะ อุณหภูมิระดับน้ำทะเลทั่วโลกเพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

องค์ประกอบด้านการให้เหตุผล: เด็กหญิงฝนมีการตอบคำถามที่แสดงถึงการเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปได้ถูกต้องและสมบูรณ์ ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: เพราะเหตุใดจึงทำนายว่าในอนาคตอุณหภูมิระดับน้ำทะเลทั่วโลกจะเป็นเช่นนั้น อะไรละเป็นสาเหตุให้อุณหภูมิสูงขึ้น

ฝน: เพราะโลกร้อนค่ะ เกิดจากโลกร้อนค่ะ ก็เลยทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นค่ะ

ผู้วิจัย: เพราะอะไรโลกร้อนถึงร้อน

ฝน: เพราะการเผา

ผู้วิจัย: การเผาทำให้เกิดอะไรคะ

ฝน: แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น โลกร้อนขึ้น อุณหภูมิระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น

ถอดความจากการสัมภาษณ์

เด็กหญิงฝน (นามสมมติ)

วันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2563

ตัวอย่างของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ระดับดี ซึ่งสามารถระบุข้อกล่าวอ้างได้ แต่การบอกหลักฐานยังไม่ชัดเจนและไม่สามารถเชื่อมโยงเหตุผลได้ โดยเฉพาะการอธิบายผ่านแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ที่ยังไม่สมบูรณ์ เช่น การระบุตัวเลข 31 แต่ไม่แสดงหน่วยหรือคำอธิบาย ซึ่งเป็นการระบุหลักฐาน แต่ไม่ได้แสดงว่านำมาใช้อย่างไร ระดับความสามารถนี้นำเสนอตัวอย่างโดยผลการเก็บข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ ในข้อที่ 2 พยากรณ์อากาศ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยแยกเป็นองค์ประกอบด้านต่าง ๆ ดังนี้

องค์ประกอบข้อกล่าวอ้าง: เด็กชายสายลม มีการตอบคำถามที่แสดงถึงการสร้างข้อสรุปที่เป็นคำตอบของปัญหาได้สมบูรณ์ ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: จากการพยากรณ์ประจำวันวันที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ.2562 ช่วงใดที่มีโอกาสเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง

สายลม: ช่วงบ่าย

องค์ประกอบด้านหลักฐาน: เด็กชายสายลมได้ตอบคำถามแสดงหลักฐานที่ไม่นำไปสู่ข้อสรุป ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: ข้อมูลใดที่ใช้แสดงว่ามีพายุฝนฟ้าคะนองจะเกิดพายุฝนฟ้าคะนองช่วงนั้น

สายลม: เพราะมี เมฆ 31

องค์ประกอบด้านการให้เหตุผล: เด็กชายพายุมีการตอบคำถามที่แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปได้ ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: เหตุใดจึงทราบว่าจากการพยากรณ์อากาศช่วงนี้จะมีพายุฝนฟ้าคะนอง

สายลม: เพราะช่วงบ่ายมีเมฆเยอะกว่าปกติ

ถอดความจากการสัมภาษณ์

เด็กชายสายลม (นามสมมติ)

วันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2563

ตัวอย่างของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ระดับปรับปรุง ซึ่งสามารถระบุข้อกล่าวอ้างได้ แต่ไม่สามารถระบุหลักฐานใช้สนับสนุนและไม่สามารถเชื่อมโยงเหตุผลได้ จึงทำให้วิเคราะห์ได้ว่า คำกล่าวอ้างนี้อาจจะเกิดจากการสืบทอดหรือใช้ความรู้จากตำแหน่งหรือสื่อของภาพ โดยไม่ได้ใช้การอธิบายผ่านแนวคิดวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างของระดับความสามารถที่ครูต้องช่วยเหลือและปรับปรุง นำเสนอโดยผลการเก็บข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยการสัมภาษณ์ ในข้อที่ 4 คุณภาพอากาศ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยแยกเป็นองค์ประกอบด้านต่าง ๆ ดังนี้

องค์ประกอบข้อกล่าวอ้าง: เด็กหญิงฟ้าสามารถตอบคำถามที่แสดงว่าไม่สามารถสรุปได้ ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: จากรูปบริเวณใดที่มีคุณภาพอากาศต่ำที่สุด

ฟ้า: อะแกเลอ (แปลว่า อิม/เออ - ผู้วิจัย) ถนนสาทรใต้

องค์ประกอบด้านหลักฐาน: เด็กหญิงฟ้าได้ตอบคำถามแสดงหลักฐานที่ไม่นำไปสู่ข้อสรุป ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: ข้อมูลใดที่บ่งชี้ว่าคุณภาพอากาศบริเวณนั้นต่ำที่สุด

ฟ้า: มีจุดดำ

องค์ประกอบด้านการให้เหตุผล: เด็กหญิงฟ้าตอบคำถามที่แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถให้เหตุผลที่เชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุป ดังบทสนทนาต่อไปนี้

ผู้วิจัย: เพราะเหตุใดเราจึงทราบว่าบริเวณคุณภาพอากาศบริเวณนั้นแย่ที่สุด

ฟ้า: เพราะว่ามีอากาศต่ำที่สุดค่ะ

ถอดความจากการสัมภาษณ์

เด็กหญิงฟ้า (นามสมมติ)

วันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2563

อภิปรายผล

จากผลวิจัยดังกล่าว มีหลายปัจจัยประกอบกัน ทั้งการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่มีกระบวนการที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaowakeratipong (2019) ที่ได้ศึกษาเรื่อง การส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนด้วยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ พบว่าการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้สามารถช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ เช่นเดียวกับ Wangthaphun et al. (2018) ที่ได้ศึกษา เรื่องการศึกษาลิขิตและโปรตีน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียน สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ส่วน อินโฟกราฟิกนั้นเป็นเครื่องมือที่ช่วยสื่อสารอธิบายสร้างความเข้าใจ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Vanichvasin (2015) ที่ได้ศึกษา เรื่องการเพิ่มระดับการเรียนรู้ผ่านการใช้ภาษาภาพและสารสนเทศ (infographics) เป็นเครื่องมือสื่อสารด้วยภาพและเครื่องมือการเรียนรู้ พบว่า อินโฟกราฟิกเป็นเครื่องมือการเรียนรู้ในลักษณะการอธิบาย ยกตัวอย่าง กรณีศึกษาและเป็นกิจกรรมการเรียนรู้

เมื่อพิจารณาในแต่ละองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แล้ว พบว่า นักเรียนได้คะแนนในองค์ประกอบข้อกล่าวอ้างมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Worakhot et al. (2018) ที่ได้ศึกษาเรื่อง การศึกษาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด - เบส ที่พบว่า องค์ประกอบข้อกล่าวอ้างนั้น เป็นองค์ประกอบที่นักเรียนทำได้ง่ายที่สุด เช่นเดียวกับ Ruiz-Primo et al. (2010) ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากการระบุองค์ประกอบข้อกล่าวอ้างนั้น เป็นเพียงการแสดงความคิดเห็นต่อปรากฏการณ์นั้น ๆ ที่เห็น ยังไม่ต้องแสดงหลักฐานมาสนับสนุนหรือเหตุผลมาสนับสนุน

พิจารณาองค์ประกอบด้านหลักฐาน พบว่า หลังจากลงมือปฏิบัติกิจกรรมและค้นคว้าหาความรู้ผ่านการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้แล้ว นักเรียนมีการพัฒนาความสามารถในด้านนี้ สาเหตุเพราะการยกหลักฐานมาประกอบการกล่าวอ้างมีเครื่องมือช่วยในกระบวนการคิดคือ สารสนเทศที่นำเสนอในรูปแบบตัวแทนความคิดที่เข้าใจได้ง่าย ธรรมชาติของเครื่องมือ (อินโฟกราฟิก) สอดคล้องกับวิธีการเรียนรู้ (การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์) ดังที่ Gebre (2018) ได้อธิบายไว้ อย่างไรก็ตามยังมีนักเรียนบางคนตอบคำถามไม่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยมองภาพในข้อความผิดประเด็น ขาดการสังเกต หรือตีความคำถามไม่ได้ จึงไม่สามารถตอบคำถามให้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้

พิจารณาองค์ประกอบการให้เหตุผลนั้น พบว่า เป็นองค์ประกอบที่นักเรียนทำคะแนนได้น้อยที่สุด เนื่องจากความรู้เดิมของนักเรียนมีอิทธิพลต่อการให้เหตุผลของนักเรียน (Metz, 2000) ทำให้การให้เหตุผลของนักเรียนแตกต่างกันด้วย นักเรียนที่มีความรู้เดิมเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง ก็ส่งผลให้นักเรียนให้เหตุผลที่เชื่อมโยงระหว่างข้อกล่าวอ้างและหลักฐานที่สอดคล้องกับคำถามได้

Samakoses (2013) กล่าวถึง อินโฟกราฟิกว่าช่วยสร้างประสิทธิภาพในการเรียนรู้ เนื่องจากมีงานวิจัยยืนยันว่าสมองของมนุษย์ร้อยละ 50 ถูกใช้ในการทำงานด้านการมองเห็นจนสมองสามารถย่อยภาพที่ได้รับทั้งหมดในทันที และมนุษย์ใช้เวลาในการรับทราบข้อมูลจากข้อความ ยิ่งไปกว่านั้นประชากรทั่วไป ร้อยละ 65 เป็นนักเรียนรู้จักการมองเห็น นักเรียนที่เป็นกลุ่มนักเรียนชาติพันธุ์นี้เป็นนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ปาเกะญอ (กระเหรี่ยงสะกอ) ซึ่งใช้ภาษาไทยเป็นภาษาที่ 2 ในการสื่อสาร การจัดการเรียนการสอนจึงควรมีสื่อที่เป็นรูปภาพมาช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ สอดคล้องกับ Office for promotion of the learning society and the quality of youth. (2020) ได้กล่าวว่า อินโฟกราฟิกทำให้ผู้ใช้ทุกกลุ่ม ทำความเข้าใจได้ง่าย ทั้งนักเรียน ครู และบุคลากรทางการศึกษา ผู้ใช้สามารถจดจำเนื้อหาซับซ้อนได้ง่ายขึ้นดึงดูดความสนใจได้ง่าย เพราะอินโฟกราฟิก ประกอบด้วยสีสันและลวดลายที่น่าสนใจ นอกจากนี้ Vanichvasin (2015) ยังพบว่านักเรียนให้ความสนใจเรียนมากขึ้น เข้าใจเนื้อหามากยิ่งขึ้น ดังนั้น อินโฟกราฟิกจึงช่วยให้นักเรียนสนใจเรียน เข้าใจเนื้อหามากยิ่งขึ้นและเมื่อนำไปใช้ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ซึ่งมีกระบวนการที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จึงส่งผลให้นักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์มีความสามารถสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดี

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นเหตุผลที่สนับสนุนว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกสามารถพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนแห่งหนึ่งในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ได้ ดังนั้น จึงสามารถใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิก เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์กับนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ในโรงเรียนต่าง ๆ ในเนื้อหาหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ลม พายุอากาศ นี้ได้ ซึ่งองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้างนั้นนักเรียนกลุ่มทดลองทำคะแนนได้สูง แต่องค์ประกอบด้านหลักฐานและด้านการให้เหตุผลควรได้รับการพัฒนาต่อไป

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกสามารถพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนแห่งหนึ่งในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ได้ ดังนั้น จึงสามารถใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกในการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์กับนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์ในโรงเรียนต่าง ๆ ในเนื้อหาหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ลม พายุอากาศ นี้ได้ ซึ่งองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้างนั้นนักเรียนกลุ่มทดลองทำคะแนนได้สูง แต่องค์ประกอบด้านหลักฐานและด้านการให้เหตุผลควรได้รับการพัฒนาต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดการใช้อินโฟกราฟิกให้เป็นภาพสามมิติหรือภาพเคลื่อนไหวที่หลากหลายมากขึ้น ดังที่ Lomklang et al. (2021) ได้นำเสนอการใช้งาน แบบจำลองภาพ (visual model) ในรูปแบบสื่อการ์ตูน หนังสือสามมิติร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ซึ่งพบว่านอกจากจะพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แล้ว ยังส่งเสริมให้ผู้เรียนกลับมาสนใจและมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนได้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1 การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกสามารถพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดี โดยเฉพาะนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์

1.2 การเรียนรู้ผ่านอินโฟกราฟิกรวมทั้งการจัดทำอินโฟกราฟิกควรเน้นการอ้างอิงหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เป็นสำคัญ โดยกระตุ้นให้นักเรียนฝึกการใช้เหตุผลในการเชื่อมโยง

1.3 ควรเพิ่มการเรียนรู้สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นสากล ที่พบในชีวิตประจำวัน เช่น การพยากรณ์อากาศ เครื่องหมายของทางอุณหภูมิจากอากาศ เป็นต้น ซึ่งนักเรียนจะใช้ในการแปลความหมายและการลงข้อสรุปคำกล่าวอ้าง และการสร้างอินโฟกราฟิกของตนเอง

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ศึกษาผลของการเชื่อมโยงหลักฐานกับการลงข้อสรุปโดยใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า หากจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะนักเรียนสามารถลงข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ได้ดี แต่ความสามารถจะลดลงเมื่อให้ระบุหลักฐานและความเชื่อมโยงหลักฐานไปยังคำกล่าวอ้าง ดังนั้นประเด็นนี้ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

2.2 ศึกษาผลของการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อสมรรถนะอื่น ๆ ของนักเรียน โดยเฉพาะในกลุ่มชาติพันธุ์ที่มีข้อจำกัดเรื่องภาษา เนื่องจากอินโฟกราฟิกจะลดการใช้ภาษาและเพิ่มสัญลักษณ์ที่สามารถเข้าใจได้ง่าย

2.3 พัฒนาการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อสมรรถนะของนักเรียนด้วยรูปแบบอื่น ๆ เช่น สื่อสามมิติ การ์ดเกม ภาพเคลื่อนไหว เทคโนโลยีเสมือนจริง

2.4 เนื่องจากระยะเวลาและจำนวนในการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพมีข้อจำกัด รวมทั้งบทสัมภาษณ์ที่มีความกระชับเนื่องจากอุปสรรคด้านภาษาและการสื่อสาร การวิจัยครั้งต่อไปอาจจะใช้รูปแบบการวิจัยแบบชาติพันธุ์วรรณา (Ethnography) มาประยุกต์ใช้ให้เกิดการตีความในแง่มุมเชิงสังคมที่มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Allen, S. (1997). Using scientific inquiry activities in exhibit explanations. *Science education*, 81(6), 715-734.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific inquiry and science teaching. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 1-14). Springer, Dordrecht.
- Chamrat, S. (2019). The design and development of stem for life, economy and society materials and learning activity. *Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts)*, 12(2), 1150-1170.
- Chaowakeratipong, N. (2019). Enhancing the ability in constructing scientific explanations of learners by using the inquiry teaching Method (in Thai). *STOU Education Journal*, 12(1), 40-54.
- Gebre, E. (2018). Learning with multiple representations: Infographics as cognitive tools for authentic learning in science literacy. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 44(1).
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2016). Summary of research results of the TIMSS 2015 project (in Thai). Retrieved 2 April 2019, from *Trends in International Mathematics and Science Study*: <http://timssthailand.ipst.ac.th/timss/reports>.
- Lomklang, S., Tanahoung, C., Wuttisela, W. and Wutiprom, S. (2021). The study of mental model through drawing about solar system for grade-4 students (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(1), 107-117.
- McNeill, K. L. and Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In Luft, J., Bell, R. L., & Gess-Newsome, J. (Eds.), *Science as inquiry in the secondary setting* (pp.121-134). NSTA Press.
- Metz, K. (2000). Young children's inquiry in biology: Building the knowledge bases to empower independent inquiry. In J. Minstrell and E. van Zee (Eds.) *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 371-404). Washington, D.C: AAAS.
- Ministry of Education. (2017). Indicators and concepts in science subject (revision B.E.2560) according to basic education core curriculum B.E. 2551 (in Thai). Bangkok: Chumnumshakorn Karnkaset.
- National Research Council. (1996). National science education standards. National Academies Press.
- National Science Technology and Innovation Policy Office. (2015). Background of the institution (in Thai). Retrieved 7 April 2019, from http://www.sti.or.th/about.php?content_type=2.
- Office for promotion of the learning society and the quality of youth. (2020). Infographic: the new storytelling tools (in Thai). Retrieved 20 March 2019, from <http://www.qlf.or.th/Home/Contents/300>.

- O'donoghue, T. (2006). Planning your qualitative research project: An introduction to interpretivist research in education. Routledge.
- Pananchai, K., Matarat, P., Tamuang, S. and Supasorn, S. (2018). Eleventh grade students' conceptual understanding and mental models on chemical equilibrium from learning by using inquiry incorporated with predict-observe-explain technique (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 49-60.
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S. and Schneider, J. (2008). CRESST Report 733: Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: A study that examines student's scientific explanation. Los Angeles: University of California.
- Sakurada, J. (2015). Basic infographic (in Thai). Nonthaburi: DC Premier.
- Samakoses, V. (2013). Infographics help with learning (in Thai). Retrieved 2 March 2019, from **Bangkok Biz News**: <https://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/490933>.
- Science Teachers' Association of Ontario. (2006). Position paper: The Nature of Science, 1-2. Ontario: SCCAO Helping Science Happen.
- Vanichvasin, P. (2015). Potentials of using Infographics in Enhancing the quality of Learning (in Thai). **Panyapiwat Journal**, 7(special), 227-240.
- Wangthaphan, T., Chanchampa C. and Wonsawas, W. (2018). The study "lipid and protein" of grade 10 students' by using 5e inquiry model to enhance scientific explanation skills (in Thai). **Proceedings of 2nd of Suansunandha Rajabhat University** (pp.346-353). Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University.
- Worakhot, J., Chansawang, N. and Tabtimsai, C. (2018). Examining high school student-generated explanations on acid-base (in Thai). **Proceedings of 4th Faculty of Information and Technology Rajabhat MahaSarakhm University Research Conference** (pp.49-55). Maha Sarakhm: Rajabhat Maha Sarakhm University.



บทความวิจัย

การพัฒนาความตรงเวลาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในรายวิชาเคมี ด้วยการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะ สื่อสังคมออนไลน์ ตัวออกและบัตรสะสมคะแนน ผ่านการออกแบบบทเรียนโดยใช้กิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ

พรพรรณ สกนธวัฒน์¹ และสุวัฒน์ ผาบัณฑา^{2,*}¹กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

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

รับบทความ: 12 สิงหาคม 2564 แก้ไขบทความ: 3 กันยายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 7 กันยายน 2564

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความตรงเวลาในรายวิชาเคมีโดยใช้การเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะ สังคมออนไลน์ ตัวออก และบัตรสะสมคะแนน ผ่านการออกแบบบทเรียนโดยใช้กิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ กลุ่มทดลองเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 8 และ 12 คน ในโรงเรียนขยายโอกาส จังหวัดนครราชสีมา ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 ตามลำดับ งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนใช้สำหรับ PLC 3 วงรอบ เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยแผนการเรียนรู้ 3 แผน ที่จัดการเรียนแบบในสถานศึกษาและออนไลน์ แบบสังเกตพฤติกรรม ชุดใบงานวางแผนการทดลอง ตัวออก บัตรสะสมคะแนน และแบบประเมินพฤติกรรม การวิเคราะห์พฤติกรรมด้านวินัยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ผลการวิจัยสรุปได้ ดังนี้ การส่งงานตรงเวลาในภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 มีนักเรียนที่ส่งงานตรงเวลาคิดเป็นร้อยละ 95.83 และ 63.89 ของนักเรียนทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งเห็นว่าแผนการเรียนรู้ทั้ง 3 แผน สามารถพัฒนาการส่งงานที่มอบหมายตรงตามกำหนดเวลาได้ อย่างไรก็ตาม ผลของการเรียนรู้ในสถานศึกษาและออนไลน์เพื่อเสริมสร้างวินัยของนักเรียนชี้ให้เห็นว่าการเรียนในสถานศึกษาทำให้มีพฤติกรรมทางวินัยที่ดีกว่า นอกจากนี้ครูยังสามารถพัฒนาการออกแบบบทเรียนผ่านกระบวนการชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพได้อีกด้วย

คำสำคัญ: ความตรงเวลา เคมี การสืบเสาะ สื่อสังคมออนไลน์ ชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ

อ้างอิงบทความนี้

พรพรรณ สกนธวัฒน์ และสุวัฒน์ ผาบัณฑา. (2564). การพัฒนาความตรงเวลาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในรายวิชาเคมี ด้วยการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะ สื่อสังคมออนไลน์ ตัวออกและบัตรสะสมคะแนน ผ่านการออกแบบบทเรียน โดยใช้กิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 204 - 216.

Research Article

The development of punctuality for eleventh grade students in chemistry with blended learning based on inquiry, social media, exit ticket and scorecard through lesson design by using professional learning community activity.

Pornpun Sakonthawat¹ and Suwat Pabchanda^{2,*}

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

²Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Mueang District, Nakhon Ratchasima Province

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

Received <12 August 2021>; Revised <3 September 2021>; Accepted <7 September 2021>

Abstract

The study aimed to develop punctuality in chemistry using blended learning based on inquiry, social media, exit ticket and scorecard through lesson design by using professional learning community activity. The experimental groups were 8 and 12 students of eleventh grade students in an opportunity expansion school, Nakhon Ratchasima province in the first semester of academic year 2020 and 2021, respectively. This research applied classroom action research for 3 PLC cycles. The instruments in this research comprised 3 learning plans with onsite and online learning managements, behavior observation form, a set of laboratory plan worksheets, exit ticket, scorecard and behavior assessment. The disciplinary behavior analysis was statistically analyzed by mean, percentage, standard deviation and relative standard deviation. The results of the research can be summarized as follows: punctuality in the first semester of academic year 2020 and 2021, the percentage of submitting their work on time of 95.83 and 63.89 percent, respectively, demonstrating that the three learning plans could be improved deliver on-time assignment. However, the effects of onsite and online learning to enhance the students' disciplines indicated that the onsite learning gained better disciplinary behaviors. Moreover, the teacher was able to develop a lesson design through the professional learning community process.

Keywords: Punctuality, chemistry, inquiry, social media, professional learning community

Cite this article:

Sakonthawat, P. and Pabchanda, S. (2021). The development of punctuality for eleventh grade students in chemistry with blended learning based on inquiry, social media, exit ticket and scorecard through lesson design by using professional learning community activity (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 204 - 216.

บทนำ

ปัญหาการขาดวินัยของผู้เรียนสามารถสำรวจพบในนักเรียนไทยในทุกระดับช่วงชั้น (Toemngam, Ngamprakhon, and Saengnont, 2019; Kaewpila and Thongprong, 2021) ปัญหาการขาดวินัยของนักเรียนในสถานศึกษามีหลายด้าน เช่น ด้านการทำงานที่มอบหมายส่งตรงตามกำหนดเวลา (Tabsee, 2009) และการเข้าเรียนตรงเวลา (U-Kong, 2018) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการวิจัยผลของการจัดกิจกรรมการศึกษาในระบบโรงเรียนเพื่อพัฒนาเยาวชนในกรุงเทพมหานคร จำนวน 15 คน อายุระหว่าง 10 ถึง 18 ปี ประเด็นปัญหาด้านวินัยในตนเอง 6 ด้าน ได้แก่ ความตรงเวลา การวางแผนการทำงาน การปฏิบัติ ตามกฎระเบียบ การรู้จักประเมินตนเอง ความเสมอต้นเสมอปลาย และความซื่อสัตย์ (Koomthanom and Ratana-Ubol, 2015) ดังนั้นปัญหาการขาดวินัยของผู้เรียนด้านความตรงเวลาเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญ

จากการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 จำเป็นต้องเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญผ่านการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) (Panich, 2012) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Bunwirat and Boonsathorn, 2018; Intharaksa, 2019) เป็นการจัดการเรียนรู้เชิงรุกแบบหนึ่งที่มีความนิยมนำมาปรับใช้พัฒนาผู้เรียนให้มีความพร้อมด้านทักษะในศตวรรษที่ 21 ใน งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ในรายวิชาเคมีโดยการผสมผสานกับ ผังกราฟิก (Graphic Organizers) (Yothawaramontri, Phoprom and Wongsawat, 2013) วิธีการแบบเปิด (Open Approach) (Klinkla, Phibanchon and Srisanyong, 2016) เทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบาย (Panachai et al., 2018) ปัญหาเป็นฐาน (Tingsa et al., 2018) การโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ (Janhom and Jantrasee, 2019) แบบจำลองเชิงกายภาพ (Tipchai et al., 2019) แบบจำลองอนุภาค (Panachai and Supasorn, 2020) และบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer Assisted Instruction, CAI) (Khwanput, Chaiprasert and Wannaprapha, 2020) และห้องเรียนกลับด้าน (flipped classroom) (Tagaew, 2021) เป็นต้น ในปีการศึกษา 2564 เกิดสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) อย่างรุนแรง ส่งผลให้ไม่สามารถจัดการเรียนการสอนภายในสถานศึกษา (onsite) ได้ตลอดทั้งภาคเรียน ครูผู้สอนจึง จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการเรียนรู้เป็นแบบออนไลน์ (online) งานวิจัยที่ผ่านมาใช้การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ในรูปแบบต่าง ๆ อาทิเช่น บทเรียนผ่านโปรแกรมประยุกต์ (Applications) (Intharaksa, 2019) เครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Rakkrathok and Sovajassatakul, 2020) และสื่อสังคมออนไลน์เฟซบุ๊ก (Facebook) (Supkul, Sahatsathatsana and Sungsrakaew, 2020) เป็นต้น ผู้วิจัยพิจารณาจากงานวิจัยในชั้นเรียนที่ผ่านมาและมีความคิดเห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบ สืบเสาะร่วมกับการใช้สื่อสังคมออนไลน์น่าจะเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาการเรียนรู้ในเนื้อหาวิชาเคมี และสามารถส่งงานตรง เวลาได้

ผู้วิจัยซึ่งเป็นครูผู้สอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปฏิบัติการสอนในรายวิชาเคมีทุกระดับชั้นของ โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา สังกัดองค์การบริหารส่วนจังหวัดนครราชสีมา จากข้อมูลผลการเรียน ของนักเรียนปีการศึกษา 2560 ถึง 2562 พบว่าในทุกะดับชั้นที่จัดการเรียนรู้ในเนื้อหาของบางหน่วยการเรียนรู้ นักเรียนไม่ สามารถส่งงานได้ตรงเวลาประมาณร้อยละ 70 ของนักเรียนทั้งหมดในชั้นเรียน ซึ่งตามมด้วยปัญหาการติดการประเมินผล การเรียนในช่วงปลายภาคเรียน จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่พัฒนาผู้เรียนในด้านการส่งงานไม่ตรงเวลาผ่านการออก แบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการใช้สื่อการเรียนรู้ที่คาดว่าช่วยทำให้นักเรียนได้มีโอกาสฝึกฝนทั้งในห้องเรียนและ นอกห้องเรียน ในงานวิจัยได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยการให้นักเรียนศึกษาเนื้อหาจากก่อนล่วงหน้าและส่ง ร่องรอยการศึกษาล่วงหน้าผ่านกลุ่มเฟซบุ๊ก (Facebook) (Supkul, Sahatsathatsana and Sungsrakaew, 2020) เมื่อถึงเวลา ที่ครูผู้สอนจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้ร่วมทำกิจกรรมกลุ่มร่วมระดมความคิดเห็นเขียนแผนผังการทดลองซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่ยังขาด ทักษะการเขียนแผนผังการทดลอง เมื่อปฏิบัติกิจกรรมการทดลองและได้ผลการทดลองแล้ว ผู้เรียนนำเสนอข้อมูลผลการทดลอง ผ่านการอภิปรายผลระหว่างกลุ่มโดยใช้เทคนิคการเดินชมผลงาน (Gallery Walk) ก่อนหมดเวลาคาบเรียนให้นักเรียนตอบ คำถามผ่านตั๋วออก (Exit Ticket) เป็นรายบุคคล และครูใช้บัตรสะสมคะแนนบันทึกการส่งงานตรงเวลาของนักเรียน การ ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้พัฒนานักเรียนในรายวิชาเคมี 3 (ว32223) ทั้ง 3 บทเรียน ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรและความดันของแก๊ส ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและ จำนวนโมลของแก๊ส โดยใช้กิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพช่วยพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้จากการระดมความคิดเห็น ของครูต้นแบบ (Model teacher) ครูผู้ร่วมเรียนรู้ (Buddy teacher) พี่เลี้ยงทางวิชาการ (Mentor) (Pabchanda, 2020) ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) (Pabchanda, 2020) และผู้บริหารสถานศึกษา (Administrator)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อใช้กระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะหา ความรู้ร่วมกับสื่อสังคมออนไลน์ Facebook ตั๋วออก และบัตรสะสมคะแนน ในวิชาเคมี 3 (ว32223) จำนวน 3 แผน ได้แก่

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส

2. เพื่อเปรียบเทียบการจัดการเรียนรู้ในสถานศึกษา (onsite) และออนไลน์ (online) ที่มีผลต่อการพัฒนาการส่งงานตรงเวลาในรายวิชาเคมี 3 (ว32223) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา

3. เพื่อพัฒนาด้านการเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ผ่านการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย กรอบแนวคิดการวิจัย กลุ่มเป้าหมาย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการเรียนรู้ด้านการส่งงานตรงเวลาและการเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ผ่านสังคมออนไลน์ Facebook คลิปวิดีโอต้น ใบงานเขียนแผนผังการทดลองวิทยาศาสตร์ ตัวออก และบัตรสะสมคะแนน ในรายวิชาเคมี 3 (ว32223) เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส จำนวน 3 แผน ได้แก่ แผนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส แผนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และแผนที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส ตัวแปรต้นในงานวิจัยนี้คือ แผนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานที่ได้ผ่านการออกแบบบทเรียนด้วยกระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพและรูปแบบการจัดการเรียนรู้ในสถานศึกษาและออนไลน์ ส่วนตัวแปรตามคือ การส่งงานตรงเวลา และการเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ กรอบแนวคิดการวิจัยสรุปแนวคิดโดยสังเขปแสดงดังภาพที่ 1 ในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่องการพัฒนาการเรียนรู้ด้านความตรงเวลาและการเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 โดยการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน

กลุ่มเป้าหมาย

ในงานวิจัยในชั้นเรียนนี้เลือกกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 จำนวน 8 คน และ 12 คน ตามลำดับ โดยใช้วิธีเลือกแบบเจาะจงจากประชากรทั้งหมด เนื่องจากโรงเรียนนี้เป็นโรงเรียนขยายโอกาสจึงมีนักเรียนแต่ละระดับชั้นจำนวนไม่มาก และกลุ่มตัวอย่างนี้เป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรได้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในการวิจัยนี้ประกอบด้วย เครื่องมือที่ใช้พัฒนาผู้เรียน เครื่องมือเก็บข้อมูล และเครื่องมือประเมินผล ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

เครื่องมือที่ใช้พัฒนาผู้เรียน ได้แก่

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry) จำนวน 3 แผน ที่ผ่านการประชุมวิพากษ์แผนจากกิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ PLC (Sriwana and Pabchanda, 2021) ได้แก่ แผนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส แผนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และแผนที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส ได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งสามแผนไปปฏิบัติการสอน (เปิดชั้นเรียน) และประชุมสะท้อนผลหลังการเปิดชั้นเรียนเพื่อหาแนวปฏิบัติที่ดีและสิ่งที่ควรปรับปรุงครั้งถัดไปในกิจกรรม PLC

2. สื่อกลิ่ววิถีทัศน์สาธิตการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส (IPST Chemistry, 2019) ที่ผ่านพิจารณาดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) โดยสมาชิกครูทีม PLC 3 ท่านในประชุมวิพากษ์แผนกิจกรรม PLC ทั้งสามสื่อกลิ่ววิถีทัศน์สาธิตการทดลองมีค่า IOC เท่ากับ 1.00

3. สื่อสังคมออนไลน์ผ่านกลุ่ม Facebook ชื่อกลุ่ม “Chemistry by kruann” สำหรับการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักเรียนและครูผู้สอน (Sakonhawatt, 2019)

เครื่องมือเก็บข้อมูล ได้แก่

1. ใบงานเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ของแผนการเรียนรู้ทั้ง 3 แผน จำนวน 3 ใบงาน ที่ผ่านพิจารณาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยสมาชิกครูทีม PLC 3 ท่านในประชุมวิพากษ์แผนกิจกรรม PLC ทั้งสามใบงานเขียนแผนผังการทดลองมีค่า IOC เท่ากับ 1.00

2. ตั๋วออก (Exit ticket) เป็นคำถามปลายเปิดที่ผ่านพิจารณาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยสมาชิกครูทีม PLC 3 ท่านในประชุมวิพากษ์แผนกิจกรรม PLC คำถามปลายเปิดมีค่า IOC อยู่ในช่วง 0.80 - 1.00

3. สื่อสังคมออนไลน์ผ่านกลุ่ม Facebook ชื่อกลุ่ม “Chemistry by kruann” สำหรับส่งงานศึกษาล่วงหน้าก่อนเรียน (Sakonhawatt, 2019)

เครื่องมือประเมินผล ได้แก่

1. เกณฑ์การให้คะแนนชิ้นงานแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ที่ผ่านพิจารณาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยสมาชิกครูทีม PLC 3 ท่านในประชุมวิพากษ์แผนกิจกรรม PLC ทั้งสามเกณฑ์การให้คะแนนชิ้นงานมีค่า IOC เท่ากับ 1.00

2. เกณฑ์การให้คะแนนตั๋วออก (Exit ticket) ที่ผ่านพิจารณาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยสมาชิกครูทีม PLC 3 ท่านในประชุมวิพากษ์แผนกิจกรรม PLC ทั้งสามเกณฑ์การให้คะแนนตั๋วออก มีค่า IOC เท่ากับ 1.00

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

1. ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้: นักเรียนกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนส่งชิ้นงานแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในสื่อสังคมออนไลน์ผ่านกลุ่ม Facebook ชื่อกลุ่ม “Chemistry by kruann” และครูผู้สอนบันทึกเวลาการส่งงานของนักเรียนเป็นรายบุคคลในบัตรสะสมคะแนนโดยใช้เวลาที่ปรากฏการส่งงานในกลุ่ม Facebook (Sakonhawatt, 2019)

2. ขั้นตอนการส่งงานตรงเวลา: ดำเนินการในระหว่างการใช้แผนการจัดการเรียนรู้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างโดยใช้กิจกรรมกลุ่ม แบ่งกลุ่มละ 2 ถึง 3 คน ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์และส่งตามกำหนดเวลา ครูผู้สอนบันทึกเวลาการส่งงานของนักเรียนแต่ละกลุ่มเพื่อประเมินการส่งงานตรงเวลาตามเกณฑ์ให้คะแนน (Scoring Rubric) ที่ออกแบบไว้

3. ขั้นตอนประเมินหลังการขึ้นฝึกการส่งงานตรงเวลา: ก่อนหมดเวลาคาบเรียน นักเรียนตอบคำถามผ่านตั๋วออก และครูผู้สอนบันทึกเวลาการส่งงานของนักเรียนเป็นรายบุคคลในบัตรสะสมคะแนนเพื่อประเมินการส่งงานตรงเวลาตามเกณฑ์ให้คะแนนที่ออกแบบไว้

4. ครูผู้สอนเก็บชิ้นงานที่ส่งผ่านสื่อสังคมออนไลน์ แผนผังการทดลอง ตั๋วออกและบัตรสะสมคะแนน เพื่อประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนในการประชุมสะท้อนผลการเปิดชั้นเรียนในกิจกรรม PLC โดยใช้เกณฑ์ให้คะแนนที่ออกแบบไว้

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเกณฑ์ให้คะแนนการส่งงานตรงเวลาและคุณภาพของชิ้นงานของผู้เรียน ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การประเมินการส่งงานตรงเวลาได้ออกแบบเกณฑ์ให้คะแนนโดยมีประเด็นในการประเมิน 3 รายการ ประกอบด้วย 1) เวลาส่งบันทึกสรุปการเรียนรู้ก่อนเรียนรายบุคคลผ่านกลุ่ม Facebook 2) เวลาส่งแผนผังการทดลองกลุ่ม และ 3) เวลาส่งคำตอบของคำถาม Exit Ticket ดังแสดงในตารางที่ 1 ในงานวิจัยนี้กำหนดเกณฑ์ผ่านประเมินผลการส่งงานตรงเวลาที่คะแนนรวมรายการประเมินที่ 1 และ 3 ตามตารางที่ 1 ซึ่งคิดผลคะแนนรวมการส่งงานตรงเวลาของนักเรียน

รายบุคคลที่ประเมินได้มากกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม 6 คะแนน คือ คะแนนที่ผ่านเกณฑ์อยู่ในช่วง 5 ถึง 6 คะแนน ส่วนรายการประเมินที่ 2 ทำงานกลุ่มและส่งงานการเขียนแผนผังการทดลองจากการปฏิบัติกิจกรรมกลุ่มที่ได้รับมอบหมายนั้นเป็นขั้นตอนการฝึกให้นักเรียนในกลุ่มช่วยกันทำงานส่งงานตรงเวลา และเป็นเวลาส่งงานของกลุ่มจึงไม่นำมาประเมินการส่งงานตรงเวลารายบุคคล

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนการส่งงานตรงเวลาและระดับคุณภาพในแต่ละรายการประเมิน

รายการประเมิน	ระดับคะแนน		
	3	2	1
1. เวลาส่งบันทึกสรุปการเรียนรู้ก่อนเรียนรายบุคคลผ่านกลุ่ม Facebook	ส่งงานภายในเวลาที่กำหนด	ส่งงานช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 5 นาที	ส่งงานช้ากว่าเวลาที่กำหนดมากกว่า 5 - 10 นาที
2. เวลาส่งแผนผังการทดลองกลุ่ม	ส่งงานก่อนหมดเวลา 3 นาที	ส่งงานก่อนหมดเวลา 1 นาที*	ส่งงานช้ากว่าเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 - 5 นาที**
3. เวลาส่งคำตอบของคำถาม Exit Ticket	ส่งงานก่อนหมดเวลา 3 นาที	ส่งงานก่อนหมดเวลา 1 นาที*	ส่งงานช้ากว่าเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 - 5 นาที**

หมายเหตุ: * ส่งงานก่อนหมดเวลา 1 นาที เพื่อให้ให้นักเรียนมีเวลาเพียงพอในขั้นตอนส่งงาน

** ส่งงานช้ากว่าเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 - 5 นาที เพื่อให้ให้นักเรียนมีเวลาเตรียมตัวเรียนในรายวิชาอื่นต่อไป

การประเมินคุณภาพชิ้นงานของนักเรียนได้ออกแบบเกณฑ์ให้คะแนน โดยมีประเด็นในการประเมิน 3 รายการ ประกอบด้วย 1) บันทึกสรุปเนื้อหาจากวิดีโอที่ค้นพบพื้นฐานก่อนเรียน 2) แผนผังการทดลองกลุ่มและ 3) คุณภาพคำตอบของคำถาม Exit Ticket ดังแสดงในตารางที่ 2 ในงานวิจัยนี้กำหนดเกณฑ์ผ่านประเมินผลคุณภาพชิ้นงานรายบุคคลโดยใช้คะแนนรวมรายการประเมินที่ 1 และ 3 ซึ่งคิดคะแนนรวมคุณภาพชิ้นงานของนักเรียนรายบุคคลที่ประเมินได้มากกว่าร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม 6 คะแนน คือ คะแนนที่ผ่านเกณฑ์อยู่ในช่วง 5 ถึง 6 คะแนน ส่วนรายการประเมินที่ 2 กิจกรรมกลุ่มเขียนแผนผังการทดลองจึงไม่นำมาประเมินคุณภาพชิ้นงานรายบุคคล

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนชิ้นงานและระดับคุณภาพในแต่ละรายการประเมิน

รายการประเมิน	ระดับคะแนน		
	3	2	1
1. บันทึกสรุปเนื้อหาจากวิดีโอที่ค้นพบพื้นฐานก่อนเรียน	เขียนสรุปเนื้อหาในวิดีโอที่ค้นพบและแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์	เขียนสรุปเนื้อหาในวิดีโอที่ค้นพบและแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องบางส่วน	เขียนสรุปเนื้อหาในวิดีโอที่ค้นพบไม่ได้เขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์
2. แผนผังการทดลองกลุ่ม	เขียนแผนผังการทดลองได้ครบถ้วน ถูกต้อง เป็นที่ยอมรับของกลุ่มอื่น	เขียนแผนผังการทดลองได้ครบถ้วน มีบางส่วนที่กลุ่มอื่นช่วยเพิ่มเติม	เขียนแผนผังการทดลองได้ แต่มีส่วนใหญ่ที่กลุ่มอื่นและครูช่วยเพิ่มเติม
3. คุณภาพคำตอบของคำถาม Exit Ticket	คำตอบถูกต้องและให้เหตุผลตามหลักการวิทยาศาสตร์	คำตอบถูกต้องแต่ให้เหตุผลไม่ใช่หลักการวิทยาศาสตร์	ตอบคำถามถูกต้องแต่ไม่ระบุเหตุผล

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC)

งานวิจัยนี้ใช้กิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้จากการประชุมออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ผ่านการระดมความคิดของครูต้นแบบ ครูผู้ร่วมเรียนรู้ ผู้เชี่ยวชาญ และผู้อำนวยการสถานศึกษา ในรายวิชาเคมี 3 (ว32223) เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานจำนวน 3 แผน ได้แก่ แผนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส แผนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และแผนที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส แผนการจัดการเรียนรู้ทั้งสามแผนที่ผ่านการพัฒนาด้วยกิจกรรม PLC จำนวน 3 วงรอบ PLC ได้แนวปฏิบัติ

ที่ดีในการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานเพื่อพัฒนาผู้เรียนด้านการส่งงานตรงเวลาและการเขียนแผนผังการทดลองวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. **ขั้นสร้างความสนใจ:** ให้นักเรียนบันทึกสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้จากสื่อคลิปวิดีโอ และใบความรู้ ส่งบันทึกสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ก่อนเรียนและแผนผังการทดลองผ่านสื่อสังคมออนไลน์ในกลุ่ม Facebook ชื่อกลุ่ม “Chemistry by kruann” ตามวันและเวลาที่ครูกำหนด (Sakonhawatt, 2019) ขั้นสร้างความสนใจนี้ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจและความพร้อมระดับหนึ่งในการทำกิจกรรมในชั้นเรียนมากขึ้น ส่งผลให้นักเรียนสามารถเรียนรู้และส่งงานภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ การใช้ Facebook ในงานวิจัยนี้ช่วยพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนได้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Supkul, Sahatsathasana and Sungsrikaew, 2020)

2. **ขั้นสำรวจและค้นหา:** ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จัดการเรียนรู้ที่ห้องเรียนในสถานศึกษา (onsite) โดยแบ่งกลุ่มนักเรียนแต่ละกลุ่มๆ ละ 2 ถึง 3 คน และแบ่งหน้าที่นักเรียนแต่ละคนรับผิดชอบทำงานกลุ่ม เขียนแผนผังการทดลอง ปฏิบัติการทดลองและนำเสนอผลการทดลองโดย Gallery Walk ทำให้นักเรียนได้นำข้อดีที่ได้จากกลุ่มอื่นมาปรับปรุงผลงานของกลุ่มตนเอง จากนั้นนักเรียนส่งแผนผังการทดลองตามเวลาที่กำหนด ครูผู้สอนประทับตราในบัตรสะสมคะแนนของนักเรียนรายบุคคลเพื่อบันทึกเวลาการส่งงานของนักเรียนตามกลุ่ม ส่วนในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 ได้จัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ตามสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) จึงจำเป็นต้องให้นักเรียนร่วมกลุ่มกันผ่านสื่อสังคมออนไลน์ และนำเสนอแผนผังการทดลองผ่านห้องเรียนออนไลน์ และครูผู้สอนประทับตราในบัตรสะสมคะแนนบันทึกเวลาการส่งงานออนไลน์

3. **ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป:** นักเรียนสะท้อนผลสิ่งที่เรียนรู้จะรับจากสื่อคลิปวิดีโอ ใบงาน และการลงมือปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์ หลังจากนักเรียนได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้จากการนำเสนอของกลุ่มอื่นผ่านกิจกรรม Gallery Walk ได้นำข้อมูลมาปรับปรุงแผนผังการทดลองของตนเองให้ดีขึ้นอย่างไรบ้าง โดยมีครูคอยแนะนำและให้ข้อมูลย้อนกลับให้นักเรียนสามารถปรับปรุงชิ้นงานได้

4. **ขั้นขยายความรู้:** นักเรียนเรียนรู้จากสื่อสถานการณ์จำลอง และวิดีโอที่เกี่ยวกับการนำความรู้ที่ได้จากการปฏิบัติการทดลองไปประยุกต์ใช้และอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง การตอบคำถามปลายเปิดช่วยให้ผู้เรียนสรุปความรู้ในขั้นการปิดบทเรียนได้ดีขึ้น

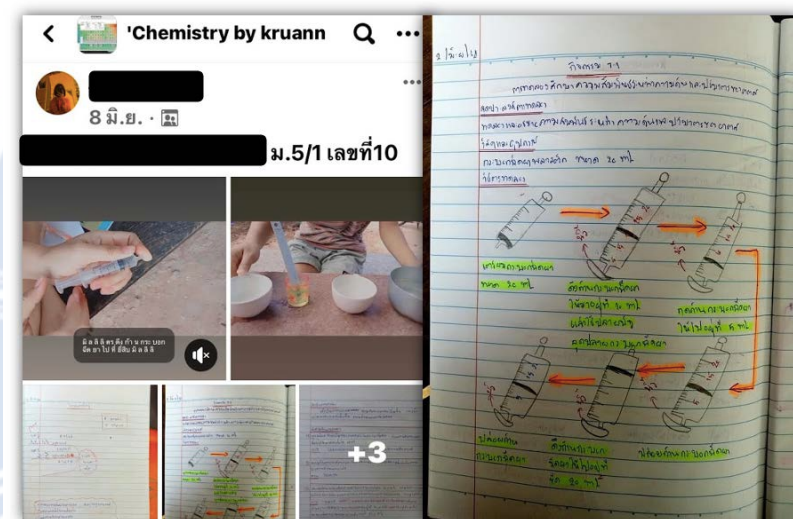
5. **ขั้นประเมินผล:** นักเรียนรายบุคคลตอบ 1 คำถามปลายเปิดเกี่ยวกับความรู้ที่เรียนครั้งนี้สอดคล้องกับชีวิตประจำวันอย่างไรบ้าง ผ่าน Exit Ticket และประทับตราในบัตรสะสมคะแนนบันทึกเวลาการส่งงานของนักเรียนรายบุคคลช่วยกระตุ้นการส่งงานตรงเวลาได้ดี

ตารางที่ 3 กิจกรรมเรียนรู้หลักที่ใช้พัฒนาผู้เรียนของแผนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับสื่อสังคมออนไลน์ Facebook ตัวออก และบัตรสะสมคะแนน ในวิชาเคมี 3 (ว32223) เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส

แผนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมเรียนรู้หลักที่ใช้พัฒนาผู้เรียน
1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส	สื่อคลิปวิดีโอ: การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของอากาศ ตามลิงก์ https://youtu.be/XXJ2KJcwOw (IPST Chemistry, 2019) แผนผังการทดลอง: การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของอากาศ (ส่งภายใน 10 นาที) คำถามหลัก (Exit ticket) : ในชีวิตประจำวันมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊สอย่างไรบ้าง? (ส่งภายใน 5 นาที)
2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส	สื่อคลิปวิดีโอ: การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศ ตามลิงก์ https://youtu.be/k0dV84nPDns (IPST Chemistry, 2019) แผนผังการทดลอง: การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศ (ส่งภายใน 10 นาที) คำถามหลัก (Exit ticket) : ในชีวิตประจำวันมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สอย่างไรบ้าง? (ส่งภายใน 5 นาที)
3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส	สื่อคลิปวิดีโอ: การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส ตามลิงก์ https://youtu.be/zX_69BhFO-U (IPST Chemistry, 2019)

แผนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมเรียนรู้หลักที่ใช้พัฒนาผู้เรียน
	แผนผังการทดลอง: การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมล ของแก๊ส (ส่งภายใน 10 นาที) คำถามหลัก (Exit ticket) : ในชีวิตประจำวันมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สอย่างไรบ้าง? (ส่งภายใน 5 นาที)

รายละเอียดกิจกรรมการเรียนรู้หลักที่ใช้พัฒนาผู้เรียนของแผนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับสื่อสังคมออนไลน์ Facebook ตัวออก และบัตรสะสมคะแนน ในวิชาเคมี 3 (ว32223) จำนวน 3 แผน ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส แสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการส่งชิ้นงานการศึกษาเนื้อหาการเรียนผ่านกลุ่ม Facebook ชื่อกลุ่ม “Chemistry by kruann”



ภาพที่ 3 ตัวอย่างบัตรสะสมคะแนนการส่งงานของนักเรียนรายบุคคล

การประเมินการส่งงานตรงเวลาของนักเรียน

จากการเก็บข้อมูลเวลาการส่งงานของผู้เรียนรายบุคคลทั้งการเขียนสรุปบันทึกการเรียนรู้ล่วงหน้าและแผนผังการทดลองผ่านสื่อสังคมออนไลน์กลุ่ม Facebook ชื่อกลุ่ม “Chemistry by kruann” (Sakonhawatt, 2019) ตัวอย่างการส่งงานดังภาพที่ 2 และส่งคำตอบของคำถาม Exit Ticket เมื่อนำข้อมูลเวลาการส่งงานของนักเรียนรายบุคคลจากบัตรสะสมคะแนนการส่งงานของนักเรียนรายบุคคล ตัวอย่างบัตรสะสมคะแนนส่งงานตรงเวลา ดังแสดงในภาพที่ 3 มาประเมินผลการส่งงานตรงเวลาตามเกณฑ์ให้คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 1 จากผลส่งงานตรงเวลาและส่งเข้ารายบุคคลของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่

5/1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าในปีการศึกษา 2563 และ 2564 มีจำนวนนักเรียนที่ส่งงานตรงเวลาของทั้งสามแผนการจัดการเรียนรู้โดยผ่านเกณฑ์ที่คะแนนรวมมากกว่า 4 คะแนน (คะแนนเต็ม 6 คะแนน) คิดเป็นค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 95.83 และ 63.89 ของนักเรียนทั้งหมด ตามลำดับ ค่าร้อยละของจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์การส่งงานตรงเวลามากกว่าร้อยละ 60 แสดงว่ารูปแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานนี้ช่วยพัฒนาการส่งงานตรงเวลาของนักเรียนมากกว่าร้อยละ 60 ของจำนวนนักเรียนทั้งสองกลุ่มเป้าหมายซึ่งได้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Klinkla, Phibanchon and Srisanyong, 2016; Supkul, Sahatsathatsana and Sungsrakaew, 2020) นอกจากนี้ยังพบว่าในปีการศึกษา 2564 จัดการเรียนรู้ผ่านระบบออนไลน์ มีค่าร้อยละของจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์การส่งงานตรงเวลาน้อยกว่าในปีการศึกษา 2563 ที่จัดการเรียนภายในสถานศึกษา ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนที่สถานศึกษาช่วยครูผู้สอนสามารถสังเกตและกระตุ้นพฤติกรรมนักเรียนของผู้เรียนรายบุคคลได้ดีกว่าการจัดการเรียนรู้ผ่านระบบออนไลน์ส่งผลต่อการพัฒนาการส่งงานตรงเวลาที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

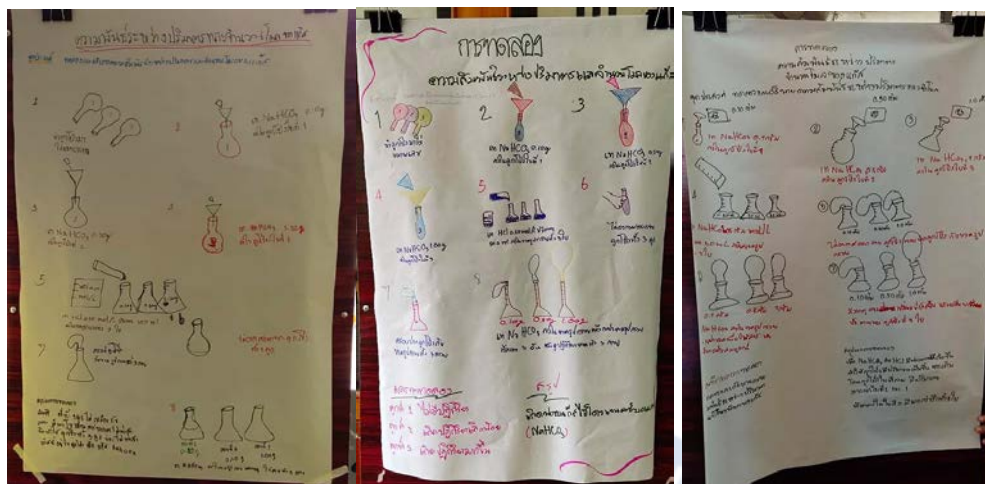
เมื่อพิจารณาร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของจำนวนนักเรียนที่ส่งงานตรงเวลาทั้งสามแผนการจัดการเรียนรู้ในปีการศึกษา 2563 และ 2564 มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.53 และ 7.53 ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 4) ซึ่งค่า %RSD มากกว่าร้อยละ 5 (Sriwana and Pabchanda, 2021) ชี้ให้เห็นว่าแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งสามแผนไม่ว่าจะจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนที่สถานศึกษา หรือ ผ่านระบบออนไลน์ ทำให้ผลพัฒนาการส่งงานตรงเวลาเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความยากง่ายของเนื้อหา และความพร้อมของผู้เรียน

ตารางที่ 4 ผลส่งงานตรงเวลาและส่งเข้ารายบุคคลของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564

แผนการจัดการเรียนรู้ที่	จำนวนนักเรียน ปีการศึกษา 1/2563		จำนวนนักเรียน ปีการศึกษา 1/2564	
	ส่งงานตรงเวลา	ส่งงานช้า	ส่งงานตรงเวลา	ส่งงานช้า
1	7	1	7	5
2	8	0	8	4
3	8	0	8	4
ค่าเฉลี่ย	7.67	0.33	7.67	4.33
ร้อยละ	95.83	4.17	63.89	36.11
SD	0.58	0.58	0.58	0.58
%RSD	7.53	173.21	7.53	13.32

การประเมินคุณภาพแผนผังการทดลองของนักเรียน

ภายหลังการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน ครูผู้สอนได้รวบรวมชิ้นงานของนักเรียนทั้งรายบุคคลและรายกลุ่ม (ดังแสดงในภาพที่ 4) มาให้สมาชิกครูในทีมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ PLC ช่วยกันประเมินคุณภาพของแผนผังการทดลองโดยการใช้เกณฑ์การให้คะแนนตามตารางที่ 2 ผลการประเมินชิ้นงานผ่านและควรปรับปรุงตามเกณฑ์การประเมินของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าในปีการศึกษา 2563 และ 2564 มีจำนวนนักเรียนที่สามารถสร้างแผนผังการทดลองผ่านตามเกณฑ์การประเมินของทั้งสามแผนการจัดการเรียนรู้คิดเป็นค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 79.17 และ 69.44 ของนักเรียนทั้งหมด ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่านักเรียน ม.5/1 ทั้งสองปีการศึกษาสามารถเรียนรู้ตามรูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้และสร้างชิ้นงานแผนผังการทดลองที่มีคุณภาพผ่านตามเกณฑ์การประเมินได้ประมาณร้อยละ 70 ของนักเรียนทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยที่ผ่านมาได้ (Yothawaramontri, Phoprom and Wongsawat, 2013) ใช้ผังกราฟิกร่วมกับการเรียนแบบสืบเสาะในเรื่องพันธะเคมีส่งผลให้ค่าเฉลี่ยคะแนนทดสอบหลังเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 เท่ากับ 29.13 คะแนน (คะแนนเต็ม 40 คะแนน) คิดเป็นร้อยละ 72.83 ของคะแนนเต็ม นอกจากนี้การให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหา ก่อนเริ่มเรียนผ่านการชมคลิปวิดีโอทัศน์การสาธิตการทดลอง (IPST Chemistry, 2019) และลองสร้างชิ้นงานแผนผังการทดลองทั้ง 3 แผนในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้แบบกลับด้านช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ด้านการเรียนรู้ของผู้เรียนเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Tagaew, 2021)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างชิ้นงานกลุ่มการเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 5 ผลประเมินคุณภาพชิ้นงานรายบุคคลของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564

แผนการจัดการเรียนรู้ที่	จำนวนนักเรียนปีการศึกษา 1/2563		จำนวนนักเรียนปีการศึกษา 1/2564	
	ผ่าน	ควรปรับปรุง	ผ่าน	ควรปรับปรุง
1	5	3	7	5
2	6	2	7	5
3	8	0	11	1
ค่าเฉลี่ย	6.33	1.67	8.33	3.67
ร้อยละ	79.17	20.83	69.44	30.56
SD	1.53	1.53	2.31	2.31
%RSD	24.12	91.65	27.71	62.98

ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ได้จัดการเรียนรู้ในสถานศึกษาโดยแบ่งกลุ่มนักเรียนกลุ่มละ 2 ถึง 3 คน และแบ่งหน้าที่นักเรียนแต่ละคนในการรับผิดชอบทำงานกลุ่มส่งผลให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ดี และส่งชิ้นงานแผนผังการทดลองตามเวลาที่กำหนดซึ่งมีร้อยละของจำนวนนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ที่คุณภาพชิ้นงานผ่านตามเกณฑ์การประเมินมากกว่าในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 ที่ประสบปัญหาการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) จึงจำเป็นต้องจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้นักเรียนร่วมกลุ่มกันผ่านสัคมออนไลน์และนำเสนอชิ้นงานแผนผังทดลองผ่านห้องเรียนออนไลน์ ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนที่สถานศึกษาช่วยพัฒนาผู้เรียนสามารถสร้างชิ้นงานเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีคุณภาพได้ดีกว่าการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์เพราะในห้องเรียนที่สถานศึกษา ครูผู้สอนมีโอกาและสามารถสังเกตพฤติกรรม การเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นรายบุคคลในระหว่างทำกิจกรรมเขียนแผนผังทดลองเป็นรายบุคคล พร้อมให้ข้อเสนอแนะสะท้อนกลับ (Feedback) ให้ความช่วยเหลือแนะนำผู้เรียนเพื่อปรับปรุงชิ้นงานทันทีและทั่วถึงกว่าการจัดการสอนแบบออนไลน์ ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมาในการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1 เรียนวิชาเทคโนโลยี วิทยาการคำนวณ 2 เรื่อง การจัดการสารสนเทศ ด้วยบทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้การเรียนรู้แบบสืบเสาะกับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีปกติ มีค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เรียนด้วยบทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้การเรียนรู้แบบสืบเสาะเท่ากับ 16.56 และนักเรียนที่เรียนรู้ด้วยวิธีแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.63 (Rakkrathok and Sovajassatakul, 2020) ความแตกต่างของผลการเรียนรู้ของผู้เรียนระหว่างการสอนแบบปกติ (onsite) และการเรียนรู้แบบออนไลน์ (online) ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของรายวิชาที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนานักเรียนด้านการส่งงานตรงเวลาและการเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะ สังคมออนไลน์ ตัวออก และบัตรสะสมคะแนน ในรายวิชาเคมี 3 (ว32223) ที่ผ่านประชุมวิพากษ์แผนในกิจกรรม PLC จำนวน 3 แผน ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส ความสัมพันธ์

ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส แผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวนำไปพัฒนานักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 จำนวน 8 และ 12 คน ตามลำดับ จากผลการวิจัยนี้สามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

สรุปผลการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานการสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการสังคมออนไลน์ Facebook ตัวออก (Exit ticket) และบัตรสะสมคะแนนที่ออกแบบบทเรียนผ่านกระบวนการชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ PLC ทั้ง 3 แผน สามารถส่งเสริมให้นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 ส่งงานตรงเวลาคิดเป็นร้อยละ 95.83 และ 63.89 ของนักเรียนทั้งหมด ตามลำดับ

2. การจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนภายในสถานศึกษา (onsite) ช่วยพัฒนาผู้เรียนด้านการส่งงานตรงเวลาและคุณภาพชิ้นงานเขียนแผนผังการทดลองวิทยาศาสตร์ได้ดีกว่าการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ (online)

3. ด้านการพัฒนาการเรียนรู้ในการเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 และ 2564 สามารถเขียนแผนผังการทดลองทางวิทยาศาสตร์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คิดเป็นร้อยละ 79.17 และ 69.44 ของนักเรียนทั้งหมด ตามลำดับ

4. การใช้สังคมออนไลน์ผ่านกลุ่ม Facebook ที่ครูผู้สอนสร้างกลุ่มชื่อ “Chemistry by KruAnn” (Sakonthawat, 2019) เพื่อให้นักเรียนศึกษาเนื้อหาจากคลิปวิดีโอและใบงานให้นักเรียนสืบค้นด้วยตนเองเพิ่มเติมช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจและความพร้อมก่อนร่วมทำกิจกรรมในชั้นเรียนมากขึ้น ส่งผลให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ดีขึ้นและส่งงานภายในระยะเวลาที่กำหนดได้

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. ควรพิจารณาระดับความยากง่ายของแต่ละเนื้อหาวิชาที่แตกต่างกันในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่เหมาะสมกับความพร้อมของกลุ่มตัวอย่างผู้เรียน

2. ความพร้อมของครูผู้สอนที่ทำหน้าที่เป็นครูต้นแบบ และครูผู้ร่วมเรียนรู้ที่รวมกลุ่มปฏิบัติกิจกรรมชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ PLC ในด้านเวลาปฏิบัติกิจกรรม PLC ที่สะดวกทุกท่าน

3. ความพร้อมการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศผ่านสื่อสังคมออนไลน์ทั้งผู้เรียนและครูผู้สอน

4. การเลือกใช้หรือผลิตสื่อวิดีโอที่สอดคล้องกับตัวชี้วัดการเรียนรู้ มีความยาวของคลิปวิดีโอไม่เกิน 10 นาที และกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนที่อยากจะเรียนรู้ด้วยตนเองได้

5. ควรออกแบบคำถามปลายเปิดให้นักเรียนทราบก่อนชมคลิปวิดีโอเพื่อให้สามารถสรุปประเด็นสำคัญจากกิจกรรมการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาหาวิธีในการพัฒนาการนำเสนอชิ้นงานแผนผังการทดลองวิทยาศาสตร์ด้วยวาจาของผู้เรียนให้ได้ตามมาตรฐานการนำเสนอด้วยวาจาเพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริงในอนาคตต่อไปได้

2. ควรศึกษาหาวิธีในการพัฒนาการมีส่วนร่วมของผู้เรียนในการสะท้อนคิดและประเมินชิ้นงานแผนผังการทดลองวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนคนอื่นเพื่อให้เกิดการระดมความคิดเห็นอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้โดยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งของท่านผู้บริหารสถานศึกษา ได้แก่ นายสกุลพงศ์ โชคดีรัชย์ภักดิ์ (ผู้อำนวยการสถานศึกษา) นายวิษณุรัตน์ ธีระธนบุรศรี (หัวหน้าฝ่ายบริหารวิชาการ) นายจัญญ์ เผือกจันทัก (หัวหน้างานส่งเสริมพัฒนาคุณธรรม จริยธรรมนักเรียน) และนายสุพจน์ โตจะโปะ (หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) โรงเรียนห้วยลึกผดุงวิทยา อำเภอสี่คิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนการทำกิจกรรม PLC และวิจัยในชั้นเรียนเพื่อพัฒนาผู้เรียนและครูผู้สอน งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากเงินอุดหนุนกิจกรรมพัฒนาวิชาชีพแบบชุมชนแห่งการเรียนรู้ทางวิชาชีพ ประจำปีงบประมาณ 2563 ของคุรุสภา (รหัสเครือข่าย 6341010) ขอขอบคุณครูผู้ร่วมเรียนรู้ในทีม PLC นางสาวสมควร ฝ่ายสระน้อย และนางสิริพร เพียรปฐ ที่ร่วมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในกิจกรรม PLC สุดท้ายขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับพี่เลี้ยงทางวิชาการ นางเกศินี ศรีวรรณ (ครูวิทยฐานะเชี่ยวชาญ โรงเรียนโรงเรียนสี่คิ้ว “สวัสดีผดุงวิทยา”) และผู้เชี่ยวชาญในกิจกรรม PLC ผศ.ดร.สุวัฒน์ ผาบัจันดา (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา) ที่ให้ความกรุณาเสียสละเวลาแนะนำองค์ความรู้ ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้วิจัย และเสนอแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิจัยในชั้นเรียนครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bunwirat, N. and Boonsathorn, S. (2018). Inquiry-based learning: an effective pedagogical approach for empowering 21st century learners and education 4.0 in Thailand (in Thai). **Political Science and Public Administration Journal**, 9(1), 163-183.
- <https://www.facebook.com/groups/2293246204226603>.
- Intharaksa, P. (2019). Learning management with social media (in Thai). **Journal of Education Naresuan University**, 21(4), 357-365.
- IPST Chemistry. (2019). The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), Retrieved 23 June 2019, from <https://www.youtube.com/channel/UCpDkRTlUrrcQTa2VutDCfg>.
- Janhom, P. and Jantrasee, R. (2019). Grade 11 students' scientific argumentation learned using argument-driven inquiry in chemistry laboratory (in Thai). **Walailak Journal of Learning Innovations**, 5(1), 21-36.
- Kaewpila, P. and Thongprong, A. (2021). Teacher's opinions on self-discipline of secondary school student in group 6 under the secondary educational service area office 1 (in Thai). **Journal of Roi Kaensarn Academi**, 6(3), 173-184.
- Khwanput, K., Chaiprasert, P and Wannaprapha, W. (2020). A study effect of inquiry-based learning with computer assisted instruction on learning achievement in Chemistry and satisfaction for grade 11 students (in Thai). **Narkbhutparitat Journal**, 12(2), 160-172.
- Klinkla, R., Phibanchon, S. and Srisanyong, S. (2016). The effect of inquiry learning and open approach on stoichiometry chemistry to develop ability in analytical thinking for 11th grade students (in Thai). **Journal of Education Naresuan University**, 18(1), 211-217.
- Koomthanom, N. and Ratana-Ubol, A. (2015). Effect of organizing non-formal education activities to enhance self-discipline in youth (in Thai). **An Online Journal of Education**, 10(4), 562-573.
- Pabchanda, S. (2020). Lesson learned in the best practices of mentor for motivation of professional learning community by NRRU model (in Thai). **Journal of Educational Administration, Silpakorn University**, 11(1), 206-214.
- Pabchanda, S. (2020). The best practices of coach for motivation of motivation of professional learning community by NRRU model (in Thai). **Journal of Education, Srinakharinwirot University**, 22(1), 1-16.
- Panachai, 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.
- Panachai, K., Matarat, P., Tamuang, S. and Supasorn, S. (2018). Eleventh grade students' conceptual understanding and mental models on chemical equilibrium from learning by using inquiry incorporated with predict-observe-explain technique (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 49-60.
- Panich, V. (2012). The way to create learning for 21 st century students (in Thai). Bangkok, Thailand: Sodsri-Saritwong Foundation.
- Rakkrathok, P. and Sovajassatakul, T. (2020). The development of web-based instruction using inquiry-based learning on information management for grade 7 students (in Thai). **Journal of Industrial Education**, 19(3), 82-90.

- Sakonthawat, P. (2019). Facebook group of Chemistry by kruann (in Thai), Retrieved 23 June 2019, from Sriwanna, K and Pabchanda, S. (2021). The development of analytical thinking skill and scientific minds in chemistry of tenth grade student by constructivist and collaborative Learning (in Thai). **Journal of Education, Khon Kaen University**, 44(2), 97-109.
- Supkul, K, Sahatsathatsana, C. and Sungrikaew, P. (2020). The development of flipped classroom learning activities integrated with the facebook of mathematics for grade-8 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 125-133.
- Tabsee, B. (2009). The enhancement of discipline on the aspect of responsibility for students in grade 7th-9th: A case study of Bankork Wita (in Thai). **Rajabhat Maha Sarakham University Journal**, 3(2), 173-183.
- Tagaew, A. (2021). The development of learning activities packages on elements and compounds by inquiry based learning incorporated with flipped classroom for grade-10 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 71-83.
- Tingsa, C., Jaigla, A., Tamuang, S. and Supasorn, S. (2018). Twelfth grade students' achievement and problem-solving ability on properties and reactions of organic compounds from learning by using inquiry incorporated with problem-based learning (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(1), 97-108.
- Tipchai, A., Meewong, C., Wuttisela, K. and Supasorn, S. (2019). Grade-10 students' conceptual understanding of covalent bonding and molecular shapes from inquiry learning by using physical models (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 2(1), 43-56.
- Toemngam, D., Ngamprakhon, S. and Saengnont, K. (2019). A study of student discipline strengthening in schools in Bang Yai district, Nonthaburi provincial administrative organization (in Thai). **Journal of Educational Review Faculty of Education in MCU**, 6(1), 48-58.
- U-Kong, N. (2018). Learning contract: innovation for increasing students' responsibility for attending class and punctuality in the 400111 Information world course (in Thai). **Veridian E-Journal, Silpakorn University**, 11(1), 2657-2674.
- Yothawaramontri, R., Phoprom, U. and Wongsawat, K. (2013). The effects of applying inquiry cycle and graphic organizer technique entitled chemistry bounding affecting learning achievement, abilities to solve science problems and attitudes toward chemistry for mathayom suksa4 students under the secondary education. **Sakon Nakhon Graduate Studies Journal**, 10(46), 221-234.

บทความวิจัย

การพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง สำหรับนักศึกษาครูสาขาชีววิทยา ด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19

ฉัตรมงคล สีประสงค์^{1*} และณมนรัก คำฉัตร¹¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี

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

รับบทความ: 11 สิงหาคม 2564 แก้ไขบทความ: 25 กันยายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 30 กันยายน 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model และศึกษาเจตคติที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ กลุ่มที่ศึกษาเป็นนักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา ปีการศึกษา 2564 จำนวน 22 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนบริหารการสอนเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จำนวน 4 แผน แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง จำนวน 15 ข้อ แบบบันทึกการเรียนรู้ของนักศึกษา แบบบันทึกหลังสอนของอาจารย์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการนับความถี่ของกลุ่มคำตอบและหาค่าร้อยละและการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า 1) นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยามีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้องหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในทุกแนวคิด 2) นักศึกษามีเจตคติที่ดีต่อการเรียน โดยนักศึกษาส่วนใหญ่แสดงความเห็นว่า กิจกรรมทำให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมแม้จะเป็นการเรียนออนไลน์ กิจกรรมช่วยให้เข้าใจและจดจำเนื้อหาได้มากขึ้น กิจกรรมทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กับอาจารย์และเพื่อนในชั้นเรียน การสุ่มเรียกชื่อเพื่อตอบคำถามทำให้จดจ่อกับการเรียน การทำกิจกรรมช่วยให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ผ่อนคลาย ไม่เครียดจากการเรียนในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ และได้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง

คำสำคัญ: แนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง 5B model เจตคติ

อ้างอิงบทความนี้

ฉัตรมงคล สีประสงค์ และณมนรัก คำฉัตร. (2564). การพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง สำหรับนักศึกษาครูสาขาชีววิทยาด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 217 - 230.

Research Article

Development of scientific conceptions in photosynthesis for undergraduates in biology education program using 5B model under Covid-19 pandemic

Chatmongkol Seeprasong^{1,*} and Na-monrug Khamchatra¹

¹*Department of Biology, Faculty of Science and Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Mueang, Chanthaburi*

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

Received <11 August 2021>; Revised <25 September 2021>; Accepted <30 September 2021>

Abstract

The purposes of this research were to: 1) develop the scientific concepts of the photosynthesis topic with the 5B model, and 2) investigate the attitudes of the students in undergraduate Biology Education Program towards the online learning activity. Twenty-two students in undergraduate Biology Education Program in the academic year of 2021 were a sample group. The research instruments were four instructional plans, including four photosynthesis lesson plans, the pre- and post-tests for evaluation of scientific conceptions with fifteen items each, student's learning record form, and the post-teaching record form. The statistical analyses were frequencies and percentages of the answer. The content analysis was also conducted. The findings were as follows: 1) the undergraduates in Biology Education Program developed better scientific conceptions than those before learning in all aspects. And 2) they had good attitudes towards the study. Most students thought that activities make students engaged although they were studying online. The activities helped them to remember and understand the lessons. The activities made interaction between students and instructor. They were concentrated on the random name to answer the questions. The creativity and relaxation were enhanced by doing activities from the online study, and they can be self-directed learning.

Keywords: Scientific Concepts of Photosynthesis, 5B model, Attitudes



Cite this article:

Seeprasong, C. and Khamchatra, N. Development of scientific conceptions in photosynthesis for undergraduates in biology education program using 5B model under Covid-19 pandemic (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 217 - 230.

บทนำ

การแพร่ระบาดของโรคไวรัสโควิด-19 ส่งผลกระทบต่อการศึกษารอบโลก สถานศึกษาต่าง ๆ เช่น โรงเรียน วิทยาลัย และมหาวิทยาลัย มีคำสั่งให้หยุดทำการเรียนการสอนเพื่อควบคุมการแพร่กระจายของไวรัส ส่งผลให้ไม่สามารถจัดการเรียนรู้ได้ตามปกติ ทำให้เกิดการปรับตัวเป็นชีวิตวิถีใหม่ (new normal) สถานศึกษาจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการสอน การวัดและประเมินผลให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน (Tadesse and Muluye, 2020; Wayo et al., 2020) เพื่อให้การเรียนรู้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในหลายประเทศทั่วโลกจึงมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอนมาเป็นในรูปแบบออนไลน์ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย จีน และอินเดีย ได้ออกมาตรการให้จัดการเรียนรู้ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์จากสถานที่ตั้งของตนเอง (Michael, 2020) อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้รูปแบบออนไลน์ยังส่งผลกระทบต่อตัวผู้เรียนในหลายด้าน เช่น ความรู้ในด้านเนื้อหาหรือแนวคิดที่ถูกต้องที่จำเป็นต้องได้รับจากผู้สอน เนื่องจากผู้เรียนต้องค้นคว้าหาความรู้จากสื่อออนไลน์ซึ่งขาดการดูแลจากผู้สอน จึงอาจส่งผลให้เกิดการเข้าใจแนวคิดที่คลาดเคลื่อน (Onyema et al., 2020) อีกทั้งยังขาดทักษะทางสังคม ความสนุกสนานที่เกิดขึ้นในห้องเรียนปกติที่ขาดหายไป ส่งผลต่อเจตคติต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน และยังเป็นภาระเพิ่มภาระให้กับผู้ปกครองที่ต้องมีความเข้มงวดต่อตัวผู้เรียนในการเรียนรูปแบบออนไลน์ และบางครอบครัวยังประสบปัญหาทางการเงินทำให้ไม่มีความพร้อมในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์จึงทำให้ประสิทธิภาพและผลสัมฤทธิ์ต่อตัวผู้เรียนที่ลดลง (Pokhrel and Chhetri, 2021) ดังนั้นจึงเป็นความท้าทายของผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุดต่อผู้เรียน

ในการจัดการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์จึงมุ่งหมายที่สำคัญคือ การให้ผู้เรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องเพื่อสามารถนำแนวคิดเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและใช้ในการเรียนรู้ในสาขาวิชาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด เพื่อให้ได้ทั้งกระบวนการและความรู้จากวิธีการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาจัดระบบเป็นหลักการ แนวคิด และองค์ความรู้ (Ministry of Education, 2017) ดังนั้นความเข้าใจในแนวคิดที่คลาดเคลื่อนจึงเป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน จึงควรมีการปรับเปลี่ยนความเข้าใจในแนวคิดที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้อง (Halim et al., 2018) โดยแนวคิดที่คลาดเคลื่อนสามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ก่อนการเรียนรู้ ขณะจัดการเรียนรู้และหลังการจัดการเรียนรู้ และสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการเรียนรู้ในห้องเรียนจากครูผู้สอน จากหนังสือที่ผู้เรียนอ่านและอีกหนึ่งสาเหตุที่สำคัญคือการมีอคติหรือเจตคติที่ไม่ดีของผู้เรียนต่อการเรียนรู้แนวคิดในวิชานั้น ๆ และถ้าผู้เรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนติดตัวไปเป็นระยะเวลานานจะส่งผลกระทบต่อความคงทนในแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนั้น จึงเป็นปัญหาที่สำคัญในการปรับเปลี่ยนแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น (Luoga, Ndunguru and Mkoma, 2013)

ปัจจุบันมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีได้มีนโยบายในการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อเป็นการพัฒนาผลการเรียนรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ (Thailand Qualifications Framework; TQF) และเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์ของทางมหาวิทยาลัยคือ ยุทธศาสตร์ที่ 3 การยกระดับคุณภาพการศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี โดยได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนานักศึกษาในด้านต่าง ๆ ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ (TQF) อาทิเช่น ด้านคุณธรรม ด้านความรู้ ด้านทักษะทางปัญญา เป็นต้น โดยหนึ่งในรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ถูกพัฒนาขึ้นและนำมาใช้เพื่อพัฒนาด้านความรู้ของนักศึกษา คือ 5B model ที่ถูกพัฒนามาจากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget และการเรียนรู้ตามแนวคิดของ Vygotsky มีขั้นตอนและรายละเอียดในการจัดการเรียนรู้ดังนี้ 1. ขั้นการทำข้อตกลงและทบทวนความรู้เดิม (Bright) เป็นขั้นตอนในการวางกฎระเบียบร่วมกัน อธิบายแนวการสอน สร้างกระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน ทบทวนความรู้เดิม 2. ขั้นการเพิ่มพูนความรู้ (Brain) เป็นขั้นตอนที่มีการนำเสนอแนวคิดหรือทฤษฎีที่ผู้เรียนต้องรู้ มอบหมายให้ผู้เรียนค้นคว้าข้อมูลเพื่อสร้างองค์ความรู้ 3. ขั้นการสร้างกระบวนการคิด (Bring) เป็นขั้นตอนที่มีการมอบหมายงานกลุ่มตามประเด็นที่สนใจเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติในสถานการณ์จริง 4. ขั้นการปฏิบัติการเรียนรู้ (Best) เป็นขั้นตอนที่เน้นให้ผู้เรียนลงปฏิบัติการเรียนรู้มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ สรุปองค์ความรู้เพื่อเพิ่มพูนองค์ความรู้ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น 5. ขั้นการขยายผล (Beauty) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบและประเมินผลผู้เรียน หรือผู้เรียนสามารถเผยแพร่ผลงาน ผลการเรียนรู้ โดย 5B model เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาด้านความรู้ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ (TQF) ได้ (Sutthiwattana et al., 2019; Phueaknumpol et al., 2020) โดยในด้านความรู้มีรายละเอียดคือ นักศึกษามีความรอบรู้ในหลักการ แนวคิด ทฤษฎีในเนื้อหาวิชาอย่างลึกซึ้ง สามารถประยุกต์สู่การปฏิบัติ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อนำมาใช้พัฒนาแนวคิดของนักศึกษาให้ถูกต้องตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ เพื่อตอบสนองนโยบายและยุทธศาสตร์ของทางมหาวิทยาลัย

ในฐานะที่คณะผู้วิจัยเป็นอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาหลักชีววิทยา พบว่าแนวคิดเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นเนื้อหาที่นักศึกษาค่อนข้างเข้าใจยาก มีความซับซ้อนในขั้นตอนกระบวนการต่าง ๆ และนักศึกษามีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในหลายหัวข้อสังเกตจากการตอบคำถามในชั้นเรียนและคะแนนสอบ สอดคล้องกับ Pattamapongsa (2012) กล่าวว่า นักเรียนมีแนวคิดที่

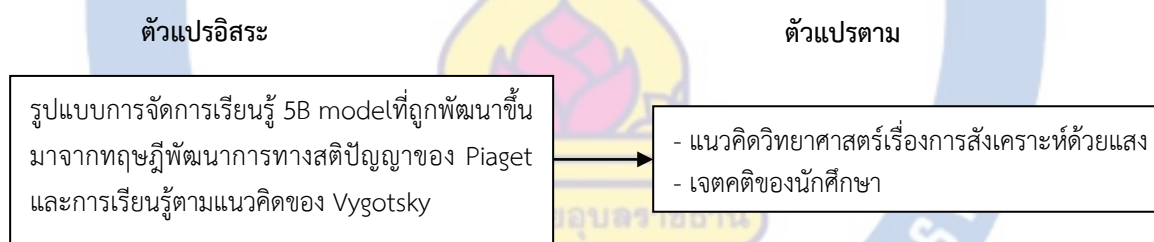
คลาดเคลื่อนในหัวข้อการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากความซับซ้อนของเนื้อหา ประกอบกับนักเรียนขาดความรู้พื้นฐานก่อนเรียน อีกทั้งผู้วิจัยมีหน้าที่รับผิดชอบสอนให้กับนักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาซึ่งจะต้องไปประกอบอาชีพครู ดังนั้นการพัฒนาแนวคิดในหัวข้อดังกล่าวให้ถูกต้องจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ประกอบกับการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบันอยู่ในรูปแบบออนไลน์ 100% ผู้วิจัยพบว่า นักศึกษามักต้องรับฟังการบรรยายจากอาจารย์ผู้สอน ไม่มีส่วนร่วมในการเรียนรู้ นอกจากการถามตอบจากอาจารย์ผู้สอน ทำให้มีเสียงสะท้อนจากนักศึกษาทางด้านลบต่อการจัดการเรียนรู้ จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับเจตคติของนักศึกษาร่วมด้วย

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความตระหนักถึงความสำคัญที่จะพัฒนาแนวคิดของนักศึกษาครูชีววิทยา ให้มีความถูกต้องตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ และศึกษาเกี่ยวกับเจตคติต่อการเรียน คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำรูปแบบ 5B model มาใช้ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ เพื่อการพัฒนาแนวคิดเรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงและเจตคติของนักศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในสถานการณ์ที่มีการระบาดของโรคไวรัสโควิด-19 ในรูปแบบออนไลน์ ให้กับอาจารย์ผู้สอน นักการศึกษา และตอบสนองนโยบายและยุทธศาสตร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ของนักศึกษาครูสาขาชีววิทยาในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์
2. ศึกษาเจตคติของนักศึกษาครูสาขาชีววิทยา ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ 5B model ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ในการพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสงและเจตคติของนักศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสมผสาน (mixed-method study) ที่นำเสนอทั้งข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยการศึกษาความหมายข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง และเจตคติของนักศึกษาต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ 5B model ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์

2. กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาเป็นนักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา หลักชีววิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 22 คน ได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) เนื่องจากเป็นนักศึกษาที่มีการเข้าชั้นเรียนเพื่อร่วมกิจกรรมได้ทุกขั้นตอนมากกว่ากลุ่มอื่น จึงเหมาะแก่การเลือกมาเป็นตัวแทนของประชากรได้

3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 แผนบริหารการสอน เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง จำนวน 4 แผน โดยใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แผนละ 180 นาที มีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ 5B model คณะผู้วิจัยได้ร่วมกันออกแบบแผนบริหารการสอนและส่งให้ผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 1 ท่าน ด้านวิจัยและประเมินผลการศึกษา 1 ท่าน และด้านการจัดการเรียนรู้ชีววิทยา 1 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา และความเหมาะสมของวิธีการจัดการเรียนรู้

3.2 แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียน เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นแบบสองชั้น ชั้นที่ 1 เป็นแบบเลือกตอบ และชั้นที่ 2 เป็นแบบเขียนบรรยายเหตุผล จำนวน 15 ข้อ โดยแบ่งเป็น 4 แนวคิดหลัก คือ 1) แนวคิดเรื่อง โครงสร้าง

และหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ 2) แนวคิดเรื่อง ปฏิกริยาแสง 3) แนวคิดเรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C3 และ 4) แนวคิดเรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C4 และ พืช CAM โดยแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านชีววิทยา 1 ท่าน ด้านวิจัยและประเมินผลการศึกษา 1 ท่าน และด้านการจัดการเรียนรู้ชีววิทยา 1 ท่าน เพื่อทำการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ความถูกต้องของแนวคิดและภาษา หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยได้ทำการปรับแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน เมื่อทำการแก้ไขเรียบร้อยแล้ว คณะผู้วิจัยได้นำแบบวัดแนวคิดฉบับนี้ไปทดลองใช้ (try out) กับนักศึกษาที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มที่ศึกษา เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดในด้านของระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำแบบวัด ด้านภาษาที่มีการสื่อสารอย่างถูกต้องแล้วเข้าใจของข้อคำถาม จึงนำไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา

3.3 แบบบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้ของอาจารย์ผู้สอน เป็นเครื่องมือที่คณะผู้วิจัยจัดทำขึ้นเพื่อสะท้อนสิ่งต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะจัดการเรียนรู้และวิธีแก้ไขปัญหา ข้อค้นพบที่ได้และผลของการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนบริหารการสอน

3.4 แบบบันทึกการเรียนรู้ของนักศึกษา เป็นเครื่องมือที่คณะผู้วิจัยจัดทำขึ้นเพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านเจตคติของนักศึกษา โดยมีรายละเอียดเพื่อให้ให้นักศึกษาได้บันทึกสิ่งต่าง ๆ เช่น ความรู้ที่ได้ในแต่ละกิจกรรม ความรู้สึกต่าง ๆ หลังการจัดการเรียนรู้ รวมถึงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะของนักศึกษาต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิจัยในครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลดังนี้

4.1 นักศึกษาทำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง ก่อนเรียน จากนั้นนำผลการประเมินมาใช้ในการจัดกลุ่มนักศึกษาเพื่อทำกิจกรรมในแต่ละแผนบริหารการสอน

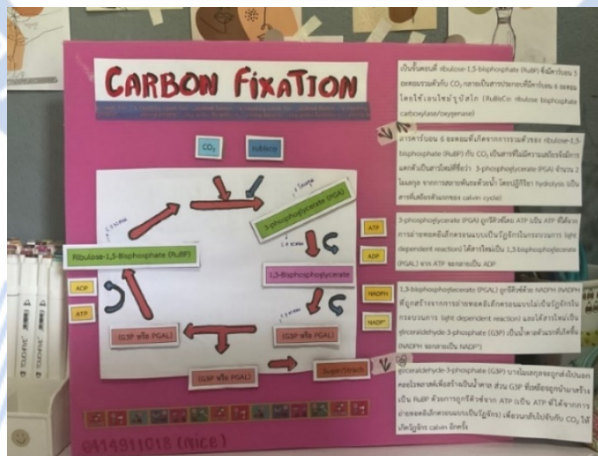
4.2 ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนบริหารการสอน จำนวน 4 แผน แผนละ 180 นาที รวมระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งสิ้น 720 นาที โดยหลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละครั้ง อาจารย์ผู้สอนจะทำการบันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกหลังสอน โดยตัวอย่างในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แสดงดังตารางที่ 1

4.3 เมื่อเสร็จสิ้นกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 4 แผนบริหารการสอน คณะผู้วิจัยให้นักศึกษาทำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง หลังเรียน จากนั้นคณะผู้วิจัยแจกแบบบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักศึกษานำมาบันทึกรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทั้ง 4 แผนบริหารการสอน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแผนบริหารการสอนที่ 3 เรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C3

ขั้นตอน	รายละเอียดกิจกรรม
1. ขั้นการทำข้อตกลงและทบทวนความรู้เดิม (Bright)	1.1 อาจารย์แจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ และหัวข้อที่จะทำการศึกษาในวันนี้ 1.2 อาจารย์ใช้คำถามเพื่อเชื่อมโยงความรู้เดิมไปสู่ความรู้ใหม่ โดยถามนักศึกษากว่า “จากกระบวนการในปฏิกริยาแสงในคาบที่ผ่านมา ผลที่ได้จากปฏิกริยาแสงคืออะไรบ้าง (แนวคำตอบ O_2 ATP และ NADPH) จากนั้นถามนักศึกษาต่อว่า “พืชสามารถนำสารเหล่านั้นไปใช้ได้หรือไม่ และพืชสามารถใช้สารเหล่านั้นไปเป็นสารอาหารโดยตรงให้แก่พืชได้หรือไม่ และสารอาหารหลักของพืชที่จะได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงคืออะไร” (คำตอบขึ้นอยู่กับคำตอบของนักศึกษา โดยให้เชื่อมโยงกับความรู้เดิม และให้ได้คำตอบจากในชั้นเรียนคือ พืชจะนำสารเหล่านั้นไปสร้างน้ำตาล) 1.3 อาจารย์ใช้คำถามเพื่อเชื่อมโยงกิจกรรมที่จะทำการศึกษาในวันนี้คือ “พืชจะนำสารที่ได้จากกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปใช้ในการสร้างน้ำตาลได้อย่างไร”
2. ขั้นการเพิ่มพูนความรู้ (Brain)	2.1 นักศึกษาชมวิดีโอเรื่อง Calvin cycle จากนั้น อาจารย์มีกรรสุ่มชื่อเพื่อตอบคำถามจากโปรแกรมสุ่มชื่อ 2.2 นักศึกษาเข้ากลุ่มเพื่อทำการสรุปประเด็นเกี่ยวกับการตรึงคาร์บอนของพืช C3 ออร์แกเนลล์บริเวณที่เกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนของพืช C3 โครงสร้างใบของพืช C3 และตัวอย่างของพืช C3 หมายเหตุ กลุ่มของนักศึกษาถูกแบ่งจากผลการประเมินด้วยแบบวัดแนวคิดก่อนเรียน นักศึกษาสร้างบัญชี Google Meet ใหม่ เพื่อรวมกลุ่มในการทำกิจกรรม

ขั้นตอน	รายละเอียดกิจกรรม
3. ขั้นการสร้างกระบวนการคิด (Bring)	3.1 นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำกิจกรรมจากชุดกิจกรรมเรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C3 ที่อาจารย์ส่งให้ในรูปแบบไฟล์ pdf (อาจารย์ส่งไฟล์ pdf ให้ให้นักศึกษาล่วงหน้าก่อนถึงวันที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้) ประกอบไปด้วย - ชุดกิจกรรมบัตรคำขั้นตอนการเกิด Calvin cycle - ชุดกิจกรรมแผ่นโมเดล Calvin cycle 3.2 นักศึกษานำบัตรคำที่เป็นส่วนหนึ่งของชุดกิจกรรม มาเรียงลำดับการเกิดปฏิกิริยาตามความน่าจะเป็น 3.3 เมื่อนักศึกษาแต่ละกลุ่มเรียงบัตรคำเสร็จเรียบร้อยแล้ว อาจารย์ให้นักศึกษานำชุดกิจกรรมแผ่นโมเดล Calvin cycle มาเติมสารต่าง ๆ ลงในแผ่น Calvin cycle ตามบัตรคำที่นักศึกษาได้ทำไปข้างต้น (ภาพที่ 2)
4. ขั้นการปฏิบัติการเรียนรู้ (Best)	4.1 นักศึกษาแต่ละกลุ่มกลับเข้ามาที่ห้องใหญ่ จากนั้นนำเสนอบัตรคำการเกิด Calvin และโมเดล Calvin cycle พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับกลุ่มอื่น ๆ 4.2 นักศึกษาและอาจารย์ร่วมกันอภิปรายและสรุปองค์ความรู้ หากมีนักศึกษาที่ยังมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน อาจารย์เร่งแก้ไขให้ถูกต้อง 4.3 นักศึกษาตอบคำถามลงในใบกิจกรรม เรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C3
5. ขั้นการขยายผล (Beauty)	5.1 อาจารย์ใช้คำถามเพื่อประเมินว่านักศึกษามีแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องหรือไม่ โดยมีข้อคำถามดังนี้ - การสร้างน้ำตาลในพืชเกิดขึ้นที่โครงสร้างใด - สารพลังงานสูงถูกนำมาใช้ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ขั้นตอนใดบ้าง - สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์คืออะไร - ในการสร้างน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุลจะต้องใช้สารอะไรบ้าง จำนวนกี่โมเลกุล - ตัวอย่างพืช C3 5.2 นักศึกษานำโมเดลการตรึงคาร์บอนของพืช C3 ไปเผยแพร่ใน Facebook



ภาพที่ 2 ตัวอย่างผลงานของนักศึกษา เรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C3

5. การวิเคราะห์ข้อมูล การวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง คณะผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยการอ่านคำตอบของนักศึกษาจากแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ จากนั้นนำมาจัดกลุ่มคำตอบแนวคิดวิทยาศาสตร์ตามงานวิจัยของ Haidar (1997) โดยการแบ่งแนวคิดออกเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้ คือ 1) กลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง (scientific conception: SC) 2) กลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (partial conception: PC) 3) กลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (partial conception and specific misconception: PC&SM) 4) กลุ่มแนวคิดคลาดเคลื่อน (misconception: MC) และ 5) กลุ่มไม่ตอบคำถาม (no conception: NC) จากนั้นนำกลุ่มคำตอบ

ที่ได้มาหาความเที่ยงของผู้ประเมิน (inter-rater reliability) โดยการร่วมกันลงความเห็นและวิเคราะห์แนวคิดร่วมกัน โดยสุ่มแบบวัดแนวคิดประมาณร้อยละ 50 ของจำนวนทั้งหมด ในส่วนของความเห็นที่ไม่ตรงกัน คณะผู้ประเมินจะร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปที่ชัดเจนและนำข้อสรุปไปใช้เป็นแนวทางในการจัดกลุ่มคำตอบแนวคิดต่อไป จากนั้นคณะผู้วิจัยนำกลุ่มแนวคิดที่สมบูรณ์มาหาความถี่ และร้อยละของคำตอบของนักศึกษาในแต่ละกลุ่มของแนวคิดวิทยาศาสตร์

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบบันทึกหลังการสอนของอาจารย์ และแบบบันทึกการเรียนรู้ของนักศึกษา คณะผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) โดยวิธีการตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า (triangulation) ในการอ่านและสรุปสิ่งที่ได้จากการบันทึกทั้งของอาจารย์ผู้สอนและนักศึกษา แล้วสรุปประเด็นที่สำคัญเพื่อมาจัดกลุ่มเป็นเจตคติของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ในรูปแบบนอกสถานที่ตั้ง (online) ของนักศึกษาครูสาขาวิชาชีววิทยา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงของนักศึกษาจำนวน 22 คน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความถี่และร้อยละคำตอบของนักศึกษาที่ถูกจัดกลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง (n = 22)

แนวคิด	จำนวนความถี่ (ร้อยละ) คำตอบของนักศึกษา				
	SC	PC	PC&SM	MC	NC
ก่อนเรียน	0.00	1.14	37.52	47.87	13.64
1. โครงสร้างและหน้าที่ของคลอโรพลาสต์	0 (0.00)	0 (0.00)	13 (59.09)	9 (40.90)	0 (0.00)
2. ปฏิกริยาแสง	0 (0.00)	1 (4.55)	10 (45.55)	10 (45.55)	1 (4.55)
3. การตรึงคาร์บอนของพืช C3	0 (0.00)	0 (0.00)	6 (27.27)	11 (50.50)	5 (22.73)
4. การตรึงคาร์บอนของพืช C4 และพืช CAM	0 (0.00)	0 (0.00)	4 (18.18)	12 (54.54)	6 (27.27)
หลังเรียน	54.54	37.50	7.96	0.00	0.00
1. โครงสร้างและหน้าที่ของคลอโรพลาสต์	14 (63.63)	8 (36.36)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
2. ปฏิกริยาแสง	8 (36.36)	10 (45.45)	4 (18.18)	0 (0.00)	0 (0.00)
3. การตรึงคาร์บอนของพืช C3	13 (59.09)	7 (31.82)	2 (9.09)	0 (0.00)	0 (0.00)
4. การตรึงคาร์บอนของพืช C4 และพืช CAM	13 (59.09)	8 (36.36)	1 (4.55)	0 (0.00)	0 (0.00)
ร้อยละการเปลี่ยนแปลง*	54.54	36.36	-20.48	-47.87	-13.64
1. โครงสร้างและหน้าที่ของคลอโรพลาสต์	63.63	36.36	-59.09	-40.90	0.00
2. ปฏิกริยาแสง	36.36	40.90	-27.37	-45.55	-4.55
3. การตรึงคาร์บอนของพืช C3	59.09	31.82	-18.18	-50.50	-22.73
4. การตรึงคาร์บอนของพืช C4 และพืช CAM	59.09	36.36	-13.63	-54.54	-27.27

* เครื่องหมาย + และ - แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ

จากตารางที่ 2 พบว่า นักศึกษามีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในทุกแนวคิด ยกเว้นในแนวคิดที่ 2 เรื่อง ปฏิกริยาแสง เนื่องจากในคาบเรียนเรื่องนี้ นักศึกษาส่วนใหญ่ต้องลาเพื่อไปรับการฉีดวัคซีนโควิด-19 จึงทำให้นักศึกษาที่ไม่ได้ฉีดวัคซีนไม่ได้เข้าร่วมกิจกรรม อาจารย์ผู้สอนได้มอบหมายงานเพื่อให้นักศึกษาไปทำความเข้าใจ จึงทำให้ในแนวคิดนี้ของหลังเรียนมีผลของจำนวนความถี่และร้อยละของนักศึกษาที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) น้อยกว่าแนวคิดวิทยาศาสตร์ไม่สมบูรณ์ (PC) และจากตารางจะพบว่าก่อนเรียนนักศึกษามีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&SM) และแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน (MC) ในทุกแนวคิด และพบว่ามีความถี่ของนักศึกษาบางส่วนที่ไม่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์หรือไม่ตอบคำถาม (NC) และแนวคิดวิทยาศาสตร์ไม่สมบูรณ์ (PC) เมื่อแยกพิจารณาในแต่ละแนวคิดในช่วงก่อนเรียนและหลังเรียนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. แนวคิดเรื่อง โครงสร้างและหน้าที่ของคลอโรพลาสต์

ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&SM) จำนวน 13 คน (ร้อยละ 59.09) โดยนักศึกษากลุ่มใหญ่สามารถระบุโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ได้ แต่ในส่วนของการทำงานของคลอโรพลาสต์และรายละเอียดอื่น ๆ ของคลอโรพลาสต์ยังพบแนวคิดที่คลาดเคลื่อน เช่น “การเกิด Calvin cycle เกิดที่เยื่อหุ้มไทลาคอยด์ และปฏิกิริยาแสงก็เกิดที่บริเวณเยื่อหุ้มไทลาคอยด์เช่นเดียวกัน” (BI08, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) และ “สิ่งที่เหมือนกันระหว่างคลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรียคือการมีของเหลวอยู่ภายในที่เรียกว่า stroma” (BI28, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) และนักศึกษามีแนวคิดวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (MC) จำนวน 9 คน (ร้อยละ 40.90) โดยนักศึกษาระบุว่า “กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนทั้งแบบเป็นวัฏจักรและไม่เป็นวัฏจักรเกิดที่บริเวณเยื่อหุ้มชั้นในของคลอโรพลาสต์” (BI15, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) ในขณะที่หลังการจัดการเรียนรู้พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) จำนวน 14 คน (ร้อยละ 63.63) รองลงมาคือแนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PC) จำนวน 8 คน (ร้อยละ 36.36) โดยนักศึกษาระบุว่า “กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดที่ออร์แกเนลล์ที่ชื่อคลอโรพลาสต์ เพราะภายในคลอโรพลาสต์มีสารสีเขียวซึ่งสามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้อยู่” (BI01, แบบวัดแนวคิดหลังเรียน)

2. แนวคิดเรื่อง ปฏิกิริยาแสง

ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&SM) จำนวน 10 คน (ร้อยละ 45.55) โดยนักศึกษากลุ่มใหญ่ไม่สามารถอธิบายขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาแสงได้อย่างถูกต้องครบถ้วน มีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกต้อง เช่น “ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะเกิด photolysis เพื่อให้อิเล็กตรอนแทนที่อิเล็กตรอนเดิมของ PSII โดยจะถ่ายทอดอิเล็กตรอนทำให้เกิดการสร้าง NADPH และเมื่ออิเล็กตรอนถ่ายทอดมายัง PSI จะเกิดการสร้าง ATP” (BI01, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) เช่นเดียวกับกลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (MC) ที่พบนักศึกษากลุ่มนี้จำนวน 10 คน (ร้อยละ 45.55) โดยนักศึกษาระบุว่า “ATP ที่เกิดจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักรเกิดที่ PS I เนื่องจากเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาถึง PS I จึงจะเกิดการสร้าง ATP” (BI17, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) และยังพบว่ามีนักศึกษาที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PC) จำนวน 1 คน (ร้อยละ 4.55) โดยนักศึกษาระบุว่า “อิเล็กตรอนที่มาจาก PS II ได้จากการสลายตัวของน้ำ” อย่างไรก็ตามยังพบนักศึกษากลุ่มนี้จำนวน 1 คน (ร้อยละ 4.55) ที่ไม่ตอบคำถามหรือกลุ่มไม่มีคำตอบ (NC) ในขณะที่หลังเรียนพบว่านักศึกษากลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PC) จำนวน 10 คน (ร้อยละ 45.45) โดยนักศึกษาระบุว่า “กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับ light dependent คือ photolysis ที่ทำให้น้ำแตกตัวแล้วได้เป็นอิเล็กตรอน กับ ออกซิเจน” (BI11, แบบวัดแนวคิดหลังเรียน) แต่ยังไม่พบว่ามีนักศึกษากลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) จำนวน 8 คน (ร้อยละ 36.36) และ อย่างไรก็ตามพบว่า มีนักศึกษาที่ยังคงมีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&SM) จำนวน 4 คน (ร้อยละ 18.18) โดยนักศึกษาระบุว่า “photolysis เป็นการสลายน้ำแล้วให้อิเล็กตรอนไปยัง PS II จากนั้นจะถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ โดยพลังงานที่ปล่อยออกมาจะถูกนำไปสร้าง ATP ที่บริเวณ PS I และน้ำที่ถูกสลายก็จะได้ออกซิเจนเป็นผลลัพธ์ด้วย” (BI27, แบบวัดแนวคิดหลังเรียน)

3. แนวคิดเรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C3

ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (MC) จำนวน 11 คน (ร้อยละ 50.50) โดยนักศึกษากลุ่มนี้ไม่สามารถระบุขั้นตอนการตรึงคาร์บอน ผลลัพธ์และบริเวณที่เกิดการตรึงคาร์บอนได้อย่างถูกต้อง เช่น “การตรึงคาร์บอนของพืชสีเขียวเกิดโดยอาศัย RuBP ในปฏิกิริยาการใช้แสงที่เกิดขึ้นบนเยื่อหุ้มไทลาคอยด์” (BI25, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) และ “การหายใจด้วยแสงเกิดจากการที่ RuBP จับกับ CO₂ จากนั้นจะถูกนำไปใช้ในการสร้างน้ำตาล” (BI26, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) รองลงมาพบนักศึกษากลุ่มนี้จำนวน 6 คน (ร้อยละ 27.27) มีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&SM) โดยนักศึกษาระบุว่า “การตรึงคาร์บอนจะเกิดจากการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาแสงมาใช้ เช่น ATP จะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างน้ำตาลจะเกิดที่บริเวณไทลาคอยด์” (BI07, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) อย่างไรก็ตามพบว่า มีนักศึกษาที่ไม่ตอบคำถามหรือไม่มีคำตอบ (NC) จำนวน 5 คน (ร้อยละ 22.73) ในขณะที่หลังเรียนมีนักศึกษากลุ่มใหญ่ที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) จำนวน 13 คน (ร้อยละ 59.09) แต่ยังไม่พบว่ามีนักศึกษากลุ่มแนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PC) จำนวน 7 คน (ร้อยละ 31.82) โดยนักศึกษาระบุว่า “photorespiration เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ที่สามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างการตรึงคาร์บอนของพืช C₃ ในกรณีที่มีออกซิเจนเป็นจำนวนมากในเซลล์ใบ” (BI01, แบบวัดแนวคิดหลังเรียน) อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีนักศึกษากลุ่มนี้จำนวน 2 คน (ร้อยละ 9.09) โดยนักศึกษาระบุว่า “ในเซลล์คุมของใบข้าวจะไม่พบการตรึงคาร์บอน เนื่องจากไม่พบเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง และไม่พบ CO₂ ในเซลล์คุม” (BI15, แบบวัดแนวคิดหลังเรียน) และ “พืช C₃ เป็นพืชที่มีระบบการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย Calvin cycle เพียงอย่างเดียว และไม่สามารถตรึงแก๊สอื่น ๆ ได้ จึงมีการตรึงคาร์บอนเพียงครั้งเดียว” (BI11, แบบวัดแนวคิดหลังเรียน)

4. การตรึงคาร์บอนของพืช C4 และพืช CAM

ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (MC) จำนวน 12 คน (ร้อยละ 54.54) โดยนักศึกษาไม่สามารถระบุขั้นตอนการตรึงคาร์บอน บริเวณที่เกิดการตรึงคาร์บอนของพืช C4 และพืช CAM ได้อย่างถูกต้อง โดยนักศึกษาระบุว่า “พืช C4 ใช้เอนไซม์ RuBisCO ในการตรึงคาร์บอนในครั้งแรกเพื่อนำไปสร้างน้ำตาล” (BI02, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) และ “พืช CAM ตรึง CO₂ ได้ทั้งกลางวันและกลางคืนเกิดที่มีไซฟิลเพราะพบคลอโรพลาสต์” (BI04, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) รองลงมาพบว่า มีนักศึกษากลุ่มที่ไม่มีคำตอบ (NC) จำนวน 6 คน (ร้อยละ 27.27) และนักศึกษามีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&SM) จำนวน 4 คน (ร้อยละ 18.18) โดยนักศึกษาระบุว่า “ใบสับปะรดเป็นพืช CAM จะมีการตรึงคาร์บอน 2 ครั้ง ครั้งแรกตอนกลางคืน และครั้งที่ 2 ตอนกลางวัน เพราะตอนกลางวันปากใบปิด ใบจึงมีคาร์บอนไดออกไซด์เยอะ” (BI16, แบบวัดแนวคิดก่อนเรียน) ตามลำดับ ในขณะที่หลังเรียนมีนักศึกษากลุ่มใหญ่ที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) จำนวน 13 คน (ร้อยละ 59.09) และยังพบว่า นักศึกษามีแนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PC) จำนวน 8 คน (ร้อยละ 36.36) โดยนักศึกษาระบุว่า “การตรึงคาร์บอนของพืช CAM เกิด 2 ครั้ง โดยเวลากลางคืนจะมี CO₂ ในใบมาก จนได้สารที่ชื่อว่ามาเลท (Malate) เก็บสะสมไว้ จากนั้นในเวลากลางวันมาเลทจะปล่อย CO₂ ให้เกิดการตรึงคาร์บอนครั้งที่ 2 เพื่อสร้างน้ำตาล” (BI04, แบบวัดแนวคิดหลังเรียน) อย่างไรก็ตามพบนักศึกษาที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์บางส่วนถูกต้องและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PC&SM) จำนวน 1 คน (ร้อยละ 4.55) โดยนักศึกษาระบุว่า “การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช C3 เกิดโดย PEP (phosphoenol pyruvic acid) รวมตัวกับ CO₂ แล้วได้ OAA (oxaloacetate) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอน 4 อะตอมเป็นตัวแรก โดยมีการตรึง CO₂ ถึง 2 ครั้งในเวลากลางวันและกลางคืน”

จากผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาที่เรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model นั้นสามารถพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงได้นั้นอาจมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1) การจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 1 ทำให้นักศึกษาได้ทบทวนความรู้เดิม มีการนำความรู้เดิมมาใช้ในการตอบคำถามกระตุ้นให้นักศึกษาได้คิด อีกทั้งยังมีการอธิบายแนวการสอน วัตถุประสงค์ในการเรียน ทำให้นักศึกษาได้ทราบเป้าหมายในการเรียนได้อย่างชัดเจน และพร้อมที่จะเรียนรู้เนื้อหาในชั่วโมงนั้น ๆ (National Research Council, 2000)

2) การจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 2 เป็นขั้นตอนที่นักศึกษาได้รับมอบหมายงานให้ค้นคว้าหาความรู้ในหัวข้อที่จะศึกษา มีการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม เปิดโอกาสให้นักศึกษาได้พัฒนาองค์ความรู้ สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งเน้นกระบวนการทำงานเป็นกลุ่มเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่มและร่วมกันวางแผนการทำงานที่จะนำพากลุ่มของตนเองไปสู่เป้าหมาย (Mcdonald, 2012) เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาองค์ความรู้และเสริมสร้างการทำงานร่วมกันถึงแม้จะเป็นรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์

3) การจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 3 เป็นขั้นตอนที่นักศึกษาได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรม โดยนำองค์ความรู้ที่ได้รับจากขั้นที่ 2 มาใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้นักศึกษาเกิดความเข้าใจและมองเห็นองค์ความรู้เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น (Prasertsan, 2012) อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ทั้งเพื่อนร่วมชั้น และอาจารย์ผู้สอนทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย ส่งผลให้ผู้เรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นและลดแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนให้ลดลงได้ (Cakir, 2008)

4) การจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 4 เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดการมองเห็นข้อผิดพลาดและนำไปปรับปรุงพัฒนาให้ดีขึ้น ทำให้เกิดการพัฒนาแบบองค์รวมทั้งทางด้านองค์ความรู้ ทักษะการคิด รวมไปถึงยังสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ใหม่ ๆ (Udomsin and Porntrai, 2017) ส่งผลให้นักศึกษาสามารถเรียนรู้บนข้อผิดพลาดและเรียนรู้ทั้งข้อผิดพลาดและความถูกต้องจากสิ่งที่ตนเองได้แก้ไขให้ติดตัวไปได้ตลอด

5) การจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 5 เป็นกิจกรรมที่ตรวจสอบความเข้าใจและเป็นการประเมินผลของนักศึกษา เป็นการส่งเสริมแนวคิดที่ถูกต้องของนักศึกษา ทำให้นักศึกษาเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งของแนวคิดนั้น ๆ (Sutthiwattana et al., 2019) อีกทั้งยังเป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักศึกษาได้นำองค์ความรู้ของตนเองไปเผยแพร่ในสื่อโซเชียลต่าง ๆ ทำให้เกิดความภาคภูมิใจในตนเอง และสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์ในคนหมู่มากได้อย่างเหมาะสมในสถานการณ์ปัจจุบัน

2. เจตคติของนักศึกษาด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ ของนักศึกษาครูสาขาวิชาชีววิทยา

จากการวิเคราะห์เนื้อหาที่ได้จากแบบบันทึกการเรียนรู้ของนักศึกษาจำนวน 22 คน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความถี่และร้อยละคำตอบของนักศึกษาที่แสดงถึงเจตคติต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ (N = 22)

เจตคติของนักศึกษา	ความถี่ (คน)	ร้อยละ
1. มีกิจกรรมให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมแม้จะเป็นการเรียนออนไลน์	22	100.00
2. กิจกรรมช่วยให้เข้าใจและจำเนื้อหาได้มากขึ้น	21	95.45
3. กิจกรรมทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กับอาจารย์และเพื่อนในชั้นเรียน	21	95.45
4. การสุ่มเรียกชื่อเพื่อตอบคำถามทำให้จดจ่อกับการเรียน	17	77.27
5. การทำกิจกรรมช่วยให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ผ่อนคลาย ไม่เครียดจากการเรียนรูปแบบออนไลน์	13	59.09
6. ได้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง	12	54.54
7. เวลาในการทำกิจกรรมค่อนข้างนาน ทำให้เรียนเนื้อหาได้น้อย	7	31.81
8. การเข้ากลุ่มเพื่อทำกิจกรรมใช้เวลานาน เพราะเพื่อนบางคนอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร	5	22.72
9. การสุ่มชื่อจากโปรแกรมสุ่มชื่อไม่มีความทั่วถึง นักศึกษาบางคนไม่ได้ตอบคำถาม	4	18.18

จากตารางที่ 3 พบว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ 5B model ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ โดยนักศึกษาจำนวน 22 คน (ร้อยละ 100) ให้ความเห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีดังกล่าวมีกิจกรรมให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมแม้จะเป็นการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ นักศึกษาจำนวน 21 คน (ร้อยละ 95.45) ให้ความเห็นว่าการช่วยให้เข้าใจและจดจำเนื้อหาได้มากขึ้น และ กิจกรรมทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กับอาจารย์และเพื่อนในชั้นเรียน นักศึกษาจำนวน 17 คน (ร้อยละ 77.27) ให้ความเห็นว่าการสุ่มเรียกชื่อเพื่อตอบคำถามทำให้จดจ่อกับการเรียนมากขึ้น นักศึกษาจำนวน 13 คน (ร้อยละ 59.09) ระบุว่าการทำกิจกรรมช่วยให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ผ่อนคลาย ไม่เครียดจากการเรียนรูปแบบออนไลน์ นักศึกษาจำนวน 12 คน (ร้อยละ 54.54) ระบุว่ากิจกรรมทำให้ได้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองมากขึ้น อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีดังกล่าวส่งผลให้นักศึกษามีเจตคติทางด้านลบได้เช่นกัน พบว่านักศึกษาจำนวน 7 คน (ร้อยละ 31.81) ให้ความเห็น ว่า เวลาในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในแต่ละคาบค่อนข้างใช้เวลานาน จึงทำให้เรียนเนื้อหาได้น้อย นักศึกษาจำนวน 5 คน (ร้อยละ 22.72) ระบุว่า การเข้ากลุ่มเพื่อทำกิจกรรมใช้เวลานาน เพราะเพื่อนบางคนอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร และนักศึกษาจำนวน 4 คน (ร้อยละ 18.18) ระบุว่า การสุ่มชื่อจากโปรแกรมสุ่มชื่อไม่มีความทั่วถึง นักศึกษาบางคนไม่ได้ตอบคำถาม และจากการวิเคราะห์เนื้อหาในแบบบันทึกหลังการสอนของอาจารย์และแบบบันทึกการเรียนรู้ของครู และแยกพิจารณาเป็นรายประเด็นที่สำคัญได้แสดงถึงเจตคติด้านบวกของนักศึกษาที่มีต่อการจัดการเรียนรู้พบว่าแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. มีกิจกรรมให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมแม้จะเป็นการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ เนื่องจากนักศึกษาได้ทำกิจกรรมทั้งเรียงบัตรคำ ต่อโมเดล วาดรูปโครงสร้าง นำเสนองาน ส่งผลให้นักศึกษาเกิดความพึงพอใจต่อการเรียน ไม่มีความเบื่อหน่ายในการเรียนจากการฟังบรรยายของอาจารย์เพียงทางเดียว และต้องไปทบทวนด้วยตนเองหลังจากเรียนจบในแต่ละคาบ แต่กิจกรรมทำให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการเรียน แม้จะไม่ได้เผชิญหน้ากันเหมือนการเรียนในห้องเรียนปกติ การได้เรียงบัตรคำแล้วมานำเสนอบัตรคำที่เรียงถูกต้องตามการเกิดกระบวนการต่าง ๆ หรือไม่ แตกต่างจากเพื่อนหรือไม่ ทำให้มีความสนุกสนานในการเรียน ดังระบุไว้ในแบบบันทึกของนักศึกษาที่ว่า “ชอบการที่ได้ทำภาพขั้นตอนกระบวนการต่าง ๆ ด้วยตัวเอง เป็นเหมือนการให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการเรียน ได้ทำกิจกรรมแบบนี้ทำให้เรียนสนุกมากขึ้น และเรียนเข้าใจง่าย” (BI07, แบบบันทึกการเรียนรู้)

2. กิจกรรมช่วยให้เข้าใจและจำเนื้อหาได้มากขึ้น เนื่องจากนักศึกษาได้ลงมือปฏิบัติในทุกกิจกรรม เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และมีโอกาสได้นำเสนอในสิ่งที่ตนเองค้นพบ ทำให้ส่งเสริมความเข้าใจและจำเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น ดังระบุไว้ในแบบบันทึกของนักศึกษา “ชอบที่มีการให้นำเสนอและพูด เพราะหนูคิดว่าสิ่งที่เราพูดในสิ่งที่เราเรียนรู้อาจจะช่วยให้หนูจำเนื้อหาและเข้าใจเนื้อหาได้ดีกว่าการนั่งฟังเพียงอย่างเดียวและชอบกิจกรรมที่ทำให้หนูเห็นภาพกระบวนการต่าง ๆ มากขึ้น ทำให้หนูจำเนื้อหาได้มากขึ้น” (BI10, แบบบันทึกการเรียนรู้) และ “หนูคิดว่า การให้นักศึกษาทำกิจกรรมด้วยตัวเอง จะทำให้นักศึกษาจำเนื้อหาได้ดี เพราะหนูเข้าใจเนื้อหาในหัวข้อนี้ได้มากขึ้นกว่าตอนเรียนมัธยมมาก ๆ ค่ะ” (BI02, แบบบันทึกการเรียนรู้)

3. กิจกรรมทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กับอาจารย์และเพื่อนในชั้นเรียน ในการปฏิบัติกิจกรรมมีช่วงที่ให้นักศึกษาได้ไปรวมกลุ่มเพื่อปฏิบัติกิจกรรมทำให้มีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในชั้นเรียนแม้จะอยู่คนละที่ ดังระบุในแบบบันทึกของนักศึกษา “ทำให้อาจารย์และนักศึกษามีปฏิสัมพันธ์ที่ดีเพิ่มมากขึ้น และทำให้นักศึกษามีความสนุกสนาน” (BI27, แบบบันทึกการเรียนรู้) และ

“ทำให้สนใจสิ่งที่ทำมากขึ้นและไม่เบื่อกับการเรียนมากเกินไป มีปฏิสัมพันธ์กับอาจารย์และเพื่อน ๆ และทำให้กิจกรรมนี้สนุกมากขึ้น” (BI28, แบบบันทึกการเรียนรู้)

4. การสุ่มเรียกชื่อเพื่อตอบคำถามทำให้จดจ่อกับการเรียน กิจกรรมหนึ่งที่น่าทึ่งไว้ในการจัดการเรียนรู้คือการสุ่มชื่อเพื่อตอบคำถาม เพื่อเป็นการเน้นย้ำและตรวจสอบความเข้าใจในแนวคิด มีส่วนช่วยให้นักศึกษามีสมาธิจดจ่อกับการเรียนมากขึ้น ดังที่นักศึกษาระบุว่า “มีการสุ่มเรียกชื่อตอบคำถาม ทำให้ต้องลุ้นตลอดเวลาว่าอาจารย์จะเรียกชื่อเราหรือปล่าว ทำให้มีความกระตือรือร้นในการเรียน และถึงแม้จะตอบผิด อาจารย์ก็จะช่วยอธิบายให้เข้าใจถูกต้อง” (BI13, แบบบันทึกการเรียนรู้) และ “เป็นกิจกรรมที่ทำให้เราตื่นตัวอยู่ตลอดเวลาเพราะมีการสุ่มถามตลอดคาบ เราเลยต้องตั้งใจฟังและห้ามหลุดโฟกัสไปไหน ตีมากเลยคะ” (BI09, แบบบันทึกการเรียนรู้)

5. การทำกิจกรรมช่วยทำให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ผ่อนคลาย ไม่เครียดจากการเรียนรูปแบบออนไลน์ ในการจัดการเรียนรู้มีกิจกรรมที่ให้นักศึกษาได้วาดรูป ระบายสี ออกแบบการสร้างโมเดลกระบวนการขั้นตอนต่างๆ ทำให้นักศึกษาได้ใช้ศิลปะทำให้เกิดการผ่อนคลาย ไม่เครียดจากการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ โดยเฉพาะนักศึกษาที่มีความถนัดในการวาดรูป ระบายสี การประดิษฐ์สิ่งต่าง ๆ ได้กระตุ้นให้ใช้ความคิดสร้างสรรค์ เพื่อสร้างสรรค์ผลงานให้ออกมาน่าประทับใจและมีความพึงพอใจต่อผลงานของตนเอง ดังที่นักศึกษาระบุไว้ในแบบบันทึก “หนูชอบที่อาจารย์ให้ตัดแปะรูป ชอบที่ให้มีงานศิลปะเข้าเกี่ยวข้องกับชีวะคะ เพราะมันทำให้หนูรู้สึกผ่อนคลายมากๆ ชอบที่อาจารย์ให้ตอบคำถามแบบเยาะ ๆ เพราะจะได้มีคะแนนเก็บ ชอบที่อาจารย์ถามว่า ไม่เข้าใจตรงไหนแล้วก็จะอธิบายในทันที” (BI18, แบบบันทึกการเรียนรู้) และ “มีความรู้สึกชอบกับกิจกรรมที่ดูหลากหลายและกิจกรรมนี้ทำให้เกิดความคิดสร้างสรรค์งานโดยการตัดภาพแล้วแปะภาพให้ดูมีมิติมากขึ้น ได้ออกแบบและสร้างสรรค์งาน ทำให้หนูอยากเรียนมาก ๆ ค่ะ” (BI04, แบบบันทึกการเรียนรู้)

6. ได้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง จากกิจกรรมในการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักศึกษาได้เรียงบัตรคำการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียงจากการเกิดกระบวนการต่าง ๆ และเรียงลำดับไปเรื่อย ๆ จนถึงขั้นตอนสุดท้าย ทำให้เกิดความท้าทายที่จะเรียงเนื้อหาขั้นตอนที่ถูกต้อง นักศึกษาต้องศึกษากระบวนการต่าง ๆ ด้วยตนเองจนเกิดความรู้และนำมาจัดเรียงบัตรคำให้ถูกต้อง อีกทั้งการสร้างโมเดลที่เกี่ยวกับกระบวนการต่าง ๆ นักศึกษาต้องไปสืบค้นข้อมูลที่ถูกต้องมาออกแบบและสร้างโมเดลเพื่อให้ได้โมเดลที่ถูกต้อง ทำให้นักศึกษาเกิดการค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง ดังที่นักศึกษาระบุในแบบบันทึก “สนุกมาก และตื่นเต้นว่าเราจะต่อคำหรือเรียงเนื้อหาถูกหรือไม่ ทำให้ต้องไปหาข้อมูลมาก่อนแล้วจึงนำมาทำกิจกรรมในการต่อบัตรคำและการสร้างโมเดล” (BI11, แบบบันทึกการเรียนรู้)

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังพบประเด็นสำคัญที่นักศึกษาได้แสดงถึงเจตคติทางด้านลบที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ตามรายละเอียดที่แสดงดังต่อไปนี้

1. เวลาในการทำกิจกรรมค่อนข้างนาน ทำให้เรียนเนื้อหาได้น้อย เนื่องจากกิจกรรมในการสร้างโมเดลต้องใช้เวลาในการทำกิจกรรมที่นาน กว่านักศึกษาแต่ละกลุ่มจะรวมกลุ่มกันเพื่อออกแบบโมเดลและสร้างโมเดล ทำให้เหลือเวลาในการสรุปเนื้อหาอื่น ๆ ได้น้อย ดังที่ระบุในแบบบันทึกของนักศึกษา “กิจกรรมสนุกแต่บางทีเวลาทำกิจกรรมนานเกินไป ทำให้เวลาเรียนน้อย” (BI03, แบบบันทึกการเรียนรู้)

2. การเข้ากลุ่มเพื่อทำกิจกรรมใช้เวลานาน เพราะเพื่อนบางคนอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร เนื่องจากการเรียนรูปแบบออนไลน์ และมีการให้ทำกิจกรรมกลุ่ม โดยอาจารย์ให้นักศึกษาไปสร้างห้องประชุม Google Meet ใหม่ในแต่ละกลุ่ม ซึ่งนักศึกษาบางคนอินเทอร์เน็ตไม่เสถียรทำให้ใช้เวลาในการเข้ากลุ่ม บางทีก็หลุดออกจากกลุ่มและมีการเข้ากลุ่มใหม่บ่อยครั้ง เกิดความไม่ต่อเนื่องในการทำกิจกรรมกลุ่ม ดังที่นักศึกษาระบุไว้ว่า “อินเทอร์เน็ตของเพื่อนในกลุ่มหลุดบ่อยครั้ง ไม่โทษเพื่อนนะคะ แต่มันทำให้หนูทำกิจกรรมสะดุด ไม่ราบรื่นเลยคะ” (BI14, แบบบันทึกการเรียนรู้)

3. การสุ่มชื่อจากโปรแกรมสุ่มชื่อไม่มีความทั่วถึง นักศึกษาบางคนไม่ได้ตอบคำถาม เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการสุ่มเรียกชื่อตอบคำถามของอาจารย์มักสุ่มชื่อซ้ำ ๆ บ่อยครั้ง จนทำให้นักศึกษาบางคนไม่ได้ตอบคำถาม แต่อาจารย์ผู้สอนได้แก้ปัญหาโดยมีการเรียกชื่อนักศึกษาที่ไม่ค่อยได้ตอบคำถามเพื่อให้ได้ตอบคำถามเหมือนเพื่อนคนอื่น ๆ ดังระบุไว้ในแบบบันทึก “หนูว่าการสุ่มเรียกชื่อบางคนก็ไม่โดนสุ่มทำให้พลาดโอกาสในการตอบคำถาม แต่หลัง ๆ มาอาจารย์มีการเรียกชื่อคนที่ไม่ค่อยได้ตอบหนูก็โอเคคะ” (BI18, แบบบันทึกการเรียนรู้)

จากผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ ส่งเสริมให้นักศึกษามีเจตคติทางบวกต่อการจัดการเรียนรู้ โดยการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Toraman and Demir (2016) ได้ศึกษางานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการสร้างสร้งความรู้ (constructivism) ของ Piaget พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสร้างสร้งความรู้ตามแนวทาง constructivism ส่งผลให้เกิดเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ ทำให้เกิดการเรียนรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์อย่างมีความสุขและนักเรียนสนุกกับงานที่สร้างสร้งด้วยตนเอง มีส่วนร่วมกับชั้นเรียนทั้งครูและเพื่อน อีกทั้งยังส่งผลต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย จะเห็นได้ว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ 5B model ที่ถูก

พัฒนาขึ้นจากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของ Piaget และการเรียนรู้ตามแนวคิดของ Vygotsky ที่ให้นักศึกษาได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรม มีการสร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านการทำกิจกรรม ส่งผลให้นักศึกษามีเจตคติที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบดังกล่าว อีกทั้งจากการศึกษาของ Phueaknumpol et al. (2020) พบว่านักศึกษาที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model มีเจตคติต่อการเรียนการสอนในระดับมาก โดยเฉพาะการมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนและการเรียน การทำงานเป็นทีม และการมีส่วนร่วมในชั้นเรียน อย่างไรก็ตามพบว่า มีนักศึกษาที่มีเจตคติทางด้านลบต่อการจัดการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับ Bimbola and Daniel (2010) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการใช้ทฤษฎีการสร้างสรรคความรู้มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนพบว่า นักเรียนบางส่วนยังคุ้นเคยกับการสอนแบบบรรยาย ถ้าได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจะส่งผลต่อการรับทราบนเวลาในการเรียนเนื้อหาในรายวิชานั้น ๆ ทำให้เรียนเนื้อหาได้น้อยลง ซึ่งเป็นเจตคติที่พบได้เช่นเดียวกันกับกลุ่มที่ศึกษาในครั้งนี้

สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสงและเจตคติของนักศึกษาครูสาขาชีววิทยาด้วยการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ภายใต้สถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาสามารถพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องการสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากขึ้น เมื่อเรียนรู้ด้วยการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ซึ่งเป็นหนึ่งในผลการเรียนรู้ ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ (TQF) ด้านความรู้ โดยพบว่าจำนวนนักศึกษาที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในทุกแนวคิด และนักศึกษาที่ไม่มีแนวคิด (NC) และแนวคิดวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อน (MC) ในช่วงหลังเรียนก็ลดลงเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับช่วงก่อนเรียน เนื่องจากแนวคิดได้ถูกพัฒนาอย่างเห็นได้ชัดในทุกกิจกรรมของการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model โดยมีแนวคิดที่นักศึกษามีแนวคิดวิทยาศาสตร์ถูกต้อง (SC) สูงที่สุดคือ แนวคิดเรื่องคลอโรพลาสต์ จำนวน 14 คน (ร้อยละ 63.63) รองลงมาคือ แนวคิดเรื่องการตรึงคาร์บอนของพืช C3 แนวคิดเรื่อง การตรึงคาร์บอนของพืช C4 และพืช CAM จำนวน 13 คน (ร้อยละ 59.09) ตามลำดับและน้อยที่สุดคือ แนวคิดเรื่อง ปฏิกริยาแสง มีจำนวน 8 คน (ร้อยละ 36.36)

2. นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาที่เรียนรู้ด้วยรูปแบบ 5B model มีเจตคติต่อการจัดการกิจกรรมทั้งทางด้านบวกและด้านลบ ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้สรุปเจตคติทางด้านบวกไว้ 6 ประเด็นดังนี้ 1) มีกิจกรรมให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมแม้จะเป็นการเรียนออนไลน์ จำนวน 22 คน (ร้อยละ 100) 2) กิจกรรมช่วยให้เข้าใจและจำเนื้อหาได้มากขึ้น จำนวน 21 คน (ร้อยละ 95.45) 3) กิจกรรมทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กับอาจารย์และเพื่อนในชั้นเรียน จำนวน 21 คน (ร้อยละ 95.45) 4) การสุ่มเรียกชื่อเพื่อตอบคำถามทำให้จดจ่อกับการเรียน จำนวน 17 คน (ร้อยละ 77.27) 5) การทำกิจกรรมช่วยทำให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ ผ่อนคลาย ไม่เครียดจากการเรียนรูปแบบออนไลน์ จำนวน 13 คน (ร้อยละ 59.09) 6) ได้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง มีจำนวน 12 คน (ร้อยละ 54.54) และคณะผู้วิจัยยังพบว่าการเรียนด้วยวิธีการนี้ในรูปแบบนอกสถานที่ตั้ง (online) สามารถส่งผลให้นักศึกษามีเจตคติทางด้านลบได้เช่นเดียวกัน คณะผู้วิจัยได้สรุปประเด็นสำคัญ 4 ประเด็นดังนี้ 1) เวลาในการทำกิจกรรมค่อนข้างนาน ทำให้เรียนเนื้อหาได้น้อย จำนวน 7 คน (ร้อยละ 31.81) 2) การเข้ากลุ่มเพื่อทำกิจกรรมใช้เวลานาน เพราะเพื่อนบางคนอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร จำนวน 5 คน (ร้อยละ 22.72) และ 3) การสุ่มชื่อจากโปรแกรมสุ่มชื่อไม่มีความทั่วถึง นักศึกษาบางคนไม่ได้ตอบคำถาม จำนวน 4 คน (ร้อยละ 18.18)

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้จัดกิจกรรมในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบันที่มีการแพร่ระบาดของโควิด-19 การให้นักศึกษาได้ทำกิจกรรมต่าง ๆ ครูควรเตรียมความพร้อมทั้งในด้านวัสดุ-อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม มีการส่งไฟล์เอกสารในการทำกิจกรรมให้นักศึกษาทำการศึกษาก่อนล่วงหน้าและเตรียมวัสดุ-อุปกรณ์ให้พร้อมก่อนการจัดกิจกรรมเรียนรู้ เพื่อให้กิจกรรมดำเนินไปอย่างราบรื่น การออกแบบกิจกรรมตามรูปแบบการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5B model ในแต่ละขั้นต้องออกแบบให้เหมาะสมและสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้รูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ และจากข้อค้นพบจากแบบบันทึกหลังเรียนของนักศึกษาพบว่ามีเจตคติทางด้านลบดังต่อไปนี้ 1) เวลาในการทำกิจกรรมค่อนข้างนาน ทำให้เรียนเนื้อหาได้น้อย ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะให้มีการออกแบบกิจกรรมให้พอเหมาะต่อเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้นี้ในแต่ละคาบ โดยแบ่งเวลาในการทำกิจกรรมและการบรรยายหรือสรุปเนื้อหาให้มีความเหมาะสม 2) การเข้ากลุ่มเพื่อทำกิจกรรมใช้เวลานาน เนื่องจากผู้วิจัยให้นักศึกษาจัดกลุ่มและไปสร้างกลุ่มใหม่ตามความสมัครใจของนักศึกษา จึงอาจใช้เวลาค่อนข้างมากในการรวมกลุ่ม จึงขอเสนอแนะให้ผู้ที่จะนำวิธีการนี้ไปใช้ให้แบ่งกลุ่มของนักศึกษาก่อนการทำกิจกรรมในแต่ละคาบ และในช่วงขั้นที่ 1 ของรูปแบบ 5B model ให้อาจารย์แจ้งนักศึกษาว่าจะมีการรวมกลุ่มทำกิจกรรมเพื่อให้นักศึกษาได้มี

ความเตรียมพร้อมก่อนทำกิจกรรม 3) การสุ่มชื่อจากโปรแกรมสุ่มชื่อไม่มีความทั่วถึง เนื่องจากผู้วิจัยใช้โปรแกรมสุ่มชื่อเพื่อเรียกตอบคำถาม เมื่อได้สุ่มชื่อนักศึกษาคนใดแล้ว ไม่ได้ลบชื่อออกจากการสุ่ม จึงทำให้อาจกลับมาสุ่มคนเดิมซ้ำได้ จึงแนะนำให้ผู้ที่จะนำวิธีการสุ่มชื่อในลักษณะนี้ไปใช้ เมื่อสุ่มชื่อนักศึกษาคนใดไปแล้วให้ลบชื่อออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการสุ่มชื่อซ้ำ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

อาจมีการศึกษาตัวแปรตามในรูปแบบอื่น ๆ เช่น การทำงานร่วมกันเป็นทีมของนักศึกษาในรูปแบบการเรียนการสอนออนไลน์ การคิดวิเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น อีกทั้งผลการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรูปแบบ 5B model สามารถพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ให้สูงขึ้นได้ จึงอาจมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในหัวข้ออื่น ๆ ในวิชาที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยา เช่น การหายใจระดับเซลล์ การสังเคราะห์โปรตีน หรือการแบ่งเซลล์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- Bimbola, O. and Daniel, O. (2010). Effect of constructivist-based teaching strategy on academic performance of students in integrated science at the junior Secondary school level. **Educational Research and Reviews**, 5(7), 347–353.
- Cakir, H. (2008). Constructivist approaches to learning in science and their implications for science pedagogy: A literature review. **International Journal of Environmental and Science Education**, 3(4), 193–206.
- Haidar, A. H. (1997). Prospective chemistry teachers' conceptions of the conservation of matter and related concepts. **Journal of Research in Science Teaching**, 34(2), 181–197.
- Halim, A. S., Finkstaedt-Quinn, S. A., Olsen, L. J., Gere, A. R. and Shultz, G. V. (2018). Identifying and remediating student misconceptions in introductory biology via writing-to-learn assignments and peer review. **CBE - Life Sciences Education**, 17(2), 1–18.
- Luoga, E. N., Ndunguru, A. P. and Mokma, L. S. (2013). High school student' misconceptions about colligative properties in chemistry. **Tanzania Journal of Natural and Applied Sciences**, 4(1), 575–81.
- Macdonald, G. (2012). Teaching critical and analytical thinking in high school biology. **American Biology Teacher**, 74(3), 178–181.
- Michael, M. (2020). Coronavirus school closures: dozens of Australian private schools move to online learning. Retrieved 13 July 2021, from **The Guardian**: <https://www.theguardian.com/australia-news/2020/mar/17/coronavirus-school-closures-dozens-of-australian-private-schools-move-to-online-learning>.
- Ministry of Education. (2017). Indicators and concepts in science subject (revision B.E. 2560) according to basic education core curriculum B.E. 2551 (in Thai). Bangkok: Chumnumsakorn Karnkaset.
- National Research Council [NRC]. (2000). Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning. Washington, DC: National Academy.
- Onyema, E. M., Eucheria, N. C., Obafemi, F. A., Sen, S., Atonye, F. G., Sharma, A. and Alsayed, A. O. (2020). Impact of Coronavirus pandemic on education. **Journal of Education and Practice**, 11(13), 108–121.
- Pattamapongsa, A. (2012). The development of high school student's conception of photosynthesis and views of nature of science using inquiry-based/explicit NOS approach. **Master's Thesis**. Bangkok: Kasetsart University.
- Phueaknumpol, V., Rujiranukul, P., Karnchanawong, R., Kanjarean, K., Rungsiri, A., Wongchaochan, P. and Jareanwong, S. (2020). A development of Rambhai Barni Rajabhat University students' learning outcomes under the qualifications framework for higher education by using 5B model. **Proceedings of 13th Rambhai Barni Rajabhat University Research Conference** (pp. 51–61). 19 December 2019. Chanthaburi. Rambhai Barni Rajabhat University.
- Pokhrel, S. and Chhetri, R. (2021). A literature review on impact of COVID-19 pandemic on teaching and learning. **Higher Education for the Future**, 8(1), 133–141.
- Prasertsan, S. (2012). Research-based project: New learning process for Thai education. Bangkok.

- Sutthiwattana, P., Koolrojanapat, S., Akkasriworn, N., Sripanomtanakorn, S., Somboon, L., Kerdthong, A. and Wareebor, J. (2019). A study of the development level of learning in accordance with the national higher education standards framework (TQF) by using teaching styles in subjects that emphasize lectures of undergraduate students of Rambhai Barni Rajabhat University (in Thai). **Humanities and Social Sciences Journal, Ubon Ratchathani Rajabhat University**, 10(2), 295-304.
- Tadesse, S. and Muluje, W. (2020). The impact of COVID-19 pandemic on education system in developing countries: A review. **Open Journal of Social Sciences**, 8, 159-170.
- Toraman, C. and Demir, E. (2016). The effect of constructivism on attitudes towards lessons: A meta-analysis study. **Eurasian Journal of Educational Research**, 62, 115-142.
- Udomsin, C. and Porntra, S. (2017). Developing academic achievement in learning cell cycle and mitosis using a hand-on activity of science inquiry (in Thai). **Journal of Research on Science, Technology and Environment for Learning**, 8(2), 326-340.
- Wayo, W., Charoennukul, A., Kankaynat, C. and Konya, J. (2020). Online learning under the COVID-19 Epidemic: Concepts and applications of teaching and learning management (in Thai). **Regional Health Promotion Center 9 Journal**, 14(34), 285-298.



บทความวิจัย

การตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับ การจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาสำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์

เพ็ญภา คำแพง^{1*} และสุชาติ วัฒนชัย²¹นักศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น²กลุ่มวิชาสัตวศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Email: kumpang.pennapa@gmail.com

รับบทความ: 9 กันยายน 2564 แก้ไขบทความ: 5 ตุลาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 8 ตุลาคม 2564

บทคัดย่อ

การแก้ปัญหาเป็นความสามารถของกระบวนการคิดเพื่อแก้ปัญหาของผู้เรียนในภารกิจการเรียนรู้ ซึ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อวิชาชีพสัตวแพทย์ที่ต้องส่งเสริมการแก้ปัญหา การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ ซึ่งประกอบไปด้วยความตรงภายใน และความตรงภายนอก ใช้รูปแบบการวิจัย คือ การวิจัยโมเดล ในระยะที่ 2 การตรวจสอบความตรงของโมเดล โดยความตรงภายในใช้การวิจัยแบบเชิงสำรวจ ส่วนความตรงภายนอกเป็นการวิจัยก่อนการทดลองที่มีการทดสอบหลังเรียน กลุ่มเป้าหมายประกอบด้วย 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านวัดและประเมินผล 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านประเมินคุณภาพโมเดลฯ 3) นักศึกษาสัตวแพทย์ชั้นปีที่ 5 คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผลการวิจัยพบว่าโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้มีความตรงภายในโดยพบว่า การออกแบบองค์ประกอบของโมเดลในทุกองค์ประกอบมีความสอดคล้องกับหลักการทฤษฎีและกรอบแนวคิดที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนา และมีความตรงภายนอกโดยพบว่า การแก้ปัญหาของผู้เรียน ผู้เรียนจำนวนร้อยละ 95 มีคะแนนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่กำหนดไว้ ความสัมพันธ์ของการแก้ปัญหาของผู้เรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า มีความสัมพันธ์กันเป็นทางบวก ในระดับน้อยโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.38 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และความคิดเห็นของผู้เรียน พบว่า ผู้เรียนมีความคิดเห็นว่าสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาทั้งในด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ และด้านสื่อบนเครือข่ายของโมเดลสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

คำสำคัญ: โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ การจำลองสถานการณ์ การแก้ปัญหา นักศึกษาสัตวแพทย์

อ้างอิงบทความนี้

เพ็ญภา คำแพง และสุชาติ วัฒนชัย. (2564). การตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาสำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 231 - 243.

The validation of constructivist learning environments model cooperate simulation to enhance problem solving for veterinary students

Pennapa Kumpang^{1,*} and Suchat Wattanachai²

¹*Doctor of Philosophy student of Education Technology, Faculty of Education, Khon Kaen University, Thailand*

²*Division of Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Khon Kaen University, Thailand*

**Email: kumpang.pennapa@gmail.com*

Received <9 September 2021>; Revised <5 October 2021>; Accepted <8 October 2021>

Abstract

Problem solving is the ability to cognitive process and important issue of education development in Veterinary Students. The Purposes of this research are to examine the internal validation and the external validation of the constructivist learning environments model cooperate simulation to enhance problem solving for veterinary students. The research design is model research phase II about model validation composed of internal validation and external validation. The target groups consisted of 1) experts in evaluation and assessment 2) experts each to evaluate the model quality in content, design, as well as media and technology aspects 3) students were 5th year veterinary students' faculty of veterinary medicine Khon Kaen University. The result revealed that model holds all components whose quality is consistent with the synthesis of a theoretical framework and conceptual framework for designing and developing the constructivist environments model cooperate simulation to enhance problem solving for veterinary students. the problem solving of veterinary students shows that the students were able to create knowledge representation and understanding the problem solving had the post-test average scores of 40 (S.D. = 3.96) or 95% which is higher than the criteria of 70%. The result of relationship between the students' problem solving and learning achievements found that positive relationship between the students' problem solving and learning achievements. The correlation coefficient values were 0.38 or 38 percentage. The students' opinion showed that the learning contents, the design, and the media are suitable and supported to enhance the problem solving for veterinary students.

Keywords: Constructivist Learning Environments Model, Simulation, Problem Solving, Veterinary Students

Cite this article:

Kumpang, P. and Wattanachai, S. (2021). The validation of constructivist learning environments model cooperate simulation to enhance problem solving for veterinary students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 231 - 243.

บทนำ

สังคมปัจจุบันในศตวรรษที่ 21 มีความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีการนำนวัตกรรมต่าง ๆ มาใช้การพัฒนาประเทศ ทำให้เกิดการแข่งขันในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการศึกษา ทรัพยากรมนุษย์ถือเป็นทรัพยากรที่สำคัญยิ่งในการพัฒนาประเทศ การพัฒนาทรัพยากรบุคคลให้เป็นผู้มีความสามารถในการแข่งขัน มีทักษะในวิชาชีพ และทักษะในการติดต่อสื่อสาร ส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต เป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง (Bureau of International Cooperation, 2013) สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 ที่ระบุว่า การจัดการศึกษาต้องให้ผู้เรียนเผชิญสถานการณ์และการประยุกต์ความรู้ มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหา เกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องและใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษาในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเองได้ตลอดชีวิต การเปลี่ยนแปลงด้านสังคม วัฒนธรรม มีผลกระทบต่อการเลี้ยงสัตว์ทำให้ความคาดหวังของบุคลากรที่มีประสิทธิภาพ ในสาขาวิชาชีพสัตวแพทย์มีสูงขึ้น สภาพบริบทการเรียนการสอน คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีเป้าหมายคือ บัณฑิตพร้อมใช้งาน “Ready to Work” ออกไปปฏิบัติงานในด้านต่าง ๆ คือ การวินิจฉัย การรักษา การป้องกัน และการเพิ่มผลผลิต ซึ่งพบว่าบัณฑิตสามารถทำภารกิจในเป้าหมายต่าง ๆ ได้ แต่จากการประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการในหน่วยงานต่าง ๆ ยังพบว่าบัณฑิตที่จบออกไปเป็นสัตวแพทย์บางส่วนมีกระบวนการแก้ปัญหาเป็นลำดับขั้นไม่เป็นกระบวนการ ส่งผลให้การรักษาไม่ได้ผล รักษาไม่หายหรือสัตว์เสียชีวิต

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องวิธีการที่ตอบสนองต่อการบ่มเพาะคุณลักษณะข้างต้น คือ ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ที่จะช่วยสนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ด้วยตัวผู้เรียนเอง และสอดคล้องกับแนวทางการจัดการการศึกษาในยุคปัจจุบัน ที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ มุ่งเน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยการลงมือกระทำผ่านกระบวนการคิดของตนเอง โดยการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับความรู้ใหม่เข้าด้วยกัน ในการขยายโครงสร้างทางปัญญาของผู้เรียน โดยที่ครูเป็นผู้คอยให้คำแนะนำ พร้อมทั้งช่วยให้ผู้เรียนปรับโครงสร้างทางปัญญา โดยการออกแบบโมเดลสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ เพื่อช่วยส่งเสริมการสร้างความรู้ของผู้เรียน โดยได้ผสมผสานทั้งหลักการ ทฤษฎี และคุณลักษณะและระบบสัญลักษณ์ของสื่อเทคโนโลยี (Chaijaroen et. al., 2011) และคุณลักษณะที่สำคัญที่จำเป็นสำหรับวิชาชีพสัตวแพทย์ คือ ความสามารถในการแก้ปัญหาที่จะต้องมีการระบุปัญหาที่แท้จริง สร้างแนวทางในการแก้ปัญหา ประเมินความเป็นไปได้ของแนวทางในการแก้ปัญหา ตัดสินใจเลือกการแก้ปัญหาและนำไปสู่การปฏิบัติพร้อมทั้งประเมินผลที่เกิดขึ้นและนำผลที่เกิดขึ้นมาปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหา (Wattanachai, 2010) ซึ่งพบว่า ลักษณะของการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับการแก้ปัญหาในวิชาชีพสัตวแพทย์คือการแก้ปัญหาที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Ill-structured) ของ Jonassen (1997) มาเป็นพื้นฐานในการออกแบบ ซึ่งมี 7 กระบวนการ ผสมกับคุณลักษณะและระบบสัญลักษณ์ของสื่อบนเครือข่ายที่มีลักษณะข้อความหลายมิติ การเชื่อมโยงหลายมิติ และสื่อหลายมิติ ที่สามารถเชื่อมโยงความรู้ช่วยส่งเสริมในการสร้างความรู้ อีกทั้งเทคนิคของการออกแบบด้วยการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ของ Jonassen (2011) เป็นการจำลองการแก้ปัญหาโดยการทดลอง ทางเลือกในการแก้ปัญหา การเรียนรู้ในการแก้ปัญหาผู้เรียนต้องสามารถใช้การจัดกระทำกับองค์ประกอบและตัวแปรในรูปแบบต่าง ๆ ตัดสินใจและผลกระทบของการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ในลักษณะที่เป็นรูปแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์นำมาออกแบบและสร้างสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ โดยเฉพาะในการจัดเรียนรู้รายวิชา คลินิกปฏิบัติด้านม้า 1 ที่เป็นการฝึกปฏิบัติวิเคราะห์กรณีศึกษาในเนื้อหาเรื่อง การเสียดท้องในม้า ที่เป็นปัญหาที่เร่งด่วนและต้องรีบรักษาให้ทันเวลา เนื่องจากสภาวะของโรคมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ม้าตายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการออกแบบการเรียนการสอนให้ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาจะสามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงการจำลองสถานการณ์ในสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ เป็นการจำลองเพื่อให้ผู้เรียนลงมือกระทำการรักษาและมีการกำกับตัดสินใจในการรักษาเสมือนลงมือฝึกปฏิบัติจริง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญในการตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ โดยเป็นการตรวจสอบความตรงภายในขององค์ประกอบของโมเดลในทุกองค์ประกอบมีความสอดคล้องกับหลักการทฤษฎีและกรอบแนวคิดที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ และความตรงภายนอก ซึ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของโมเดลฯ โดยการนำโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมการสร้างความรู้และแก้ปัญหาของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพของวิชาชีพสัตวแพทย์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาความตรงภายใน (Internal validation) โดยศึกษาจากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการตรวจสอบความตรงภายในขององค์ประกอบต่าง ๆ ของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ จากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ และด้านสื่อบนเครือข่าย

2) เพื่อศึกษาความตรงภายนอก (External validation) โดยศึกษาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้เรียน ได้แก่ การแก้ปัญหาของผู้เรียน ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหา กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และความคิดเห็นของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้

หลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เพื่อศึกษาการตรวจสอบความตรงของโมเดลครั้งนี้มุ่งเน้น ศึกษาตรวจสอบความตรงภายใน โดยการตรวจสอบและยืนยันองค์ประกอบของโมเดลว่ามีความสอดคล้องกับหลักการทฤษฎีที่นำมาเป็นพื้นฐานในการออกแบบโมเดลฯ แบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ ด้านสื่อและเทคโนโลยี และศึกษาการตรวจสอบความตรงภายนอก โดยการศึกษาผลกระทบต่อนักเรียนในด้านต่าง ๆ จากการใช้โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ได้แก่ การแก้ปัญหาของผู้เรียน ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหา กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคิดเห็นของผู้เรียน ที่ประกอบด้วยหลักการทฤษฎี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ เป็นรูปแบบการออกแบบการสอนที่อาศัยพื้นฐานทางทฤษฎี (ID Theory) ในลักษณะของสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ประกอบด้วย พื้นฐานด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ ได้แก่ ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ พุทธิปัญญานิยม พื้นฐานด้านศาสตร์การสอน พื้นฐานด้านการแก้ปัญหา พื้นฐานด้านทฤษฎีสื่อ และเทคโนโลยี และพื้นฐานด้านบริบท รวมทั้งคุณลักษณะและระบบสัญลักษณ์ของสื่อมาสังเคราะห์เป็นโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย 8 องค์ประกอบ คือ 1) สถานการณ์ปัญหา (problem base) เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสงสัย 2) แหล่งการเรียนรู้ (resource) รวบรวมเนื้อหาและองค์ความรู้ที่เป็นพื้นฐานนำไปสู่การแก้ปัญหา 3) เครื่องมือทางปัญญา (cognitive tools) เป็นแหล่งรวบรวมเครื่องมือในการเรียนรู้ที่จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถใช้ในการแก้ปัญหาในแต่ละสถานการณ์ 4) ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้ (collaboration center) เป็นแหล่งร่วมมือกันแก้ปัญหาเพื่อให้ผู้เรียนแลกเปลี่ยนมุมมองที่หลากหลาย 5) กรณีใกล้เคียง (related case) ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ใช้อ้างอิงและเชื่อมโยงประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องมาใช้แก้ปัญหาได้ 6) ศูนย์ส่งเสริมการแก้ปัญหา (problem solving center) ช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียน 7) ฐานการช่วยเหลือ (scaffolding) ช่วยเหลือผู้เรียนในการสร้างความรู้และค้นหาคำตอบ และ 8) ศูนย์ให้คำแนะนำ (coaching center) ให้คำแนะนำผู้เรียนในการสร้างความรู้และแก้ปัญหา จากนั้นแปลงทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติ นำไปออกแบบและพัฒนาเป็นสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้

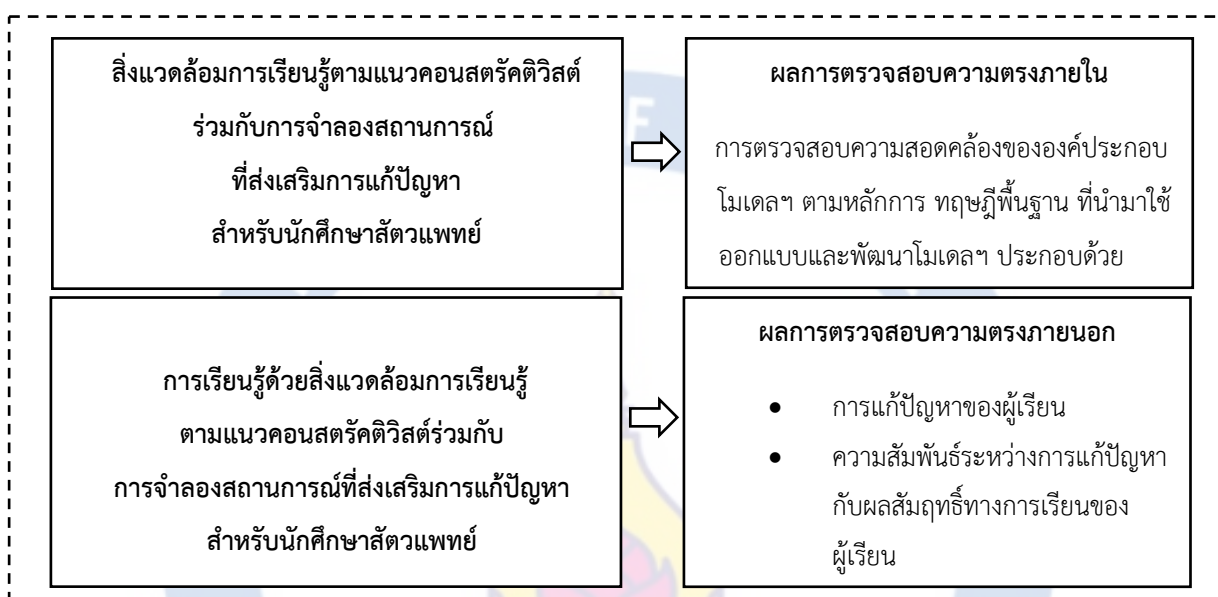
สิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ เป็นสื่อการเรียนรู้ที่มีลักษณะเป็นสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ที่ออกแบบโดยอาศัยพื้นฐานด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ ได้แก่ ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ พุทธิปัญญานิยม พื้นฐานด้านศาสตร์การสอน พื้นฐานด้านการแก้ปัญหา พื้นฐานด้านทฤษฎีสื่อ และเทคโนโลยี และพื้นฐานด้านบริบท รวมทั้งคุณลักษณะและระบบสัญลักษณ์ของสื่อบนเครือข่าย สื่อมัลติมีเดีย ข้อความหลายมิติ (hypertext) การเชื่อมโยงหลายมิติ (hyperlink) และการจำลองสถานการณ์ (simulation) มาสังเคราะห์เป็นสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย องค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ 1) สถานการณ์ปัญหา 2) แหล่งการเรียนรู้ 3) เครื่องมือทางปัญญา 4) ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้ 5) กรณีใกล้เคียง 6) ศูนย์ส่งเสริมการแก้ปัญหา 7) ฐานการช่วยเหลือ และ 8) ศูนย์ให้คำแนะนำ

การจำลองสถานการณ์ เป็นการจำลองการแก้ปัญหาโดยการทดลอง (try out) ทางเลือกในการแก้ปัญหา การเรียนรู้ในการแก้ปัญหาผู้เรียนต้องสามารถใช้การจัดกระทำ (manipulate) กับองค์ประกอบ (elements) และตัวแปร (parameters) ในรูปแบบต่าง ๆ ตัดสินใจและผลกระทบของการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ในลักษณะที่เป็นรูปแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer simulation models) เป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบสถานการณ์ปัญหา และภารกิจการเรียนรู้ในสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์

การแก้ปัญหา เป็นความสามารถของกระบวนการคิดเพื่อแก้ปัญหาของผู้เรียนในภารกิจการเรียนรู้ของสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปของปัญหา โดยได้นำหลักการแก้ปัญหาของ Jonassen (1997) มาเป็นพื้นฐานในการออกแบบ ซึ่งมี 7 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 1 การระบุช่องว่างของปัญหาและข้อจำกัดของปัญหา กระบวนการที่ 2 การระบุและทำให้กระจ่างชัดโดยแสดงความคิดเห็นและมุมมองของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย กระบวนการที่ 3 การสร้างแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ กระบวนการที่ 4 การประเมินทางเลือกแนวทางการแก้ปัญหาที่ทำได้โดยการสร้างข้อโต้แย้งและความเชื่อส่วนบุคคลและตัดสินใจเลือกแนวทางการแก้ปัญหา กระบวนการที่ 5 การกำกับช่องว่างของปัญหาและทางเลือกแนวทางการแก้ปัญหา กระบวนการที่ 6 การนำแนวทางการแก้ปัญหาไปใช้และการกำกับแนวทางการแก้ปัญหา และกระบวนการที่ 7 การปรับแนวทางการแก้ปัญหา

หลักการประเมินความตรงของโมเดล เป็นการประเมินความตรงของโมเดลตามแนวคิดของ Richey and Klein (2007) แบ่งออกเป็น 1) ความตรงภายใน โดยเป็นการตรวจสอบความตรงภายในขององค์ประกอบต่าง ๆ ของโมเดลฯ โดยใช้การวิพากษ์จากที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้เชี่ยวชาญ และ 2) ความตรงภายนอก เน้นการศึกษาผลกระทบของโมเดลฯ ที่เกิดขึ้นกับผู้เรียน โดยการนำโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ฯ ไปใช้ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาจากการแก้ปัญหาของผู้เรียน ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และความคิดเห็นของผู้เรียน

กรอบแนวคิดการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้รูปแบบการวิจัยที่ใช้ คือ การวิจัยโมเดล (model research) ในระยะที่ 2 การตรวจสอบความตรงของโมเดล (model validation) ของ Richey and Klein (2007) โดยรูปแบบการวิจัยแบ่งออกเป็น ความตรงภายใน ใช้การวิจัยแบบเชิงสำรวจ และความตรงภายนอกเป็นแบบการวิจัยก่อนการทดลอง (pre-experimental design) ที่มีการทดสอบหลังเรียน (one-shot case study)

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

กลุ่มคนที่เข้าร่วมการวิจัยเป็นกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้

- 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านวัดและประเมินผล เพื่อตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 3 คน
- 2) ผู้เชี่ยวชาญสำหรับตรวจสอบความตรงภายในของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ฯ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ฯ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ จำนวน 5 คน ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อบนเครือข่าย จำนวน 5 คน
- 3) ผู้เรียนเป็นนักศึกษาสัตวแพทย์ชั้นปีที่ 5 คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาคลินิกปฏิบัติด้านม้า 1 เพื่อศึกษาความตรงภายนอกที่เป็นการศึกษาผลกระทบต่อผู้เรียนเมื่อนำของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ฯ ไปใช้ ได้แก่ การแก้ปัญหา ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคิดเห็นของผู้เรียนที่เรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ฯ จำนวน 20 คน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาความตรงภายใน ผู้วิจัยได้ศึกษาจากผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการตรวจสอบความตรงภายในขององค์ประกอบต่าง ๆ ของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ฯ มีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้
นำโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ฯ ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความตรงภายในขององค์ประกอบต่าง ๆ ของโมเดลฯ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญบันทึกผลการประเมินโมเดลฯ ในแต่ละด้านและนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะที่ได้รับโดย

1) นัดหมายผู้เชี่ยวชาญ 3 ด้าน โดยแบ่งเป็น ด้านเนื้อหา จำนวน 3 คน ด้านการออกแบบสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ จำนวน 5 คน และด้านสื่อบนเครือข่าย จำนวน 5 คน

2) ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินโมเดลฯ โดยการนำเสนอกระบวนการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ และให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน

3) ปรับปรุงโมเดลตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

2. การศึกษาความตรงภายนอก ผู้วิจัยได้นำโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแก้ไขตามข้อค้นพบจากการศึกษาในสภาพบริบทจริงในระยะที่ 1 มาเป็นเครื่องมือในการศึกษา โดยให้ผู้เรียนเรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้เรียนโดยศึกษาจาก การแก้ปัญหาของผู้เรียน ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และความคิดเห็นของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ โดยมีขั้นตอนในการศึกษา ดังนี้

1) ชี้แจงและแนะนำผู้เรียนเกี่ยวกับวิธีการเรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้

2) นำเข้าสู่บทเรียนโดยการเชื่อมโยงความรู้เดิมของผู้เรียนกับเรื่อง การเสียดท้องในน้ำ

3) จัดแบ่งผู้เรียน จำนวน 20 คน ออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3 คน จำนวน 4 กลุ่ม และกลุ่มละ 4 คน จำนวน 2 กลุ่ม

4) ให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มศึกษาด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ เรื่อง การเสียดท้องในน้ำ โดยผู้เรียนสามารถเรียนรู้จากองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ สถานการณ์ปัญหา แหล่งการเรียนรู้ เครื่องมือทางปัญญา ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้ กรณีใกล้เคียง ศูนย์ส่งเสริมการแก้ปัญหา ฐานการช่วยเหลือ ผู้เรียนร่วมกันแก้ปัญหาและปรึกษาผู้เชี่ยวชาญในระหว่างการเรียนรู้ ร่วมกันค้นหาคำตอบในการฝึกการเรียนรู้ที่ 1-9 และร่วมกันอภิปรายเพื่อสรุปแนวทางการแก้ปัญหา โดยผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นโค้ชให้คำแนะนำ รวมถึงช่วยเหลือผู้เรียน และประเมินผลการเรียนเป็นรายบุคคล ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษา จำนวน 2 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมง

5) สรุปองค์ความรู้ร่วมกันระหว่างผู้สอน ผู้วิจัย และผู้เรียน ในท้ายชั่วโมงทุกครั้ง

6) หลังจากการเรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบวัดการแก้ปัญหา และแบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เรียน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลได้จากการศึกษาประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยผู้วิจัยจะนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลตามตัวแปรที่ศึกษา ดังนี้

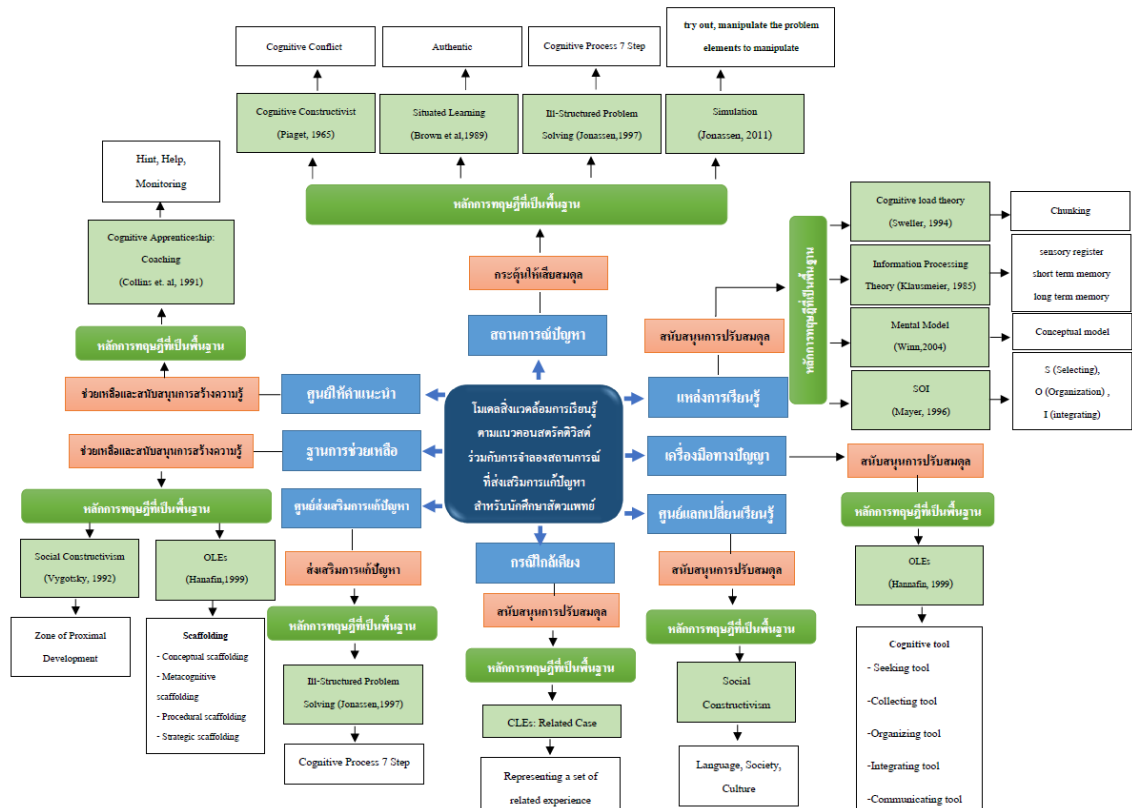
1. การตรวจสอบความตรงภายในโมเดลฯ ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการบรรยายเชิงวิเคราะห์และสรุปตีความ จากข้อมูลที่ได้จากการประเมินโมเดลการสร้างความรู้ฯ ของผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ และด้านสื่อบนเครือข่าย

2. การตรวจสอบความตรงภายนอกได้จากผลการศึกษาการแก้ปัญหา ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน และความคิดเห็นของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ โดยมีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1) การแก้ปัญหา ใช้วิธีการวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงบรรยาย คือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

2) ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) จากค่าคะแนนที่ได้จากการทำแบบวัดการแก้ปัญหาและแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแปลผลระดับความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อาศัยเกณฑ์ของ Hinkle (1998)

3) ความคิดเห็นของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการบรรยายเชิงวิเคราะห์และสรุปตีความจากข้อมูลในแบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เรียน



ภาพที่ 1 โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ ประกอบด้วย 1) ผลการศึกษาความตรงภายใน และ 2) ความตรงภายนอก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาความตรงภายใน พบว่า โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ที่พัฒนาขึ้นมีความตรงภายใน ซึ่งจากผลการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ และด้านสื่อบนเครือข่าย พบว่า (1) ด้านเนื้อหา มีเนื้อหาและสารสนเทศมีความเหมาะสม ครบคลุม เรื่อง การเสียดท้องในม้า ที่ศึกษาและส่งเสริมการแก้ปัญหาของผู้เรียน เนื้อหามีความทันสมัยสามารถนำมาใช้กับชีวิตประจำวันได้และสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปสู่การปฏิบัติจริง (2) ด้านสื่อบนเครือข่าย มีการออกแบบหน้าจอและการจัดองค์ประกอบการออกแบบโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา เรื่อง การเสียดท้องในม้า มีความเหมาะสม การออกแบบหน้าจอมีความสะดุดตา น่าสนใจ โดยเฉพาะรูปภาพและการแบ่งสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบหลัก เช่น สถานการณ์ปัญหา เนื้อหาการเรียนรู้ เป็นต้น สำหรับขนาดของตัวอักษรอ่านง่าย ชัดเจน สีของตัวอักษรและพื้นหลังตัวอักษรมีความเหมาะสม สามารถมองเห็นได้ชัดเจน รูปแบบการนำเสนอเนื้อหา มีการออกแบบได้ดี มีการทำหัวข้อหลักที่มีการเชื่อมโยงไปสู่รายละเอียดภายใน ช่วยให้การนำเสนอเนื้อหามีประสิทธิภาพ การจัดวางเนื้อหาเป็นลำดับ มีความต่อเนื่อง (3) ด้านการออกแบบ การกระตุ้นโครงสร้างทางปัญญาและส่งเสริมการแก้ปัญหา พบว่า “สถานการณ์ปัญหา” มีการกระตุ้นโครงสร้างทางปัญญามาจากหลักการทำให้เสียสมดุลจากทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญา (Piaget, 1965) ซึ่งมีการนำสภาพจริง (Brown et al, 1989) มาออกแบบสถานการณ์ปัญหาที่ให้ผู้เรียนได้สวมบทบาทเป็นเจ้าของปัญหา อีกทั้งยังส่งเสริมการแก้ปัญหา (Jonassen, 1997) และการจำลองสถานการณ์ (Jonassen, 2011) การสนับสนุนการปรับสมดุลทางปัญญา พบว่า “แหล่งการเรียนรู้” มีการสนับสนุนการปรับโครงสร้างทางปัญญาโดยบูรณาการทฤษฎี ได้แก่ Information Processing Theory (Klausmeier, 1978), Mental model (Winn, 2004) และ Cognitive load theory (Sweller, 2011) ร่วมกับโมเดลการเรียนรู้ OLEs (Hannafin et al., 1999) และโมเดล SOI (Mayer, 1999) โดยแหล่งการเรียนรู้จะรวบรวมสารสนเทศที่จัดอยู่ในรูปความคิดรวบยอดและออกแบบให้ผู้เรียนได้ค้นหาสารสนเทศเพื่อนำไปใช้ในการทำภารกิจการเรียนรู้ พบว่า “เครื่องมือทางปัญญา” ช่วยสนับสนุนการสร้างความรู้ของ

ผู้เรียนตามหลักการเครื่องมือทางปัญญา ของโมเดลการเรียนรู้ OLEs (Hannafin et al., 1999) และ พบว่า “กรณีใกล้เคียง” ช่วยสนับสนุนการปรับสมดุลทางปัญญาโดยอาศัยพื้นฐานมาจากหลักการการออกแบบสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ CLEs (Jonassen, 1999) การส่งเสริมการแก้ปัญหา พบว่า “ศูนย์ส่งเสริมการแก้ปัญหา” มีการส่งเสริมการแก้ปัญหา โดยออกแบบให้ผู้เรียนทำภารกิจการแก้ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหา (Jonassen, 1997) การส่งเสริมและช่วยเหลือการสร้างความรู้ พบว่า “ฐานการช่วยเหลือ” และมีการส่งเสริมและช่วยเหลือการสร้างความรู้ สำหรับผู้เรียนที่ไม่สามารถสร้างความรู้ด้วยตัวเอง จากหลักการ Zone of proximal development จากทฤษฎี Social constructivism (Vygotsky, 1978) โดยบูรณาการร่วมกับ ฐานความช่วยเหลือของ โมเดล OLEs (Hannafin et al., 1999) และ “ศูนย์ให้คำแนะนำ” มีการสร้างความรู้โดยใช้การฝึกงานทางปัญญา Cognitive apprenticeship (Collins et al., 1991) เพื่อแนะนำผู้เรียน

2. ผลการศึกษาความตรงภายนอก โดยการศึกษาความตรงภายนอกโดยศึกษาจากผลกระทบของการใช้โมเดล ได้แก่

2.1 ผลการศึกษาการแก้ปัญหาของผู้เรียน การศึกษาการแก้ปัญหาของผู้เรียนโดยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้แบบวัดการแก้ปัญหาลงจากที่ผู้เรียนเรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ พบว่า ค่าคะแนนที่ได้จากการทำแบบวัดการแก้ปัญหของผู้เรียนที่เรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ จำนวน 20 คน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลคะแนนการแก้ปัญหาหลังเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาคณะสัตวแพทย

	กระบวนการแก้ปัญหา							รวม
	1. การระบุช่วงของปัญหาและข้อจำกัดของปัญหา	2. การระบุและทำให้กระจ่างชัดโดยแสดงความคิดเห็นและมุมมองของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย	3. การสร้างแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้	4. การประเมินทางเลือกแนวทางแก้ปัญหาที่ทำได้ โดยการสร้างข้อโต้แย้งและความเชื่อส่วน	5. การกำกับตามช่องว่างของปัญหาและทางเลือกแนวทางการแก้ปัญหา	6. การนำแนวทางแก้ปัญหาไปใช้และการกำกับแนวทางการแก้ปัญหา	7. การปรับปรุงแนวทางการแก้ปัญหา	
คะแนนเต็ม	10	6	6	6	6	6	6	46
$\bar{x}$	8.80	5.35	5.20	5.15	5.20	5.30	5.30	40
S.D.	1.01	0.67	0.83	0.75	0.89	0.86	0.80	3.96
ร้อยละเฉลี่ย	88.00	89.17	86.67	86	86.67	88.33	88.33	87.61
จำนวนคนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70	100% (20/20คน)	90% (18/20คน)	75% (15/20คน)	80% (16/20คน)	80% (16/20คน)	85% (17/20คน)	95% (19/20คน)	
จำนวนผู้เรียนทั้งหมด (คน)								20
จำนวนผู้เรียนเรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 (คน)								19
ร้อยละของผู้เรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 (32.2 คะแนน)								95

จากตารางที่ 1 ค่าคะแนนที่ได้จากการวัดการแก้ปัญหาของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ที่ได้จากการทำแบบวัดการแก้ปัญหของผู้เรียน โดยกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 20 คน พบว่า ค่าคะแนนการแก้ปัญหาในภาพรวม จากคะแนนเต็ม 46 คะแนน พบว่า มีผู้เรียน จำนวน 20 คน ค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) ของผู้เรียน เท่ากับ 40 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 3.96 ซึ่งพบว่า มีผู้เรียนจำนวน 19 คน ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 จากคะแนนเต็ม (32.2 คะแนนขึ้นไป) โดยคิดเป็นร้อยละ 95 ของผู้เรียนทั้งหมด และมีค่าคะแนนการแก้ปัญหาของผู้เรียนแต่ละกระบวนการทั้ง 7 กระบวนการ มีจำนวนผู้เรียนมากกว่าร้อยละ 70 ที่มีคะแนนการแก้ปัญหาลงจากที่ผู้เรียนเรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการที่ 1 การระบุช่องว่างของปัญหาและข้อจำกัดของปัญหา มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) มากที่สุด เท่ากับ 8.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 1.01 มีค่าร้อยละเฉลี่ย เท่ากับ 88 โดยมีผู้เรียนร้อยละ 100 (20 คน) ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนที่กำหนดไว้

กระบวนการที่ 2 การระบุและทำให้กระจ่างชัดโดยแสดงความคิดเห็นและมุมมองของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 5.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.67 มีค่าร้อยละเฉลี่ย เท่ากับ 89.17 โดยมีผู้เรียนร้อยละ 90 (20 คน) ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนที่กำหนดไว้

กระบวนการที่ 3 การสร้างแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 5.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.83 มีค่าร้อยละเฉลี่ย เท่ากับ 86.67 โดยมีผู้เรียนร้อยละ 75 (20 คน) ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนที่กำหนดไว้

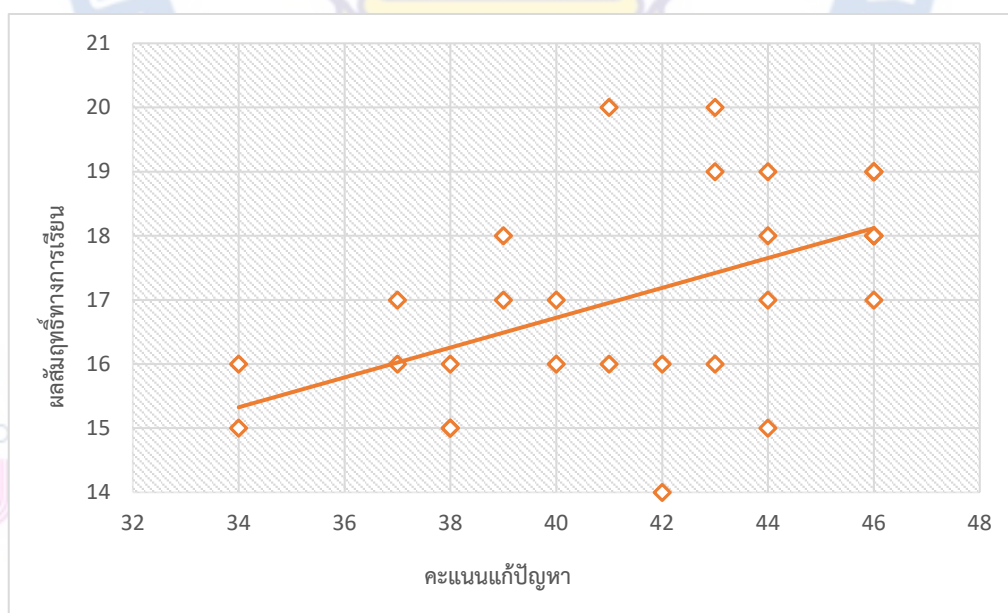
กระบวนการที่ 4 การประเมินทางเลือกแนวทางการแก้ปัญหาที่ทำได้ โดยการสร้างข้อโต้แย้งและความเชื่อส่วนบุคคล และตัดสินใจเลือกแนวทางการแก้ปัญหา มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 5.15 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.75 มีค่าร้อยละเฉลี่ย เท่ากับ 86 โดยมีผู้เรียนร้อยละ 80 (20 คน) ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนที่กำหนดไว้

กระบวนการที่ 5 การกำกับช่องว่างของปัญหาและทางเลือกแนวทางการแก้ปัญหา มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 5.20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.89 มีค่าร้อยละเฉลี่ย เท่ากับ 86.67 โดยมีผู้เรียนร้อยละ 80 (20 คน) ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนที่กำหนดไว้

กระบวนการที่ 6 การนำแนวทางการแก้ปัญหาไปใช้และการกำกับแนวทางการแก้ปัญหา มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 5.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.86 มีค่าร้อยละเฉลี่ย เท่ากับ 88.33 โดยมีผู้เรียนร้อยละ 85 (20 คน) ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนที่กำหนดไว้

กระบวนการที่ 7 การปรับแนวทางการแก้ปัญหา มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 5.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.80 มีค่าร้อยละเฉลี่ย เท่ากับ 88.33 โดยมีผู้เรียนร้อยละ 95 (20 คน) ที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนที่กำหนดไว้ โดยสรุปพบว่าผู้เรียนมีคะแนนการแก้ปัญหาผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ ผู้เรียนมากกว่าร้อยละ 70 มีคะแนนการแก้ปัญหาผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ตามที่กำหนดไว้ ทั้งในภาพรวมและในแต่ละกระบวนการ

2.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน โดยศึกษาความสัมพันธ์จากคะแนนการทำแบบวัดการแก้ปัญหาและคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนที่เรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ จำนวน 20 คน โดยนำคะแนนการแก้ปัญหาและคะแนนผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนมาสร้างกราฟ scattering plot จากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยการหาค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สันการแปลผลระดับความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อาศัยเกณฑ์ของ Hinkle (1998) ดังแสดงผลภาพที่ 2 และดังตารางที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

จากภาพที่ 2 กราฟแสดงให้เห็นว่าค่าคะแนนการแก้ปัญหามีความสัมพันธ์กับคะแนนผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนทางบวก (positive and linear correlation) หรือความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน สังเกตได้จากเส้น regression ที่มีความชันเป็นบวก

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

รายการ		การแก้ปัญหา	ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
การแก้ปัญหา	Pearson Correlation	1	0.38*
	Sig. (2-tailed)		0.09
	N	20	20
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	Pearson Correlation	0.38*	1
	Sig. (2-tailed)	0.09	
	N	20	20

*p<0.05

จากตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหากับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนที่เรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า มีค่า Sig. (2-Tailed) เท่ากับ 0.09 ซึ่งมากกว่า 0.05 นั่นคือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.38 หรือร้อยละ 38 แสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหของผู้เรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนมีความสัมพันธ์กันเป็นทางบวกและมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีคะแนนการแก้ปัญหาสูงจะมีค่าคะแนนผลสัมฤทธิ์สูงไปด้วย และในทางตรงกันข้ามถ้าผู้เรียนมีคะแนนการแก้ปัญหาลดลงจะมีค่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ต่ำไปด้วย

2.3 ผลการศึกษาความคิดเห็นของผู้เรียน การศึกษาความคิดเห็นของผู้เรียนโดยศึกษาจากแบบสำรวจความคิดเห็นของผู้เรียน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยการบรรยายเชิงวิเคราะห์และสรุปตีความ พบว่า 1) ด้านเนื้อหา แบ่งออกเป็น 4 ด้าน มีรายละเอียดดังนี้ (1) ลักษณะของเนื้อหา พบว่า ผู้เรียนมีความถูกต้องและเหมาะสมกับระดับการเรียนรู้ มีความชัดเจน ครบถ้วน และเอื้อต่อการศึกษาค้นคว้าหาความรู้ของผู้เรียน มีความทันสมัยสามารถนำมาใช้กับชีวิตประจำวันได้ (2) รูปแบบการนำเสนอเนื้อหา พบว่า ผู้เรียนมีความคิดเห็นว่ามีรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาที่มีความกะทัดรัด มีลำดับขั้นที่สามารถทำให้เกิดการเรียนรู้ที่ดี และง่ายต่อการทำความเข้าใจ มีการนำเสนอเนื้อหาที่มีรูปแบบการนำเสนอที่น่าสนใจ มีการจัดหมวดหมู่ทำให้ประมวลสารสนเทศได้ง่าย (3) ความเหมาะสมของการออกแบบเนื้อหา พบว่า ผู้เรียนมีความคิดเห็นว่ามีสอดคล้องกับเนื้อหา การออกแบบภาพชัดเจนสีสดใส น่าเรียนรู้สามารถศึกษาปัญหาได้ชัดเจนจากภาพทำให้เรียนเข้าใจมากขึ้น ภาษาที่ใช้เข้าใจได้ง่าย เหมาะสมกับผู้เรียน ทำให้เข้าใจเรื่องที่ศึกษามากยิ่งขึ้น การใช้ศัพท์เทคนิคมีการอธิบายชัดเจน และ (4) ปริมาณของเนื้อหา พบว่า ผู้เรียนมีความคิดเห็นว่ามีเนื้อหาในศูนย์สารสนเทศมีปริมาณเพียงพอสำหรับการสร้างความรู้ เนื้อหาสามารถนำมาใช้กับชีวิตประจำวันได้ เหมาะสม จำง่าย มีเนื้อหาไม่มากเกินไป มีความรู้ที่หลากหลาย ข้อมูลเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหา มีเนื้อหาที่พบได้บ่อยและนำไปใช้ได้จริง 2) ด้านการออกแบบ พบว่า (1) สถานการณ์ปัญหา ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเข้าไปฝังตัวเป็นส่วนหนึ่งของสถานการณ์ จึงทำให้เกิดความคิดในการแก้ปัญหาในรูปแบบใหม่ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน มีการเรียนรู้และแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง ในส่วนของภารกิจ ช่วยให้ความคิดได้เปิดกว้าง ผู้เรียนมีกรอบของความคิดที่มากขึ้นในส่วนของ (2) แหล่งการเรียนรู้ มีการทำแผนผังความคิด มีการใช้ภาพจริงประกอบเนื้อหาอย่างเป็นระบบสามารถค้นหาข้อมูลได้ง่ายขึ้น (3) เครื่องมือทางปัญญา ที่สนับสนุนให้ผู้เรียนได้สร้างความรู้เพิ่มเติมได้มีเครื่องมือที่ช่วยในการเรียนรู้และแก้ปัญหาและบูรณาการความรู้ได้เป็นอย่างดี (4) ศูนย์แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ที่สนับสนุนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และร่วมมือกันแก้ปัญหามอบสนับสนุนให้มีการทำงานร่วมกัน (5) กรณีใกล้เคียง มีการออกแบบโดยการนำเสนอประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ปัญหาซึ่งผู้เรียนสามารถนำมาอ้างอิงและเชื่อมโยงประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ปัญหาได้ (6) ศูนย์ส่งเสริมการแก้ปัญหา ช่วยส่งเสริมการแก้ปัญหาทั้ง 7 กระบวนการ โดยมีการออกแบบเป็นฐานที่ให้ผู้เรียนสามารถฝึกฝนกระบวนการแก้ปัญหาจากการมีปฏิสัมพันธ์ กับระบบทำให้สามารถเข้าใจกระบวนการในการแก้ปัญหาในแต่ละขั้นได้ง่าย (7) ฐานการช่วยเหลือ ผู้เรียนมีความคิดเห็นว่าการจัดเตรียมฐานการช่วยเหลือด้านความคิดรวบยอด ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความคิดรวบยอดมีการจัดเตรียมฐานการช่วยเหลือด้านกลยุทธ์ช่วยสนับสนุนการคิดวิเคราะห์ การวางแผนการตัดสินใจระหว่างการเรียนรู้มีการจัดเตรียมฐานการช่วยเหลือด้านการคิดช่วยสนับสนุนเกี่ยวกับกระบวนการคิดของแต่ละคนจะแนะวิธีการคิดระหว่างการเรียนรู้วิธีการคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหามีการจัดเตรียม และฐานการช่วยเหลือด้านกระบวนการช่วยแนะนำวิธีการใช้ทรัพยากรและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับลักษณะและระบบการทำงาน (8) ศูนย์ให้คำแนะนำช่วยสนับสนุนและช่วยเหลือ ให้คำแนะนำกับผู้เรียน

และสามารถสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียนให้ในการแสวงหาความรู้ในการหาคำตอบที่หลากหลาย จากผลที่แสดงเกี่ยวกับความคิดเห็นของผู้เรียนที่เรียนจากโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ นั้นสามารถแสดงให้เห็นว่าโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพและส่งเสริมการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี 3) ด้านสื่อบนเครือข่ายพบว่า (1) การออกแบบสารสนเทศ มีการออกแบบที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถค้นหาสารสนเทศได้ง่ายและตรงตามความต้องการรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาที่มีประสิทธิภาพโดยมีการแบ่งเนื้อหาออกเป็นลำดับก่อนหลัง ทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ (2) การออกแบบเครื่องหมายนำทาง มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันและมีความคงที่ ทำให้เข้าใจได้ง่าย สามารถควบคุมสารสนเทศให้หยุดชั่วคราว เดินหน้าถอยหลัง ทำให้ผู้เรียนสามารถประมวลสารสนเทศได้สอดคล้องกับความสามารถของแต่ละบุคคลส่งผลที่ดีในขณะที่เรียนรู้ การเชื่อมโยงไปยังสารสนเทศต่าง ๆ ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการศึกษาค้นคว้าและตอบสนองความต้องการเรียนรู้ของผู้เรียน (3) การออกแบบองค์ประกอบทางศิลปะ มีความเหมาะสม สะดุดตา สร้างความน่าสนใจในการเรียน ภาพกราฟิกที่ใช้ประกอบ มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับเนื้อหา ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ ทำให้เข้าใจเรื่องที่เรียนได้อย่างดี (4) การออกแบบรูปแบบการสนทนาบนเครือข่าย รูปแบบการสนทนาผ่านเครือข่ายช่วยให้ผู้เรียนสามารถตอบคำถามได้รวดเร็ว ใช้งานได้ง่าย สะดวกในการเรียนที่ต้องใช้ในการตอบปัญหา ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์

อภิปรายผล

การตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้ 1) ผลการตรวจสอบความตรงภายใน พบว่า โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ที่พัฒนาขึ้นมีความตรงภายใน ซึ่งจากผลการประเมินคุณภาพของผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบและด้านสื่อบนเครือข่าย โดยผู้เชี่ยวชาญระบุว่า การออกแบบมีความสอดคล้องกับหลักการทฤษฎีและกรอบแนวคิดที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาในทุกองค์ประกอบ สามารถสร้างความรู้และส่งเสริมการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Wannapipat and Chaijaroen (2017), Singha and Chaijaroen (2019), Jarungsirawat and Kanjug (2020) พบว่า โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีความตรงภายใน ทั้งนี้เนื่องจาก โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ มีการออกแบบโดยอาศัยทฤษฎีเป็นพื้นฐาน (ID Theory) ซึ่งมีความสอดคล้องทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านเนื้อหา ออกแบบโดยยึดขอบข่ายและสาระสำคัญ รายวิชา คลินิกปฏิบัติม้า 1 เนื้อหาเรื่อง การเสียดท้องในม้า ของหลักสูตรหลักสูตรสัตวแพทยศาสตรบัณฑิต คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตามสภาพบริบทจริงของผู้เรียนจึงทำให้ลักษณะของเนื้อหามีความถูกต้อง สอดคล้องกับการรักษาในบริบทจริง รูปแบบการนำเสนอมีความน่าสนใจ เป็นการจัดสถานการณ์มีภาพ 3 มิติ เหมือนผู้เรียนได้ทำการรักษาในเคสจริง (2) ด้านการออกแบบ ออกแบบทุกองค์ประกอบมีความเหมาะสมสอดคล้องกับหลักการทฤษฎี ได้แก่ การแก้ปัญหา ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ทฤษฎีพุทธิปัญญานิยม ทฤษฎีสื่อและเทคโนโลยี บริบทการเรียนรู้ของผู้เรียน และ (3) ด้านสื่อ ออกแบบตามทฤษฎีสื่อมีการเชื่อมโยงสามารถค้นหาสารสนเทศได้ง่ายและรวดเร็ว สารสนเทศมีทั้งแบบคงที่ มีสัญลักษณ์ที่เป็นไอคอนสื่อถึงความหมายได้ชัดเจน ออกแบบให้สามารถสนทนาเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ผ่านสังคมออนไลน์ กราฟิกที่ใช้มีเหมาะสมกับเรื่อง การเสียดท้องในม้า 2) ผลการตรวจสอบความตรงภายนอกพบว่า (1) ผลการแก้ปัญหาของผู้เรียน มีค่าคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 40 ค่า S.D. เท่ากับ 3.96 คิดเป็นร้อยละ 95 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ร้อยละ 70 ซึ่งสอดคล้องกับ Syhalath and Chaijaroen (2018), Moeikao (2018), Singha and Chaijaroen (2019) พบว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนแก้ปัญหาได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ มีการออกแบบโมเดลที่อาศัยพื้นฐานการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมาเพราะผู้วิจัยได้นำพื้นฐานเชิงทฤษฎีที่สำคัญ 5 พื้นฐานมาออกแบบโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ได้แก่ พื้นฐานด้านบริบทการเรียนรู้ พื้นฐานด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ พื้นฐานด้านศาสตร์การสอน พื้นฐานด้านการแก้ปัญหา และ

พื้นฐานด้านทฤษฎีสื่อและเทคโนโลยี รวมถึงการแก้ปัญหาของ Jonassen (1997) ทั้ง 7 กระบวนการ มาเป็นพื้นฐานในการออกแบบที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาทั้งใน สถานการณ์ปัญหา กรณีใกล้เคียง และศูนย์ส่งเสริมการแก้ปัญหา ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ฝึกการแก้ปัญหาได้ด้วยตนเองและคุณลักษณะที่สำคัญที่จำเป็นสำหรับวิชาชีพสัตวแพทย์คือความสามารถในการแก้ปัญหาที่จะต้องมีการระบุปัญหาที่แท้จริง สร้างแนวทางในการแก้ปัญหา ประเมินความเป็นไปได้ของแนวทางในการแก้ปัญหา ตัดสินใจเลือกการแก้ปัญหาและนำไปสู่การปฏิบัติพร้อมทั้งประเมินผลที่เกิดขึ้นและนำผลที่เกิดขึ้นมาปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งพบว่าลักษณะของการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับการแก้ปัญหาในวิชาชีพสัตวแพทย์คือการแก้ปัญหาที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Jonassen, 1997) ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นคุณลักษณะของสื่อที่เหมาะสมและสอดคล้องต่อลักษณะวิชาชีพสัตวแพทย์ที่ช่วยทำให้ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้เพื่อที่จะนำไปใช้ในการตรวจวินิจฉัยและรักษาม้าขณะฝึกปฏิบัติทางคลินิกได้ โดยเฉพาะในเนื้อหาเกี่ยวกับเรื่อง การเสียดท้องในม้า ที่พบว่าเป็นปัญหาที่สำคัญและเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ มากมายที่ทำให้ม้าเสียชีวิตจำนวนมากเนื่องจากการวินิจฉัยปัญหาและตัดสินใจไม่ทันเวลา (2) ผลความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหาของผู้เรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า มีค่าความสัมพันธ์ที่ 0.38 หรือร้อยละ 38 แสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาของผู้เรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนในทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 มีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย และยังแสดงให้เห็นว่าโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ส่งผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moeikao (2018) พบว่า ผลความสัมพันธ์ระหว่างการแก้ปัญหาของผู้เรียนกับผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนที่เรียนด้วยโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ ทางการเรียนของผู้เรียนในทางบวก ส่งผลให้ผู้เรียนมีค่าคะแนนการแก้ปัญหาสูงจะมีคะแนนผลสัมฤทธิ์สูงขึ้น กล่าวคือถ้าผู้เรียนมีค่าคะแนนการแก้ปัญหาสูงจะมีคะแนนผลสัมฤทธิ์สูงตามไปด้วย ซึ่งผลความสัมพันธ์ที่เป็นบวกระหว่างการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนอาจจะเกิดมาจากการที่ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ โดยสถานการณ์ปัญหาและภารกิจการเรียนรู้ได้ออกแบบโดยใช้เนื้อหา เรื่อง การเสียดท้องในม้า ทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ ไปพร้อมกับเรียนรู้กระบวนการแก้ปัญหา จึงส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนการแก้ปัญหาและค่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ในเชิงบวก และพบว่าผู้เรียนบางคนมีค่าคะแนนการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ไม่สัมพันธ์กัน กล่าวคือ มีค่าคะแนนการแก้ปัญหาลำดับแต่มีค่าคะแนนผลสัมฤทธิ์สูง ซึ่งจากการสัมภาษณ์พบว่าผู้เรียนมีการทบทวนเนื้อหาในบทเรียนทำให้สามารถทำคะแนนผลสัมฤทธิ์ได้สูง (3) ผลการศึกษาความคิดเห็นของผู้เรียน พบว่า ผู้เรียนมีความคิดเห็นว่าสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาทั้งในด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ และด้านสื่อบนเครือข่าย ช่วยส่งเสริมการสร้างความรู้และแก้ปัญหาของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบความตรงของโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ พบว่า 1) ผลการศึกษาความตรงภายใน โมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ มีความสอดคล้องกับหลักการทฤษฎีและกรอบแนวคิดที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาในทุกอย่างประกอบ แสดงให้เห็นว่าโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนั้นมีความตรงภายใน 2) ผลการศึกษาความตรงภายนอก จากการศึกษาผลกระทบของการใช้โมเดล คือ ผลการแก้ปัญหาของผู้เรียน พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการทำแบบวัดการแก้ปัญหาของผู้เรียนที่เรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ มีค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.96 คิดเป็นร้อยละ 95 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่ร้อยละ 70 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการแก้ปัญหาของผู้เรียนกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ พบว่า จากการวิเคราะห์ข้อมูลมีค่าความสัมพันธ์ที่ 0.38 หรือร้อยละ 38 แสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาของผู้เรียนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนในทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 และยังแสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูง เมื่อผู้เรียนมีกระบวนการแก้ปัญหาตามกรอบการแก้ปัญหาก็จะส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนสูงขึ้นตามไปด้วย และผลการศึกษาความคิดเห็นของผู้เรียนที่เรียนด้วยสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ พบว่า ผู้เรียนมีความคิดเห็นว่าสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ มีความเหมาะสมต่อการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาทั้งในด้านเนื้อหา ด้านการออกแบบ และด้านสื่อบนเครือข่ายโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ มีความเหมาะสมและสนองต่อการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหาของผู้เรียน

ข้อจำกัดหรือข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ข้อจำกัด

ควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการแก้ปัญหาของผู้เรียน เช่น ปัจจัยด้านประสบการณ์การเรียนรู้ ด้านการได้รับการสนับสนุนทางเทคโนโลยี เป็นต้น เพื่อพัฒนากระบวนการที่เสริมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับสภาพบริบทของผู้เรียน

ข้อเสนอแนะ

- 1) ผลการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ที่เป็นข้อค้นพบสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ในเนื้อหาอื่นเพื่อส่งเสริมกระบวนการการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้
- 2) การนำโมเดลสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ที่ส่งเสริมการแก้ปัญหา สำหรับนักศึกษาสัตวแพทย์ ไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ควรคำนึงถึงความพร้อมของบริบทด้านทรัพยากรคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต สมาร์ทโฟน ความเร็วของอินเทอร์เน็ต และความรู้พื้นฐานด้านเทคโนโลยีของผู้เรียน
- 3) การแก้ปัญหาของผู้เรียนเป็นข้อค้นพบที่สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการส่งเสริมผู้เรียนให้มีกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยทุนพัฒนابัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 และการสนับสนุนจากกลุ่มวิจัยนวัตกรรมและเทคโนโลยีทางปัญญา มหาวิทยาลัยขอนแก่น จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- Jonassen, D.H. (1997). Instructional design model for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. **Educational Technology Research and Development**, 45(1), 65-95.
- Moeikao, N. (2018). Synthesis of designing framework for constructivist learning environments model to enhancing programming problem solving for connecting internet of thing devices. **Lecture Notes in Computer Science (LNCS)**, 11003, 253-260.
- Jarungsirawat, N. and Kanjug, I. (2020). The validation of online learning environments for enhancing mental model of programming (in Thai). **Journal of Education Khon Kaen University**, 43(4), 1-16.
- Richey, R. C. and Klein, J. D. (2007). Design and development research methods, strategies, and issues. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Syhalath, S. and Chaijaroen, S. (2018). The Design Framework of Constructivist Web-Based Learning Environment Model to Enhance Problem Solving for Higher Education Students in Laos (in Thai). **Academic Services Journal, Prince of Songkla University**, 29(1), 9-20.
- Singha, P. and Chaijaroen, S. (2019). The validation of constructivist web-based learning environment model to enhance problem solving: Integration of pedagogy and neuroscience (in Thai). **Academic Services Journal, Prince of Songkla University**, 30(1), 22-31.
- Wannapipat, W. and Chaijaroen, S. (2017). The Validation of the design and development of constructivist webbased-learning to enhance the undergraduate learning efficiency based on brain-based learning: Integrated with neuroscience (in Thai). **Dhammathas Academic Journal**, 17(Special), 165-176.



บทความวิจัย

การสร้างและการใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ทิวากร แก่นษา¹ กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิสเลลา² และสุระ วุฒิพรหม^{3,*}¹หลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 11 กันยายน 2564 แก้ไขบทความ: 14 ตุลาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 15 ตุลาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรง ตามกรอบแนวคิดของ McNeill และ Krajcik หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ กลุ่มตัวอย่างถูกเลือกแบบเจาะจงจากชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 67 คนที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้การทดลองแบบสืบเสาะหาความรู้จำนวน 3 แผน และแบบประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4 ข้อ ได้แก่ (1) การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (2) ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง (3) การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรง และ (4) การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ผลการวิจัยพบว่า เกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกระบวนการของกลุ่มผู้เรียนมีประสิทธิภาพ และมีความเป็นปรนัยและแปรผลง่ายในการนำไปใช้ เมื่อนำเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างพบว่านักเรียนได้คะแนนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ร้อยละ 75.2 3.92 และ 66.2 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ คำอธิบายแบบข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล การทดลองแบบสืบเสาะ

อ้างอิงบทความนี้

ทิวากร แก่นษา กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิสเลลา และสุระ วุฒิพรหม. (2564). การสร้างและการใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 244 - 254.

Development and use of the scientific explanation rubrics for motion and force concepts of grade-11 students

Tiwagorn Kansa¹ Karntarat Wuttisela² and Sura Wuttiprom^{3*}

¹Graduate Programs in Science Education, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

³Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

Received <11 September 2021>; Revised <14 October 2021>; Accepted <15 October 2021>

Abstract

The goal of this study was to develop and use the scientific explanation rubrics for motion and force concept based on McNeill and Krajcik's framework after teaching with inquiry-based learning. Sixty-seven samples were purposively chosen among grade-11 students participating in the Physical Science (Physics) course during the first semester of academic year 2020. Three lesson plans and four scientific explanation questions were included in the research materials. Four scientific explanation questions were (1) motion along a straight line under the gravitational pull the earth, (2) the relationship between force, mass, and acceleration, (3) finding magnitude and direction net force of two forces, and (4) projectile motion. The findings of the study demonstrated that the expert-panel process created scientific explanation rubric was an effective tool that was simple to use and interpret. The scientific explanation rubric was used to evaluate a student sample. Students received the scientific explanation scores of 75.2 percent, 3.92 percent, and 66.2 percent for their claims, reasoning, and evidence, respectively.

Keywords: Scientific Explanation Rubrics, Claim-Evidence-Reasoning explanation, Inquiry experiments

Cite this article:

Kansa, T., Wuttisela, K. and Wuttiprom, S. (2021). Development and use of the scientific explanation rubrics for motion and force concepts of grade-11 students (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 244 - 254.

บทนำ

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific explanation) คือ คำอธิบายหรือบรรยายปรากฏการณ์ธรรมชาติ สร้างขึ้นจากกระบวนการให้เหตุผลเชิงตรรกะที่สอดคล้องกับหลักฐานที่ได้จากกระบวนการสำรวจตรวจสอบของนักวิทยาศาสตร์ (National Research Council [NRC], 1996) สิ่งที่จะนำมาเป็นหลักฐานในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต้องมาจากการวัด การสังเกต หรือข้อค้นพบที่ได้มีการบันทึก วิเคราะห์ และตีความ การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงจัดเป็นแนวปฏิบัติ (practice) ที่ครูวิทยาศาสตร์ให้ความสำคัญและนำมาใช้เป็นมาตรฐานของการจัดการเรียนรู้ (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1991; NRC, 1996; NRC, 2000; NRC, 2013) เนื่องจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (1) ช่วยให้นักเรียนมีความรู้เนื้อหาที่ดีขึ้น ขณะเดียวกัน (2) ช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนมุมมองที่มีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ จากวิชาที่ต้องท่องจำไปเป็นวิชาที่ใช้สร้างองค์ความรู้ (3) ช่วยเตรียมความพร้อมนักเรียนสำหรับการแก้ปัญหาใหม่ของโลกในอนาคต (Phornphisutthimas, 2013; Bell and Linn, 2000; Driver, Newton and Osborne, 2000; Zohar and Nemet, 2002) และ (4) ช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีข้อมูลและประจักษ์พยานใหม่

ด้วยเหตุนี้ครูและนักการศึกษาจำนวนมากจึงได้ศึกษาและพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2006) คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) เป็นคำตอบหรือข้อสรุปเบื้องต้นของคำถามที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่นักเรียนต้องการค้นคว้าหาคำตอบ 2) หลักฐาน (Evidence) เป็นข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน 3) การให้เหตุผล (Reasoning) เป็นข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่เรื่องง่ายสำหรับนักเรียนไทย (Wongchaiya, 2016; Juthanarupakit, Jantarakantee, and Chiangka, 2018; Liwkongsatapond, 2021) สำหรับในรายวิชาฟิสิกส์มีงานวิจัยเรื่องการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม ผลการประเมิน PISA ในปี 2018 นักเรียนไทยมีคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์อยู่ที่ 426 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยขององค์กรเพื่อความร่วมมือพัฒนาเศรษฐกิจ (Organization for Economic Cooperation and Development) ซึ่งวิชาวิทยาศาสตร์ PISA ได้กำหนดกรอบการประเมินเรื่องความรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy) ใน 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในด้านทักษะทางวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาได้ง่ายที่สุดคือ การสร้างข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ขณะที่องค์ประกอบที่พัฒนายากที่สุดคือการระบุหลักฐานและการให้เหตุผล กล่าวคือนักเรียนไม่สามารถให้ข้อมูลที่เป็หลักฐานมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตนเอง อีกทั้งไม่สามารถนำความรู้วิทยาศาสตร์มาอธิบายหรือเชื่อมโยงหลักฐานของตนเองไปสู่ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างได้ (Ruiz-Primo et al., 2010; Peker and Wallace, 2011)

นักการศึกษาได้เสนอแนวทางในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย ได้แก่ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์เช่นเดียวกับแนวทางที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การโต้เถียง การใช้คำถาม การสร้างแบบจำลอง และการทดลอง (Wuttirom, 2013; Ladachart, et al., 2015; Frensley, 2019)

สำหรับการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนตามกรอบแนวคิดของ McNeil and Krajcik (2006) จะจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนรายข้ออย่างละเอียด โดยแบ่งเกณฑ์แปลผลคะแนนในแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งมีคะแนนเต็มเท่ากับ 2 คะแนน ได้แก่ ระดับดี (2 คะแนน) ระดับพอใช้ (1 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0 คะแนน) แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ตามเกณฑ์ดังกล่าวต้องใช้ความสามารถในการจัดกลุ่มคำตอบและแปลผลคะแนน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงพยายามสร้างเครื่องมือในการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีความเป็นปรนัย โดยผู้วิจัยได้เลือกเนื้อหาจากหนังสือเรียนวิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม 2 ม.5 บทที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่และแรง ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และผู้วิจัยได้ยึดรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry based learning) ตามแนวทางของ สสวท. เพื่อให้ครูทั่วประเทศสามารถนำเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้ได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสร้างและใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรง หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปฏิบัติการทดลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2006)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากร คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 – 5/13 จำนวน 543 คน ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร
2. กลุ่มตัวอย่าง เป็นการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากห้องที่ผู้วิจัยเป็นผู้สอน คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 5/10 และ 5/13 ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 จำนวน 67 คน
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย ประกอบด้วย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามแนวทาง สสวท. โดยมีขั้นตอน 5 ขั้นตอนได้แก่ ชี้นำเข้าสู่บทเรียน ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และขั้นประเมินผล จำนวน 3 แผน ดังนี้

แผนที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวตรงจำนวน 2 ชั่วโมง (การทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก)

แผนที่ 2 เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 4 ชั่วโมง (การทดลองที่ 2 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง และการทดลองที่ 3 เรื่องการหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน)

แผนที่ 3 เรื่องการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ จำนวน 2 ชั่วโมง (การทดลองที่ 4 เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก)

3.2 การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่และแรง จำนวน 4 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ให้นักเรียนทำการทดลองโดยนำจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิดเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที เมื่อผูกถุงทรายแล้วปล่อยให้ตกในแนวตั้งมาเขียนกราฟเพื่อคำนวณหาค่าความเร่งของถุงทราย

การทดลองที่ 2 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง โดยให้นักเรียนอธิบายความสัมพันธ์ของแรง มวล และความเร่ง จากการทดลองเมื่อใช้รถทดลองที่ผูกติดกับแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิดเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที แล้วพิจารณาจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษเมื่อเพิ่มแรงให้รถทดลอง

การทดลองที่ 3 เรื่องการหาขนาดของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน ให้นักเรียนอธิบายแรงลัพธ์ของแรงย่อยสองแรงที่ทำมุมต่อกัน โดยการผูกเครื่องชั่งสปริง 3 ตัวกับปมเชือก แล้วให้ปมเชือกอยู่นิ่ง

การทดลองที่ 4 เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ให้นักเรียนอธิบายเวลาในการตกถึงพื้นของเหรียญเมื่อเหรียญหล่นลงตรง ๆ ในแนวตั้ง และเหรียญเคลื่อนที่แบบโค้งลงในแนวตั้ง เมื่อเหรียญมีลักษณะเหมือนกันทุกประการและความสูงจากพื้นระยะเท่ากัน

4. กระบวนการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง

4.1 อธิบายการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน

4.2 จัดกิจกรรมในชั้นเรียนตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยนักเรียนทำการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง

4.3 เมื่อนักเรียนทำการทดลองแต่ละการทดลองเสร็จสิ้น ครูผู้สอนให้นักเรียนทำใบงานการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

4.4 ตรวจใบงาน (ให้คะแนน) การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้เกณฑ์ที่สร้างขึ้นประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

5. วิเคราะห์ข้อมูล

5.1 เปรียบเทียบคะแนนที่ได้กับคะแนนเต็มจากการหาค่าร้อยละ (percentage)

5.2 หาค่าเฉลี่ยคะแนนรวมของนักเรียนโดยแยกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) หลักฐาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning)

5.3 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนเฉลี่ย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ คุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Expert panel) เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ วิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

1. คุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยได้หาคุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยแบ่งผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 2 ท่าน (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์) และ ครูที่มีประสบการณ์ในการสอนฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายไม่น้อยกว่า 10 ปี จำนวน 3 ท่าน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ได้รับเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทางอีเมลล่วงหน้า 2 สัปดาห์ เพื่อพิจารณา ความถูกต้องของเนื้อหา การใช้ภาษาที่ชัดเจน และความครอบคลุม จากนั้นผู้วิจัยกับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ได้แสดงความคิดเห็น อภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุป และปรับปรุงเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

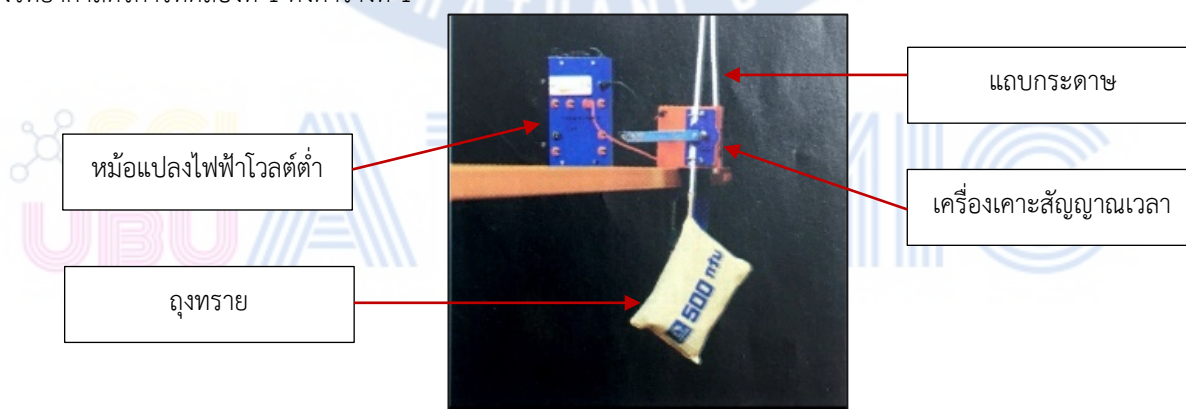
ขั้นตอนที่ 2 ครูที่มีประสบการณ์ในการสอนฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายไม่น้อยกว่า 10 ปี จำนวน 3 ท่าน จะได้รับเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แล้ว และแบบตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อวัดความเป็นปรนัย (objectivity) จากดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence : IOC) ใน 3 ประเด็น ได้แก่ ความหมายของคำถาม ความถูกต้องของเนื้อหา และภาษาที่ใช้ โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านต้องให้คะแนนในแต่ละประเด็นพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป แล้วนำผลคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณหาค่า IOC ตามสูตร พบว่า เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีค่า IOC เท่ากับ 0.62 แสดงถึง ความเที่ยงตรง ที่อยู่ในระดับใช้ได้ และสามารถนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้

2. เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้สร้างเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2006) เป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) 2) หลักฐาน (Evidence) และ 3) การให้เหตุผล (Reasoning) การสร้างเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ใช้กระบวนการของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 5 ท่าน เพื่อถกเถียง ท้าทาย และสรุปออกมาเป็นเกณฑ์ในแต่ละการทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความเร็วเฉลี่ยและความเร่งของตุลหอยที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยผูกตุลหอยกับแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังภาพที่ 1 โดยที่นักเรียนต้องเปลี่ยนจำนวนตุลหอยจาก 1 เป็น 2 และ 3 ตุล ตามลำดับ ในการทดลองนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดบนแถบกระดาษ และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ย-เวลา และ ความเร่ง-เวลา จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1 ดังตารางที่ 1



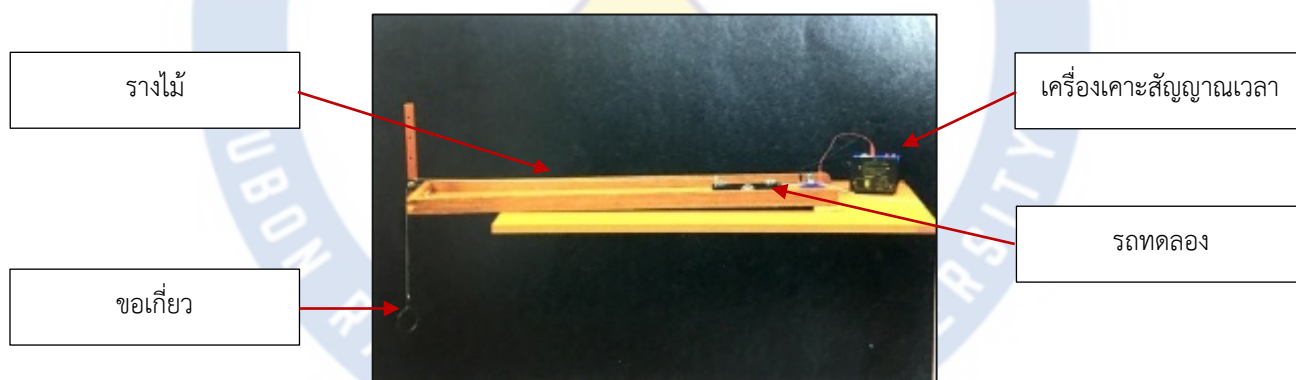
ภาพที่ 1 แขนงตุลหอยมวล 500 กรัมผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

ตารางที่ 1 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่คำนวณได้มีค่าระหว่าง 9.3 – 10.3 เมตรต่อวินาที ²	1 คะแนน
	☐ ระบุหน่วยของความเร่งคือ เมตรต่อวินาที ² ได้ถูกต้อง	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วเฉลี่ยกับเวลาทั้งกลางแต่ละช่วง พร้อมระบุหน่วยได้ถูกต้อง	1 คะแนน
	☐ แสดงวิธีหาค่าความเร่งจากความชันของกราฟพร้อมระบุหน่วยได้ถูกต้อง	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ ระบุระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ติดกันเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ	1 คะแนน
	☐ ความเร่งมีค่าคงที่	1 คะแนน

การทดลองที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง

การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ตอน การทดลองตอนที่หนึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่งเมื่อมวลของวัตถุมีค่าคงตัว โดยนักเรียนจะผูก รถทดลองติดกับนอตด้วยแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังภาพที่ 2 การทดลองนี้นักเรียนต้องเปลี่ยนจำนวนนอตจาก 1 ตัว เป็น 2, 3 และ 4 ตัวตามลำดับ ส่วนการทดลองตอนที่สองเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่งเมื่อแรงมีค่าคงตัว โดยนักเรียนจะผูก รถทดลองกับนอต 4 ตัวด้วยแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา โดยนักเรียนต้องเปลี่ยนมวลของรถที่ใช้ในการทดลองโดยการวางแท่งเหล็กมวล 500 กรัม เป็น 1000, 1500 และ 2000 กรัม ตามลำดับ จากการทดลองทั้งสองตอนนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดบนแถบกระดาษ จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2 ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 2 รถทดลองที่ผูกติดกับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

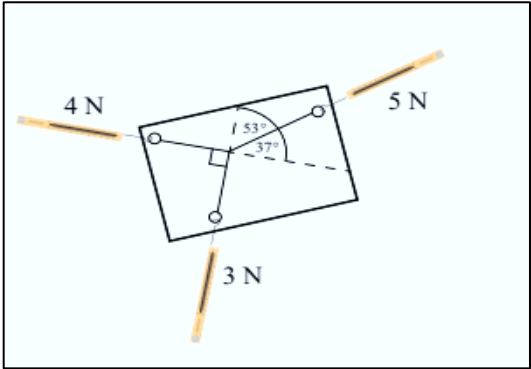
ตารางที่ 2 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ แรงแปรผันตรงกับความเร่ง	1 คะแนน
	☐ มวลแปรผกผันกับความเร่ง	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษทั้ง 4 (เมื่อเพิ่มจำนวนนอต)	1 คะแนน
	☐ เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษทั้ง 4 (เมื่อเพิ่มแท่งเหล็ก)	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เมื่อเพิ่มจำนวนนอต (แรงดึงเพิ่มขึ้น) รถทดลองมีความเร่งเพิ่มขึ้น	1 คะแนน
	☐ เมื่อเพิ่มแท่งเหล็กกับรถทดลอง (แรงดึงคงตัว) รถทดลองมีความเร่งลดลง	1 คะแนน

การทดลองที่ 3 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

การทดลองนี้นักเรียนจะนำปลายเชือก 3 เส้น มาผูกรวมกันเป็นปม ส่วนปลายของเชือกที่เหลือทำเป็นห่วงแล้ววางบนกระดาษขาว จากนั้นใช้เครื่องชั่งสปริง 3 อัน เกี่ยวกับห่วงเชือกแล้วดึงเครื่องชั่งสปริงทั้งสามในแนวระดับ โดยเริ่มจากดึงเครื่องชั่งสปริงสองอันให้ทำมุมค่าหนึ่ง จากนั้นพยายามดึงเครื่องชั่งสปริงที่ 3 จนปมของเชือกหยุดนิ่ง (ภาพที่ 3) การทดลองนี้

นักเรียนต้องวิเคราะห์แรงลัพธ์ทั้งขนาดและทิศทาง จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3 ดังตารางที่ 3



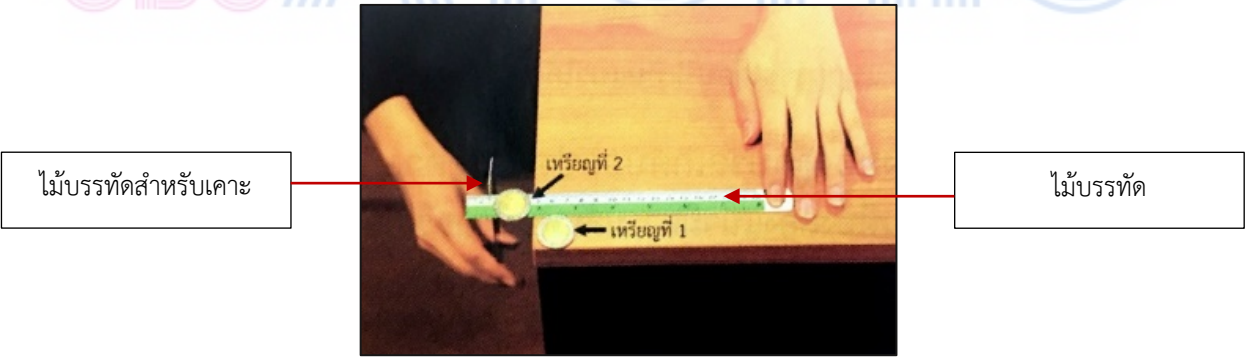
ภาพที่ 3 ภาพจำลองการดึงปมเชือกด้วยเครื่องซึ่งสปริง 3, 4 และ 5 นิวตัน

ตารางที่ 3 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ แรงลัพธ์ของแรง 3 และ 4 นิวตัน มีขนาด 5 นิวตัน	1 คะแนน
	☐ แรงลัพธ์มีทิศ 45 องศา กับแรง 3 นิวตัน หรือ แรงลัพธ์มีทิศ 45 องศา กับแรง 4 นิวตัน หรือ บอกทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ แสดงการหาขนาดของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป หรือ การคำนวณ	1 คะแนน
	☐ แสดงการหาทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป หรือ การคำนวณ	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เมื่อออกแรงดึง 3 และ 4 นิวตัน ปมของเชือกหยุดนิ่ง แสดงว่าขนาดของแรงลัพธ์ระหว่างแรงดึง 3 และ 4 นิวตัน มีขนาดเท่ากับ 5 นิวตัน	1 คะแนน
	☐ ทิศทางของแรงลัพธ์ระหว่าง 3 และ 4 นิวตัน จะตรงข้ามกับแนวแรง 5 นิวตัน	1 คะแนน

การทดลองที่ 4 การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วง

การทดลองนี้นักเรียนจะเปรียบเทียบการตกของเหรียญแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงกับการตกอิสระ โดยใช้เหรียญ 2 เหรียญ วางเหรียญที่ 1 ไว้บริเวณมุมโต๊ะโดยให้เหรียญชิดกับขอบโต๊ะด้านหนึ่ง วางไม้บรรทัดให้ขนานกับขอบโต๊ะด้านที่วางเหรียญที่ 1 ไว้และให้ไม้บรรทัดสัมผัสกับเหรียญนี้ โดยให้ปลายไม้บรรทัดด้านหนึ่งยื่นออกไปนอกโต๊ะ จากนั้นใช้มือกดปลายไม้บรรทัดด้านที่อยู่บนโต๊ะไว้เพื่อให้ปลายนี้เป็นจุดหมุน วางเหรียญที่ 2 ไว้บนปลายไม้บรรทัดด้านที่ยื่นออกมาจากโต๊ะ ดังภาพที่ 4 จากนั้นใช้ไม้บรรทัดอีกอันเคาะปลายไม้บรรทัดด้านที่ยื่นออกมาจากโต๊ะโดยเร็ว สังเกตและบันทึกการเคลื่อนที่ของเหรียญที่ตกลงมา โดยอาจใช้นาฬิกาจับเวลา กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว หรือฟังเสียงกระทบพื้นของเหรียญทั้งสอง การทดลองนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์ความเหมือนและแตกต่างของการตกของเหรียญทั้งสอง จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 4 ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 4 การติดเหรียญให้เคลื่อนที่แนวโค้ง และลงตรง ๆ ในแนวตั้ง

ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 4

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ กรณีที่ 1 และ 2 ตกถึงพื้นพร้อมกัน	1 คะแนน
	☐ วัตถุตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกค่าเดียวกัน	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ คลิปวิดีโอหรือรูปถ่ายการตกถึงพื้นของเหรียญในกรณีที่ 1 และ 2	1 คะแนน
	☐ ความเร็วของเหรียญที่ 1 และ 2 จากเริ่มต้นจนกระทั่งตกถึงพื้นจากหนังสือเรียน หน้า 30	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ กรณีที่ 1 เหรียญเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวในแนวตั้ง (ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)	1 คะแนน
	☐ กรณีที่ 2 เหรียญเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวระดับ และความเร่งคงตัวในแนวตั้ง (ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)	1 คะแนน

จากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1 – 4 ที่ได้จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญสามารถสรุปออกมาเป็นหลักในการสร้างเกณฑ์ดังนี้ ในส่วนของข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างจะสร้างเกณฑ์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ในส่วนของหลักฐาน จะสร้างเกณฑ์ตามข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน และในส่วนของ การให้เหตุผล จะสร้างเกณฑ์เพื่อแสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

3. วิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละคนในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 67 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อ	เรื่อง	คะแนน (ร้อยละ)		
		ข้อสรุป	หลักฐาน	การให้เหตุผล
1	การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	95.50	0.75	87.30
2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง	92.50	2.99	45.50
3	การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	56.00	7.46	88.80
4	การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	56.70	4.48	43.30
	เฉลี่ย (ร้อยละ)	75.20	3.92	66.20
	S.D.	21.80	2.82	25.20

จากตารางที่ 5 พบว่า องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนทำได้ดีที่สุดคือ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (ร้อยละ 75.20) รองลงมาคือการให้เหตุผล (ร้อยละ 66.20) และ หลักฐาน (ร้อยละ 3.92) ตามลำดับ ซึ่งค่าร้อยละของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละการทดลองเทียบกับคะแนนเต็มของนักเรียนทุกคนในคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในการทดลองนั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 – 4 ยกตัวอย่างเช่น ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (claim) ของการทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก คะแนนเต็ม 2 คะแนน ถ้านักเรียนทุกคนตอบถูกหมดจะได้คะแนน 134 คะแนน แต่คะแนนรวมของนักเรียนได้ 128 คะแนน จึงคิดเป็นร้อยละ 95.50 ของคะแนนเต็ม เป็นต้น

ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง เป็นองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ง่ายที่สุดสำหรับนักเรียนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruiz-Primo et al. (2010) และ Peker and Wallace (2011) ที่เป็นเช่นนั้นเพราะข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างนั้นเป็นการประเมินความสามารถของนักเรียนในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ซึ่งนักเรียนจะให้ความตระหนักและใส่ใจกับแนวคิดวิทยาศาสตร์อยู่แล้ว ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่นักเรียนทุกคนต้องรู้วัตถุประสงค์ของการทดลอง และในตอนท้าย นักเรียนต้องสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามในเกณฑ์ประเมิน

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3 และ 4 นักเรียนได้คะแนนอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ประมาณร้อยละ 50 เมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนพบว่า การทดลองที่ 3 เป็นการหาแรงลัพธ์ ซึ่ง แรง เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง แต่ส่วนใหญ่ักเรียนตอบแรงลัพธ์มาเฉพาะขนาดโดยไม่ได้นึกถึงทิศทาง ส่วนในการทดลองที่ 4 เนื่องจากการตกของวัตถุในกรณีที่ 1 และ 2 อยู่ภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเดียวกัน เหยี่ยุตต้องตกถึงพื้นพร้อมกัน แต่จากการทดลองพบว่าความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการทดลองส่งผลทำให้นักเรียนสร้างข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้องใน 2 จุด ได้แก่ จุดแรกนักเรียนปล่อยเหยี่ยุตที่ 1 และ 2 ไม่พร้อมกัน ทำให้เหยี่ยุตทั้งสองตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน จุดที่สองนักเรียนใช้ประสาทสัมผัสตาและหูเพื่อยืนยันเดียวในการสังเกตการการตกพร้อมกันของเหยี่ยุตทำให้เกิดพลาด นักเรียนควรใช้เครื่องมือช่วยให้การสังเกตที่มีความถูกต้องแม่นยำ เช่น การถ่ายวิดีโอความเร็วสูง เป็นต้น

การให้เหตุผล เป็นข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผล โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์พบว่า มี 2 การทดลองที่นักเรียนได้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง นักเรียนส่วนใหญ่จะแสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างได้ในประเด็นที่ว่า เมื่อเพิ่มจำนวนนอต (แรงดึงดูดเพิ่มขึ้น) รถทดลองจะมีความเร่งเพิ่มขึ้น แต่นักเรียนส่วนใหญ่ไม่แสดงเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มแท่งเหล็กกับรถทดลอง (แรงดึงดูด) ส่งผลทำให้รถทดลองมีความเร่งลดลง ส่วนการทดลองที่ 4 นั้นเนื่องจากนักเรียนส่วนใหญ่ให้ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างผิด (บอกว่าเหยี่ยุตตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน เพราะใช้เครื่องมือในการสังเกตจากประสาทสัมผัสเท่านั้น) จึงส่งผลให้การให้เหตุผลผิด แม้นักเรียนบางคนจะรู้ว่าตามทฤษฎีเหยี่ยุตทั้งสองจะตกถึงพื้นพร้อมกัน นอกจากนี้นักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการเคลื่อนที่ในแนวโค้งของเหยี่ยุต โดยมองว่าเหยี่ยุตมีความเร็วเพิ่มขึ้นทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว เหยี่ยุตมีความเร็วคงตัว (ความเร็วเป็นศูนย์) ในแนวระดับ แต่มีความเร่งเพิ่มขึ้น (มีความเร่ง) ในแนวตั้ง

หลักฐาน คือ ข้อมูลหรือสิ่งที่นำมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน คะแนนจากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ได้สร้างความประหลาดใจให้กับผู้วิจัยเป็นอย่างมากว่าทำไมนักเรียนจึงได้คะแนนน้อยที่สุด (ร้อยละ 3.92) ทั้ง ๆ ที่หลักฐาน คือ สิ่งที่นักเรียนปรากฏอยู่ต่อนักเรียนขณะทำการทดลองในแต่ละเรื่อง เมื่อวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในส่วนของหลักฐานพบว่า นักเรียนส่วนมากไม่แสดงหลักฐาน หรือแสดงหลักฐานไม่ถูกต้อง เช่น นำการให้เหตุผลไปเขียนเป็นหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Juthanarupakit, Jantarakantee, and Chiangka (2018) ส่วนการทดลองที่ 4 ที่เป็นการติดเหยี่ยุต มีข้อจำกัดในการเก็บหลักฐาน แต่สามารถเก็บหลักฐานจากความเร็วของเหยี่ยุตได้เช่นกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอและโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอที่เรียกว่า Tracker ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ซึ่งสามารถหาความเร็วของวัตถุจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลาได้ (Ruangbun and Wuttiptom, 2016)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไม่ใช่เรื่องง่าย เป็นทักษะที่ต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Frensley, 2019) ปัญหาและอุปสรรคในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ได้แก่ ประการแรก นักเรียนยังไม่ได้รับประสบการณ์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มาก่อน หรือมีประสบการณ์ไม่มากพอ (Pornsuriwong and Sungthong, 2020) ประการที่สอง นักเรียนไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ว่าประกอบด้วยข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ประการที่สาม การจัดการเรียนรู้ส่วนใหญ่เป็นแบบบรรยายนักเรียนเป็นผู้รับความรู้โดยไม่ผ่านการคิดวิเคราะห์ (Ladachart, et al., 2015)

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ถึงแม้ว่าหลายงานวิจัยจะแสดงให้เห็นว่า ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่นักเรียนทำได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามทุกองค์ประกอบมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบหลักฐานและการให้เหตุผล หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งด้อยก็จะส่งผลต่อองค์ประกอบอื่น ๆ การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นทักษะต้องได้รับการฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอ

เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่จะช่วยพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน จากผลการนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปใช้พบว่า เป็นเครื่องมือที่ดีในแง่ของ ความเป็นปรนัย และแปลผลได้ง่าย นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับครูที่ต้องการจะเริ่มทำงานวิจัยเกี่ยวกับคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สามารถนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้ได้

เนื่องจากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้ครูควรอธิบายจนได้ข้อสรุปตรงกันในแต่ละขั้นตอนของการทดลอง เริ่มตั้งแต่ วิธีการทดลอง ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และการอธิบายผลการทดลอง เพราะหากขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่นักเรียนเข้าใจผิดก็จะส่งผลต่อคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นไปได้ว่าในบางครั้งที่ผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎี ครูและนักเรียนต้องอภิปรายร่วมกันจนเห็นว่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากอะไร หากครูไม่สามารถทำการทดลองซ้ำเพื่อให้การทดลองตรงตามทฤษฎี แนะนำให้ครูใช้วิดีโอหรือการจำลองสถานการณ์ (simulation)

เอกสารอ้างอิง

- American Association for the Advancement of Science. (1991). *Science for all Americans*. New York: Oxford University.
- Bell, P. and Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International journal of science education*, 22(8), 797-817.
- Driver, R., Newton, P. and Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science education*, 84(3), 287-312.
- Frensey, J. (2019). ABCD's of explaining your reasoning. *The Physics Teacher*, 57(3), 202-202.
- Juthanarupakit, K., Jantarakantee, A. and Chiangka, S. (2018). Implementing scientific inquiry approaches to develop grade 10th students' scientific explanation in the topic of circular motion (in Thai). *Rangsit Graduate Research Conference* (pp. 1741-1753). Bangkok: Rangsit University.
- Ladachart, L., Chimphali, K., Aryowong, N., Ngaewkoodrua, N., Srakhao, S., Wangead, C. and Thammapruteep, J. (2015). Ninth Grade Student' Making Scientific Inferences and Explanations (in Thai). *Silpakorn University Journal*, 171-206.
- Limpijumong, C. (2019). *Physical Science 2* (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Liwongsatapond, W. (2021). Scientific explanation (In Thai). Retrieved 1 May 2021, from **Library.IPST**: <https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/1365>.
- McNeill, K. L. and Krajcik, J. (2006). Supporting students' construction of scientific explanation through generic versus context-specific written scaffolds. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*. San Francisco: American Educational Research Association.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, D.C.: National Academy of Science.
- National Research Council. (2013). *Next generation science standards: For state, by state*. Washington, D.C.: National Academy of Science.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, D.C.: National Academy of Science.
- Peker, D. and Wallace C.S. (2011). Characterizing high school students' written explanations in biology laboratories. *Research in Science Education*, 41(2), 169-191.
- Phornphisutthimas, S. (2013). Learning management of science in 21st century (In Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 4(1), 55-63.
- Pornsuriwong, S. and Sungthong, A. (2020). The results of learning activities using STEM education of motion in physics for grade-11 students (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 3(1), 30-40.
- Ruangbun, T. and Wuttirom, S. (2016). Designing and Developing Electromagnetic Induction Projectile Launcher (In Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for learning*, 7(1), 191-203.
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S. P. and Schneider, J. (2010). Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: Examining students' scientific explanations and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 583-608.

- Wongchaiya, K. (2016). Effects of predict-explain-observe-explain-discuss of Galvanic cells on the improvement of Grade 12 student' science process skills (in Thai). **Master's Thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.
- Wuttirom, S. (2013). A Comparison of Teaching Experiments between Videotaped and Demonstrative Approaches in Developing Scientific Concepts about Buoyant Force (in Thai). **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for learning**, 4(1), 7-17.
- Zohar, A. and Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. **Journal of Research in Science Teaching**, 39(1), 35-62.





บทความวิจัย

การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบพลวัต GeoGebra เรื่อง ปริซึม เพื่อเพิ่มความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติ

มลฤดี มณีล้ำ¹ และไพรินทร์ สุวรรณศรี^{1,2,*}¹ สาขาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี² ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*Email: puirin.s@ubu.ac.th

รับบทความ: 2 สิงหาคม 2564 แก้ไขบทความ: 30 กันยายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 1 พฤศจิกายน 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องปริซึมแบบพลวัตผ่านสื่อออนไลน์โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เพื่อเพิ่มทักษะความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดกิจกรรมขึ้น จำนวน 4 ชุดกิจกรรม ประกอบด้วย ชุดที่ 1 เรื่อง การสร้างรูปปริซึมแบบต่าง ๆ ชุดที่ 2 เรื่อง รูปคลี่ของปริซึมแบบต่าง ๆ ชุดที่ 3 เรื่อง พื้นที่ผิวของปริซึมแบบต่าง ๆ และชุดที่ 4 เรื่อง การหาปริมาตรของปริซึมแบบต่าง ๆ ผลจากการศึกษานี้พบว่า การเรียนผ่านชุดกิจกรรมผ่านโปรแกรม GeoGebra สามารถเพิ่มความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของผู้เรียน ผู้เรียนสามารถวาดรูปปริซึมเชื่อมโยงจากรูปเรขาคณิตสองมิติ สามารถสร้างรูปคลี่ของปริซึมแบบต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังเพิ่มทักษะการแก้โจทย์ปัญหาเรื่องพื้นที่ผิวและปริมาตรของปริซึม

คำสำคัญ: ความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติ ปริซึม GeoGebra

อ้างอิงบทความนี้

มลฤดี มณีล้ำ และไพรินทร์ สุวรรณศรี. (2564). การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบพลวัต GeoGebra เรื่อง ปริซึม เพื่อเพิ่มความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติ. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 255 - 263.

Development of dynamic GeoGebra learning activity of prism to improve student's 3d geometry thinking

Monruedee Maneelam¹ and Pairin Suwannasri^{1,2,*}

¹*Mathematics Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

²*Department of Mathematics, Statistics and Computers, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

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

Received <2 August 2021>; Revised <30 September 2021>; Accepted <1 November 2021>

Abstract

This research has developed a series of activities for learning about prism via online media using GeoGebra software to improve the student's 3D geometry thinking. We developed four activity sets consisting of series 1: "Prism construction", series 2: "Unfolding form of different prisms", series 3: "Surface area of different prisms" and series 4: "Volume of different prisms". The results of this study showed that learning through a series of activities through GeoGebra can increase students' 3D geometry thinking. Student can draw the completed prisms by connected from 2 dimensions and can construct the nets of different types of prisms. It also improves the problem solving skills of prism surface area and volume.

Keywords: 3D geometry thinking, prism, GeoGebra

Cite this article:

Maneelam, M. and Suwannasri, P. (2021). Development of dynamic GeoGebra learning activity of prism to improve student's 3d geometry thinking (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 255 - 263.

บทนำ

การคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติประกอบด้วยการนิยาม ทำความเข้าใจ และจำแนกรูปทรงเรขาคณิต การทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงเรขาคณิต การใช้เหตุผล การพิสูจน์ การสร้างภาพ และการวาดภาพ (NCTM, 2000) Pittalis and Christou (2010) ระบุทักษะการคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติว่าเป็นความสามารถในการจัดการกับรูปแบบการแสดงต่างๆ ของรูปเรขาคณิตสามมิติ ความสามารถในการจดจำและสร้างรูปคลี่ ความสามารถในการจัดโครงสร้างอาร์เรย์ 3 มิติของลูกบาศก์ ความสามารถในการจดจำคุณสมบัติของรูปเรขาคณิตสามมิติและเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตสามมิติ และความสามารถในการคำนวณปริมาตรและพื้นที่ของของแข็ง

การคิดเชิงเรขาคณิตเชื่อมโยงกับทุกสาระในหลักสูตรคณิตศาสตร์และหลากหลายสถานการณ์ในชีวิตจริง (Jones and Mooney, 2003) ผู้เรียนไม่เพียงแต่จะพัฒนาการรับรู้เชิงพื้นที่ สัญชาตญาณเชิงเรขาคณิต และความสามารถในการเห็นภาพแต่ยังพัฒนาความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตและทฤษฎีบท (Jones, 2002) การคิดทางเรขาคณิตสามมิตินั้นมีความเชื่อมโยงกับความสามารถของนักเรียนในการคำนวณปริมาตรและพื้นที่ผิวของของแข็ง ผลการวิจัยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่สูตรและการดำเนินการเชิงตัวเลขที่จำเป็นในการคำนวณปริมาตรหรือพื้นที่ผิวของของแข็งและไม่สนใจโครงสร้างของหน่วยวัด (Owens and Outhred, 2006) Battista (2003) เสนอแนะว่านักเรียนควรพัฒนาความจำเป็นสองประการทักษะในการคำนวณแนวความคิดปริมาตรและพื้นที่ผิวของของแข็ง: (a) แนวคิดของการดำเนินการเชิงตัวเลขและการเชื่อมโยงของสูตรที่มีโครงสร้างของของแข็งและ (b) ความเข้าใจและการสร้างภาพโครงสร้างภายในของของแข็งด้วยวิธีนี้ ความสามารถในการแจกแจงลูกบาศก์ที่พอดีในกล่องสามารถช่วยให้เข้าใจวิธีการคำนวณปริมาตรของมัน (Battista, 1999)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาสื่อการสอนที่ส่งเสริมการคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติเรื่อง ปริซึมซึ่งเป็นรูปทรงเรขาคณิตสามมิติที่มีความกว้าง ความยาว ความสูง และฐานที่แตกต่างกัน เป็นเรื่องยากมากที่ผู้สอนจะจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้ผู้เรียนระดับมัธยมต้นเข้าใจในรูปร่างของปริซึมที่แตกต่างกันหลากหลายรูปแบบได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้าใจรูปคลี่ของปริซึมนั้นซับซ้อนมากถ้าผู้เรียนไม่เข้าใจรูปคลี่ก็จะส่งต่อการหาพื้นที่ผิวและปริมาตรของปริซึม ยิ่งไปกว่านั้นในยุคที่ต้องจัดการเรียนผ่านออนไลน์จึงเป็นเรื่องยากที่ผู้เรียนจะได้เข้าใจและมองเห็นภาพวัตถุสามมิติทุกมุมมอง สื่อการสอนและเทคโนโลยีเป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่ทำให้เกิดความเข้าใจนั้น นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้สามารถเพิ่มชิ้นความสนใจในการเรียนและความกระตือรือร้นของนักเรียนที่มักจะรู้สึกเบื่อในการเรียนคณิตศาสตร์ สื่อการสอนในปัจจุบันมีหลากหลาย สามารถนำเสนอได้ทั้งข้อความ รูปภาพทั้งภาพนิ่งภาพเคลื่อนไหว และในรูปของเสียง การที่จะพัฒนาสื่อการสอนเรื่อง ปริซึม จะต้องทำให้ผู้เรียนเห็นภาพทุกมุมมอง เห็นทุกส่วนประกอบของปริซึม

หนึ่งในเทคโนโลยีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการเรียนรู้คณิตศาสตร์คือซอฟต์แวร์ GeoGebra เป็นคำย่อของ Geometry และ Algebra ซึ่งเป็นคณิตศาสตร์ซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้เพื่อเป็นสื่อในการถ่ายทอดเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะในเรขาคณิตพีชคณิตและแคลคูลัส เป็นเทคโนโลยีที่ง่ายต่อการเข้าถึงทั้งแบบออนไลน์ ออฟไลน์และแอปพลิเคชันบนมือถือ การเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ด้วย GeoGebra สามารถช่วยให้นักเรียนเห็นภาพของคณิตศาสตร์ที่เป็นนามธรรมชัดเจนขึ้น (Azizul and Din, 2018) อีกทั้งยังช่วยการมีส่วนร่วมและแรงจูงใจในการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น (Chehlarova and Chehlarova, 2014; López, 2011; Zengin and Tatar, 2017)

มีงานวิจัยมากมายที่รายงานว่า GeoGebra มีผลดีต่อความสำเร็จและความเข้าใจของนักเรียนในวิชาคณิตศาสตร์ Zengin และ Tatar (2017) ทั้งคู่ค้นพบในเชิงบวกเกี่ยวกับความสามารถและความสำเร็จของนักเรียนเมื่อพวกเขาใช้ GeoGebra ในการสอนฟังก์ชันกำลังสอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Richardson และ Koyunkaya (2017) โดยมุ่งเน้นไปที่ความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับคำจำกัดความของมุม ซึ่งพบว่า GeoGebra ส่งผลทางบวกเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์และความเข้าใจของนักเรียน นอกจากนี้ Hutkemri และ Akmar (2016) พบว่านักเรียนที่ใช้ GeoGebra แสดงให้เห็นถึงความรู้เชิงแนวคิดและความรู้เชิงกระบวนการของนักเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมากซึ่งส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน Alkhateeb และ Al-Duwairi (2019) ได้ศึกษาผลกระทบของแอปพลิเคชันมือถือ (GeoGebra และ Sketchpad) เกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนในเรื่องเรขาคณิต ผลการวิจัยพบว่าการใช้ Sketchpad และ GeoGebra ช่วยส่งเสริมให้กับนักเรียนความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดเชิงเรขาคณิต ซึ่ง GeoGebra ส่งผลมากกว่า Sketchpad ต่อการเรียนรู้ของนักเรียน

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง ปริซึม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผ่านโปรแกรม GeoGebra ที่ให้ผู้เรียนเข้าถึงได้ง่ายทั้งออนไลน์ ออฟไลน์และแอปพลิเคชันบนมือถือ พร้อมทั้งศึกษาและวิเคราะห์ผลจากการเรียนผ่านกิจกรรมผ่าน GeoGebra ต่อความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของผู้เรียน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนการสอนออนไลน์ เรื่อง ปริซึมผ่านโปรแกรม GeoGebra สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลจากการเรียนผ่านกิจกรรมต่อความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของผู้เรียน

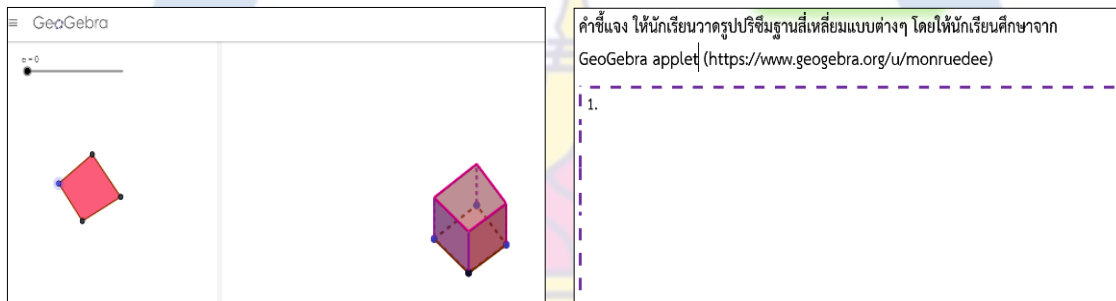
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยโดยใช้รูปแบบการทดลองที่มี 1 กลุ่มและมีการทดสอบหลังเรียนอย่างเดียว The One-Group Posttest-Only Design โดยใช้ชุดกิจกรรม GeoGebra เรื่อง ปริซึม กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบ้านดงเปือย (มูลนิธิศึกษาวิทยา) ที่กำลังศึกษาภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 อำเภอรัตนบุรี จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 6 คน ประด้วยกลุ่มอ่อน ปานกลางและเก่งโดยมาจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

1. ออกแบบการเรียนการสอนผ่านโปรแกรม GeoGebra

ผู้วิจัยได้ออกแบบแผนการเรียนรู้เรื่องปริซึม 4 ชุดกิจกรรมโดยมีขั้นตอน ดังนี้

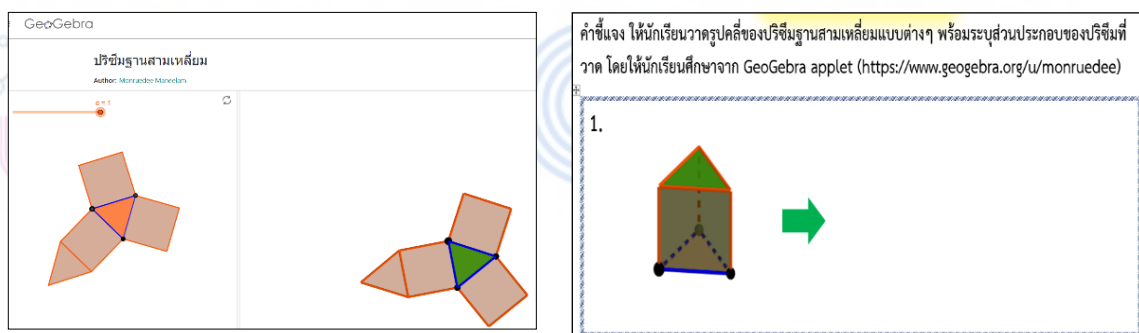
1.1) ผู้เรียนศึกษารูปปริซึมตามรูปแบบต่าง ๆ ผ่านกิจกรรมชุดที่ 1 โดยทำการเลื่อนค่า n ใน GeoGebra เพื่อเพิ่มจำนวนจุดของฐานดังภาพที่ 1 ก (ซ้ายมือ) จากนั้นผู้เรียนทำการวาดรูปปริซึมที่ปรากฏลงในใบกิจกรรมดังภาพที่ 1 ข (ขวามือ) นอกจากนี้ผู้เรียนยังศึกษารูปแบบของฐานที่ต่างกันโดยขยับจุดขอบของฐาน



ก) โปรแกรม GeoGebra ข) ใบกิจกรรมชุดที่ 1

ภาพที่ 1 ตัวอย่างชุดกิจกรรมที่ 1 เรื่อง การสร้างรูปปริซึมแบบต่าง ๆ

1.2) ผู้เรียนศึกษารูปคลี่ของปริซึมผ่านกิจกรรมชุดที่ 2 โดยทำการเลื่อนค่า n เพื่อดูการเคลื่อนไหวของการคลี่ปริซึมรูปแบบต่าง ๆ ดังภาพที่ 2ก (ซ้ายมือ) จากนั้นผู้เรียนทำการวาดรูปคลี่ของปริซึมที่ปรากฏลงในใบกิจกรรมดังภาพที่ 2ข (ขวามือ)



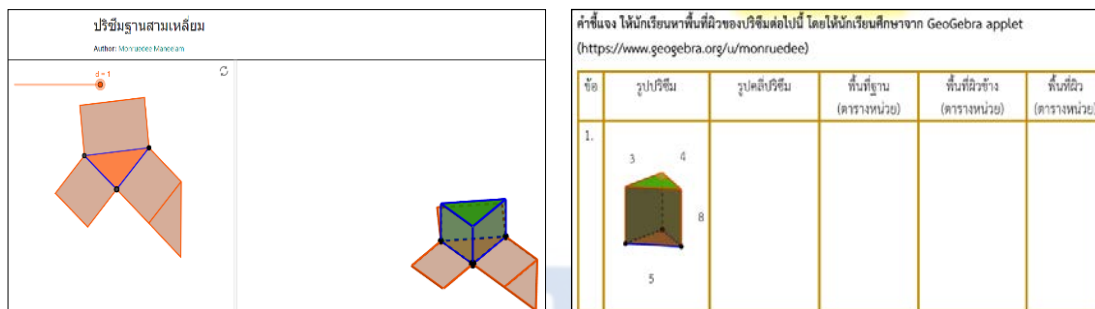
ก) โปรแกรม GeoGebra

ข) ใบกิจกรรมชุดที่ 2

ภาพที่ 2 ตัวอย่างชุดกิจกรรมที่ 2 เรื่อง รูปคลี่ของปริซึมแบบต่าง ๆ

1.3) เมื่อผ่านการศึกษากิจกรรมที่ 1-2 ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างรูปฐานกับปริซึมได้ และเข้าใจส่วนประกอบต่าง ๆ ของปริซึม จากนั้นผู้เรียนจะไปศึกษาการหาพื้นที่ของฐานและพื้นผิวของปริซึมผ่านกิจกรรมที่ 3 โดยเลื่อนค่า n เพื่อค่อยๆดูพื้นผิวของปริซึมดังภาพที่ 3ก (ซ้ายมือ) โดยนักเรียนทำการวาดรูปปริซึม รูปคลี่ที่ปรากฏและทำการ

คำนวณพื้นที่ฐาน พื้นที่ผิวข้างและพื้นที่ผิวลงในใบกิจกรรมชุดที่ 3 ดังภาพที่ 3ข (ขวามือ) กิจกรรมสุดท้ายผู้เรียนจะได้ฝึกหาปริมาตรของปริซึมรูปแบบต่าง ๆ โดยนักเรียนจะได้เห็นการเชื่อมโยงระหว่างรูปปริซึม พื้นที่ฐานและปริมาตร ดังภาพที่ 4



ก) โปรแกรม GeoGebra

ข) ใบกิจกรรมชุดที่ 3

ภาพที่ 3 ตัวอย่างชุดกิจกรรมที่ 3 เรื่องพื้นที่ผิวของปริซึมแบบต่าง ๆ

ตอนที่ 2 คำชี้แจง ให้นักเรียนหาพื้นที่ฐานและปริมาตรจากรูปที่กำหนด

รูป	พื้นที่ฐาน	ปริมาตร
4. 		

ภาพที่ 4 ชุดกิจกรรมที่ 4 เรื่อง พื้นที่ผิวของปริซึมแบบต่าง ๆ

2. ศึกษาความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของผู้เรียน

ในการทดสอบความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของผู้เรียนเรื่องปริซึม ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบจำนวน 15 ข้อ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Pittalis and Chirstou (2010) และงานวิจัยของ Zeynep and Abdulkadir (2018) ซึ่งรายละเอียดแสดงดังในตารางที่ 1

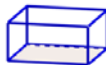
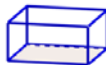
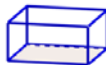
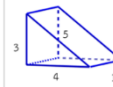
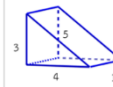
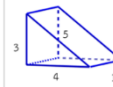
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วยรายละเอียด ดังนี้

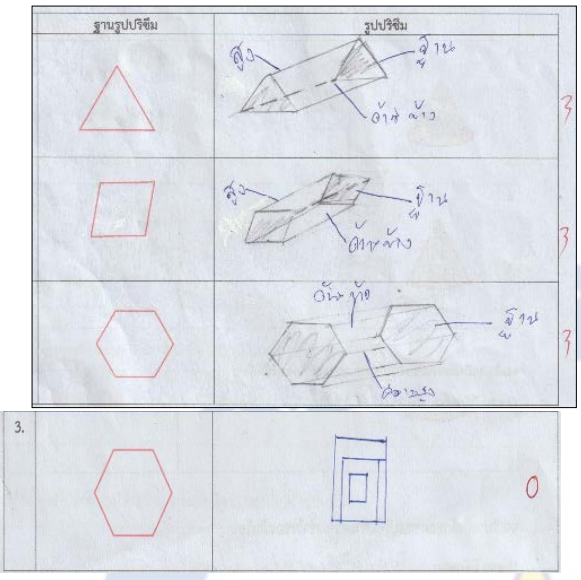
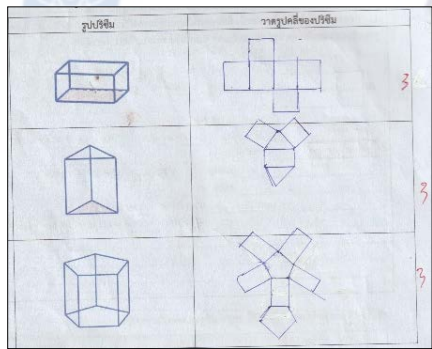
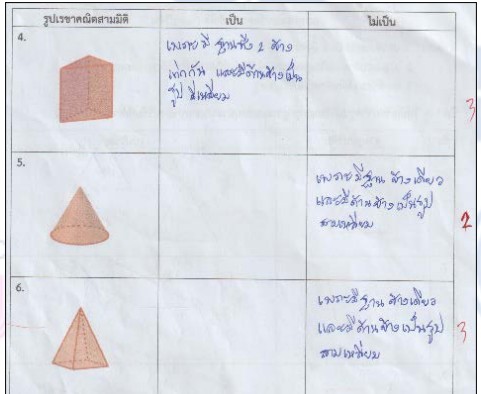
1. ประสิทธิภาพของชุดกิจกรรม GeoGebra เรื่อง ปริซึม โดยชุดกิจกรรม GeoGebra เรื่อง ปริซึมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 70/70 กล่าวคือ ประสิทธิภาพของกระบวนการการตอบคำถามจากใบกิจกรรมของชุดกิจกรรม แต่ละชุดกิจกรรมเท่ากับ 79.95 ส่วนประสิทธิภาพของผลลัพธ์การตอบคำถามในแบบทดสอบวัดความเข้าใจเท่ากับ 78.70 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 70/70

2. ผลจากการเรียนผ่านกิจกรรมต่อความความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของผู้เรียน เรื่อง ปริซึม ซึ่งผลจากวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในตาราง 2 แถวที่ 1 พบว่าสามารถวาดรูปปริซึมพร้อมบอกรายละเอียดส่วนประกอบของปริซึมได้อย่างถูกต้องเนื่องจากการที่นักเรียนเห็นรูปทรงของปริซึมในมุมมองตามที่นักเรียนใช้เมาส์หมุนใน GeoGebra และการที่นักเรียนสามารถเปลี่ยนรูปร่างฐานของปริซึมได้เองพร้อมทั้งวาดรูปปริซึมที่ปรากฏทำให้วาดรูปปริซึมรูปแบบฐานต่างกันได้อย่างถูกต้อง แต่จะมีนักเรียนเพียง 1 คนที่ซึ่งมีผลการเรียนค่อนข้างต่ำไม่สามารถวาดรูปปริซึมฐานหกเหลี่ยมได้ จากผลตรงส่วนนี้แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถวาดรูปเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างรูปเรขาคณิตสองมิติและรูปเรขาคณิตสามมิติ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแบบทดสอบความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของปริซึม

ความสามารถ	ใบคำถาม	คำอธิบาย								
สามารถสร้างความสัมพันธ์ของรูปเรขาคณิตสองมิติและรูปเรขาคณิตสามมิติ (Establishing the relation of 2D and 3D)	ให้นักเรียนวาดรูปปริซึมจากรูปฐานและระบุส่วนประกอบของปริซึมที่กำหนดให้ <table><tr><th>ฐานรูปปริซึม</th><th>รูปปริซึม</th></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	ฐานรูปปริซึม	รูปปริซึม			วาดรูปปริซึมสามมิติที่สอดคล้องกับรูปฐานสองมิติได้ประกอบด้วยฐานรูป 3,4,5 และ 6 เหลี่ยม				
ฐานรูปปริซึม	รูปปริซึม									
										
สามารถในการรับรู้และสร้างรูปคลี่ของรูปเรขาคณิตสามมิติ (Recognition and construction of Nets)	ให้นักเรียนวาดรูปคลี่ของปริซึมที่กำหนดให้ลงในตาราง <table><tr><th>รูปปริซึม</th><th>วาดรูปคลี่ของปริซึม</th></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	รูปปริซึม	วาดรูปคลี่ของปริซึม			ผู้เรียนสามารถวาดรูปคลี่ของปริซึมนั้นได้ประกอบด้วยฐานรูป 3,4 และ 5 เหลี่ยม				
รูปปริซึม	วาดรูปคลี่ของปริซึม									
										
สามารถในการรับรู้คุณสมบัติของรูปเรขาคณิตสามมิติและเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตสามมิติตามคุณสมบัติ (Recognition of 3D object properties and comparing objects according to their properties)	พิจารณาว่าข้อใดเป็นปริซึมพร้อมบอกชื่อของปริซึมนั้น แต่ถ้าข้อใดไม่ใช่ปริซึมให้บอกเหตุผลประกอบ <table><tr><th>รูปเรขาคณิตสามมิติ</th><th>เป็น</th><th>ไม่เป็น</th></tr><tr><td>4. </td><td></td><td></td></tr></table>	รูปเรขาคณิตสามมิติ	เป็น	ไม่เป็น	4. 			แยกแยะรูปที่เป็นปริซึมและไม่เป็นปริซึม พร้อมบอกเหตุผลประกอบเกี่ยวกับคุณสมบัติของรูปทรงสามมิติได้		
รูปเรขาคณิตสามมิติ	เป็น	ไม่เป็น								
4. 										
สามารถคำนวณหาพื้นที่ผิวของรูปเรขาคณิตสามมิติ (Calculating surface area of 3D objects)	จากรูปที่กำหนดให้ต่อไปนี้ จงหาพื้นที่ฐาน และพื้นที่ผิวข้าง พื้นที่ผิว <table><tr><th>ปริซึม</th><th>พื้นที่ฐาน (ตารางหน่วย)</th><th>พื้นที่ผิวข้าง (ตารางหน่วย)</th><th>พื้นที่ผิว (ตารางหน่วย)</th></tr><tr><td>13. </td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	ปริซึม	พื้นที่ฐาน (ตารางหน่วย)	พื้นที่ผิวข้าง (ตารางหน่วย)	พื้นที่ผิว (ตารางหน่วย)	13. 				ผู้เรียนสามารถหาพื้นที่ฐานและพื้นที่ผิวของปริซึมได้
ปริซึม	พื้นที่ฐาน (ตารางหน่วย)	พื้นที่ผิวข้าง (ตารางหน่วย)	พื้นที่ผิว (ตารางหน่วย)							
13. 										
สามารถคำนวณหาปริมาตรของรูปเรขาคณิตสามมิติ (Calculating volumes of 3D objects)	ปริซึมฐานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้าง 3 หน่วย ความยาว 4 หน่วย ความสูง 12 หน่วย จงหาปริมาตรของปริซึมสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นเท่าไร 	วัดความเข้าใจการหาปริมาตรของปริซึมแบบต่าง ๆ โดยโจทย์บรรยายลักษณะของปริซึมแต่ไม่ได้ให้รูปปริซึม แล้วผู้เรียนสามารถหาปริมาตรของปริซึมได้โดยคาดหวังว่าผู้เรียนต้องวาดรูปประกอบ								

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในการทำแบบทดสอบวัดความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติของปริซึม

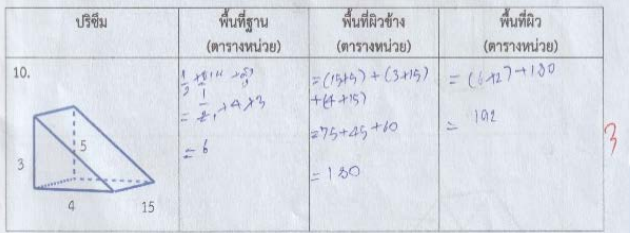
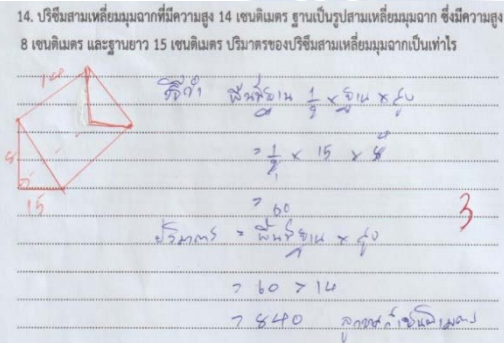
คำตอบของนักเรียน	ผลการวิเคราะห์
	นักเรียน 5 คนสามารถวาดรูปปริซึมฐานสามเหลี่ยมสี่เหลี่ยม และหกเหลี่ยมพร้อมบอกรายละเอียดส่วนประกอบของปริซึมได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ มีเพียง 1 คนที่ไม่สามารถวาดรูปปริซึมฐานหกเหลี่ยมได้ และไม่ได้ระบุส่วนประกอบของปริซึม ส่วนฐานสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมสามารถวาดเป็นรูปปริซึมได้
	ทุกคนสามารถวาดรูปคลี่ของปริซึมฐานสามเหลี่ยมสี่เหลี่ยม และห้าเหลี่ยมได้อย่างถูกต้อง ชัดเจน
	ทุกคนสามารถให้เหตุผลเพื่อแยกแยะรูปทรงใดเป็นปริซึมและไม่เป็นปริซึมได้ โดยอธิบายถึงลักษณะของฐาน และรูปด้านข้างของปริซึม

จากตารางที่ 2 การที่นักเรียนค่อยๆเลื่อนปุ่มสไลด์ใน GeoGebra ทำให้เห็นการคล้อยต่ำๆและสามารถหมุนดูทุกทิศทาง ผู้เรียนจึงได้เห็นองค์ประกอบทั้งหมดของปริซึมพร้อมทั้งวาดรูปคลี่ที่ปรากฏ ทำให้นักเรียนทุกคนวาดรูปคลี่ได้อย่างถูกต้อง ชัดเจนแม้กระทั่งรูปฐานที่ซับซ้อนอย่างรูปฐานห้าเหลี่ยม (ดูตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในตารางที่ 2 แถวที่ 2) ส่งผลให้เพิ่มความสามารถในการรับรู้และสร้างรูปคลี่ของรูปเรขาคณิตสามมิติของนักเรียน

การวิเคราะห์แบบทดสอบด้านคุณสมบัติของรูปเรขาคณิตสามมิติและเปรียบเทียบรูปเรขาคณิตสามมิติ พบว่านักเรียนสามารถแยกแยะรูปที่เป็นปริซึมและไม่เป็นปริซึมได้ พร้อมบอกเหตุผลว่าทำไมถึงเป็นปริซึมและไม่เป็นปริซึมได้ชัดเจนโดยอธิบาย

ถึงลักษณะของฐาน และรูปด้านข้างของปริซึมซึ่งเป็นผลมาจากการที่นักเรียนได้เข้าใจและวาดรูปปริซึมได้ในเรียนผ่านชุดกิจกรรมที่ 1-2

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนด้านความสามารถในการคำนวณหาพื้นที่ผิวและปริมาตรของปริซึม

คำตอบของนักเรียน				ผลการวิเคราะห์
				ทุกคนสามารถหาพื้นที่ฐาน โดยเขียนสูตรแล้วแทนค่าได้ถูกต้อง และสามารถหาพื้นที่ผิวข้างและพื้นที่ผิวทั้งหมดได้
				ทุกคนสามารถแสดงวิธีหาคำตอบพร้อมมีการวาดรูปปริซึมฐานสามเหลี่ยมช่วยในการมองภาพ และใส่รายละเอียดความสูงของปริซึม ความสูงและความยาวของฐาน แล้วนำมาแทนค่าหาพื้นที่ฐาน นำไปสู่การหาปริมาตรของปริซึม

จากตารางที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ทักษะการแก้ปัญหาเรื่องพื้นที่ผิวและปริมาตรของปริซึม พบว่านักเรียนสามารถคำนวณหาพื้นที่ฐานและพื้นที่ผิวได้อย่างถูกต้อง ซึ่งตรงนี้ส่งผลทำให้นักเรียนค่อยๆเข้าใจที่มาของสูตรการหาปริมาตร โดยนักเรียนสามารถเข้าใจว่าสูตรปริมาตรของปริซึมที่ต่างกันขึ้นอยู่กับพื้นที่ฐานที่แตกต่างกันนั่นเอง จึงนำไปสู่การคำนวณหาปริมาตรได้อย่างถูกต้อง

จากผลคำตอบของนักเรียนในแบบทดสอบ เกี่ยวกับการหาปริมาตรของปริซึม (ตารางที่ 3 แถว 2) สิ่งที่น่าสนใจคือนักเรียนทุกคนมีการวาดรูปปริมาตรประกอบพร้อมทั้งใส่รายละเอียดความสูงและความยาวฐาน ซึ่งช่วยเพิ่มทักษะการแก้โจทย์ปัญหาและเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยคาดหวังจากการที่ผู้เรียนได้เรียนผ่านชุดกิจกรรม GeoGebra จะส่งผลให้นักเรียนเข้าใจองค์ประกอบของปริซึมได้ พร้อมทั้งนำมาวาดรูปประกอบการแก้โจทย์ปัญหา จึงทำให้เข้าใจสูตรการหาปริมาตร ซึ่งทักษะตรงนี้ผู้วิจัยมองว่าเป็นสิ่งสำคัญยิ่งเพราะปัจจุบันนักเรียนไทยจะเน้นการท่องจำสูตรและสนใจเทคนิคทางลัดในการแก้โจทย์ปัญหาแต่ขาดความเข้าใจในที่มาของสูตรนั้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jelatu et al. (2018) การเรียนรู้ด้วย GeoGebra สามารถเพิ่มความสามารถของนักเรียนในการทำความเข้าใจแนวคิดทางเรขาคณิตและเชิงพื้นที่เชิงเรขาคณิต เพราะ GeoGebra ได้จัดเตรียมสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนักเรียน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่า ชุดกิจกรรม GeoGebra เรื่อง ปริซึมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพเท่ากับ 79.95/78.70 ผลจากการเรียนผ่านกิจกรรม GeoGebra สามารถเพิ่มความคิดเชิงเรขาคณิตสามมิติ ซึ่งนักเรียนสามารถวาดรูปปริซึมแบบต่างได้ บอกฐาน ความสูง ด้านข้างของปริซึม สามารถวาดรูปคลี่ของปริซึมได้ แล้วนำความรู้เรื่องรูปคลี่ไปใช้ในการแก้ปัญหาค้นหาพื้นที่ผิวของปริซึม นำความรู้เรื่องลักษณะของปริซึมไปใช้แก้ปัญหาค้นหาปริมาตรของปริซึมได้ จากการสัมภาษณ์นักเรียนส่วนใหญ่ชอบการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ทำให้สามารถมองรูปปริซึมแบบต่าง ๆ ได้ชัดเจน ได้ลงมือปฏิบัติ โดยการเลื่อน เปลี่ยนรูปปริซึมแบบต่าง ๆ ทำให้การเรียนรู้ไม่น่าเบื่อ สนุกสนาน

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยในครั้งต่อไปดังนี้

1. ควรนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ในระดับชั้นที่ต่างกันหรือสาระการเรียนรู้ที่ซับซ้อนเพื่อให้ผู้เรียนมีทักษะการแก้โจทย์ปัญหาเพิ่มขึ้น
2. ควรมีการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเรียนของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรม GeoGebra เช่น ความวิตกกังวล และความคงทนในการเรียน

เอกสารอ้างอิง

- Alkhateeb, M. A. and Al-Duwairi, A. M. (2019). The effect of using mobile applications (GeoGebra and sketchpad) on the students' achievement. **Journal of Mathematics Education**, 14(3), 523-533.
- Azizul, S. M. J. and Din, R. (2018). Teaching and Learning Mathematics on Geometry Using GeoGebra Software via MOOC. **Journal of Personalized Learning**, 2(1), 40-51.
- Battista, M. (1999). Fifth graders' enumeration of cubes in 3D arrays: Conceptual progress in an inquiry based classroom. **Journal for Research in Mathematics Education**, 30(4), 417-448.
- Battista, M. (2003). Understanding students' thinking about area and volume measurement. Reston: National Council of Teachers of Mathematics.
- Chehlarova, T. and Chehlarova, K. (2014). Photo-pictures and dynamic software or about the motivation of the art-oriented students. **The International Journal for Technology in Mathematics Education**, 21(1), 27-31.
- Hutkemri, L. and Akmar, S. (2016). Effectiveness of GeoGebra on academic and conceptual knowledge: role of students' procedural knowledge as a mediator. **New Educational Review**, 44(2), 153-164.
- Jones, K. (2002). Issues in the teaching and learning of geometry. London: Routledge Falmer.
- Jones, K., and Mooney, C. (2003). Making space for geometry in primary mathematics. London: Open University Press.
- National Council of Teachers of Mathematics (2000). Principles and standards for school mathematics. Reston: Va, NCTM.
- López, N. R. (2011). GeoGebra workshop for the initial teacher training in primary education. **The International Journal for Technology in Mathematics Education**, 18(4), 183-188.
- Owens, K. and Outhred, L. (2006). The complexity of learning geometry and measurement. Rotterdam: Sense Publishers.
- Pittalis, M., and Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3d geometry thinking and their relation with spatial ability. **Educational Studies in Mathematics**, 75(2), 191-212.
- Richardson, S. and Koyunkaya, M. (2017). Fostering students' development of the concept of angles using technology. **Australian Primary Mathematics Classroom**, 22(1), 13-20.
- Zengin, Y. and Tatar, E. (2017). Integrating dynamic mathematics software into cooperative learning environments in mathematics. **Journal of Educational Technology and Society**, 20(2), 74-88.
- Zeynep, A. D. and Abdulkadir, E. (2018). Development of a three dimensional geometric thinking test for early graders. **Journal on Mathematics Education**, 9(2), 213-226.

บทความวิจัย

ผลของการใช้ Kahoot เป็นเครื่องมือช่วยวัดประเมินผลระหว่างเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์

เจษฎา ราชฤทธิ์นิม^{1*} กัญญาณัฐ จงพิงกลาง¹, มนมนัส สุดสิ้น¹, กรกมล ชูช่วย¹, สุมาลี เทียนทองดี¹ และอารยา ลี¹¹สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

*Email: jadsada.ra@ssru.ac.th

รับบทความ: 28 สิงหาคม 2564 แก้ไขบทความ: 15 ตุลาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 2 พฤศจิกายน 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot 2) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 28 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ข้อมูลสถิติวิเคราะห์โดยใช้ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนที่เพิ่มขึ้นจริง และการทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ข้อมูลไม่เป็นอิสระต่อกัน ผลการวิจัยพบว่า 1) คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 2) ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 3) ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 Kahoot ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความสามารถในการคิดวิเคราะห์

อ้างอิงบทความนี้

เจษฎา ราชฤทธิ์นิม กัญญาณัฐ จงพิงกลาง มนมนัส สุดสิ้น กรกมล ชูช่วย สุมาลี เทียนทองดี และอารยา ลี. (2564). ผลของการใช้ Kahoot เป็นเครื่องมือช่วยวัดประเมินผลระหว่างเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 264 - 278.

Research Article

The effect of using Kahoot as a formative assessment tool in 4Ex2 learning management on learning achievement and analytical thinking ability

Jadsada Ratniyom^{1,*}, Kanyanat Jongpungklang¹, Monmanus Sudsin¹, Kornkamol Chuchuoy¹,
Sumalee Tientongdee¹ and Araya Lee¹

¹General Science Program, Faculty of Education, Suan Sunandha Rajabhat University

*Email: jadsada.ra@ssru.ac.th

Received <28 August 2021>; Revised <15 October 2021>; Accepted <2 November 2021>

Abstract

The purposes of this research were to: 1) compare grade 7 students' learning achievement in science on the topic of thermal energy before and after the implementation of 4Ex2 learning management with Kahoot, 2) compare students' analytical thinking ability before and after the implementation of 4Ex2 learning management with Kahoot, and 3) investigate students' satisfaction towards 4Ex2 learning management with Kahoot. The samples of this study were 28 grade 7 students who enrolled in the second semester, academic year of 2020, at a large-size secondary school in Bangkok. These students were randomly selected by cluster random sampling method. The research instruments consisted of lesson plans, a learning achievement test, an analytical thinking ability test, and a students' satisfaction survey. The data were analyzed by means, standard deviation, normalized gain and t-test for dependent sample. The results of this study revealed as follow: 1) the average score of students' learning achievement after the implementation of 4Ex2 learning management with Kahoot was significantly higher than that before implementation at 0.01 level; 2) the average score of students' analytical thinking ability after the implementation of 4Ex2 learning management with Kahoot was significantly higher than that before implementation at 0.01 level; and 3) the students' satisfaction towards 4Ex2 learning management with Kahoot was at the highest level.

Keywords: 4Ex2 learning management, Kahoot, learning achievement, analytical thinking ability

SCI
UBU ATOMIC

Cite this article:

Ratniyom, J., Jongpungklang, K., Sudsin, M., Chuchuoy, K., Tientongdee, S. and Lee, A. (2021). The effect of using Kahoot as a formative assessment tool in 4Ex2 learning management on learning achievement and analytical thinking ability (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 264 - 278.

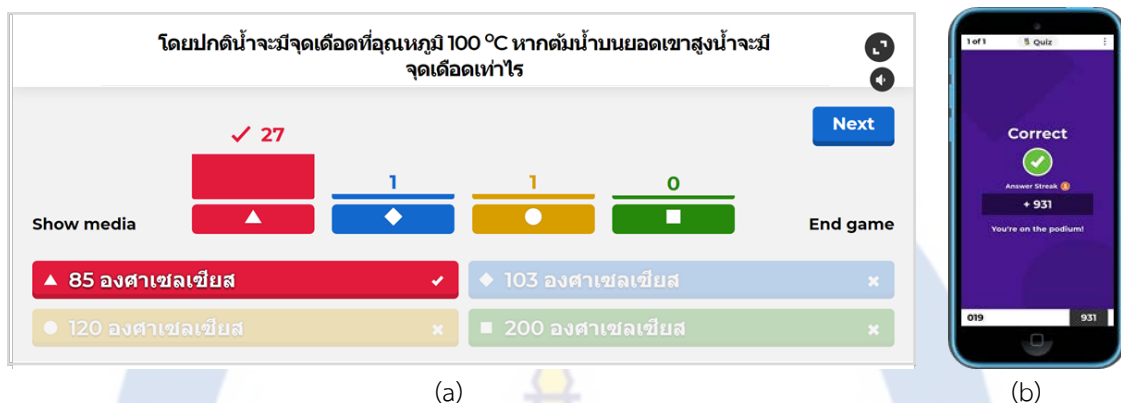
บทนำ

การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้พัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ควบคู่ไปกับเนื้อหาในบทเรียน ความสามารถในการคิดวิเคราะห์นอกจากจะเป็นทักษะที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยในการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์แล้วยังเป็นหนึ่งในสมรรถนะสำคัญของผู้เรียนที่หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ตั้งเป็นเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาผู้เรียน (Bureau of Educational Testing, 2012) สอดคล้องกับคำกล่าวของ Sutharat (2004) ที่ได้กล่าวถึงความสำคัญของการคิดวิเคราะห์ไว้ว่า การคิดวิเคราะห์มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวัน เป็นทักษะที่ทำให้ผู้คิดมีความชำนาญในการคิด สามารถก่อให้เกิดผลผลิตทางปัญญาที่ดีกว่า และส่งผลให้การกระทำด้านต่าง ๆ มีเหตุผลและประสิทธิภาพมากขึ้น จากการที่ประเทศไทยได้เข้าร่วมโครงการประเมินผลนักเรียนร่วมกับนานาชาติ หรือ Programme for International Student Assessment (PISA) ซึ่งเป็นการประเมินที่เน้นการวัดทักษะการคิดวิเคราะห์มากกว่าการท่องจำเนื้อหาในบทเรียน พบว่าผลการประเมิน PISA 2018 ในส่วนความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยมีคะแนนเฉลี่ย 426 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, กลุ่มประเทศสมาชิกองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา) ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 489 คะแนน (The Institute For The Promotion Of Teaching Science And Technology, 2021) ผลนี้สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนไทยส่วนใหญ่ยังมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งหากผู้เรียนขาดทักษะทางการคิดวิเคราะห์แล้วจะส่งผลถึงความสามารถในการเรียนรู้เนื้อหาในบทเรียนวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ ผู้เรียนอาจไม่สามารถวิเคราะห์เนื้อหาหรือเชื่อมโยงเนื้อหาที่เรียนแต่ละส่วนเข้าด้วยกันได้ และอาจไม่สามารถวิเคราะห์รายละเอียดอื่นที่นอกเหนือจากในบทเรียน รวมถึงไม่สามารถใช้กระบวนการคิดอย่างเป็นขั้นตอนได้ ซึ่งอาจส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตกต่ำ ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติด้านขั้นพื้นฐาน (O-NET) ปีการศึกษา 2562 (National Institute of Educational Testing Service, 2019) พบว่า นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีคะแนนเฉลี่ยวิชาวิทยาศาสตร์เท่ากับ 30.07 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 50 ผลนี้สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนยังมีความรู้ความเข้าใจในรายวิชาวิทยาศาสตร์ไม่เพียงพอ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับห้องเรียน ดังจะเห็นได้จาก การพิจารณาผลสอบของคะแนน O-NET จำแนกตามสาระพบว่า สาระที่ 5 พลังงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.51 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงหยิบยกบทเรียนเรื่อง พลังงานความร้อน ซึ่งอยู่ในสาระที่ 5 เป็นเนื้อหาในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนให้เพิ่มสูงขึ้น

จากการค้นคว้าและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อจะพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ (Chuenban and Chanchusakun, 2020; Keawsingam, 2011; Marshall et al., 2009; Theeramethakul and Art-in, 2020) การจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนามาจากรูปแบบการเรียนรู้แบบสืบเสาะ โดยนำมาบูรณาการกับการสะท้อนการรู้คิดและการประเมินผลระหว่างเรียน ซึ่งจะมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ใช้กระบวนการคิด และทักษะความรู้เดิมในการสร้างความรู้ นำไปสู่การสรุปความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปแก้ไขปัญหา โดยมีครูผู้สอนเป็นผู้ประเมินผลระหว่างเรียน (Marshall et al., 2009; Theeramethakul and Art-in, 2020) รูปแบบการเรียนการสอนแบบ 4E×2 ประกอบไปด้วยโครงสร้าง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 รูปแบบการเรียนการสอนแบบสืบเสาะ ซึ่งเป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบองค์ความรู้ด้วยตัวผู้เรียน ซึ่งมีขั้นตอน 4 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นสำรวจและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป 4) ขั้นขยายความคิด ส่วนที่ 2 การสะท้อนการรู้คิด เป็นการตรวจสอบความคิดของนักเรียนผ่านการพูด เขียน หรือแสดงออก ส่วนที่ 3 การประเมินผลระหว่างเรียน ซึ่งจะทำในระหว่างการเรียนการสอนเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยผู้สอนจะนำโครงสร้างทั้ง 3 ส่วนมาบูรณาการเข้าด้วยกันในการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ในการปฏิบัติการสอนจริงในห้องเรียนการประเมินผลการเรียนรู้ระหว่างการจัดการเรียนรู้ทำได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น ในขั้นการทบทวนความรู้เดิมของผู้เรียน หากครูใช้วิธีการสังเกตการตอบคำถามของนักเรียนทั้งห้องในภาพรวม จะทำให้มีเฉพาะนักเรียนที่เก่งตอบคำถาม ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าภาพรวมของทั้งห้องมีความรู้เดิมเพียงพอที่จะนำมาต่อยอดการเรียนรู้ในหัวข้อถัดไปได้หรือไม่ ผู้วิจัยในฐานะผู้สอนจึงต้องแสวงหานวัตกรรมที่ช่วยประเมินผลระหว่างการจัดการเรียนรู้และเห็นภาพรวมของทั้งห้องเรียนได้ นวัตกรรมหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ คือ การใช้แพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์อย่าง Kahoot มาร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2

Kahoot เป็นแพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์ที่ช่วยสร้างเกมตอบคำถามแบบตัวเลือกที่สามารถใส่รูปภาพประกอบพิมพ์สูตรสารเคมีและสมการทางคณิตศาสตร์ได้ และใช้งานได้ง่ายผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์และแอปพลิเคชัน (Chaiyo and Nokham, 2017) ข้อโดดเด่นประการหนึ่งของ Kahoot คือ เมื่อนักเรียนเข้าตอบคำถามเสร็จสิ้นในแต่ละข้อ หน้าจอฝั่งผู้สอนจะแสดงจำนวนนักเรียนที่เลือกตัวเลือกในแต่ละข้อคำถามนั้นโดยไม่ระบุชื่อว่าเป็นใครเลือกตัวเลือกใด (แสดงในภาพที่ 1) ทำให้ผู้สอนสามารถประเมินภาพรวมของทั้งห้องเรียนได้ ณ ขณะทำการสอนว่านักเรียนยังไม่เข้าใจหัวข้อใด ผู้สอนจะได้ทบทวนหรือเน้นย้ำ

ในหัวข้อนั้น ๆ ได้ นอกจากนี้ Kahoot ยังมีประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้อีกหลายประการ อาทิ สามารถช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้ (Licorish *et al.*, 2018; Wang and Tahir, 2020) สามารถใช้เป็นเครื่องมือประเมินผลระหว่างการจัดการเรียนรู้ได้กับการเรียนในห้องเรียน การเรียนแบบออนไลน์ และการเรียนแบบผสมผสาน การเรียนแบบผสมผสานเป็นการเรียนที่แบ่งนักเรียนออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียนในห้องเรียนและอีกส่วนเรียนแบบออนไลน์อยู่ที่บ้านไปพร้อมกัน ซึ่งการเรียนในลักษณะนี้เกิดขึ้นในประเทศไทยในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 (Ismail *et al.*, 2019; Nkhoma, *et al.*, 2018) และยังช่วยเพิ่มความสุขสนุกสนานในระหว่างการจัดการเรียนรู้ (Wang and Tahir, 2020; Yapici and Karakoyun, 2017)



ภาพที่ 1 (a) ตัวอย่างหน้าจอของ Kahoot ที่แสดงการตอบกลับของนักเรียนทั้งห้อง (b) หน้าจอฝั่งนักเรียน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 โดยใช้ Kahoot เป็นเครื่องมือช่วยวัดประเมินผลในระหว่างการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อน และศึกษาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เรื่อง พลังงานความร้อน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

สมมติฐานการวิจัย

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01
2. ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01
3. ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot อยู่ในระดับมากที่สุด

นิยามศัพท์

1. การจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot หมายถึง การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งจะมีการประเมินและการสะท้อนความคิดอย่างรู้คิดของผู้เรียนในทุกขั้นตอน โดยมีการบูรณาการการประเมินการสะท้อนความคิดอย่างรู้คิดเข้ากับเกมตอบคำถาม Kahoot แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1 *ขั้นสร้างความสนใจ* เป็นการจัดกิจกรรมเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน เพื่อให้มีความพร้อมในการเรียน และเป็นการทบทวนพื้นฐานความรู้เดิมของนักเรียน โดยมีการประเมินและสะท้อนความคิดอย่างรู้คิดในระหว่างเรียน

การประเมิน

ผู้สอนจะใช้ Kahoot ในการสร้างเกมตอบคำถาม เพื่อวัดความรู้ความเข้าใจเดิม และประเมินความรู้เดิมที่คลาดเคลื่อน

การสะท้อนความคิดอย่างรู้คิด

พิจารณาจากคำตอบที่นักเรียนตอบ ว่านักเรียนมีความรู้เดิมเพียงพอที่จะเรียนรู้ในหัวข้อใหม่หรือไม่ และความรู้ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในประเด็นใด

1.2 *ขั้นสำรวจและค้นหา* เป็นขั้นที่นักเรียนทำการสำรวจ ค้นหา หาข้อมูลเพื่อตอบประเด็นคำถามที่ได้กำหนดไว้ โดยผู้สอนมีหน้าที่สนับสนุนให้ผู้เรียนค้นพบคำตอบด้วยตนเอง โดยมีการประเมินและสะท้อนความคิดอย่างรู้คิดในระหว่างเรียน

การประเมิน

ผู้สอนใช้เกม Kahoot ในการสร้างเกมตอบคำถาม จำนวน 3–5 ข้อ โดยมีเวลาข้อละ 30–60 วินาที

การสะท้อนความคิดอย่างรู้คิด

พิจารณาจากการคาดคะเนคำตอบของผู้เรียน และการรวบรวมข้อมูลที่สืบค้นมา ว่าสอดคล้องกับเนื้อหาที่ทำการศึกษาหรือไม่

1.3 *ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป* เป็นการนำข้อมูลที่ได้อธิบายวิเคราะห์ สังเคราะห์ แปลความหมายข้อมูลและสรุปข้อมูลเพื่อนำมาอธิบายข้อเท็จจริง โดยมีการประเมินและสะท้อนความคิดอย่างรู้คิดในระหว่างเรียน

การประเมิน

ประเมินจาก ข้อสรุปของการอภิปรายร่วมกัน การนำเสนอ ใบงานสรุปผลการทดลอง

การสะท้อนความคิดอย่างรู้คิด

พิจารณาจากคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้นำมา

1.4 *ขั้นขยายความคิด* เป็นขั้นที่ครูนำเสนอปัญหา หรือสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เรียนได้มีการเชื่อมโยงความรู้ หรือนำความรู้ที่ได้มาอธิบายปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ที่กำหนด โดยมีการประเมินและสะท้อนความคิดอย่างรู้คิดในระหว่างเรียน

การประเมิน

ใช้เกม Kahoot ในการสร้างเกมตอบคำถาม จำนวน 3–5 ข้อ โดยมีเวลาข้อละ 30–60 วินาที

การสะท้อนความคิดอย่างรู้คิด

ผู้สอนประเมินการสะท้อนความคิดของนักเรียนโดยพิจารณาจากการประยุกต์ใช้ความรู้ และการเชื่อมโยงความรู้เข้าด้วยกันเพื่อตอบประเด็นปัญหา

2. *ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน* หมายถึง ผลการเรียนรู้ของผู้เรียนในวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อน ที่ครอบคลุมทั้งด้านความรู้ความจำ ความเข้าใจ และความสามารถในการนำไปใช้ของผู้เรียน ซึ่งวัดได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

3. *ความสามารถในการคิดวิเคราะห์* หมายถึง ความสามารถในการจำแนก แยกแยะ เพื่อหาความเชื่อมโยงและความเกี่ยวข้องกันของข้อมูล นำไปสู่ข้อเท็จจริง ซึ่งสามารถวัดได้จากการทำแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ประกอบไปด้วย การคิดวิเคราะห์ความสำคัญ การคิดวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และการคิดวิเคราะห์หลักการ

4. *ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้* หมายถึง ความรู้สึกหรือทัศนคติของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot ที่ครอบคลุม 3 ด้าน คือ ด้านบรรยากาศในการเรียนรู้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านประโยชน์ที่ได้รับ โดยวัดจากแบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. *แบบแผนการวิจัย* การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบ one-group pretest-posttest design ใช้กลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียว ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ในกรุงเทพมหานคร สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานประเภทสามัญศึกษา ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 12 ห้องเรียน รวม 360 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ในกรุงเทพมหานคร ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 28 คน ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (cluster random sampling)

3. ขอบเขตการศึกษา

เนื้อหาบทเรียนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นไปตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เรื่อง พลังงานความร้อน เนื้อหาย่อยประกอบด้วย 1) ความร้อนกับการขยายหรือหดตัวของสาร 2) เทอร์โมมิเตอร์ 3) การนำความร้อน และ 4) การพาความร้อน

4. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ การจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

ตัวแปรตาม ได้แก่ 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 2) ความสามารถทางการคิดวิเคราะห์ และ 3) ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

5.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot เรื่อง พลังงานความร้อน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 8 แผน ใช้ระยะเวลาในการสอน 12 คาบ คาบเรียนละ 50 นาที ได้แก่

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 และ 2 เรื่อง ความร้อนและการขยายตัวของสาร

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 และ 4 เรื่อง เทอร์โมมิเตอร์และการเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 และ 6 เรื่อง การถ่ายโอนความร้อน (การนำความร้อน) และ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7 และ 8 เรื่อง การถ่ายโอนความร้อน (การพาความร้อน)

โดยมีขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพ ดังนี้ 1) ศึกษาสาระและมาตรฐานการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) 2) ศึกษาทฤษฎีและหลักการการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3) จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot 4) นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ตรวจสอบความถูกต้องและประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of item objective congruence: IOC) ด้านจุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา กิจกรรมการเรียนรู้และการวัดประเมินผล พบว่าผลการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง มีค่าเท่ากับ 0.67–1.00 5) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ตรวจสอบแล้วมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ 6) นำแผนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อย 7) นำแผนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot ที่ผ่านการประเมินค่าความสอดคล้องไปทดลองใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แต่มีความรู้ความเข้าใจในระดับใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่มีปัญหาด้านเวลาในการดำเนินกิจกรรม และได้ปรับปรุงแก้ไขปัญหาด้านเวลาให้เหมาะสมยิ่งขึ้น 8) นำแผนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างการจัดกิจกรรมในแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง การเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ แสดงในตารางที่ 1

5.2 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พลังงานความร้อน ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการสร้างและหาคุณภาพตามขั้นตอนต่อไปนี้ 1) ศึกษารายละเอียดจากคู่มือครูและหนังสือแบบเรียนวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เรื่อง พลังงานความร้อน 2) ศึกษาเนื้อหาและตัวชี้วัดหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เพื่อวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ที่คาดหวังของวิชาวิทยาศาสตร์ หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 พลังงานความร้อน 3) สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พลังงานความร้อน จำนวน 60 ข้อ 4) นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างขึ้น ไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ตรวจสอบประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) แบบทดสอบที่ถือว่ามีความเที่ยงตรงตามจุดประสงค์หรือเนื้อหาในระดับที่สามารถนำไปวัดผลได้จะต้องมีค่า IOC ระหว่าง 0.67 – 1.00 5) นำแบบทดสอบที่ผ่านการประเมินค่าความสอดคล้องไปทดลองใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แต่มีความรู้ความเข้าใจในระดับใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง 6) วิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นรายข้อ แล้วพิจารณาคัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20 – 0.80 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป

และค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป 7) คัดเลือกข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 30 ข้อ โดยพบว่าข้อสอบมีค่าความยากง่าย อยู่ระหว่าง 0.21 – 0.72 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.37 – 0.70 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.93 8) จัดทำเป็น แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับจริง จำนวน 30 ข้อ แบ่งเป็นด้านความรู้ความจำ จำนวน 6 ข้อ ด้านความเข้าใจ จำนวน 13 ข้อ และด้านการนำไปใช้จำนวน 11 ข้อ เพื่อใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แสดงในภาพที่ 2(a)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมในแผนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot เรื่อง การเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรม
ขั้นสร้างความสนใจ	1) ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนคละความสามารถ เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 4-5 คน แต่ละกลุ่ม รับสัญลักษณ์ธงประเทศต่าง ๆ เช่น ประเทศไทย ประเทศอังกฤษ ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น 2) ครูอธิบายให้นักเรียนสืบค้นหน่วยวัดอุณหภูมิของประเทศที่ตนเองได้รับ และให้แต่ละกลุ่ม ช่วยกันอภิปรายเกี่ยวกับหน่วยวัดอุณหภูมิ เพื่อเชื่อมโยงไปสู่การเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ 3) นักเรียนแต่ละคนร่วมกันตอบคำถามผ่าน Kahoot เพื่อเป็นการประเมินและสะท้อนความคิด ของผู้เรียนในประเด็นต่อไปนี้ - หน่วยวัดอุณหภูมิแต่ละหน่วยแตกต่างกันหรือไม่ - ข้อใดต่อไปนี้ไม่ใช่หน่วยวัดอุณหภูมิ
ขั้นสำรวจและค้นหา	1) นักเรียนในแต่ละกลุ่มร่วมกันศึกษาหน่วยวัดอุณหภูมิจากใบความรู้ หนังสือเรียน หรือสืบค้น จากอินเทอร์เน็ต โดยมีประเด็นศึกษา คือ หน่วยวัดอุณหภูมิ จุดอ้างอิงในการวัดอุณหภูมิ และ การเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิ แล้วทำการบันทึกข้อมูลที่สืบค้นได้ในใบงานที่มอบหมายให้ 2) นักเรียนร่วมกันตอบคำถามผ่าน Kahoot เพื่อเป็นการประเมินและสะท้อนความคิดของ ผู้เรียนในประเด็นต่อไปนี้ - หน่วยองศาเซลเซียส มีจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของน้ำมีค่ากี่องศาเซลเซียส - ข้อใดคือจุดอ้างอิงในการวัดอุณหภูมิ - หน่วยเคลวิน มีจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของน้ำมีค่ากี่เคลวิน
ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป	1) นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายสรุปองค์ความรู้เกี่ยวกับหน่วยวัดอุณหภูมิ และจดบันทึกหาก มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน ครูจะให้คำแนะนำและปรับแก้ไขให้ถูกต้อง 2) นักเรียนร่วมกันตอบคำถามตามประเด็นต่อไปนี้ - การเปลี่ยนหน่วยวัดอุณหภูมิ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่าง ๆ ทำได้อย่างไร - เพราะเหตุใดจึงต้องใช้ใช้น้ำเป็นจุดอ้างอิงในการวัดอุณหภูมิ 3) การประเมินและการสะท้อนความคิดของผู้เรียน จะพิจารณาจากความถูกต้องของข้อสรุปที่ ได้จากการอภิปราย
ขั้นขยายความคิด	1) ครูยกตัวอย่าง อุณหภูมิของอาหารแช่แข็งในร้านสะดวกซื้อ แล้วให้นักเรียนฝึกเปลี่ยนหน่วยเป็น เคลวิน และองศาฟาเรนไฮต์ จากนั้นให้นักเรียนฝึกเปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจากใบงานที่มอบหมาย 2) นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายประเด็นเกี่ยวกับจุดเดือดของน้ำเมื่อนำไปต้มบนภูเขาสูงและ จุดเดือดของน้ำเมื่อต้มที่ระดับน้ำทะเล ว่าจะมีจุดเดือดที่เท่ากันหรือไม่ จนได้ข้อสรุปว่าหากเรา ต้มน้ำบนพื้นราบที่ระดับน้ำทะเล น้ำจะมีจุดเดือดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส แต่เมื่อขึ้นไปต้มบน ภูเขาสูง ความดันอากาศจะลดต่ำลง ทำให้จุดเดือดของน้ำต่ำลง 3) นักเรียนแต่ละคนร่วมกันตอบคำถามผ่าน Kahoot เพื่อเป็นการประเมินและสะท้อนความคิด ของผู้เรียนในประเด็นต่อไปนี้ - ปกติน้ำมีจุดเดือด 100 °C หากต้มน้ำบนยอดเขาสูงน้ำจะมีจุดเดือดเท่าไร (ตัวเลือกจะแสดง ในหน่วยองศาเซลเซียส คำตอบที่ถูกต้องคือ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 100 °C) - ปกติน้ำมีจุดเดือด 100 °C หากต้มน้ำบนยอดเขาสูงน้ำจะมีจุดเดือดเท่าไรในหน่วยเคลวิน (คำตอบที่ถูกต้องคือ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 373 เคลวิน) - ปกติน้ำมีจุดเดือด 100 °C หากต้มน้ำบนยอดเขาสูงน้ำจะมีจุดเดือดเท่าไรในหน่วยฟาเรนไฮต์ (คำตอบที่ถูกต้องคือ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 212 องศาฟาเรนไฮต์)

5.3 แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการสร้างและหาคุณภาพตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) ศึกษาหนังสือ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการคิดวิเคราะห์และกำหนดนิยามความสามารถในการคิดวิเคราะห์ 2) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ (Chareonwongsak, 2010; On-nangyai, 2012; Sutharat, 2004) 3) สร้างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 60 ข้อ 4) นำแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ที่สร้างขึ้น ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับกรอบนิยามของความสามารถในการคิดวิเคราะห์แต่ละด้าน แบบทดสอบที่ถือว่ามีความเที่ยงตรงตามเนื้อหาในระดับดีจะต้องมีค่า IOC ระหว่าง 0.67 – 1.00 5) นำแบบทดสอบที่ผ่านการประเมินค่าความสอดคล้องไปทดลองใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แต่มีความรู้ความเข้าใจในระดับใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง 6) วิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์เป็นรายข้อ 7) คัดเลือกข้อสอบที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 30 ข้อ โดยพบว่าข้อสอบมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.22 – 0.53 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.36 – 0.72 และมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.91 8) จัดทำเป็นแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ฉบับจริง จำนวน 30 ข้อ แบ่งเป็นการคิดวิเคราะห์ความสำคัญจำนวน 6 ข้อ การคิดวิเคราะห์ความสัมพันธ์จำนวน 10 ข้อ และการคิดวิเคราะห์หลักการจำนวน 14 ข้อ เพื่อใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์แสดงในภาพที่ 2(b)

5.4 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot เป็นแบบประเมินค่า 5 ระดับ ข้อคำถามจำนวน 15 ข้อ มีขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพ ดังนี้ 1) ศึกษาเอกสาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้และกำหนดนิยามความพึงพอใจที่ต้องการศึกษา 2) สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ตามแนวคิดของ Likert ข้อคำถามจำนวน 25 ข้อ 3) นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่ได้สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม และประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างรายการข้อคำถามกับนิยามศัพท์เฉพาะของพฤติกรรมที่จะวัด 4) นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ 5) คัดเลือกข้อคำถามที่มีค่า IOC สูงกว่า 0.67 จำนวน 15 ข้อ ไปทดลองใช้กับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างซึ่งเคยได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นโดยใช้วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ซึ่งพบว่าแบบสอบถามมีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.23 – 0.77 และมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.88 6) นำแบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

(a) ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้

เด็กชาย ก ทดลองวางปลายเหล็กด้านหนึ่งไว้ในอ่างน้ำร้อน แล้วทิ้งไว้สักครู่ พบว่าปลายอีกด้านหนึ่งของแท่งเหล็กมีความร้อนเกิดขึ้นจนเด็กชาย ก ไม่สามารถจับแท่งเหล็กด้วยมือเปล่าได้

ถ้าหากเด็กชาย ก ไม่มีแท่งเหล็ก นักเรียนควรแนะนำให้เด็กชาย ก ใช้วัสดุใดแทนในการทดลอง เพื่อให้ได้ผลการทดลองเช่นเดิม

(การนำไปใช้)

- ก. กิ่งไม้
- ข. แท่งแก้ว
- ค. ข้อนโลหะ
- ง. แท่งพลาสติก

(b) ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์

ในการทำทดลองเกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นไม้ขนาดเล็ก 2 ต้น โดยต้น A คลุมด้วยถุงสีดำภายในถุงอัดอากาศที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมาก ส่วนต้น B คลุมด้วยถุงสีดำภายในอัดอากาศที่ไม่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วนำทั้งสองต้นไปตั้งไว้กลางแดดเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

นักเรียนคิดว่าจะได้ผลการทดลองอย่างไร (การคิดวิเคราะห์เชิงหลักการ)

- ก. ทั้งต้น A และต้น B มีการสังเคราะห์ด้วยแสง
- ข. ทั้งต้น A และต้น B ไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง
- ค. ต้น A มีการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนต้น B ไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง
- ง. ต้น B มีการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนต้น A ไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง

ภาพที่ 2 (a) ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่องพลังงานความร้อน และ (b) ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล

6.1 ผู้วิจัยจัดทำเอกสารโครงการวิจัยและชี้แจงจุดประสงค์ของการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทราบและให้ลงนามยินยอมเข้าร่วมการวิจัยตามความสมัครใจ เพื่อพิทักษ์สิทธิของกลุ่มตัวอย่างและสอดคล้องกับข้อปฏิบัติของจริยธรรมการวิจัยในคน ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะถูกเก็บเป็นความลับและเผยแพร่ผลการวิจัยในภาพรวมเท่านั้น

6.2 ดำเนินการให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนการจัดการเรียนรู้ (Pre-test)

6.3 ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot เรื่อง พลังงานความร้อน ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างไว้ จำนวน 8 แผน ดำเนินการจัดการเรียนรู้ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 12 คาบ

6.4 ดำเนินการให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์หลังการจัดการเรียนรู้ (Post-test) จำนวน 30 ข้อ และทำแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ จำนวน 30 ข้อ ซึ่งเป็นข้อสอบฉบับเดียวกับแบบทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้

6.5 ดำเนินการให้กลุ่มตัวอย่างประเมินความพึงพอใจจากแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

6.6 นำข้อมูลที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

6.7 ข้อมูลดิบที่ได้จากการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างจะถูกทำลายหลังจากวิเคราะห์ข้อมูลในภาพรวมเสร็จสิ้นภายใน 60 วัน และจะนำเสนอข้อมูลในภาพรวมเท่านั้น เพื่อสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของจริยธรรมการวิจัยในคน

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและคะแนนของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้

7.2 ทดสอบความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและคะแนนของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (t-test for dependent samples)

7.3 วิเคราะห์หาความก้าวหน้าทางการเรียนที่เพิ่มขึ้นจริงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์ โดยหาจากค่า normalized gain (Hake, 1998; Tongchai, *et al.*, 2007) ค่า normalized gain เป็นค่าที่แสดงถึงผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของผู้เรียนเป็นกึ่งเท่าของผลการเรียนรู้ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ หาได้จากสูตร

$$\text{Normalized gain} = \frac{(\% \text{post-test} - \% \text{pre-test})}{(100 - \% \text{pre-test})}$$

เมื่อ %post-test คือ ร้อยละของคะแนนของแบบทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้

%pre-test คือ ร้อยละของคะแนนของแบบทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้

ค่า normalized gain มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.0 และถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับสูง (high gain) เมื่อค่า normalized gain > 0.7, ระดับปานกลาง (medium gain) เมื่อค่า normalized gain อยู่ระหว่าง 0.3 – 0.7 และระดับต่ำ (low gain) เมื่อค่า normalized gain < 0.3 ค่า normalized gain ในงานวิจัยนี้จะหาจากนักเรียนรายบุคคลและนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะเรียกว่า ค่า average normalized gain

7.4 วิเคราะห์ผลการวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot และแปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

จากการวิเคราะห์คะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot มีค่า 15.59 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.33 ส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังการจัดการเรียนรู้ มีค่า 20.50 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.97 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot โดยใช้การทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ข้อมูลไม่เป็นอิสระต่อกัน พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 เมื่อทราบแล้วว่าคะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มีความแตกต่างกัน ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ค่า average normalized gain พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.34 ซึ่งถือว่าผู้เรียนมีผลความก้าวหน้าทางการเรียนรู้อยู่ ในระดับปานกลาง (medium gain) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่า average normalized gain ของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	t-test	p-value	average normalized gain
ก่อนการจัดการเรียนรู้	30	15.59	3.33	10.89**	< 0.001	0.34
หลังการจัดการเรียนรู้	30	20.50	2.97			

** นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

2. ผลการศึกษาคะแนนของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

จากการวิเคราะห์คะแนนของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ พบว่า คะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot มีค่า 16.88 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.00 ส่วนคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลังการจัดการเรียนรู้ มีค่า 21.60 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.52 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot ผ่านการใช้การทดสอบผลต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ข้อมูลไม่เป็นอิสระต่อกัน พบว่าคะแนนของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และพบว่ามีค่า average normalized gain ของคะแนนแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เท่ากับ 0.37 อยู่ในระดับปานกลาง (medium gain) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า average normalized gain ของคะแนนแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

ความสามารถในการคิดวิเคราะห์	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	t-test	p-value	average normalized gain
ก่อนการจัดการเรียนรู้	30	16.88	4.00	12.25**	< 0.001	0.37
หลังการจัดการเรียนรู้	30	21.60	3.52			

**นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3. ผลการศึกษความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot

ผลการศึกษา พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจในภาพรวมต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 เมื่อพิจารณาผลการวัดความพึงพอใจรายด้าน พบว่า ด้านบรรยากาศในการเรียนรู้ มีระดับความพึงพอใจสูงสุด คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.78 (ระดับพึงพอใจมากที่สุด) และส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 รองลงมาคือ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.69 (ระดับพึงพอใจมากที่สุด) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 และด้านประโยชน์ที่ได้รับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 (ระดับพึงพอใจมากที่สุด) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.55

อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการใช้ Kahoot เป็นเครื่องมือช่วยวัดประเมินผลระหว่างเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนการจัดการเรียนรู้เท่ากับ 15.59 (S.D. = 3.33) ซึ่งเป็นคะแนนที่ได้ถึงร้อยละ 50 ของคะแนนเต็ม 30 คะแนน ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเนื้อหาในการเรียนรู้นั้นเชื่อมโยงกับบทเรียนก่อนหน้าที่ผู้เรียนได้ทำการศึกษาไปในภาคเรียนแรก อีกทั้งยังมีเนื้อหาที่เชื่อมโยงกับเหตุการณ์ในชีวิตประจำวัน ทำให้ผู้เรียนมีการเชื่อมโยงความรู้เก่าและความรู้ใหม่เข้าด้วยกัน เป็นผลให้ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนการจัดการเรียนรู้มากกว่าครึ่งของคะแนนเต็ม แต่อย่างไรก็ตามคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot เพิ่มขึ้นสูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ และมีค่าผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (normalized gain) เท่ากับ 0.34 อยู่ในระดับปานกลาง (ตารางที่ 2) ผลนี้แสดงให้เห็นว่า หลังจากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ อันเป็นผลมาจากกระบวนการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 4E×2 ทั้ง 4 ขั้น ได้แก่ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นสำรวจและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป และ 4) ขั้นขยายความคิด ซึ่งในแต่ละขั้นจะต้องมีการประเมินและสะท้อนความคิดของผู้เรียนในทุกขั้นตอน โดยผู้วิจัยได้มีการนำ Kahoot มาใช้ในการประเมินและสะท้อนความคิดในการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ทำให้ผู้สอนทราบว่าผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในบทเรียนมากขึ้นเพียงใดหรือยังขาดความรู้ในเรื่องใดบ้าง ก่อนจะนำไปสู่การเรียนรู้ในขั้นต่อไป ซึ่งทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในบทเรียนไปทีละขั้นตอนอย่างละเอียด และจดจำเนื้อหาแต่ละส่วนได้มากขึ้น Kahoot เป็นแพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์ผ่านเกมตอบคำถาม โดยนักเรียนจะสามารถเข้ามาตอบคำถามผ่านทางแอปพลิเคชันหรือบนหน้าเว็บไซต์ในขณะที่ทำการจัดการเรียนรู้ จึงช่วยส่งเสริมการมีส่วนร่วมในชั้นเรียนของผู้เรียน สร้างความสนุกสนานระหว่างการเรียนรู้และส่งเสริมบรรยากาศแห่งการเรียนรู้ (Chaiyo and Nokham, 2017; Licorish et al., 2018; Wang and Tahir, 2020; Yapici and Karakoyun, 2017) Kahoot สามารถสรุปจำนวนผู้ตอบถูกในการตอบคำถามแต่ละข้อ ช่วยสร้างการรับรู้ของครูผู้สอนว่าในข้อคำถามนั้น ๆ ผู้เรียนตอบตัวเลือกที่ถูกต้องจำนวนกี่คน และตอบตัวเลือกที่ผิดจำนวนกี่คน (Kahoot จะแสดงจำนวนนักเรียนที่เลือกตัวเลือกในแต่ละข้อคำถามทันทีเมื่อถึงเวลาที่กำหนด) ทำให้ผู้สอนสามารถประเมินความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนได้ ณ ขณะที่ทำการสอน โดยในขั้นที่ 1 ขั้นสร้างความสนใจ หลังจากผู้สอนกำหนดประเด็นปัญหาหรือสถานการณ์เพื่อกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนแล้ว ผู้สอนจะใช้คำถามผ่าน Kahoot เพื่อทบทวนความรู้เดิม หากนักเรียนเกินกว่าร้อยละ 80 ตอบถูก แสดงว่าส่วนใหญ่ยังมีความรู้เดิมที่พร้อมนำมาใช้ต่อยอดก่อนที่จะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นตอนต่อไป ทำให้ผู้สอนทราบว่าผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในความรู้พื้นฐานที่จะใช้ต่อยอดในบทเรียนมากขึ้นเพียงใดหรือยังขาดความรู้ในเรื่องใดบ้าง ก่อนจะนำไปสู่การเรียนรู้ในขั้นต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถช่วยสรุปประเด็นคำตอบที่ถูกต้องในข้อคำถามแต่ละข้อ ช่วยให้ผู้เรียนที่ตอบผิดเกิดความรู้ความเข้าใจในประเด็นเนื้อหาที่ถูกต้อง ก่อนจะไปสู่ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ขั้นต่อไป ซึ่งทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในบทเรียนไปทีละขั้นตอนอย่างละเอียด และแน่นยำในเนื้อหาแต่ละส่วนได้มากขึ้น ในขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นหา เมื่อนักเรียนค้นคว้าหาข้อมูล เพื่อตอบประเด็นปัญหาตามที่กำหนดไว้ ผู้สอนจะใช้ข้อคำถามใน Kahoot เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่นักเรียนค้นคว้ามาว่าถูกต้องสมบูรณ์เพียงพที่จะลงข้อสรุปในขั้นต่อไปหรือไม่ ส่วนในขั้นที่ 3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป นักเรียนจะนำข้อมูลที่ค้นคว้ามาจากขั้นที่ 2 มาวิเคราะห์ แปลผลและสรุปผลโดยการอภิปรายร่วมกันในกลุ่มย่อย หรืออภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนเพื่อสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ครูผู้สอนจะประเมินจากความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อสรุปที่ได้จากการอภิปรายและช่วยปรับแนวความคิดที่คลาดเคลื่อน และขั้นที่ 4 ขั้นขยายความคิด ผู้เรียนจะได้ฝึกการนำความรู้ที่สร้างขึ้นจากขั้นที่ 3 มาเชื่อมโยงกับความรู้เดิมเพื่อตอบคำถามจากประเด็นปัญหาหรือสถานการณ์ที่กำหนด หรือจากสถานการณ์ที่พบเจอในชีวิตประจำวัน ผ่านการตอบคำถามใน Kahoot ซึ่งจะทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจเนื้อหาในบทเรียนและเห็นความสำคัญของเนื้อหาในบทเรียนที่สอดคล้องกับสิ่งที่พบเจอในชีวิตประจำวัน ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงส่งผลให้ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Keawsingam (2011) ที่ได้ค้นพบว่านักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการเรียนการสอนแบบ 4E×2 มีคะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องแสงและการมองเห็น หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้ (Fotaris et al., 2016; Sarkar et al., 2017; Wang and Tahir, 2020) ที่กล่าวว่า การใช้ Kahoot ร่วมกับการจัดการ

เรียนรู้จะช่วยส่งเสริมผลการเรียนรู้ของผู้เรียน เพิ่มการมีส่วนร่วมในห้องเรียน สร้างการรับรู้ในเนื้อหาที่ถูกต้องของผู้เรียน และสร้างบรรยากาศแห่งการเรียนรู้ ได้มากกว่าการจัดการเรียนรู้แบบปกติในห้องเรียน

2. จากการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot พบว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนการจัดการเรียนรู้มีค่า 16.88 ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนเต็ม ผู้วิจัยคาดว่าอาจเป็นเพราะในภาคเรียนที่ 1 ผู้วิจัยในฐานะผู้สอนได้มีการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่เน้นให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะกระบวนการคิด และสอดแทรกกิจกรรมคำถามที่ให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์มากขึ้น ทำให้คะแนนความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ในภาคเรียนที่ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าครึ่งของคะแนนเต็ม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot มีคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลังการจัดการเรียนรู้ สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (normalized gain) คิดเป็น 0.37 ซึ่งอยู่ในระดับ medium gain ผลนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนให้เพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งอาจเป็นเพราะ การจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 มีขั้นตอนที่ช่วยส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ นั่นคือ ขั้นตอนที่ 3 การอธิบายและลงข้อสรุป ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนจะต้องนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากขั้นการสำรวจและค้นหา มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ ความสำคัญ เปรียบเทียบความเหมือนความแตกต่าง และลงข้อสรุปออกมาเป็นองค์ความรู้เพื่ออธิบายคำตอบในบทเรียน ยกตัวอย่างเช่น ในบทเรียนเรื่องเทอร์โมมิเตอร์ หลังจากนักเรียนทำกิจกรรม ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับ หลักการทำงานของเทอร์โมมิเตอร์ ประเภทและการใช้งานของเทอร์โมมิเตอร์ ในขั้นที่ 2 เสร็จสิ้นแล้ว นักเรียนจะร่วมกันอภิปราย เปรียบเทียบความแตกต่างของเทอร์โมมิเตอร์แต่ละประเภทว่าแบบใดเหมาะกับการใช้งานประเภทใด และฝึกวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหลักการขยายและหดตัวของของเหลวกับหลักการทำงานของเทอร์โมมิเตอร์ จนกระทั่งได้ข้อสรุปเป็นองค์ความรู้ ครูจะประเมินจากข้อสรุปและองค์ความรู้ที่นักเรียนสรุปออกมา จะเห็นว่ากระบวนการจัดการเรียนรู้ในขั้นที่ 3 นี้ จะช่วยพัฒนาให้ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์สูงขึ้น สอดคล้องกับคำกล่าวของ Pornkul (2011) และ Lemlech (1994) ที่กล่าวว่า ขั้นการอธิบายและลงข้อสรุป เป็นขั้นตอนสำคัญที่จะช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนได้ โดยนักเรียนจะได้นำความรู้ที่ตนเองสำรวจและรวบรวมมา มาตรวจสอบ วิเคราะห์ และหาข้อสรุป ซึ่งอาจจัดกระทำข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตาราง กราฟ แผนภาพ เป็นต้น แล้วอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน ซึ่งทำให้ผู้เรียนเกิดการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ หาข้อสรุปของข้อมูลจากขั้นนี้ได้ ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Theeramethakul and Art-in (2020) ที่ค้นพบว่าการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 สามารถช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนได้ และมีจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด คิดเป็นร้อยละ 75 ของนักเรียนทั้งหมด นอกจากนี้อาจเป็นเพราะข้อคำถามใน Kahoot ที่ผู้วิจัยใช้เพื่อประเมินการเรียนรู้และสะท้อนความคิดในแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ยังเป็นอีกแรงผลักดันหนึ่งที่ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการคิดวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบของข้อคำถามในขณะจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ตัวอย่างคำถาม เช่น “เพราะเหตุใดของเหลวที่บรรจุในเทอร์โมมิเตอร์วัดไข้ต้องใช้ปรอท” ผู้เรียนจะได้ฝึกวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของปรอทว่ามีคุณสมบัติอย่างไรจึงสามารถนำมาใช้เป็นของเหลวบรรจุในปรอทวัดไข้ได้ หรือคำถามที่ว่า “เทอร์โมมิเตอร์วัดไข้แตกต่างจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาอย่างไร” ผู้เรียนจะได้ฝึกจำแนก และเชื่อมโยงข้อมูลของเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองประเภท เป็นต้น สอดคล้องกับคำกล่าวของ Chareonwongsak (2010) ที่กล่าวว่า เมื่อสมองของมนุษย์ได้รับข้อมูลหรือข้อคำถาม สมองจะทำการตีความข้อมูลที่ได้รับ โดยนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล ความทรงจำ หรือประสบการณ์ในอดีตที่เก็บสะสมไว้ จนกระทั่งเกิดการตัดสินใจที่จะเลือกคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วสมองจะคิดวิเคราะห์อย่างอัตโนมัติเมื่อต้องตัดสินใจเลือกอะไรบางอย่าง ดังนั้นการนำ Kahoot มาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 จึงส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ให้ผู้เรียนได้

3. จากผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4E×2 ร่วมกับ Kahoot มีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด จากการประเมินความพึงพอใจแยกรายด้าน พบว่าทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านบรรยากาศในการเรียนรู้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านประโยชน์ที่ได้รับ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุดทุกด้าน การที่ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้มีอยู่ในระดับมากที่สุด อาจเป็นเพราะมีการใช้ Kahoot มาบูรณาการร่วมกับการจัดการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนทุกคนมีส่วนร่วมกับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนได้ใช้สมาร์ตโฟนเพื่อการเรียนรู้อย่างสนุกสนานผ่านการตอบคำถาม ไม่รู้สึกเบื่อหน่ายในกรณีที่ตอบผิดเพราะนักเรียนสามารถใช้นามแฝงในการเข้ามาตอบคำถามได้ นอกจากนี้ Kahoot ยังแสดงจำนวนของนักเรียนที่เลือกตัวเลือกในแต่ละข้อคำถาม ทำให้ในกรณีที่นักเรียนส่วนใหญ่เลือกตัวเลือกผิด ผู้สอนจะทราบได้ทันทีว่านักเรียนยังไม่เข้าใจประเด็นคำถามใด ผู้สอนจะได้อธิบายและสรุปถึงประเด็นคำตอบของเนื้อหานั้นให้ถูกต้อง เมื่อนักเรียนเรียนรู้ในเนื้อหาวิชาอย่างมีความสุขก็จะเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้หัวข้ออื่นต่อไป สอดคล้องกับข้อค้นพบในงานวิจัยของ Bundasak et

al. (2017) และ Ratniyom et al. (2020) ที่พบว่า เมื่อผู้เรียนเกิดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ผู้เรียนจะมีความรู้สึกที่ดีต่อการเรียนและการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ มีความสนุกสนานเพลิดเพลินในการเรียน เมื่อผู้เรียนมีความสุขก็จะมีผลการเรียนดีในสมอง เช่น โดปามีน นอร์เอพิเนเฟริน ซึ่งจะไปเพิ่มกระบวนการเรียนรู้ในสมอง จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น ผลของงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับข้อค้นพบในงานวิจัยของ Chaiyo and Nokham (2017) ที่พบว่าผู้เรียนกว่าร้อยละ 84 มีความพึงพอใจในภาพรวมต่อ Kahoot มากกว่าแพลตฟอร์มออนไลน์อื่น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ounlamai (2019) ที่พบว่าความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม Kahoot ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 ร่วมกับ Kahoot เป็นการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่มีการนำ Kahoot มาช่วยประเมินการสะท้อนการรู้คิดของผู้เรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้ Kahoot จะเป็นเสมือนเครื่องมือที่ทำให้ครูผู้สอนทราบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนทั้งห้องในขณะที่ทำการสอน นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 ร่วมกับ Kahoot จะมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อน และความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นอกจากนี้ยังค้นพบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจในภาพรวมต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 ร่วมกับ Kahoot อยู่ในระดับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การวิจัยในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ ดังนี้

- 1) ในการจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 ร่วมกับ Kahoot ผู้สอนต้องควบคุมเวลาในการทำกิจกรรมแต่ละช่วง เนื่องจากเนื้อหาในบางบทเรียนนั้น มีความยากง่ายที่ต่างกัน ซึ่งบางบทเรียนอาจจะใช้เวลานานในการวิเคราะห์หาคำตอบ ดังนั้นควรมีการจัดสรรเวลาให้เหมาะสม เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ
- 2) คำถามที่นำมาใช้ใน Kahoot ควรมีจำนวนที่เหมาะสมและเป็นข้อคำถามที่ช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เพื่อเป็นการส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนอีกทางหนึ่ง
- 3) ในการจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 ร่วมกับ Kahoot ผู้สอนควรตรวจสอบว่านักเรียนทุกคนมีสมาร์ตโฟนและสัญญาณอินเทอร์เน็ตพร้อมสำหรับการจัดการเรียนรู้

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

จากข้อสังเกตของผู้วิจัยในระหว่างดำเนินการวิจัย พบว่า การนำ Kahoot มาช่วยประเมินในระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 ช่วยทำให้ผู้สอนประเมินความรู้ความเข้าใจและการสะท้อนความคิดของนักเรียนทั้งห้องเรียนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถประเมินผู้เรียนในภาพรวมของทั้งห้องได้ ณ ขณะทำการสอน ดังนั้นประเด็นในการวิจัยครั้งต่อไป คือ อาจนำแพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์รูปแบบอื่น เช่น Blooket หรือ เกม Time to climb ในเว็บไซต์ Nearpod มาร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในบทเรียนอื่น หรืออาจศึกษาผลของตัวแปรอื่น ๆ เช่น ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป หรือสมรรถนะตามแนวทาง PISA ด้านการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้สร้างคำอธิบายที่สมเหตุสมผล เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ช่วยให้คำแนะนำอันมีค่าจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Bundasak, T., Chaowiang, K. and Jangasem, N. (2017). Happily learning among nursing students (in Thai). *Journal of MCU Peace Studies*, 5(1), 357–369.
- Bureau of Educational Testing, Office of the basic Education Commission. (2012). *Handbook of a competency appraisal for basic education students based on the basic education core curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)* (in Thai). Bangkok: National Office Of Buddhism Press.

- Chaiyo, Y. and Nokham, R. (2017). The effect of kahoot, quizizz and google forms on the student's perception in the classrooms response system. **2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)**, 178–182.
- Chareonwongsak, K. (2010). **Analytical thinking** (in Thai). Bangkok: Success Media Co., Ltd.
- Chuenban, T. and Chanchusakun, S. (2020). The development of mathematics problem solving using 4ex2 instructional model with games technique for sixth grade students (in Thai). **Silpakorn Educational Research Journal**, 12(1), 147–160.
- Fotaris, P., Mastoras, T., Leinfellner, R. and Rosunally, Y. (2016). Climbing up the leaderboard: an empirical study of applying gamification techniques to a computer programming class. **Electronic Journal of E-Learning**, 14, 95–110.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, 66(1), 64–74.
- Ismail, M. A., Ahmad, A., Mohammad, J. A., Fakri, N., Nor, M. and Pa, M. (2019). Using Kahoot as a formative assessment tool in medical education: a phenomenological study. **BMC Medical Education**, 19(1), 230.
- Keawsingam, T. (2011). Effects of using the 4ex2 instructional model on concepts about light and vision and skills in interpreting data and making conclusion of lower secondary school students (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Chulalongkorn University.
- Lemlech, J. K. (1994). **Curriculum and instructional methods for the elementary and middle school**. New York: Macmillan College Publishing Company.
- Licorish, S. A., Owen, H. E., Daniel, B. and George, J. L. (2018). Students' perception of Kahoot's influence on teaching and learning. **Research and Practice in Technology Enhanced Learning**, 13(9), 1–23.
- Marshall, J. C., Horton, B. and Smart, J. (2009). 4Ex2 instructional model: uniting three learning constructs to improve praxis in science and mathematics classrooms. **Journal of Science Teacher Education**, 20(6), 501–516.
- National Institute of Educational Testing Service. (2019). Summary on o-net test results of grade 6 in the academic year 2019 (in Thai). Retrieved 6 June 2021, from **NIETS**: http://www.newonetestresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM3_2562.pdf.
- Nkhoma, C., Nkhoma, M., Thomas, S., Tu, L. K. and Le, N. Q. (2018). Gamifying a flipped first year accounting classroom using Kahoot. **International Journal of Information System and Engineering**, 6(2), 93–115.
- On-nangyai, P. (2012). Construction of analytical thinking ability test for prathomsuksa VI students of education division bangkok metropolitan administration (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Ounlamai, P. and Boonprajak, D. (2019). The application of kahoot program in trigonometry learning enhancement activity for mathayom suksa 4 students in pramoch wittaya ramintra school (in Thai). **Phranakhon Rajabhat Research Journal (Humanities and Social Sciences)**, 14(1), 176-191.
- Pornkul, C. (2011). **Teaching the thinking process: theory and adoption** (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University press.
- Ratniyom, J., Nampa, S., Sudsin, M. and Lee, A. (2020). The effects of cooperative learning management using learning together (lt) technique with mind maps on grade 7 students' learning achievement and analytical thinking abilities on process of weather change (in Thai). **Walailak Journal of Learning Innovations**, 6(1), 37–64.
- Sarkar, N., Ford, W. and Manzo, C. (2017). Engaging digital natives through social learning. **Systemics, Cybernetics and Informatics**, 15(2), 1–4.
- Sutharat, W. (2004). **Thinking and creative thinking** (in Thai). Bangkok: Suweerivasarn Press.

- The Institute For The Promotion Of Teaching Science And Technology. (2021). Pisa 2018 results: reading, maths and science (in Thai). Retrieved 6 June 2021, from **PISA THAILAND**: <https://pisathailand.ipst.ac.th/pisa2018-fullreport/>.
- Theeramethakul, S. and Art-in, S. (2020). The development of mathematics problem solving and analytical thinking abilities for grade 8 students using 4x2 instructional model (in Thai). **Journal of Graduate MCU KhonKaen Campus**, 7(3), 210–225.
- Tongchai, A., Arayathanitkul, K., Soankwan, C., Emarat, N. and Chitaree, R. (2007). A new assessment method by using pre-test and post-test scores (in Thai). **HCU Journal**, 11(21), 86–94.
- Wang, A. I. and Tahir, R. (2020). The effect of using Kahoot for learning—a literature review. **Computers & Education**, 149, 103818.
- Yapici, I. and Karakoyun, F. (2017). Gamification in biology teaching: a sample of kahoot application. **Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry**, 8, 396–414.





บทความวิชาการ

แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยการบูรณาการห้องเรียนกลับด้านกับการสอนแบบสืบเสาะแบบ 5E โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริงในการสอนคณิตศาสตร์

วุฒิชัย ภูติ^{1*}¹โรงเรียนชุมชนบ้านคำพอกท่าดอกแก้ว ตำบลท่าจำปา อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม

*Email: w.phoodee@gmail.com

รับบทความ: 25 กรกฎาคม 2564 บทความแก้ไข: 17 สิงหาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 21 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

บทความนี้มีความมุ่งหมายเพื่อเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยการบูรณาการห้องเรียนกลับด้านกับการสอนแบบสืบเสาะ(5E) โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริงในการสอนคณิตศาสตร์ ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ให้นักเรียนได้เรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งสอดคล้องกับการบูรณาการห้องเรียนกลับด้านร่วมกับการสอนแบบสืบเสาะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริงให้กับนักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองทั้งในห้องเรียนและนอกห้องเรียน โดยครูต้องเปลี่ยนแปลงตนเองให้เป็นผู้อำนวยการเรียนรู้ และสร้างแรงบันดาลใจ กระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ ให้คำปรึกษา ดูแล แนะนำ แสวงหาเทคนิควิธีการจัดการเรียนรู้ และแหล่งทรัพยากรการเรียนรู้ต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และเกิดทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ต่อไป

คำสำคัญ: ห้องเรียนกลับด้าน การสืบเสาะแบบ 5E เครื่องมือดิจิทัล ห้องเรียนเสมือน

อ้างอิงบทความนี้

วุฒิชัย ภูติ. (2564). แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยการบูรณาการห้องเรียนกลับด้านกับการสอนแบบสืบเสาะแบบ 5E โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริงในการสอนคณิตศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 279 - 288.

Instruction guidelines by integration of flipped classroom with 5E inquiry model using digital tools through a virtual classroom in teaching mathematics

Wuttichai Phooddee^{1*}

¹*Chumchonbankhumpockthagek School, Tha Champa, Tha Uthen District, Nakhon Phanom*

^{*}*Email: w.phooddee@gmail.com*

Received <25 July 2021>; Revised <17 August 2021> Accepted <21 August 2021>

Abstract

The article aims to present instruction guidelines by integration of flipped classroom with 5E inquiry model using digital tools through a virtual classroom in teaching mathematics. Technology is important for creating environment for lifelong learning which corresponds the integration of flipped classroom with 5E inquiry model. To increase efficiency in learning by using digital tools through virtual classrooms, students can learn by themselves both inside and outside classroom. Teachers have to change their role as learning facilitator and inspirator as well as to provide suggestion, look after and advice their students. In addition, they have to search for learning management techniques and learning resources. To students learning to promote students' learning and mathematics process skills.

Keywords: Flipped classroom, 5E inquiry, digital tools, virtual classroom



Cite this article:

Phooddee, W. (2021). Instruction guidelines by integration of flipped classroom with 5E inquiry model using digital tools through a virtual classroom in teaching mathematics (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 279 - 288.

บทนำ

การจัดการเรียนรู้ตามกรอบแนวคิดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะที่ตอบสนองความต้องการของสังคมที่เปลี่ยนไป โดยทั่วโลกให้ความสำคัญกับทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) ที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 ได้แก่ การคิดแบบมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) การสื่อสาร (Communication) การร่วมมือ (Collaboration) และการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) ควบคู่ไปกับความสามารถในการใช้เทคโนโลยีได้อย่างเหมาะสม ช่วยเตรียมความพร้อมให้ผู้เรียนได้มีทักษะ การคิด การแก้ปัญหา การสื่อสารและการทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Jaroensa and Sengsri, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายการขับเคลื่อนการศึกษาไทยในยุค 4.0 ของกระทรวงศึกษาธิการและหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ฉบับปรับปรุง 2560 ซึ่งได้มีการปรับปรุงหลักสูตรการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับยุคสมัยของการเปลี่ยนแปลง หลักสูตรการเรียนรู้คณิตศาสตร์เป็นหลักสูตรหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีเป้าหมายให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทางคณิตศาสตร์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างสมเหตุสมผล พร้อมทั้งมีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์ และสามารถเลือกใช้สื่อ อุปกรณ์ เทคโนโลยีและแหล่งข้อมูลที่เหมาะสมหรือที่เรียกว่าความฉลาดทางดิจิทัล (Digital Intelligence Quotient: DQ) คือให้ผู้เรียนมีความสามารถทางสังคม อารมณ์ และการรับรู้ ที่จะสามารถเผชิญกับความท้าทายในยุคดิจิทัล และสามารถปรับตัวให้เข้ากับชีวิตดิจิทัลได้ ทั้งยังครอบคลุมทั้งความรู้ ทักษะ ทักษะคิดและค่านิยมที่จำเป็นต่อการใช้ชีวิต เพื่อเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ การสื่อสาร การทำงาน และการแก้ปัญหาอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ (Phooddee, 2020)

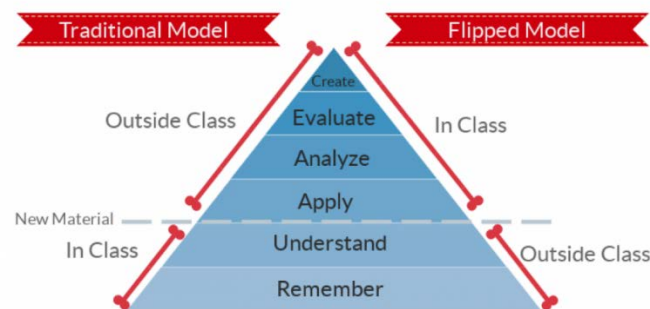
อย่างไรก็ตามการเข้ามาของเทคโนโลยีทำให้การดำรงชีวิตของมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก อินเทอร์เน็ตและอุปกรณ์สื่อสารแบบพกพาอย่างสมาร์ตโฟนกลายเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในยุคนี้ ซึ่งผู้คนสามารถใช้เทคโนโลยีได้อย่างคล่องตัวในการทำกิจกรรมได้อย่างหลากหลายในห้วงเวลาเดียวกัน การสื่อสารติดต่อกันได้อย่างรวดเร็ว และการเข้าถึงข้อมูลได้หลายช่องทางมีการแบ่งปันแลกเปลี่ยนความคิดเห็นอย่างอิสระผ่านสื่อสังคมออนไลน์ สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองทุกที่ทุกเวลาผ่านแหล่งทรัพยากรบนเครือข่ายที่กว้างใหญ่ไพศาลและมีการดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันดำเนินการผ่านอุปกรณ์และเครื่องมือเทคโนโลยีดิจิทัลแทบทั้งสิ้นและจากผลสำรวจการใช้งานอินเทอร์เน็ตปี 2563 ของคนไทยเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11 ชั่วโมง 25 นาที ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการใช้งานผ่านสมาร์ตโฟน (Mitprant, 2021) นั่นคือผู้เรียนส่วนใหญ่มีอุปกรณ์เหล่านี้ใช้งาน และสามารถเพิ่มเติมติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ เพื่อใช้งานกับชีวิตประจำวันทั้งในด้านการทำงาน ความบันเทิง และการสื่อสารรวมทั้งการศึกษา ในด้านการใช้งานเพื่อศึกษานั้นโทรศัพท์มือถือสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายตั้งแต่การสืบค้นข้อมูลไปจนถึงการใช้โปรแกรมทางการศึกษา รวมถึงการนำมาสร้างหรือพัฒนาโปรแกรม เมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้ซึ่งมีความสามารถในการสื่อสารเพิ่มขึ้นจึงได้มีการนำระบบทางการเรียนรู้ ห้องเรียนกลับด้านเป็นแนวทางการเรียนรู้หนึ่งที่บูรณาการจัดการเรียนรู้ซึ่งจะแบ่งออกเป็นสองส่วนที่จัดกิจกรรมนอกชั้นเรียน (Outside Class) และจัดกิจกรรมในชั้นเรียน (In Class) โดยนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ (Robert et al., 2020) และการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E เป็นการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้ใช้กระบวนการแสวงหาความรู้อย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอนเพื่อค้นหาคำตอบโดยการเรียนรู้ด้วยตนเอง

จากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีสารสนเทศ ครูผู้สอนคณิตศาสตร์จำเป็นต้องบูรณาการกับวิธีการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ ร่วมกับการใช้เทคโนโลยี เพื่อให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้ตามบริบทของผู้เรียนในปัจจุบัน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับเครื่องมือดิจิทัลและแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยการบูรณาการห้องเรียนกลับด้านกับการสอนแบบสืบเสาะ(5E) โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริงในการสอนคณิตศาสตร์ เพื่อให้ครูผู้สอนได้รู้และเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการสอนและสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้และการบริหารชั้นเรียนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ห้องเรียนกลับด้าน(Flipped Classroom)

ห้องเรียนกลับด้าน เป็นเทคนิคการสอนรูปแบบใหม่ที่มีการปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการสอนจากเนื้อหาความรู้ในห้องเรียน เป็นการมอบหมายให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองนอกชั้นเรียน และใช้เวลาเรียนในชั้นเรียนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการลงมือทำ (Sirirassamee & Pongrojpaio, 2019) โดยมีครูทำหน้าที่ผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ การออกแบบหรือจัดกิจกรรมผ่านการใช้สื่อดิจิทัล เช่น วิดีโอ เกมส บทเรียนออนไลน์ เว็บเพจ เป็นต้น โดยการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านซึ่งเป็นวิธีการเรียนรู้แบบตรงกันข้ามกับการเรียนรู้แบบเดิมซึ่งจะสังเกตได้จากการเรียนรู้ตามหลัก Bloom's Taxonomy ในการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านดังภาพที่ 1

Bloom's Taxonomy in a Flipped Classroom



ภาพที่ 1 Bloom's Taxonomy ในการสอนแบบห้องเรียนกลับด้าน
ที่มา <https://www.odysseyware.com/blog/using-classpace-flipped-classroom>

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า การเรียนรู้แบบเดิมจะให้ผู้เรียนในชั้นเริ่มจากการจำและการเข้าใจ และการเรียนรู้ในห้องเรียนจะเป็นการประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ การประเมินค่าและการสร้างสรรค์ ซึ่งตรงข้ามกับการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน จะเรียนรู้ในห้องเรียน ในชั้นการเรียนรู้การประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ การประเมินค่าและการสร้างสรรค์ และการเรียนรู้นอกห้องเรียน จะอยู่ในชั้น การจำและการเข้าใจ

ซึ่งการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ภายใต้ห้องเรียนกลับด้าน (Sithsungnoen, 2017) มีทั้งการประเมินเพื่อการพัฒนา (Formative Assessment) ซึ่งเป็นฐานสำคัญในการพัฒนาและสร้างความรู้ความเข้าใจแก่นักเรียน และการประเมินผลรวบยอด (Summative Assessment) เพื่อตัดสินผลว่าผู้เรียนมีความรู้ ความสามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้หรือไม่

กล่าวได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน คือการให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ทั้งในห้องเรียนและนอกห้องเรียน โดยครูต้องเป็นผู้ออกแบบบทเรียนด้วยสื่อดิจิทัลเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้นอกห้องเรียน และออกแบบกิจกรรมในชั้นเรียนให้เป็นการเรียนรู้แบบเชิงรุก (Active Learning) ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริงและสร้างทักษะการเรียนรู้เพื่อการดำรงชีวิตสำหรับศตวรรษที่ 21 โดยมีครูเป็นผู้อำนวยความสะดวก (Facilitator) สร้างแรงบันดาลใจ กระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ให้คำปรึกษา ดูแล แนะนำ และแสวงหาเทคนิควิธีการจัดการเรียนรู้ และแหล่งทรัพยากรการเรียนรู้ต่างๆให้ผู้เรียนโดยสามารถจัดการเรียนรู้ได้ดังตารางที่ 1

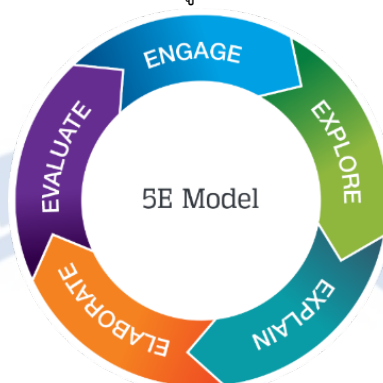
ตารางที่ 1 การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

เรียนรู้นอกชั้นเรียน	เรียนรู้ในชั้นเรียน
ครู : ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านทางสื่อดิจิทัล ได้แก่ วิดีโอ เกมส บทเรียนออนไลน์ เว็บไซต์ E-learning เป็นต้น นักเรียน : เรียนรู้ด้วยตนเองผ่านสื่อดิจิทัลที่ครูได้ออกแบบไว้ หรือหาสื่อเพิ่มเติมด้วยตนเอง	ครู : ออกแบบกิจกรรมให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ เช่น การนำเสนองาน การทำงานเป็นกลุ่ม การอภิปราย การทดลอง การแก้ปัญหา เป็นต้น นักเรียน : เรียนรู้ตามที่ครูได้ออกแบบกิจกรรมไว้โดยใช้ความรู้ที่ได้ศึกษามาจากการเรียนรู้นอกห้องเรียน

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้ใช้กระบวนการแสวงหาความรู้อย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอนเพื่อค้นหาคำตอบด้วยตนเอง ทั้งยังพัฒนาความสามารถทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ และเป็นส่วนสำคัญที่จะเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ (Stefanie, Zsolt, & Ellen, 2021) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนซึ่งอาจเกิดความสนใจความสงสัย จากเหตุการณ์ที่กำลังเกิดขึ้น เป็นการกระตุ้นให้เกิดความสนใจ นำไปสู่ประเด็นที่จะเรียนรู้ ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นการทำความเข้าใจโดย การทดลอง การปฏิบัติ การสืบค้นความรู้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล ขั้นที่ 3 ขั้นอธิบายและสรุป (Explanation) เป็นการนำข้อมูลข้อสงสัยที่ได้มาวิเคราะห์ แปรผล สรุปผล และนำเสนอในรูปของภาพวาด ตาราง แผนภูมิ การค้นพบ ขั้นที่ 4 ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นการนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมไปสู่การสร้างความรู้ใหม่ ทำให้เกิดความรู้

ที่กว้างขึ้นและขั้นที่ 5 ขั้นการประเมิน (Evaluation) เป็นการประเมินการเรียนรู้ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ว่ามีความรู้อะไรบ้าง รู้มากน้อยเพียงใดและนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป ดังภาพที่ 2 (Stefanie, Zsolt, & Ellen, 2020) ซึ่งกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะจะเริ่มต้นด้วยการจัดกิจกรรมให้นักเรียนมีส่วนร่วมและสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ให้กับนักเรียน และครูต้องใช้เทคนิคการตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นการเรียนรู้และใช้ในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ได้จากทั้ง 5 ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) ดังนี้ 1) การมีส่วนร่วมของผู้เรียนในคำถามเชิงวิทยาศาสตร์ 2) ลำดับความสำคัญของหลักฐานในการตอบคำถาม 3) การกำหนดคำอธิบายจากหลักฐาน 4) คำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และ 5) การสื่อสารและเหตุผลในการอธิบาย

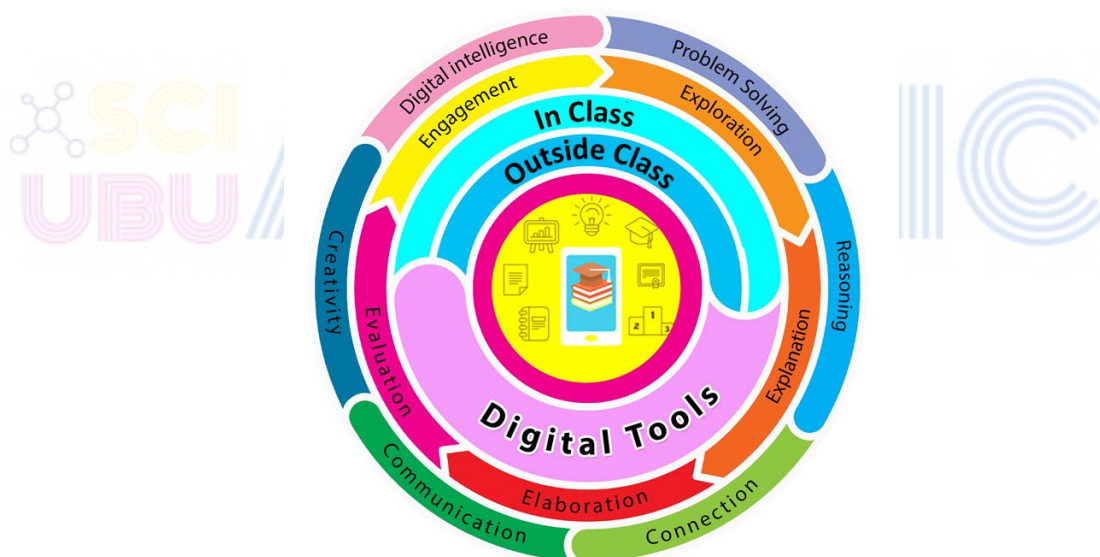


ภาพที่ 2 วงจรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E

ที่มา <https://www.mheducation.com/prek-12/program/microsites/MKTSP-AIB05M0/pedagogy.html>

การบูรณาการห้องเรียนกลับด้านร่วมกับการสอนแบบสืบเสาะ 5E ในการสอนคณิตศาสตร์

เพื่อให้การจัดการเรียนรู้ห้องเรียนกลับด้านเกิดประสิทธิภาพจึงมีการผนวกการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E จะเน้นให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่และแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอนผ่านกระบวนการสำรวจ สังเกต คาดการณ์ ตรวจสอบ สืบค้นและเชื่อมโยงความรู้เดิมและความรู้ใหม่ที่เกิดขึ้น ซึ่งจะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นการสำรวจและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและสรุป 4) ขั้นขยายความรู้ 5) ขั้นประเมิน ซึ่งจะจัดการเรียนรู้ทั้งในห้องเรียนและนอกห้องเรียน (Stefanie, Zsolt, & Ellen, 2021) โดยใช้เครื่องมือสื่อดิจิทัลในการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ผ่านห้องเรียนเสมือนจริง ที่ใช้ผ่านสมาร์ทโฟนทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตลอดเวลาและเกิดทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ การแก้ปัญหา (Problem Solving) การให้เหตุผล (Reasoning) การสื่อสาร (Communication) การเชื่อมโยง (Connection) และการคิดสร้างสรรค์ (Creativity) รวมทั้งเสริมสร้างความฉลาดทางดิจิทัลเพื่อให้ผู้เรียนสามารถดำรงชีวิตอยู่ในยุคดิจิทัลได้อย่างเหมาะสมดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รูปแบบการบูรณาการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์แบบสืบเสาะ(5E)ผสมผสานกับห้องเรียนกลับด้าน

ที่มา Stefanie, Zsolt and Ellen (2021)

รูปแบบการบูรณาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E กับห้องเรียนกลับด้านด้วยเครื่องมือการเรียนรู้ดิจิทัล เป็นการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ทั้งในห้องเรียนหรือนอกห้องเรียนตามแนวคิดของห้องเรียนกลับด้านโดยใช้เครื่องมือดิจิทัลมาช่วยในการอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ผนวกกับการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E เข้ามาร่วมเพื่อให้เกิดวงจรการเรียนรู้ และครูผู้สอนจะเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ผ่านเครื่องมือดิจิทัล โดยมีแนวทางการเรียนการสอนดังตารางที่ 2 (Stefanie, Zsolt, & Ellen, 2020)

ตารางที่ 2 แนวทางการบูรณาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E กับห้องเรียนกลับด้านด้วยเครื่องมือการเรียนรู้ดิจิทัล

การเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E	ห้องเรียนกลับด้าน		เครื่องมือดิจิทัล
	กิจกรรมนอกห้องเรียน	กิจกรรมในห้องเรียน	
ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement)	ครู : แนะนำสถานการณ์เพื่อกระตุ้นความสนใจและกระตุ้นความรู้เดิม โดยใช้สื่อดิจิทัล (เช่นวิดีโอ พร้อมคำถามมาบูรณาการในการกระตุ้นความคิด) นักเรียน : ศึกษาเนื้อหาที่ครูเตรียมไว้ให้และตั้งคำถามกับตนเอง	ครู : เป็นผู้นำการอภิปรายในชั้นเรียนและใช้คำถามสำหรับนักเรียนได้ค้นหาคำตอบ	Youtube, GeoGebra, Desmos
ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)	ครู จัดสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับการสำรวจ นักเรียน เตรียมความพร้อมสำหรับขั้นเรียนโดยการเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมที่ครูเตรียมไว้	ครู สนับสนุนกระบวนการสำรวจและส่งเสริมให้ผู้เรียนสรุปข้อค้นพบจากประสบการณ์ที่เกิดขึ้น นักเรียน สำรวจและเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมที่ครูสร้างขึ้น และมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ข้อค้นพบกับเพื่อน	Youtube, GeoGebra, Desmos,
ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)	ครู แนะนำแนวคิดหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องซึ่งอาจนอกเหนือจากการค้นพบของนักเรียนเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น โดยใช้เครื่องมือการเรียนรู้ดิจิทัล นักเรียน ศึกษาเนื้อหาที่ให้มาและเปรียบเทียบกับข้อสรุปของตนเอง	ครูและนักเรียน ใช้แนวคิดและประสบการณ์ในการบรรยายและอธิบายปรากฏการณ์และเริ่มต้นตอบคำถาม	GeoGebra, Desmos, Miro, Jamboard, OKMindmap
ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)	ครู อธิบายสถานการณ์ปัญหาใหม่ แต่เกี่ยวข้องกับข้อสรุปโดยใช้วิดีโอและ/หรือเอกสารประกอบการเรียน นักเรียน จะได้รับงาน ที่เป็นสถานการณ์ปัญหาใหม่ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์เดิม	ครู ส่งเสริมให้นักเรียนมีการขยายความรู้ นักเรียน สามารถประยุกต์ใช้ความรู้เดิมไปแก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ได้	GeoGebra, Desmos
ขั้นการประเมิน (Evaluation)	ครู จัดให้มีการประเมินตนเองสำหรับผู้เรียน นักเรียน มีส่วนร่วมในงานประเมินตนเองเพื่อสะท้อนกระบวนการเรียนรู้ของตนเอง	ครู ใช้เทคนิคการประเมินเพื่อประเมินความก้าวหน้าของนักเรียนในการบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้	Quizizz, Google Form, GeoGebra, Desmos

สำหรับตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง สมการเชิงเส้นสองตัวแปร แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E เรื่องสมการเชิงเส้นสองตัวแปร

การจัดการเรียนรู้แบบ สืบเสาะ (5E)	ห้องเรียนกลับด้าน	
	กิจกรรมนอกห้องเรียน	กิจกรรมในห้องเรียน
มาตรฐานการเรียนรู้ ค 1.3 ใช้นิพจน์ สมการ และอสมการ อธิบายความสัมพันธ์หรือช่วยแก้ปัญหาที่กำหนดให้ ตัวชี้วัด ค 1.3 ม.1/2 เข้าใจและใช้ความรู้เกี่ยวกับกราฟในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์และปัญหาในชีวิตจริง ค 1.3 ม.1/3 เข้าใจและใช้ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงเส้นในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์และปัญหาในชีวิตจริง		
ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement)	นักเรียนศึกษาคลิปวิดีโอการสอนเรื่อง “คู่อันดับ” ผ่าน YouTube	นักเรียนเล่นเกมสัจจับคู่ “อาหารประจำชาติ” ผ่าน Desmos Activity Classroom และร่วมกันอภิปรายในชั้นเรียน
ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)	ให้นักเรียนเรียนรู้เรื่อง “คู่อันดับบนระบบพิกัดฉาก” ผ่าน YouTube และทำกิจกรรม “ฉันทอโยหน” ผ่าน GeoGebra Classroom	นักเรียนทำใบงานออนไลน์ผ่าน Desmos Activity Classroom เรื่อง “ไข่และราคาไข่” ซึ่งจะให้นักเรียนใช้งานผ่านทางโทรศัพท์มือถือ และร่วมกันอภิปรายในชั้นเรียน
ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)	นักเรียนศึกษาคลิปวิดีโอการสอนเรื่อง “กราฟคู่อันดับบนระบบพิกัดฉาก” ผ่าน YouTube และทำกิจกรรมการเขียนกราฟ ผ่าน GeoGebra Classroom	นักเรียนทำใบงานออนไลน์ผ่าน GeoGebra Classroom เรื่อง “กราฟของสมการเชิงเส้นสองตัวแปร” และร่วมกันอภิปรายในชั้นเรียน
ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)	นักเรียน เรียนรู้เรื่อง “กราฟของสมการเชิงเส้นสองตัวแปร” และทำใบงานออนไลน์ผ่านทาง GeoGebra Classroom	นักเรียนทำกิจกรรมออนไลน์ Desmos Activity Classroom เรื่อง “เต้ากับกระต่าย” และร่วมกันอภิปรายในชั้นเรียน
ขั้นการประเมิน (Evaluation)	ครูประเมินเพื่อการพัฒนา (Formative Assessment) ซึ่งเป็นการพัฒนาและสร้างความรู้ความเข้าใจแก่นักเรียนโดยใช้ GeoGebra Classroom และ Desmos Activity Classroom และการประเมินผลรวบยอด (Summative Assessment) เพื่อตัดสินผลว่าผู้เรียนมีความรู้ ความสามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้หรือไม่ โดยใช้ Quizizz Google Form, GeoGebra Applet และ Desmos Activity Classroom ตามบริบทของเนื้อหา	

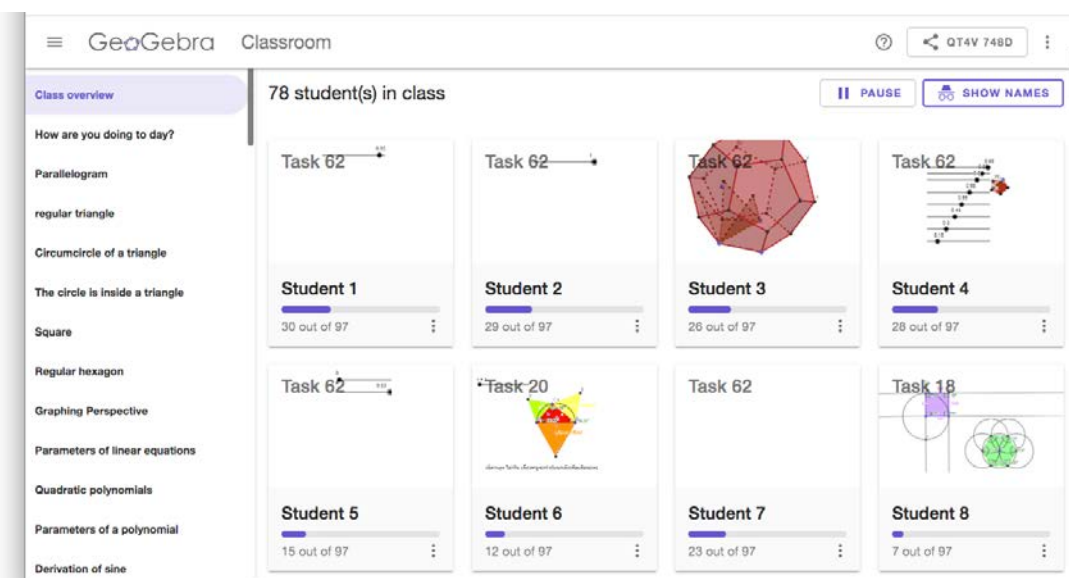
จากตารางพบว่าแนวทางการเรียนการสอนบูรณาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E กับห้องเรียนกลับด้านด้วยเครื่องมือการเรียนรู้ดิจิทัล ใช้ในส่วนของห้องเรียนกลับด้านคือการจัดกิจกรรมนอกชั้นเรียนและการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนผนวกกับการจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5E 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นการสำรวจและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและสรุป 4) ขั้นขยายความรู้ และ 5) ขั้นประเมิน ซึ่งครูต้องออกแบบกิจกรรมด้วยการใช้เครื่องมือการเรียนรู้แบบดิจิทัลเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา

ห้องเรียนเสมือนจริง (Virtual Classroom)

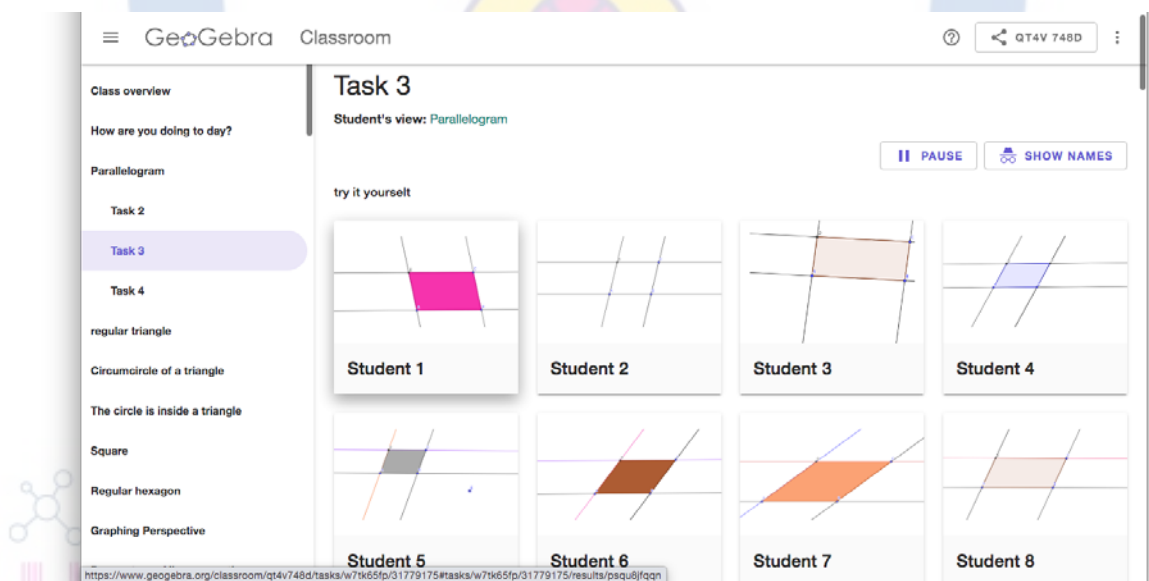
ห้องเรียนเสมือน (Virtual Classroom) เป็นวิธีการเรียนการสอนที่กระทำผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นการบริหารจัดการชั้นเรียนด้วยเครื่องมือดิจิทัลแบบทางไกล (Peson et al., 2020) โดยครูผู้สอนจะต้องมีการออกแบบและสร้างกิจกรรมการเรียนรู้บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทางแอปพลิเคชันต่าง ๆ ซึ่งมีการนำเสนอเนื้อหาแก่ผู้เรียนในลักษณะที่หลากหลาย อาทิเช่น ข้อมูลตัวอักษร เสียง ภาพ แอนิเมชัน วิดีโอ เกมส์ แบบทดสอบ หรือ มัลติมีเดีย เป็นต้น การใช้เครื่องมือการจัดการเรียนการสอนนี้จะใช้เพื่อสร้างกิจกรรมการเรียนการสอน การทำงานร่วมกัน การสื่อสารระหว่างผู้เรียนและผู้สอน การควบคุมและจัดลำดับการเรียนรู้ และการอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้แก่ผู้เรียน โดยในการสอนคณิตศาสตร์มีระบบให้เลือกใช้งานที่หลากหลาย ดังนี้

GeoGebra Classroom เป็นแพลตฟอร์มเสมือนจริง ซึ่งสามารถอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ในระยะไกล ซึ่งสามารถสร้างบทเรียนหรือภารกิจ (Task) (ภาพที่ 5) ในการเรียนรู้จากใบกิจกรรม (Activities) หรือหนังสือ (Book)

ที่ออกแบบไว้ในระบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ (Cloud Computing) บน GeoGebra เว็บไซต์ (ภาพที่ 4) และเป็นแหล่งรวบรวมทรัพยากรที่สนับสนุนการสอนในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ ซึ่งครูและนักเรียนทำกิจกรรมร่วมกันได้แบบเรียลไทม์ (GeoGebra Team, 2020)

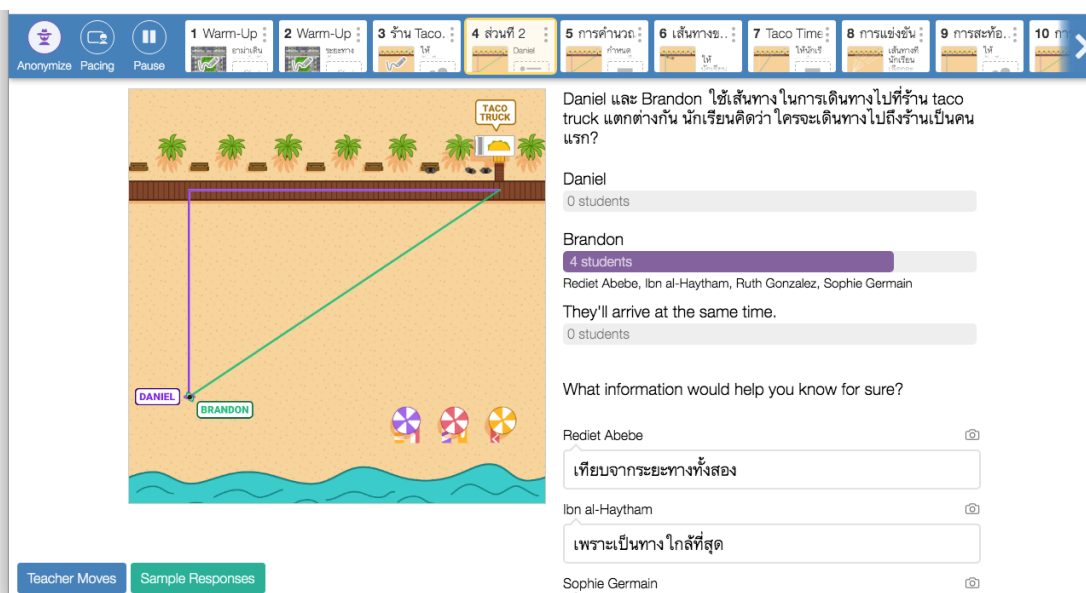


ภาพที่ 4 GeoGebra Classroom
ที่มา <https://www.geogebra.org/classroom>



ภาพที่ 5 การกิจ (Task)
ที่มา <https://www.geogebra.org/classroom>

Desmos Classroom Activities เป็นบริการหนึ่งของ Desmos ที่ช่วยสนับสนุนการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้และเข้าใจในเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ และยังเป็นชุมชนแห่งการเรียนรู้ (Learning Community) ของครูคณิตศาสตร์ในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ สื่อการสอนต่าง ๆ โดย Classroom Activities สามารถสร้างบทเรียนแบบไดนามิก (ภาพที่ 6) แบบวัดผลทางการเรียนรู้ การตรวจสอบการเข้าใช้งาน การตอบโต้สื่อสารกับผู้เรียนตลอดจนการบริหารจัดการชั้นเรียนวิชาคณิตศาสตร์ (ภาพที่ 7) (Desmos, 2020)



ภาพที่ 6 กิจกรรมแบบไดนามิก

ที่มา <https://student.desmos.com/activitybuilder/student-greeting/6004f11b09052f47258e01ab?lang=th>

d ม.2 - พิทาโกรัส กับกิจกรรมการเดินทางไปร้าน Taco Truck

Snapshots Summary Teacher Student

Anonymize mode is on. Your students' names have been changed to the names of notable mathematicians. Learn more

Rediet Abebe	✓	✓	•	•	⚠	✓	⚠	—	✗	⚠
Ibn al-Haytham	✓	✓	•	•	⚠	✓	✓	—	✗	✗
Cynthia Breazeal			•							
Ruth Gonzalez	✓	✓	•	•	⚠	✓	✓	—		
Sophie Germain	✓	✓	•	•	✗	✓	✗	—	✗	⚠

ภาพที่ 7 Classroom Activities

ที่มา <https://student.desmos.com/activitybuilder/student-greeting/6004f11b09052f47258e01ab?lang=th>

สรุป

การจัดการเรียนรู้โดยการบูรณาการห้องเรียนกลับด้านกับการสอนแบบสืบเสาะ(5E) โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริงในการสอนคณิตศาสตร์ เป็นการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับสภาพการเปลี่ยนแปลงทางสังคมโลก ซึ่งเทคโนโลยีเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเรียนรู้ของนักเรียนในปัจจุบัน ห้องเรียนกลับด้านเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้หนึ่งที่จะช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ตลอดเวลาซึ่งจะเรียนรู้ในห้องเรียน และนอกห้องเรียน โดยผ่านการใช้งานเทคโนโลยีในการเรียนรู้ด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านก็ยังมีแนวทางในการจัดการเรียนรู้สำหรับครูให้กับผู้เรียนอย่างชัดเจน จึงต้องอาศัยขั้นตอนวิธีการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะ(5E) มาผนวกเพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้โดยการสร้างองค์ความรู้ใหม่และแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอนผ่านกระบวนการสำรวจ สังเกต คัดการณ ตรวจสอบ สืบค้นและเชื่อมโยงความรู้เดิมและความรู้ใหม่ที่เกิดขึ้นด้วยตนเอง ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นการสำรวจและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและสรุป 4) ขั้นขยายความรู้ และ 5) ขั้นประเมินตนเอง โดยใช้งานเครื่องมือดิจิทัลผ่านห้องเรียนเสมือนจริง ซึ่งครูผู้สอนต้องมีหน้าที่ออกแบบกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือดิจิทัล ได้แก่ วิดีโอ ใบงานออนไลน์ สื่อเสมือนจริง และห้องเรียนเสมือนจริง เป็นต้น เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้ในห้องเรียน และนอกห้องเรียน ผู้เรียนสามารถเข้าใช้งานได้ตลอดเวลาซึ่งทำให้เกิดการเรียนรู้ตลอดชีวิต (lifelong learning) และการเรียนรู้ด้วยตนเอง (self-learning)

เอกสารอ้างอิง

- Chobpho, P., Ratananugool, N., Prompibal, N., Somprasert, C. and Sukjaroen, N. (2020). Knowledge management in nursing science with augmented reality technology and virtual classrooms (in Thai). **Kasem Bundit Journal**, 21(2), 193-210.
- Desmos. (2020). Learn Desmos: Classroom activities. Retrieved 9 July 2021, from **Desmos**: <https://learn.desmos.com/activities>
- GeoGebra Team (2020). GeoGebra classroom. Retrieved 9 July 2021, from **GeoGebra**: <https://www.geogebra.org/m/hncrguu>
- Jaroensa, T. and Sengsri, S. (2020). Digital intelligence quotient and creativity and innovation skills in 21st century (in Thai). **Journal for Research and Innovation, Institute of Vocational Education Bangkok**, 3(2), 21-29.
- Mitrpant, C. (2021). IT news. Retrieved 25 July 2021 from **MGR online**: <https://mgronline.com/cyberbiz/detail/9640000034830>.
- Phooddee, W. (2020). Mathematics instruction in digital age: Methods and tools (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(2), 190-199.
- Robert, W., Zsolt, L., Markus, H. and Stefanie, S. (2020). Enhancing flipped mathematics education by utilising GeoGebra. **International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology**, 8(1), 1-15.
- Sirirassamee, T. and Pongrojpaio, S. (2019). Flipped classroom teaching model (in Thai). **Journal of Medicine and Health Sciences**, 21(1), 136-142.
- Sithsungnoen, C. (2017). Flipped classroom: Learning skill in the 21st century (in Thai). **Journal of MCU Social Science Review**, 6(2), 171-182.
- Stefanie, S., Zsolt, L. and Ellen, V. (2020). Merging flipped classroom approaches with the 5E inquiry model: A design heuristic. Retrieved 25 July 2021, from **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**: <https://doi.org/10.1080/0020739X.2020.1831092>.
- Stefanie, S., Zsolt, L. and Ellen, V. (2021). Towards inquiry-based flipped classroom scenarios: A design heuristic and principles for lesson planning. Retrieved 25 July 2021, from **International Journal of Science and Mathematics Education**: <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10167-0>.



ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

ชื่อ-สกุล	หน้า	Name-Surname	Page
กรกมล ชูช่วย	264	Kornkamol Chuchuoy	265
กัญญาณัฐ จงพังกาลง	264	Kanyanat Jongpungklang	265
กานต์ตะวัน วุฒิสเลา	244	Karntarat Wuttisela	245
เจษฎา ราษฎร์นิยม	264	Jadsada Ratniyom	265
จิตกร ผลโยญ	178	Chittakorn Polyon	179
ฉัตรมงคล สีประสงค์	217	Chatmongkol Seeprasong	218
ชาญชัย ศุภอรธกร	131	Chanchai Supaartagorn	132
ณมนรัก คำฉัตร	217	Na-monrug Khamchatra	218
ทิวากร แก่นษา	244	Tiwagorn Kansa	233
ธนา นันทิกาญจนะ	172	Thana Nuntigrangjana	173
นนทวัฒน์ ไชยโอชะ	145	Nontawat Chaiyaocha	146
นภาลัย ต๊ะเสาร์	177	Napalai Tasao	178
พรพรรณ สกนธวัฒน์	204	Pornpun Sakonthawat	205
เพ็ญนภา คำแพง	231	Pennapa Kumpang	232
ไพรินทร์ สุวรรณศรี	255	Pairin Suwannasri	256
มนตรี ทองมูล	172	Montri Thongmoon	173
มนมนัส สุดสิ้น	264	Monmanus Sudsin	265
มฤดี มณีล้ำ	255	Monruedee Maneelam	256
มัทนภรณ์ ใหม่คามิ	155	Mattanaporn Maikami	156
โยธิน ศิลา	131	Yothin Sira	132
วรศักดิ์ สุขบท	145	Worasak Sukkabot	146
วิศรา ทาจิตร	145	Waritsara Thajitr	146
ศศิธร ปัจจุโส	172	Sasitorn Putjuso	173
สุชาติ วัฒนชัย	231	Suchat Wattanachai	232
สุทธิดา จำรัส	177	Suthida Chamrat	178
สุพจน์ สิบบุตร	164	Supot Seebut	165
สุมาลี เทียนทองดี	264	Sumalee Tientongdee	265
สุระ วุฒิพรหม	244	Sura Wuttiptom	245
สุวัฒน์ ผาบจันดา	204	Suwat Pabchanda	205
อารยา ลี	264	Araya Lee	265



วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (JSSE)

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสกลมารค์ ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425 โทรสาร 045-353422

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

วันที่พิมพ์ 10 ธันวาคม 2564