

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่องกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์: เปรียบเทียบ
ผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจจากการใช้ชุดอุปกรณ์การทดลองจริง
กับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง

5E Inquiry-Based Learning on Faraday's Law of Induction: A Comparison of
Learning Achievement and Satisfaction Between Hands-On Laboratory
Equipment and Interactive Simulations

พัชรา พักสุข¹, ณัฐวัฒน์ ศรีไพรสัน², นิพนธ์ มณีธรรม³,
วิจิตร ฤทธิธรรม³, ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ³, นงลักษณ์ จันทร์พิชัย^{3*}

Patchara Pugsuk¹, Nattawat Sripraisan², Nipphon Maneetham³,
Wijit Rittidhum³, Nutthapong Discharoen³, Nongluk Chanpichai^{3*}

¹ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กบ้านเริงกะพง, องค์การบริหารส่วนตำบลหินดาด, หินดาด, ปางศิลาทอง, กำแพงเพชร, 62120

²หมวดวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์, เทพนคร, เมืองกำแพงเพชร, กำแพงเพชร, 62000

³โปรแกรมวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, นครชุม, เมืองกำแพงเพชร, กำแพงเพชร, 62000

¹Ban Rung Kapong Children's Development Center,

HinDat Sub District: Admin Organization Office, HinDat, Pang Sila Thong, Kamphaengphet, 62120.

²Science and Technology Learning Group, Chaloeam Phrakiat Somdej Phra Srinakarin School,
Thep Nakhon, Mueang, Kamphaengphet, 62000.

³Physics Program, Faculty of Science and Technology,
Kamphaengphet Rajabhat University, Nakornchum, Muang, Kamphaengphet, 62000.

*Corresponding author E-mail: nongluk_j@kpru.ac.th

(Received: February 2, 2025; Revised: April 22, 2025; Accepted: June 18, 2025)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักเรียนในการเรียนรู้เรื่องกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับชุดทดลองจริงและสื่อจำลองแบบอินเทอร์แอคทีฟของ PhET กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ จังหวัดกำแพงเพชร ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยสื่อจำลอง PhET มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยชุดทดลองจริงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าเฉลี่ย = 7.29, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.01; เท่ากับร้อยละ 72.86 เทียบกับค่าเฉลี่ย = 6.76, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.39; เท่ากับร้อยละ 67.65) ในด้านความพึงพอใจ กลุ่มที่ใช้สื่อ PhET มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับสูง (ค่าเฉลี่ย = 4.26, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.20) ขณะที่กลุ่มที่ใช้ชุดทดลองจริงมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ย = 3.50, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.20) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการสื่อจำลอง PhET กับการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบ 5E สามารถส่งเสริมความเข้าใจในเนื้อหาและความมีส่วนร่วมของนักเรียนในการเรียนวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

Abstract

This study aimed to investigate students' learning achievement and satisfaction through 5E inquiry-based learning on Faraday's Law of Induction, comparing real experiment kits with PhET interactive simulations. The participants were grade 12 students from Chalermprakiat Somdet Phra Sri Nakharin School in Kamphaeng Phet Province. The findings revealed that students using PhET simulations had a higher average score ($\bar{X}$ = 7.29, SD = 1.01; 72.86%) than those using real experiment kits ($\bar{X}$ = 6.76, SD = 1.39;

67.65%), with a slight but statistically significant difference. Regarding satisfaction, the PhET group reported a high level of satisfaction ($\bar{X}$ = 4.26, SD = 0.20), while the real-kit group showed moderate satisfaction ($\bar{X}$ = 3.50, SD = 0.20). The results suggest that integrating PhET simulations with the 5E model can effectively enhance students' understanding and engagement in science learning.

Keyword: 5E Inquiry-based learning, PhET Interactive simulations, Faraday's Law of Induction

บทนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มุ่งเน้นให้บุคลากรทางการศึกษาหมวดวิทยาศาสตร์จัดการเรียนการสอนด้วยกระบวนการแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) 2) ขั้นสำรวจและค้นคว้า (Exploration) 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) 4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) 5) ขั้นประเมิน (Evaluation) อันเป็นกระบวนการที่มุ่งให้ผู้เรียนเกิดความตั้งใจ ใฝ่รู้ ใฝ่เรียน จนสามารถที่จะค้นคว้าหาองค์ความรู้และทำความเข้าใจได้ด้วยตนเอง สอดคล้องกับรูปแบบการผลักดันให้เกิดทักษะการเรียนรู้ตลอดชีวิตของผู้เรียน (Lifelong learning) ซึ่งผลสัมฤทธิ์ในการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากงานวิจัยของ พิเชิตทอง ครอลพลขวา [1] ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยการใช้เนื้อหาของรายวิชาฟิสิกส์มาแก้ปัญหาที่พบในชุมชนท้องถิ่น เพื่อให้ผู้เรียนหาแนวทางและกระตุ้นให้เกิดทักษะในการค้นหาค้นคว้าองค์ความรู้เพื่อใช้แก้ไขปัญหา งานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงผลสัมฤทธิ์ต่อผู้เรียนอันมีประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ที่โดยวัดจากคะแนนการผ่านเกณฑ์ทดสอบของผู้เรียนเกินร้อยละ 70 นอกจากนี้ยังพบอีกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการเรียนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E มีความสอดคล้องกับรูปแบบการเรียนการสอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์เป็นอย่างยิ่งที่ต้องเน้นให้ผู้เรียนลงมือในการทำปฏิบัติการหรือทำการทดลองด้วยตัวเองเพื่อให้สามารถหาวิธีในการแก้ปัญหาหรือวิธีการอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นด้วยทักษะกระบวนการการสังเกต การตั้งสมมติฐาน การวัดค่า การบันทึกข้อมูล ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายและหาข้อสรุปที่มาของปัญหาหรือที่มาของการเกิดปรากฏการณ์นั้น ๆ ได้ นอกจากนี้กระบวนการดังกล่าวยังช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความกระตือรือร้นที่จะสนใจใคร่รู้ อยากที่จะทดสอบหรือทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบและที่มาของปัญหา อันจะเป็นผลดีอย่างยิ่งต่อการก่อให้เกิดทักษะการสืบเสาะหาข้อมูลเพิ่มเติม ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งจนเกิดทักษะการถ่ายทอด นำมาซึ่งการหาข้อสรุปด้วยตนเองได้ กระบวนการที่ว่านี้ยังสอดคล้องโดยตรงกับลักษณะการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (Active Learning) อีกด้วย จากผลสัมฤทธิ์จากงานวิจัยข้างต้นรวมถึงรูปแบบแนวทางของกระบวนการเรียนการสอนในรูปแบบ 5E นี้ มีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนในรายวิชา ฟิสิกส์ ที่จะมุ่งเน้นกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจใคร่รู้ปรากฏการณ์ที่พบเจอในชีวิตประจำวันโดยเฉพาะอย่างยิ่งปรากฏการณ์เกี่ยวกับไฟฟ้าหรือปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือน โดยจะระบุให้เป็นปัญหาถึงที่มาที่ไปว่าปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไรหรือใช้หลักการใดในการทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมาใช้งานได้

กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์เป็นเนื้อหาส่วนหนึ่งในรายวิชาฟิสิกส์ 5 ที่ทำการเรียนการสอนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 นั้นผู้เรียนต้องอาศัยการสังเกตจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างขดลวดตัวนำที่ต่ออยู่กับกัลวานอมิเตอร์ (Galvanometer) กับแท่งแม่เหล็กขณะกำลังเคลื่อน (เท่านั้น) ผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำ ทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำนั้นและเรียกแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สมมุติให้เกิดกระแส

เหนี่ยวนำนั่นว่า emf เหนี่ยวนำ ($\mathcal{E}$) โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวฟาราเดย์จึงได้สร้างเป็นกฎและได้ให้คำอธิบายหลักการไว้ว่า emf เหนี่ยวนำในวงปิด (loop) ของขดลวดตัวนำมีค่าเท่ากับค่าลบของอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก (ϕ_B) ที่ผ่านวงปิดของขดลวดตัวนำนั้นเทียบกับเวลา (t) ตามความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 1

$$\mathcal{E} = -d\phi_B/dt \quad 1)$$

โดยฟลักซ์แม่เหล็ก(ϕ_B) สามารถเริ่มพิจารณาจากฟลักซ์แม่เหล็กขนาดเล็กยิ่ง ($d\phi_B$) ที่ถูกนิยามจากสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) ที่พุ่งผ่านพื้นที่หน้าตัดของวงปิดของขดลวดตัวนำที่มีขนาดเล็กยิ่ง (dA) โดยพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กยิ่งจะถูกอธิบายและระบุทิศทางในรูปแบบของปริมาณเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กยิ่งนั้น ($d\vec{A}$) ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2

$$d\phi_B = B_{\perp}dA = B \cos \theta dA = \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad 2)$$

โดยฟลักซ์แม่เหล็กเป็นปริมาณสเกลาร์และ θ คือ มุมระหว่างสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) กับเวกเตอร์แสดงทิศที่ตั้งฉากกับพื้นที่ผิวขนาดเล็กยิ่ง ($d\vec{A}$) โดยในกรณีที่สนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) มีค่าสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของวงปิดของขดลวดตัวนำซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด (A) ทำให้ได้ $B_{\perp}$ และ θ มีค่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3

$$\phi_B = B_{\perp}A = BA \cos \phi \quad 3)$$

จากเนื้อหาดังกล่าวเป็นที่ชัดเจนว่าผู้เรียนมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดลองหรือลงมือปฏิบัติเพื่อเป็นการช่วยเสริมให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์กับปรากฏการณ์การเหนี่ยวนำไฟฟ้าจากการขยับหรือเคลื่อนแท่งแม่เหล็กให้พุ่งเข้าหรือพุ่งออก (เท่านั้น) จากพื้นที่หน้าตัดของขดลวดตัวนำวงปิด ผ่านการสังเกตหรือการอ่านค่าจากเข็มของกัลวานอมิเตอร์ที่ขยับไปมาซ้ายขวาขณะเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้น และยังสามารถสังเกตเพิ่มอีกได้ว่าจะไม่พบกับปรากฏการณ์ดังกล่าวหากเพียงแต่ถือแท่งแม่เหล็กอยู่นิ่งๆ กับขดลวดตัวนำนั้น จากการที่ผู้เรียนสังเกตปรากฏการณ์ได้เพียงการขยับของเข็มกัลวานอมิเตอร์ขณะเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นนั้นยังไม่เพียงพอต่อการอธิบายหลักการของกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ เพราะการจะอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้จำเป็นต้องเข้าใจเหตุของการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่ว่าจะเป็น การระบุทิศทางของ emf เหนี่ยวนำทิศของ $\vec{A}$ หรือทิศของสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ผู้เรียนต้องมีความเข้าใจอันลึกซึ้งของการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก (ที่มีค่าแปรผันโดยตรงกับสนามแม่เหล็ก) ที่เปลี่ยนไปตามเวลา อย่างไรก็ตามฟารามีเตอร์ดังกล่าวข้างต้นจำเป็นต้องอธิบายในรูปแบบของสนามแม่เหล็กและเส้นแรงแม่เหล็ก จึงเป็นเรื่องยากที่จะให้ผู้เรียนจะสามารถสังเกตให้เห็นฟารามีเตอร์ดังกล่าวให้เป็นรูปธรรมเชิงประจักษ์ได้จากชุดอุปกรณ์การทดลองจริงที่มีเพียงแท่งแม่เหล็ก ขดลวดตัวนำ และกัลวานอมิเตอร์ ได้

ในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีการศึกษาได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนการสอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรายวิชาวิทยาศาสตร์ที่มีเนื้อหาซับซ้อนและต้องการการอธิบายผ่านภาพหรือปรากฏการณ์จริง การใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง (Interactive Simulation) จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับคามนิยมน้อยอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถจำลองสถานการณ์หรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ให้เสมือนจริงในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ชัดเจน และเอื้อต่อการเรียนรู้ด้วยตนเองของผู้เรียน โดยเฉพาะในหัวข้อที่ยากต่อการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียนปกติ เช่น ปรากฏการณ์เชิงฟิสิกส์ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า หนึ่งในสื่อจำลองเสมือนจริงที่ได้รับความนิยมในระดับนานาชาติ คือ PhET Interactive Simulations ซึ่งพัฒนาโดย

คณะนักฟิสิกส์และนักพัฒนาซอฟต์แวร์จากมหาวิทยาลัยโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกา ภายใต้โครงการ The Physics Education Technology (PhET) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบอินเทอร์ แอกทีฟให้เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับต่าง ๆ ทั้งระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา เปิดให้ใช้งานผ่านทาง เว็บไซต์ www.phet.colorado.edu และยังสามารถดาวน์โหลดใช้งานแบบออฟไลน์ได้ ทั้งในระบบปฏิบัติการ Windows, macOS, Android และ iOS ครอบคลุมการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน และแท็บเล็ต

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น งานวิจัยของประพิณญา ทิพย์แสง [2] ที่ศึกษาการนำสื่อ PhET ไปใช้ในการเรียนรู้เรื่องการโคจรของดวงจันทร์ในนักเรียนระดับประถมศึกษาที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน พบว่าสื่อ ดังกล่าวช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีความพึงพอใจต่อการเรียนใน ระดับมาก แสดงให้เห็นว่าสื่อจำลองเสมือนจริงสามารถใช้เป็นเครื่องมือทางการศึกษาที่มีประสิทธิภาพ และมี ศักยภาพในการประยุกต์ใช้กับเนื้อหาอื่น ๆ ได้อีกหลากหลาย เนื้อหาเรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ (Faraday's Law of Induction) ซึ่งเป็นหนึ่งในหัวข้อสำคัญของรายวิชาฟิสิกส์ เป็นหัวข้อที่ผู้เรียนมักมีความ เข้าใจคลาดเคลื่อน เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก และ ทิศทางของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นแนวคิดนามธรรมและยากต่อการสังเกตโดยตรง แม้จะมีชุดทดลอง จริงให้ใช้ประกอบการเรียนรู้ แต่ก็มีข้อจำกัดในการแสดงภาพเชิงประจักษ์ของบางพารามิเตอร์ เช่น ทิศทาง ของสนามแม่เหล็ก ลักษณะของเส้นสนามแม่เหล็ก หรือการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กขณะแท่งแม่เหล็ก เคลื่อนที่ผ่านขดลวดนำไฟฟ้า

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของ ผู้เรียนที่เรียนรู้เรื่องกฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ โดยใช้สื่อจำลอง PhET เปรียบเทียบกับชุดทดลองจริง ภายใต้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสื่อทั้งสองรูปแบบ และ เพื่อพัฒนานวัตกรรมการเรียนการสอนที่ส่งเสริมการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้และความพึงพอใจของผู้เรียนในการจัดการเรียนการสอน ด้วยกระบวนการแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ที่เน้นในการระบุปัญหาให้กับผู้เรียนเพื่อให้ผู้เรียนหาแนวทางแก้ไข ปัญหานั้นด้วยตนเองจากการลงมือทำปฏิบัติการหรือการทำปฏิบัติการด้วยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ที่เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาในรายวิชา ว33201 ฟิสิกส์ 5 สำหรับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เปรียบเทียบกับการทำปฏิบัติการด้วยชุดของอุปกรณ์การทดลองจริง โดยมีการ ออกแบบการวิจัยด้วยใบกิจกรรมประกอบการปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองเสมือนจริงของ PhET เทียบกับใบ กิจกรรมประกอบการปฏิบัติการของชุดการทดลองจริงและทำการวิเคราะห์ความเข้าใจของผู้เรียนสะท้อน ออกมาจากการตอบคำถามด้วยชุดทดสอบประเมินการเรียนของผู้เรียนในแต่ละใบกิจกรรม พร้อมทั้งประเมิน ความพึงพอใจต่อการใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET เทียบกับความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการใช้ชุด อุปกรณ์เสมือนจริงด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนจากการใช้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ โดยการใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET กับชุดอุปกรณ์การ ทดลองจริง
- 2) เปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการใช้รูปแบบการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ โดยการใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET กับชุดอุปกรณ์การทดลองจริง

สมมติฐานการวิจัย

- 1) การใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ในการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ มีส่วนทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น
- 2) การใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ในการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ช่วยเพิ่มความสนใจ ความใคร่รู้ ของผู้เรียนเพิ่มขึ้นโดยสะท้อนออกมาจากความพึงพอใจของผู้เรียน

วิธีการดำเนินการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย

1) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1) ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ กำแพงเพชร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 38 คน

1.2) กลุ่มตัวอย่าง

เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2 จำนวน 21 คน และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 จำนวน 17 คน โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ กำแพงเพชร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566

2) ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

2.1) ตัวแปรต้น

2.1.1) การจัดเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2

2.1.2) การจัดเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริง ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3

2.2) ตัวแปรตาม

2.2.1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของผู้เรียนหลังจากทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET และการทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริง

2.2.2) ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนการสอนในรูปแบบการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET และการทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริง

เครื่องมือและการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดเจตคติทางการเรียนฟิสิกส์ เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ซึ่งมีวิธีการสร้างดังนี้

1.1) แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะเป็นแบบทดสอบประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียนแบบเลือกคำตอบปรนัย จำนวน 10 ข้อ โดยมีวิธีการคำนึงถึงเนื้อหาและความเหมาะสมในตัวอย่างแบบทดสอบตามกระบวนการดำเนินการดังนี้

- 1.1.1) ศึกษาหลักสูตรและเนื้อหาสาระรายวิชาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) [3]
- 1.1.2) ศึกษาวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E กับตัวชี้วัดในหลักสูตร เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบทดสอบแบบปรนัยและการจัดผังข้อสอบ
- 1.1.3) เขียนแบบทดสอบปรนัย โดยการจัดทำข้อสอบ จากนั้นผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านพิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา ความสมเหตุสมผล ความเป็นปรนัย และความชัดเจนของภาษา ก่อนนำข้อสอบไปทดลองใช้ ซึ่งจะใช้ข้อสอบชุดเดียวกันทั้ง 2 ห้อง
- 1.1.4) นำข้อสอบที่ผ่านการตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไข และผ่านการทดลองไปใช้ในการเก็บข้อมูลวิจัยต่อไป

1.2) แบบวัดความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทำปฏิบัติการด้วยอุปกรณ์ทดลองจริงและจากการทำปฏิบัติการด้วยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET มีกระบวนการการดำเนินการดังนี้

- 1.2.1) ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.1.2) กำหนดประเด็นคำถามเพื่อพัฒนาแบบวัดความพึงพอใจ โดยเป็นแบบสอบถามที่เป็นข้อคำถาม มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) ตามแนวคิดของ ลิเคิร์ต (Likert) โดยมีความหมายของคะแนนในแต่ละระดับดังนี้
 - 5 คะแนน หมายถึง พึงพอใจระดับมากที่สุด
 - 4 คะแนน หมายถึง พึงพอใจระดับมาก
 - 3 คะแนน หมายถึง พึงพอใจระดับปานกลาง
 - 2 คะแนน หมายถึง พึงพอใจระดับน้อย
 - 1 คะแนน หมายถึง พึงพอใจระดับน้อยที่สุด
- 1.2.3) นำแบบวัดความพึงพอใจไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความครอบคลุมข้อคำถาม ความเหมาะสมของภาษา จากนั้นจึงนำมาปรับปรุงตามคำแนะนำ ผลการพิจารณาตรวจสอบ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC = 1.0

2) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1) รูปแบบการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริงให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 และการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2 โดยมีเนื้อหาและรายละเอียดดังนี้

- 2.1.1) ทำการศึกษาเนื้อหาเรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ระบุปัญหาให้กับผู้เรียน และทำความเข้าใจในเนื้อหาด้านการทำปฏิบัติการทั้ง 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ใช้สื่อจำลองเสมือนจริง PhET และรูปแบบที่ใช้อุปกรณ์การทดลองจริง
- 2.1.2) การกำหนดเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ 2 ชั่วโมง/ห้อง ประกอบด้วยการศึกษาเอกสารเพื่อให้ทราบวัตถุประสงค์และเนื้อหาของเรื่องที่สอนทั้งหมด 1 ชั่วโมง/ห้อง การเรียนรู้จากการทดลองด้วยอุปกรณ์จริง ไม่เกิน 40 นาที สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 และการเรียนรู้จากการทดลองที่ใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ไม่เกิน 40 นาที สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2

- 2.1.3) ทำการกำหนดความคิดรวบยอด โดยการสรุปแนวคิดสาระสำคัญเพื่อเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกัน
- 2.1.4) กำหนดวัตถุประสงค์ในการเรียน โดยการกำหนดความสามารถของผู้เรียนที่แสดงออกมาให้เห็นได้ภายหลังการเรียนการสอน
- 2.1.5) ดำเนินการวิเคราะห์งานโดยการนำจุดประสงค์การเรียนรู้มาทำการวิเคราะห์ เพื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้เหมาะสมสอดคล้องกับจุดประสงค์ของการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E
- 2.1.6) ทำการประเมินผลการเรียนรู้เพื่อสะท้อนกลับ เป็นการให้ผู้เรียนรับรู้ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของตนเองเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาตนเองในแต่ละครั้ง
- 2.1.7) ทำการพัฒนาต่อยอดแผนการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทำปฏิบัติการด้วยอุปกรณ์ทดลองจริงและการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ในรูปแบบ จากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาความตรงเชิงเนื้อหา ความสมเหตุสมผล และความชัดเจนของภาษา
- 2.1.8) ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะ 5E เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทำปฏิบัติการด้วยอุปกรณ์ทดลองจริงและการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้ในการวิจัย

3) การดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1) การเตรียมการก่อนดำเนินการวิจัย

ดำเนินการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดความพึงพอใจในการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากการทำปฏิบัติการด้วยอุปกรณ์ทดลองจริงและจากการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ให้แล้วเสร็จ โดยมีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือก่อนนำไปใช้

3.2) ดำเนินการวิจัย

3.2.1) ดำเนินการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยแบบทดสอบ และวัดความพึงพอใจ จากการทำปฏิบัติการด้วยอุปกรณ์ทดลองจริงและจากการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์

3.2.2) นำผลคะแนนการทดสอบหลังเรียนไปวิเคราะห์ เพื่อหาค่าเฉลี่ยเทียบกับเกณฑ์และสรุประดับความพึงพอใจและสรุประดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

4) การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Excel โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงบรรยาย (Descriptive Statistics) กล่าวคือ วิเคราะห์คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจด้วยสถิติค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

จากการดำเนินการจัดรูปแบบการเรียนการสอนด้วยกระบวนการแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ที่เน้นระบุปัญหาให้กับผู้เรียนในประเด็นถึงที่มาและหลักการของการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำ

ซึ่งเป็นพื้นฐานของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือน เป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจสะท้อนให้เห็นถึงทักษะในการสืบค้นข้อมูล ทำไปสู่การทำการปฏิบัติการด้วยตนเองในเนื้อหา เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ด้วยการทำการปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริงของชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 เทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ด้วยการทำการปฏิบัติการด้วยตนเองด้วยการใช้สื่อจำลองเสมือนจริงของ PhET ของชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2 ซึ่งได้ผลสัมฤทธิ์จากการเรียนการสอนในลักษณะดังกล่าวแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ในรูปแบบการทำการปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์จริงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 เทียบกับการทำการปฏิบัติการที่ใช้สื่อโต้ตอบเสมือนจริง PhET ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2

กลุ่มเป้าหมาย	จำนวน (N)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ร้อยละ (%)	เกณฑ์ (%)
นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6/2	21	7.29	1.01	72.86	70
นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 6/3	17	6.76	1.39	67.65	70

จากตารางพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2 หลังใช้การจัดเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ที่ทำการปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากนักเรียนจำนวน 21 คน โดยมีผลคะแนนประเมินวัดความรู้เฉลี่ย 7.29 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.01 และคิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ยที่ 72.86 โดยสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ ร้อยละ 70 เล็กน้อย และพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 หลังใช้การจัดเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ที่ทำการปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริง เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ จากนักเรียนจำนวน 21 คน โดยมีผลคะแนนประเมินวัดความรู้เฉลี่ยที่ 6.76 จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.39 คิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ยที่ 67.65 โดยต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ ร้อยละ 70 เล็กน้อย

จากการวัดความพึงพอใจหลังจากการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E จากการทำการปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริงกับการทำการปฏิบัติการด้วยการใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2 ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการทำการปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ในภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก โดยมีค่าเฉลี่ยของการประเมินในทุกประเด็นการวัดอยู่ที่ 4.26 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20 ส่วนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการทำการปฏิบัติการโดยใช้ชุดอุปกรณ์การทดลองจริง ในภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง โดยมีค่าเฉลี่ยของการประเมินในทุกประเด็นการวัดอยู่ที่ 3.50 โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20 เมื่อพิจารณาความพึงพอใจในแต่ละประเด็นที่ใช้ประเมินพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6/2 ที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนด้วยรูปแบบการทำการปฏิบัติการด้วยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับพึงพอใจมาก นอกจากนี้นักเรียนกลุ่มดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการทดลองด้วยการใช้สื่อจำลองมีความไม่ซับซ้อน สะดวก เห็นภาพเชิงประจักษ์และเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินในระดับพึงพอใจมากที่สุด ในประเด็นการประเมินความพึงพอใจในหัวข้อ “อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง มีประสิทธิภาพ ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการเรียน” และในประเด็นการประเมินความพึงพอใจในหัวข้อ “อุปกรณ์ สื่อ หรือเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง มีความสะดวกและสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง” โดยหัวข้อ

ประเด็นการประเมินทั้ง 2 ประเด็นดังกล่าว มีคะแนนผลการประเมินที่แตกต่างกันอยู่มากจากผลการประเมินของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6/3 ที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนด้วยรูปแบบการทําปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริง ที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง สะท้อนให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของขีดความสามารถของสื่อจำลองเป็นอย่างยิ่ง ที่มีการถ่ายทอดเนื้อหาที่ง่ายและช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจได้ดีขึ้น

สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการศึกษาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E รายวิชาฟิสิกส์ 5 เรื่อง กฎของฟาราเดย์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปี 6 โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ จังหวัดกำแพงเพชร ต่อการทําปฏิบัติการทดลอง ด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริงเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2 ที่ดําเนินการเรียนการสอนด้วยการทําปฏิบัติการทดลองที่ใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET มีค่าเฉลี่ยคะแนนคิดเป็นร้อยละ 72.86 โดยมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) อยู่ที่ 7.29 และ 1.01 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์วัดมาตรฐานร้อยละ 70 เพียงเล็กน้อย ส่วนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 ที่ดําเนินการเรียนการสอนด้วยการทําปฏิบัติการทดลองโดยใช้ชุดอุปกรณ์การทดลองจริง ค่าเฉลี่ยคะแนนคิดเป็นร้อยละ 67.65 โดยมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) อยู่ที่ 6.76 และ 1.39 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์วัดมาตรฐานร้อยละ 70 เพียงเล็กน้อย และระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนการสอนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/2 ที่ดําเนินการเรียนการสอนด้วยการทําปฏิบัติการทดลองที่ใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก โดยมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) อยู่ที่ 4.26 และ 0.20 ตามลำดับ ส่วนระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนการสอนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/3 ที่ดําเนินการเรียนการสอนด้วยการทําปฏิบัติการทดลองโดยใช้ชุดอุปกรณ์การทดลองจริง อยู่ในระดับความพึงพอใจปานกลาง โดยมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$) อยู่ที่ 3.50 และ 0.20 ตามลำดับ

การอภิปรายผลแบ่งแยกออกพิจารณาเป็น 2 ประเด็น ดังต่อไปนี้

1) ประเด็นด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีการจัดรูปแบบการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E นั้นเป็นที่แน่ชัดแล้วว่าการจัดการเรียนการสอนรูปแบบนี้ที่เป็นการมุ่งเน้นให้ผู้สอนมีระบบการสอนเป็นขั้นเป็นตอน มีการวางแผน มีการจัดรูปแบบการสอนที่ชัดเจนทำให้การเรียนการสอนที่น่ากระบวนการดังกล่าวมาปรับใช้ให้กับผู้เรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ที่เป็นรูปธรรมและชัดเจนมากขึ้นสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ได้มีการยืนยันถึงประสิทธิภาพของการนำกระบวนการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ โดยงานวิจัยของธนัชร อุททา และคณะ [4] ที่ได้พัฒนาการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งผลสัมฤทธิ์เป็นหลักในการเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง งานและพลังงาน ที่ได้นำกระบวนการการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนพนาศีกษา จากข้อสรุปของงานวิจัยพบว่าการเรียนการสอนรูปแบบนี้ช่วยให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นโดยวัดได้จากร้อยละของคะแนนของการประเมินที่มีผลของการประเมินสูงอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติ

จากผลลัพธ์และข้อสรุปของงานวิจัยดังกล่าว [4] นำมาซึ่งความคาดหวังที่เป็นไปได้ว่ากระบวนการจัดการเรียนรู้ยังสามารถที่จะพัฒนาและเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาของรายวิชาฟิสิกส์ให้กับเนื้อหาเรื่องอื่น ๆ เพิ่มเติมได้อีก อันเป็นที่มาของการศึกษาต่อยอดและประยุกต์ใช้กระบวนการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ในการพัฒนางานวิจัยนี้ขึ้นด้วยการจัดการศึกษาเรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ให้กับกลุ่ม

ตัวอย่างทั้ง 2 ห้องเรียน (มัธยมศึกษาชั้น 6/2 และ 6/3) ของโรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ จังหวัดกำแพงเพชร

โดยรูปแบบการสอนจะเริ่มต้น (ขั้นกระบวนการสร้างความสนใจ) จากการสร้างความสนใจให้กับผู้เรียนด้วยการกระตุ้นให้นักเรียนตระหนักถึงความสำคัญของกระแสไฟฟ้าที่มีใช้กันอยู่ทุกหลังคาเรือนและเป็นการตั้งคำถามถึงที่มาของกระแสไฟฟ้าว่ากระแสวิ่งมาตามสายไฟได้อย่างไร? และมีกระบวนการอย่างไรที่ส่งผลให้เกิดกระแสไหลในขดลวดตัวนำมายังบ้านเรือนได้? พร้อมทั้งได้เพิ่มประเด็นคำถามอีกว่าถ้าไม่มีกระบวนการดังกล่าว (กระบวนการเหนี่ยวนำไฟฟ้า) จะมีกระแสไหลให้ผู้เรียนได้ใช้หรือไม่? ซึ่งเป็นการกระตุ้นอย่างดียิ่งให้กับกลุ่มประชากรเกิดความสนใจใคร่รู้ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลมาอยู่ที่บ้านของผู้เรียนอยู่นั้นเป็นสิ่งที่ผู้เรียนพบเจอได้ในชีวิตประจำวันทุกวันจนกลายเป็นเรื่องปกติสามัญเพียงแต่ไม่เคยได้รับรู้หรือตระหนักถึงที่มาของกระแสไฟฟ้าว่าเกิดขึ้นมาได้อย่างไรเท่านั้น ส่งผลให้ผู้เรียนมีความสนใจกระตือรือร้นและทำการค้นคว้าในการหาข้อมูลด้วยตัวเอง (ขั้นกระบวนการสำรวจและค้นคว้า) ซึ่งในขั้นกระบวนการนี้ผู้สอนปล่อยให้ผู้เรียนค้นหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ได้ที่มาของปัญหาหรือต้นตอของแหล่งที่มาของกระแสไฟฟ้าอันเป็นที่ทราบกันดีว่าเกิดจากปรากฏการณ์ขดลวดตัดกับสนามแม่เหล็ก

ในขั้นกระบวนการอธิบายและลงข้อสรุปนั้นรูปแบบการเรียนการสอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ให้กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 ห้อง ทำปฏิบัติการทางไฟฟ้า เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ดังที่มีเนื้อหาและรายละเอียดกล่าวไว้แล้วในส่วนของหัวข้อบทนำข้างต้น เพื่อช่วยให้ผู้เรียนได้เห็นปรากฏการณ์เชิงประจักษ์ได้อย่างชัดเจนจนสามารถเข้าใจเนื้อหาและลงข้อสรุปได้อย่างลึกซึ้ง โดยรูปแบบของการทำปฏิบัติการโดยกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 ห้อง จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยตรงที่จะใช้ชุดอุปกรณ์หรือสื่อที่ใช้ในการทำปฏิบัติการที่แตกต่างกันเพื่อใช้เป็นข้อสังเกตในการตรวจสอบสมมติฐานถึงศักยภาพในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของเครื่องมือหรือแนวทางการเรียนแบบใหม่ในการทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ที่มีงานวิจัยสนับสนุนถึงผลลัพธ์ในการประยุกต์ใช้สื่อจำลองเสมือนจริงจนประสบความสำเร็จในการเรียนการสอนมาแล้วได้แก่ งานวิจัยของ กฤตนิย เจริญสุข [5] ที่ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ เรื่องไฟฟ้า แล่นสนุก โดยใช้สื่อจำลองแบบมีปฏิสัมพันธ์ของ PhET สนับสนุนการสอนให้กับนักเรียนในขณะที่นักเรียนจำเป็นต้องขาดเรียนอย่างต่อเนื่องจากการติดเชื้อโควิด 19 และไม่สามารถมาทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริงที่โรงเรียนได้ และงานวิจัยของ พิระพล ชินรัตน์ [6] ที่ได้ประยุกต์ใช้สถานการณ์จำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ของ PhET มาใช้ในการทบทวนวิชาฟิสิกส์รูปแบบออนไลน์ให้กับนักเรียนโรงเรียนสาธิต มศว. ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ที่จำเป็นต้องเพิ่มเนื้อหาในส่วนของการปฏิบัติการเพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นปรากฏการณ์เชิงประจักษ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

โดยผลของงานวิจัยนี้ ที่ดำเนินการจัดการเรียนการสอนโดยเน้นให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการ เรื่อง การเหนี่ยวนำไฟฟ้าของฟาราเดย์ ทั้ง 2 รูปแบบ (ชุดอุปกรณ์จริงกับสื่อจำลอง) นั้นสะท้อนให้เห็นถึงข้อสรุปถึงความเข้าใจในเนื้อหาของผู้เรียนหรือกลุ่มประชากรของงานวิจัยผ่านทางผลการประเมินวัดความรู้ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มประชากรที่ใช้ทดสอบ (ทั้ง 2 ห้อง) มีค่าใกล้เคียง ร้อยละ 70 โดยร้อยละคะแนนประเมินความรู้เฉลี่ยของกลุ่มประชากรตัวอย่างที่ทำปฏิบัติการด้วยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET สูงถึง ร้อยละ 72.86 ทั้งที่ทราบกันเป็นอย่างดีอยู่แล้วว่าเนื้อหา เรื่อง กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ นั้นทำความเข้าใจได้ยากยิ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อหาในการตีความหมายของฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งหากผู้เรียนหรือกลุ่มประชากรดังกล่าวไม่ได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้ในลักษณะนี้ (เน้นการปฏิบัติการเพื่อให้เห็นภาพของปรากฏการณ์ด้วยตนเอง) จึงมีความเป็นไปได้สูงมากที่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในเนื้อหานี้อาจไม่บรรลุเป้าประสงค์ได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากลุ่มประชากรที่ทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริงจะมี

ร้อยละของค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินความรู้น้อยกว่า ร้อยละ 70 อยู่เล็กน้อย (ร้อยละ 67.64) แต่ในการพิจารณาถึงความแตกต่างเชิงสถิติถือว่าไม่น้อยมากจนเป็นนัยสำคัญที่จะระบุถึงผลลัพธ์ทางการเรียนรู้ที่ไม่บรรลุเป้าประสงค์ได้ จากผลลัพธ์การเรียนรู้จากการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับประชากรกลุ่มนี้ (ปฏิบัติการด้วยชุดการทดลองจริง) ที่สะท้อนออกมาของผลร้อยละของคะแนนวัดความรู้ที่ต่ำกว่ามาตรฐานร้อยละของคะแนนที่ 70 อยู่เล็กน้อย อาจมีสาเหตุมาจากการมองไม่เห็นภาพของปรากฏการณ์ได้อย่างชัดเจนของผู้เรียน และความซับซ้อนของการใช้เครื่องมือ เช่น การใช้กัลวานอมิเตอร์ในการวัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มประชากรที่ได้รับการถ่ายทอดด้วยการทำปฏิบัติการด้วยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET ที่ไม่มีความจำเป็นต้องมีทักษะการใช้เครื่องมือชุดอุปกรณ์การทดลอง ส่งผลให้ผู้เรียนบางส่วนติดตามหรือทบทวนเนื้อหาไม่ได้ ลดความสนใจในการศึกษา สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาญวิทย์ คำเจริญ และ ขวัญหทัย กวดนอก [7] ที่ใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET มาประยุกต์ใช้ในการทำปฏิบัติการควบคู่ไปกับการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ในเนื้อหาเรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดทักษะทางด้านปฏิบัติการด้านการใช้เครื่องมือวัด และการขาดแคลนของชุดอุปกรณ์การทำปฏิบัติการ

ในขั้นกระบวนการขยายความรู้นั้นเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการทำปฏิบัติการของประชากรกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 ห้อง ที่สามารถเข้าใจได้เป็นอย่างดีว่าการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กส่งผลให้เกิดการเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น โดยข้อสรุปนี้สามารถประเมินได้จากข้อสอบประเมินวัดความรู้ข้อที่ทำการสอบถามถึง “หลักการในการเกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้า” ซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลพบว่าจำนวนประชากรกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 ห้อง ตอบคำถามได้ถูกต้องของข้อคำถามนี้สูงถึงร้อยละ 83.13 ของกลุ่มประชากรที่ใช้ทดสอบทั้งหมด จากองค์ความรู้ดังกล่าวทำให้ผู้เรียนหรือกลุ่มประชากรตัวอย่างสามารถเข้าใจเพิ่มขึ้นได้อีกว่านอกเหนือจากการนำแท่งแม่เหล็กพุ่งเข้าหรือออกจากพื้นที่หน้าตัดของขดลวดอันเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กต่อเวลาอธิบายได้จากปรากฏการณ์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดของสนามแม่เหล็ก แต่ฟลักซ์แม่เหล็กยังเปลี่ยนแปลงได้จากกับมุมระหว่างทิศของสนามแม่เหล็ก ($\vec{B}$) กับเวกเตอร์แสดงทิศที่ตั้งฉากกับพื้นที่ผิว ($d\vec{A}$) อีกด้วย จึงนำมาซึ่งการขยายองค์ความรู้ด้วยการนำหลักการดังกล่าวมาอธิบายการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็น ไดนาโม (Dynamo) ที่เป็นเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง หรือ อัลเตอร์เนเตอร์ (Alternator) ที่เป็นเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีหลักการให้ขนาดของสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่แต่ทิศทางของเวกเตอร์พื้นที่หน้าตัดของขดลวดเปลี่ยนแปลงไปตามการหมุนของขดลวดในสนามแม่เหล็ก ซึ่งองค์ความรู้นี้สามารถวัดผลสัมฤทธิ์ได้จากข้อสอบประเมินวัดความรู้จากข้อคำถาม “หลักการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์โดยการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กตามเวลาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประดิษฐ์อุปกรณ์ชนิดใดได้” ซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลพบว่าจำนวนประชากรกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 ห้อง ตอบคำถามได้ถูกต้องของข้อคำถามนี้ร้อยละ 76.12 ของกลุ่มประชากรที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

ผลการประเมินผลการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้พบว่า กระบวนการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ในเรื่อง กฎการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของฟาราเดย์ โดยกลุ่มที่ทำปฏิบัติการด้วยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PhET มีคะแนนเฉลี่ย 72.86% และกลุ่มที่ใช้ชุดอุปกรณ์จริงมีคะแนนเฉลี่ย 67.65% ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติที่มีนัยสำคัญเล็กน้อย ผลการวิจัยสะท้อนถึงประสิทธิภาพของกระบวนการ 5E ในการช่วยให้ผู้เรียนสนใจและเข้าใจปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ การทำปฏิบัติการนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกในการเสริมการเรียนรู้ในสถานศึกษาที่มีข้อจำกัดด้านเวลาและอุปกรณ์ทดลอง และอาจกระตุ้นให้ผู้สอนเห็นความสำคัญของการทำปฏิบัติการในวิชาวิทยาศาสตร์มากขึ้น

2) ประเด็นด้านความพึงพอใจหลังจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ในรูปแบบการทำปฏิบัติการควบคู่ไปกับการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ส่วนของเนื้อหา กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์ ของกลุ่มประชากรที่ทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์การทดลองจริง (มัธยมศึกษาปีที่ 6/3) และกลุ่มประชากรที่ทำปฏิบัติการโดยใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PHET (มัธยมศึกษาปีที่ 6/2) โดยข้อมูลผลของการวิจัยนี้ได้ถูกเก็บรวบรวมไว้แล้วในหัวข้อ “ผลการวิจัย” ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่ากลุ่มประชากรที่ใช้ทำการทดสอบทั้งหมด (ทั้ง 2 ห้อง) มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ดังจะเห็นได้จากคะแนนการประเมินในหัวข้อ “การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E มีความเหมาะสมด้านเวลากับการทดลอง”, “การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E สามารถทำให้เข้าใจเนื้อหาสาระสำคัญได้ง่ายขึ้น”, “การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้” และ “การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E มีความน่าสนใจ กระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้” สะท้อนให้เห็นถึงการจัดรูปแบบการเรียนการสอนนี้ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ ดังที่ได้กล่าวถึงรูปแบบของการถ่ายทอดการเรียนรู้ของงานวิจัยนี้มาแล้วข้างต้น (หัวข้อการอภิปรายในประเด็นที่ 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของ โชติรส อัมสมบุรณ์ [8] ที่ทำการศึกษาโดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5E) ร่วมกับเทคนิค SSCS เพื่อช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ส่วนใหญ่มีอคติต่อเนื้อหาในเรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ให้มีความสนใจและมีทัศนคติต่อเนื้อหาวิชาที่ดีขึ้น ช่วยให้ผู้เรียนสามารถทำการแก้โจทย์ปัญหาทางเคมีได้ ส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้ของผู้เรียน

และจากงานวิจัยของ กมลพรรณ เมืองมา [9] และ อัฐพล ใจวงศ์ [10] พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มวิจัยพบว่า กลุ่มที่ใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PHET มีความพึงพอใจสูงสุด โดยเฉพาะในด้านการความสะดวกและการเรียนรู้ด้วยตนเอง เนื่องจากสื่อจำลองมีประสิทธิภาพ ไม่ซับซ้อน และช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจปรากฏการณ์ได้ง่าย ในขณะที่การทำปฏิบัติการด้วยชุดอุปกรณ์จริงพบว่า ผู้เรียนต้องมีทักษะในการใช้เครื่องมือ ซึ่งทำให้ยากต่อการเรียนรู้โดยไม่ผ่านการถ่ายทอดจากผู้สอน ส่งผลให้มีความพึงพอใจต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม การใช้ชุดอุปกรณ์จริงยังมีประโยชน์ในการเพิ่มทักษะการใช้เครื่องมือและเปิดโลกทัศน์ของผู้เรียน งานวิจัยนี้เน้นการชี้ทางเลือกใหม่ที่สะดวกและเข้าใจง่ายในการทำปฏิบัติการที่บ้าน และสะท้อนถึงสำคัญของการใช้สื่อจำลองในกระบวนการเรียนการสอน

จากผลของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะแบ่งประเด็น ดังนี้

ประเด็นสำหรับการนำไปใช้

- 1) ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้และความพึงพอใจจากการใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E โดยเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ใช้ชุดอุปกรณ์ทดลองจริงและกลุ่มที่ใช้ชุดสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้ว ผู้วิจัยได้ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการทดลองทั้งสองรูปแบบให้กับกลุ่มประชากรที่ยังไม่ได้รับการถ่ายทอด เพื่อเพิ่มทักษะการใช้อุปกรณ์จริงและเปิดโลกทัศน์จากการใช้สื่อจำลองให้กับกลุ่มดังกล่าว
- 2) ผู้สอนควรหมั่นติดตามและตรวจสอบผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากการจัดการเรียนในรูปแบบที่ให้ผู้เรียนดำเนินการศึกษาด้วยตนเองนั้น ผู้เรียนต้องมีวินัยและต้องได้รับแรงกระตุ้นความสนใจที่มากพอและต่อเนื่องอยู่เสมอ เพื่อให้ผู้เรียนได้รับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นได้

ประเด็นสำหรับการทำวิจัยเพื่อต่อยอดองค์ความรู้

- 1) สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงของ PHET มีเนื้อหาอื่น ๆ ในรายวิชาฟิสิกส์อีกมาก ที่จะสามารถนำไปพัฒนาผู้เรียนให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้เพิ่มเติมขึ้นได้

- 2) สามารถพัฒนาสื่อจำลองการปฏิบัติการอื่น ๆ ในรายวิชาทางวิทยาศาสตร์ เพิ่มเติมที่ สื่อจำลองได้
สอบเสมือนจริงของ PhET ยังขาดอยู่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะผู้บริหาร คณาจารย์ และนักเรียนทุกคนที่มีส่วนร่วมกับการงานวิจัยนี้ ของโรงเรียนเฉลิมพระเกียรติ
สมเด็จพระศรีนครินทร์ จังหวัดกำแพงเพชร ที่คอยสนับสนุนผู้วิจัย ทั้งสถานที่ ให้คำปรึกษา และข้อมูลในการ
ทำงานวิจัย ขณะที่ผู้วิจัยได้ทำการฝึกสอนอยู่ จนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงและบรรลุผลออกมาได้

บรรณานุกรม

- [1] พิชิตทอง ครอลพลขวา. (2559). การพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ฟิสิกส์โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับ
สื่อสังคมออนไลน์ เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์
และความใฝ่รู้ ใฝ่เรียน ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
มหาสารคาม*, 10 (ฉบับพิเศษ), 612-622.
- [2] ประพินญา ทิพย์แสง. (2563). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองบนคอมพิวเตอร์โปรแกรม
PhET วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง การโคจรรอบโลกของดวงจันทร์ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจ
ในการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเศรษฐเสถียร
ในพระราชูปถัมภ์. *เอกสารรายงานงานวิจัยในชั้นเรียน โรงเรียนเศรษฐเสถียร ในพระราชูปถัมภ์*, 113-130.
- [3] สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2567). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช
2551 และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560).
- [4] ธนัชพร อุทธา, วีระ วงศ์สรรค์ และ ธนาตล สมบูรณ์. (2566). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชา
ฟิสิกส์ เรื่อง งานและพลังงาน โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) สำหรับ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนพนาศึกษา. *วารสารสังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม*, 4(1), 55-72.
- [5] กฤตณัย เจริญสุข. (2565). การศึกษาผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจต่อการใช้ชุดการสอนวิทยาศาสตร์เรื่อง
ไฟฟ้าแสนสนุก ร่วมกับสถานการณ์จำลองแบบมีปฏิสัมพันธ์ของ PhET ของนักเรียนที่ขาดเรียนต่อเนื่องจาก
การติดเชื้อโควิด-19 ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนวิชากร สำนักงานเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร.
รายงานวิจัยในชั้นเรียน 6 โรงเรียนวิชากร สำนักงานเขตดินแดง กรุงเทพมหานคร. 18-40.
- [6] พิระพล ชินรัตน์. (2565). การใช้สถานการณ์จำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ของ PhET ในการเรียนการสอนฟิสิกส์
ออนไลน์. *มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ DeSec-Journal Articles*. 12-19.
- [7] ชาญวิทย์ คำเจริญ และ ขวัญหทัย กวดนอก. (2563). การตรวจสอบการใช้แบบจำลองโต้ตอบเสมือนจริง
สำหรับการสอนไฟฟ้ากระแสตรง. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*,
31(2), 1-13.
- [8] โชติรส อับสมบูรณ์. (2564). ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5E) ร่วมกับเทคนิค SSCS
ที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางเคมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคงทนในการเรียนรู้
เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ.

- [9] เมืองมา กมลพรรณ. (2564). การพัฒนาสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงสำหรับการสอนปฏิบัติการ รายวิชา PHYS1115 ฟิสิกส์พื้นฐานสำหรับวิทยาศาสตร์สุขภาพ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่.
- [10] อัฐพล ใจวงศ์. (2563). การเรียนรู้แบบแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (STAD) ร่วมกับแอปพลิเคชันทางการศึกษา เพื่อส่งเสริมการทำงานเป็นทีม ทักษะสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง แสงกับทัศนอุปกรณ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.