



วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/edgkkuj>

ดำเนินการวารสารโดย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผลการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาแบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ที่มีต่อการพัฒนา สมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

Effect of Seamless STEM Learning on Newton's Law of Motion on Scientific Explanation Competency

นำทิพย์ ศรีตะวัน และ นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์*

Namthip Sritawan, and Niwat Srisawasdi*

สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ประเทศไทย

Science and Technology Education Program, Faculty of Education, Khon Kaen University, Thailand.

Received: May 12, 2023 Revised: May 20, 2023 Accepted: May 22, 2023

บทคัดย่อ

สมรรถนะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ อีกทั้งปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาใช้เพื่อสร้างเสริมสมรรถนะสำคัญของผู้เรียน และเพื่อก่อเกิดแบบการจัดการเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อจิตการเรียนรู้แบบทุกที่ทุกเวลาในยุคปัจจุบันมากขึ้น อีกทั้งเป็นการเน้นให้ผู้เรียนเชื่อมโยงแนวความคิดทางวิทยาศาสตร์ไปสู่ประจักษ์พยานและการให้เหตุผลอย่างเชื่อถือได้ ผู้วิจัยจึงใช้รูปแบบการวิจัยแบบกึ่งทดลองที่มีกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองและมีการทดสอบก่อนและหลังเรียนเพื่อศึกษาความสามารถในการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 118 คน โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านสถานการณ์จำลอง จำนวน 43 คน กลุ่มทดลองที่ 1 ที่ได้รับการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อในลักษณะจากเป็นทางการไปสู่ไม่เป็นทางการ จำนวน 34 คน และกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อในลักษณะจากไม่เป็นทางการไปสู่เป็นทางการ จำนวน 41 คน โดยที่แต่ละกลุ่มได้รับวิธีการเรียนรู้ที่แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 390 นาทีเท่ากันและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบทดสอบความสามารถในการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบอัตนัย ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอ้างอิงแบบไม่ใช้พารามิเตอร์พบว่า ทั้งสามวิธีการจัดการเรียนรู้นั้นสร้างเสริมสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้ดีขึ้นได้ในทุกวิธีการ แต่ว่ากลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อ มีการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดีมากกว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านสถานการณ์จำลอง และทั้งสองลักษณะการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อนั้นมีประสิทธิภาพผลสร้างเสริมสมรรถนะของนักเรียนได้อย่างไม่แตกต่างกัน ดังนั้นแล้ว การเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อจึงเป็นอีกวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เอื้ออำนวยต่อการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อ สะเต็มศึกษา การสอนฟิสิกส์ สิ่งแวดล้อมการเรียนรู้แบบดิจิทัล

*Corresponding author. Tel.: 081 775 9559

Email address: niwsri@kku.ac.th

Abstract

Currently, scientific explanation competency is considered as the heart of inquiry-based science learning. In addition, digital technology has been used to enhance the competencies of learners to meet students' learning preferences that can take place anywhere and anytime. It emphasizes linking scientific concepts to empirical evidence and providing credible reasoning for students. This study used a quasi-experimental research model with a control group and an experimental group with a pre-test and post-test to investigate the ability to explain Newton's laws of motion among 118 Tenth grade students from a school in Roi-Et Province. The participants were divided into three groups: (1) A control group that learned simulation-based inquiry learning had 43 students, (2) Experimental group 1 that learned seamless STEM learning from formal to informal 34 students, and (3) Experimental group 2 that learned seamless STEM learning from informal to formal 41 students. Each group received different learning interventions for the same duration of 390 minutes, and data were collected using an open-ended test of scientific explanation ability. The results of the data analysis using non-parametric inferential statistics showed that all three learning methods improved students' scientific explanation competency in every way. However, the two experimental groups that received seamless STEM learning environments showed a significantly higher improvement in their scientific explanation competency than the control group that learned through simulation-based inquiry learning. Both forms of seamless STEM learning are equally effective in enhancing students' competencies. Therefore, seamless learning is another way of learning that efficiently facilitates the development of students' scientific explanation competency.

Keywords: seamless learning, STEM education, Physics teaching, Digital learning environment

■ บทนำ

ในโลกปัจจุบันความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างยิ่ง ในการเตรียมเยาวชนให้สามารถดำเนินชีวิตและมีส่วนร่วมในสังคมที่วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นพื้นฐาน และส่งผลกระทบต่อทุกชีวิตในทุกระดับ ทั้งตัวบุคคล อาชีพการงานและในสังคมวัฒนธรรมของทุก ๆ ชีวิต ทำให้บุคคลสามารถรับรู้และตัดสินใจประเด็นปัญหาของสังคมที่เกิดจากผลกระทบของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีความรู้และความเข้าใจ โดยมีส่วนร่วมในสังคมอย่างเต็มภาคภูมิ (สสวท., 2551) ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงมีเป้าหมายสำคัญในเตรียมให้บุคคลเป็นผู้ที่มีการรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) กล่าวคือเป็นบุคคลที่มีความรู้ ความเข้าใจ และสามารถตัดสินใจ โดยใช้ความรู้วิทยาศาสตร์บนพื้นฐานประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์ และเป็นส่วนที่ช่วยให้คนในสังคมเกิดความรู้ความเข้าใจโลกธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างขึ้นมา (American Association for the Advancement of Science: AAAS, 1990)

สำหรับบริบททางการจัดการศึกษานั้น การรู้วิทยาศาสตร์ เป็นความสามารถของนักเรียนในการตัดสินใจประเด็นทางวิทยาศาสตร์ในสังคมโดยใช้พื้นฐานความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การรู้วิทยาศาสตร์สามารถสะท้อนจากสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ใน 3 ด้าน ได้แก่ สมรรถนะการระบุประเด็นทางวิทยาศาสตร์ สมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในเชิงวิทยาศาสตร์ และสมรรถนะการใช้ประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์ (Smith, Loughran and Dimitrakopoulos., 2012) ซึ่งสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นความสามารถหนึ่งที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ และเป็นการเชื่อมโยงความรู้กับภูมิสังคม เนื่องจากการที่นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จะส่งผลให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ (Primo and Al, 2010) เป็นผู้ที่มีทักษะในการสื่อสารได้อย่างน่าเชื่อถือ สามารถใช้หลักฐานจากการพิสูจน์เชิงประจักษ์และให้เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปได้ และยังเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปตาม

หลักฐานเชิงประจักษ์ อีกทั้งสามารถประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในหนังสือพิมพ์ ข่าว หรือวารสารได้อย่างเท่าทัน (McNeill and Krajcik, 2010) เนื่องจากการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนฝึกการคิดและสร้างความหมายของปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี โดยสมรรถนะดังกล่าวนี้ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ (1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) หมายถึง แนวคำตอบของคำถามที่นักเรียนต้องการสืบเสาะค้นคว้าตามสถานการณ์ต่าง ๆ (2) ประจักษ์พยาน (Evidence) หมายถึง หลักฐานเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยหลักฐานนี้ได้มาจากการสังเกตปรากฏการณ์ในธรรมชาติ การทดลอง การอ่านเอกสารที่เกี่ยวข้อง การอภิปราย เป็นต้น และ (3) การให้เหตุผล (Reasoning) คือ ข้อความที่อธิบายความเชื่อมโยงระหว่างประจักษ์พยานและข้อกล่าวอ้าง (McNeill and Krajcik, 2008) การสร้างสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงเป็นหัวใจสำคัญของกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น (Beyer and Davis, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Peker and Wallace (2011) ที่พบว่าการส่งเสริมให้นักเรียนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ โดยใช้ประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์สนับสนุนคำอธิบาย พร้อมแสดงเหตุผลเชื่อมโยงระหว่างคำอธิบายและประจักษ์พยานได้ ซึ่งได้ตอบสนองต่อการจัดการเรียนรู้ในยุคปัจจุบัน หากเมื่อนักเรียนได้รับการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จะ ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดและเนื้อหา และมีความสามารถในการให้เหตุผลและการลงข้อสรุป เนื่องจากนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงทำให้นักเรียนเป็นผู้ค้นพบองค์ความรู้ ค้นหาหลักฐานเชิงประจักษ์ และนำมาสู่การสนับสนุนข้อกล่าวอ้างจนเป็นที่ยอมรับ เชื่อถือได้ ทำให้เกิดการพัฒนาคำอธิบาย ความเข้าใจ ทักษะการคิดพื้นฐานที่สำคัญในการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ในปัจจุบันที่เทคโนโลยีดิจิทัลมีความก้าวหน้าและเติบโตอย่างรวดเร็วนั้น ส่งผลกระทบต่อการปฏิรูปและปรับเปลี่ยนแนวปฏิบัติทางการสอนทั่วโลก ในบริบทการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์นั้นก็มีการนำคุณประโยชน์ของเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการส่งเสริมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับการเรียนรู้เชิงรุกในโลกแห่งความเป็นจริงผ่านทางอุปกรณ์แบบพกพา (Aperio Foundation, 2017) ผสมผสานกับแรงผลักดันการขับเคลื่อนการยกระดับและพัฒนาคุณภาพการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ร่วมสมัยแบบที่เน้นสะเต็มศึกษา (STEM Education) ในบริบทประเทศไทยนั้นมีความเข้มข้นและจริงจังในการดำเนินการเป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการขับเคลื่อนการเน้นการจัดการศึกษาสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบสะเต็มศึกษาของทั้งหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และโครงการยกระดับคุณภาพการจัดการศึกษาสำคัญของหน่วยงานมหาวิทยาลัย ได้แก่ โครงการพัฒนาสมรรถนะนักเรียนระดับมัธยมศึกษาด้วยนวัตกรรม KKU Smart Learning ดำเนินการโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น และภาคเอกชนและหน่วยงานอิสระที่ร่วมพัฒนาคุณภาพการจัดการศึกษา ได้แก่ โครงการ Chevron Enjoy Science สนุกวิทย พลังคิด เพื่ออนาคต สนับสนุนโดยบริษัท เชฟรอนประเทศไทยสำรวจและผลิต จำกัด แต่ถึงแม้จะมีการเสนอรูปแบบการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่หลากหลายแต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการสะเต็มโดยตรงยังมีน้อย อีกทั้งเป็นที่น่าสังเกตอย่างยิ่งว่า ถึงแม้เทคโนโลยีดิจิทัลนั้นมีบทบาทความสำคัญต่อการพัฒนากระบวนการเรียนรู้และมีความจำเป็นในมุมมองของสะเต็มศึกษา แต่ยังไม่ปรากฏงานวิจัยที่ส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น สมาร์ทโฟน (Smartphone) ในชั้นเรียนอย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม (พิมพ์ ผาพรม และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, 2561) ดังนั้นแล้วการเชื่อมต่อผสมผสานศาสตร์ในรูปแบบสะเต็มศึกษาแบบไร้รอยต่อ หรือ Seamless STEM Education (การบูรณาการวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ ภายใต้การเชื่อมต่อบริบทพื้นที่การเรียนรู้) นั้น จะเป็นแนวทางสำคัญของการปฏิบัติงานการสอนที่เป็นการนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์อย่างมีความหมาย และร่วมสมัยตามวิถีการเรียนรู้ที่เป็นสากล เพื่อส่งเสริมสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียน จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อของ Sharples (2015) พบว่า การเรียนรู้ที่ไร้รอยต่อผ่านเกมการศึกษานานาชาติที่มีเนื้อหาคือเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ที่ควบคุมได้ด้วยตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งครอบคลุมเวลา สถานที่ การเรียนรู้สามารถเกิดขึ้นได้ทุกที่ และเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน นักเรียนเชื่อมโยงการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากนอกชั้นเรียนกับความรู้และทักษะที่นักเรียนได้รับจากเรียนรู้ในชั้นเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kiyota, Mourib and Ogatac (2015) ที่พบว่า ระบบการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อผ่านหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (E-book) ช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้ในชั้นเรียนและสิ่งที่ได้รับประสบการณ์นอกชั้นเรียน และจากการศึกษางานวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อพบว่าไม่มีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจนว่าควรเชื่อมโยงความรู้จากในชั้นเรียนสู่นอกชั้นเรียน หรือ ความรู้จากนอกชั้นเรียนสู่อะไรในชั้นเรียน

จากความเป็นมาและรายงานการวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและพัฒนากระบวนการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน และเปรียบเทียบการสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ นักเรียนจากการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการดังกล่าว โดยคาดหวังว่าจะเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ อันเป็นเป้าหมายสูงสุดของการศึกษาวิทยาศาสตร์ในยุคที่เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญดังเช่นปัจจุบัน

■ คำถามการวิจัย

- 1) การจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อมีผลต่อสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หรือไม่ อย่างไร
- 2) การจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อจะสามารถพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้แตกต่างจากการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะหรือไม่ อย่างไร

■ จุดประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หลังจากได้รับวิธีการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อ ในบริบทจริงข้ามกัน
- 2) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับวิธีการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อและที่ได้รับวิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ

■ หลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เพื่อศึกษาออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อ และเปรียบเทียบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

สมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Explanation Competency)

McNeill and Krajcik (2008) ให้ความหมายคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ไว้ว่าเป็นการตอบคำถามโดยเขียนหรือการพูด เพื่อรายงานผลการศึกษาปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนต้องใช้ประจักษ์พยาน เหตุผลเชิงตรรกะ และความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการสนับสนุนคำอธิบายของปรากฏการณ์ และ Resier, Berland and Kenyon (2012) ให้ความหมายของ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่าเป็นการเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์และการสังเกตปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้คำว่า การอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถนักเรียนในการเขียนอธิบายผลของปรากฏการณ์ที่ศึกษา จากการสร้างข้อกล่าวอ้างทางวิทยาศาสตร์ โดยอยู่บนพื้นฐานของการให้เหตุผล และเชื่อมโยงกับประจักษ์พยานที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบ ค้นหา การอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ตามแนวคิดของ Mc Neill and Krajcik (2008) ดังนี้

(1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) คือ ข้อยืนยัน คำตอบของคำถามที่นักเรียนต้องการค้นคว้าหาคำตอบ

(2) ประจักษ์พยาน (Evidence) คือ ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยประจักษ์พยานนี้ได้มาจากการสังเกตปรากฏการณ์ในธรรมชาติ การทดลอง การอ่านเอกสารที่เกี่ยวข้อง และการอภิปราย เป็นต้น

(3) การให้เหตุผล (Reasoning) คือ ข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างประจักษ์พยาน ข้อกล่าวอ้าง

McNeill et al. (2006) ได้กำหนดเกณฑ์ประเมินระดับของสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งพิจารณาทั้ง 3 องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ข้อกล่าวอ้าง ประจักษ์พยาน และเหตุผล โดยแบ่งเกณฑ์การประเมินออกเป็น 3 ระดับ ประกอบด้วย ระดับ 0, ระดับ 1 และระดับ 2 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์สมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (McNeill et al., 2006)

ลักษณะเฉพาะ	ระดับสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์		
	ระดับ 0	ระดับ 1	ระดับ 2
ข้อกล่าวอ้าง (Claim)	ไม่สามารถให้ข้อกล่าวอ้าง หรือสร้างข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้อง	สามารถให้ข้อกล่าวอ้างถูกต้อง แต่ไม่สมบูรณ์	สามารถให้ข้อกล่าวอ้างถูกต้องสมบูรณ์
ประจักษ์พยาน (Evidence)	ไม่สามารถให้ประจักษ์พยาน หรือให้ประจักษ์พยานที่ไม่เหมาะสม (ไม่สามารถสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง)	สามารถให้ประจักษ์พยานที่เหมาะสม แต่ไม่เพียงพอที่จะสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อาจมีประจักษ์พยานที่ไม่เหมาะสมบางส่วน	สามารถให้ประจักษ์พยานอย่างเหมาะสมและเพียงพอในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง
เหตุผล (Reasoning)	ไม่สามารถให้เหตุผล หรือให้เหตุผลแต่ไม่สามารถเชื่อมโยงประจักษ์พยานกับข้อกล่าวอ้าง	สามารถให้เหตุผลที่เชื่อมโยงประจักษ์พยานกับข้อกล่าวอ้างมีการกล่าวถึงประจักษ์พยานและ/หรือมีหลักการทางวิทยาศาสตร์ซ้ำ แต่ไม่เพียงพอ	สามารถให้เหตุผลที่เชื่อมโยงประจักษ์พยานกับข้อกล่าวอ้าง ซึ่งมีหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและเพียงพอ

การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อ (Seamless Learning)

การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อ (Seamless Learning) เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ให้เกิดความต่อเนื่องจากการเรียนรู้นอกชั้นเรียนและการเรียนรู้ในชั้นเรียน โดยนักเรียนจะได้สืบเสาะความรู้จากงานที่เรียนผ่านงานที่ได้รับมอบหมายด้วยตนเอง ซึ่งความรู้และประสบการณ์นั้นจะต่อเนื่องกับการจัดการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนผ่านวิธีการสอนที่เหมาะสม (น้ำทิพย์ ศรีตะวัน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, 2564; Wong and Looi, 2011) ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการศึกษา อุปกรณ์พกพา (Mobile) ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่ออย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Sad, İlhan and Poçan, 2016) โดยการจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อนักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกเมื่อที่ต้องการ ในสถานการณ์หลากหลาย และสามารถเปลี่ยนจากสถานการณ์หนึ่งไปยังอีกสถานการณ์หนึ่งได้อย่างรวดเร็ว ผ่านอุปกรณ์แบบพกพาเป็นสื่อกลาง เปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้ตามความสนใจส่วนตัวของนักเรียน และเกิดการเรียนรู้แบบต่อเนื่องโดยใช้อุปกรณ์แบบพกพา (Mobile Seamless Learning: MSL) (น้ำทิพย์ ศรีตะวัน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, 2564; Chan et al., 2006) ในรูปแบบดังต่อไปนี้

■ MSL1 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อระหว่างบริบทเป็นทางการและไม่เป็นทางการ (Encompassing formal and informal learning) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ครอบคลุมทั้งกิจกรรมนอกชั้นเรียนและกิจกรรมในชั้นเรียน โดยออกแบบให้เกิดการเรียนรู้ได้อย่างต่อเนื่องผ่านอุปกรณ์แบบพกพา

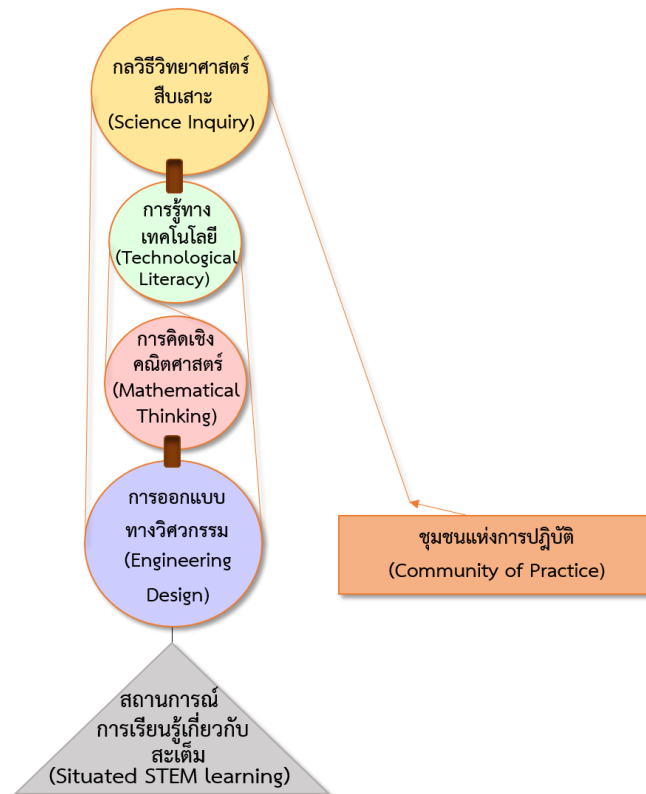
- MSL2 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อระหว่างบริบทเชิงบุคคลและเชิงสังคม (Encompassing personalized and social learning) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ครอบคลุมการเรียนรู้จากเรียนรู้ตัวเองและการเรียนรู้ผ่านกระบวนการกลุ่ม โดยใช้อุปกรณ์ แบบพกพา
 - MSL3 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อข้ามผ่านช่วงเวลา (Across time) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ผ่านอุปกรณ์แบบพกพา
 - MSL4 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อข้ามผ่านสถานที่ (Across locations) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่สามารถที่นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ผ่านอุปกรณ์แบบพกพา
 - MSL5 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อโดยการเข้าถึงแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย (Ubiquitous knowledge access) โดยการผสมผสานระหว่างการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงและการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตที่แพร่หลาย
 - MSL6 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อระหว่างบริบทสถานการณ์จริงและสถานการณ์เสมือน (Encompassing physical and digital worlds) เป็นการจัดการเรียนรู้โดยใช้การปฏิบัติจริงและการปฏิบัติในสถานการณ์จำลองให้เกิดความต่อเนื่องโดยใช้อุปกรณ์แบบพกพา
 - MSL7 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อโดยการใช้อุปกรณ์หลากหลายประเภทร่วมกัน (Combined use of multiple device types) เป็นการจัดการเรียนรู้โดยออกแบบให้มีการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายที่มีความเสถียร เช่น อุปกรณ์แบบพกพา คอมพิวเตอร์ เป็นต้น
 - MSL8 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อระหว่างหลากหลายภารกิจงาน (Seamless switching between multiple learning tasks) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนรู้ระหว่างสร้างชิ้นงาน จากการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการสื่อสารผ่านอุปกรณ์แบบพกพา
 - MSL9 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อแบบสังเคราะห์ความรู้ (Knowledge synthesis) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนนำความรู้เดิมและประสบการณ์ที่ผ่านมา มาประยุกต์ใช้ผ่านทักษะการคิดและการเรียนรู้แบบสหสาขาวิชาชีพ
 - MSL10 การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อแบบผ่านกระบวนการเรียนรู้หลากหลายวิธีการ (Encompassing multiple pedagogical or learning activity models) เป็นการนำรูปแบบการจัดการเรียนที่หลากหลายมาจัดกระทำให้ความต่อเนื่องในการเรียนรู้ของนักเรียน
- Devourou, Christopoulos and Jimoyiannis (2022) ที่ได้ทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อผ่านอุปกรณ์พกพาในระดับประถมศึกษา ภูมิภาคศึกษานักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 ในประเทศกรีซ จำนวน 12 คน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน และการเรียนรู้แบบออนไลน์ผ่านอุปกรณ์ดิจิทัล พบว่า การเรียนรู้แบบไร้รอยต่อผ่านอุปกรณ์พกพาสามารถอำนวยความสะดวกให้กับนักเรียน สนับสนุนการมีส่วนร่วมและทัศนคติในการเรียนรู้ร่วมกัน
- นั่นคือ การจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อ หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ต่อเนื่องระหว่างการเรียนรู้นอกชั้นเรียนและการเรียนรู้ในชั้นเรียน โดยนักเรียนสามารถสืบเสาะความรู้นอกชั้นเรียนผ่านอุปกรณ์แบบพกพาที่ส่งเสริมการเรียนรู้นอกสถานที่ของนักเรียน เพื่อเชื่อมโยงความรู้ที่เกิดขึ้นนอกชั้นเรียนและในชั้นเรียนได้ (น้ำทิพย์ ศรีตะวัน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, 2564) สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้รูปแบบ MSL1 ซึ่งคือ การจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อระหว่างบริบทเป็นทางการและไม่เป็นทางการ

สะเต็มศึกษาเชิงบูรณาการ (Integrated STEM Education)

การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เป็นจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 สาขาวิทยาการได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน (น้ำทิพย์ ศรีตะวัน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, 2564; National Research Council, 2012) โดยนำปัญหาเป็นฐานในสถานการณ์การเรียนรู้สะเต็มศึกษา นักเรียนสามารถมีทักษะการสืบเสาะหาความรู้ในบริบท

ชีวิตจริง รูปแบบการเรียนรู้ที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (Widayanti, Abdurrahman and Suyatna, 2019)

Kelley and Knowles (2016) ได้นำเสนอกรอบแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้สู่สะเต็มศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อให้แนวปฏิบัติ ดังที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาบูรณาการ (Kelley and Knowles, 2016)

จากภาพที่ 1 แสดงบล็อกและรอกสี่ตัวเพื่อยกน้ำหนัก นั่นคือ “การเรียนรู้สู่สะเต็มศึกษา” บล็อกและรอกเป็นระบบรอกที่ช่วยสร้างความได้เปรียบเชิงกลในการยกของได้ง่ายขึ้น จากภาพประกอบด้วย ชุมชนแห่งการปฏิบัติ (Community of Practice) เชื่อมต่อการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ (Science Inquiry) การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design) การรู้เทคโนโลยี (Technological Literacy) และการคิดทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Thinking) เป็นระบบการบูรณาการโดยรอกแต่ละตัวจะเชื่อมต่อกันภายในสาขาวิชาสะเต็ม และถูกผูกเชื่อมด้วยชุมชนแห่งการปฏิบัติ โดยองค์ประกอบของวิชาสะเต็ม จะต้องเกิดขึ้นในทุกประสบการณ์เรียนรู้ของนักเรียน ซึ่งครูต้องมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในความสัมพันธ์ของวิชาสะเต็ม และข้อจำกัดในการบูรณาการสู่ชุมชนแห่งการปฏิบัติ (น้ำทิพย์ ศรีตะวัน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, 2564)

Asmiliyah, Khaerudin and Etin Solihatin (2022) ได้ทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้สู่สะเต็มศึกษาผ่านอุปกรณ์พกพาในรายวิชาฟิสิกส์ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และแบบสอบถาม พบว่าแอปพลิเคชันการเรียนรู้ผ่านอุปกรณ์พกพา โดยใช้ปัญหาเป็นหลักในการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา เป็นหนึ่งในบทเรียนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างประสิทธิภาพในการเรียนรู้ฟิสิกส์ การพัฒนาแอปพลิเคชันการเรียนรู้ผ่านมือถือข้ามแพลตฟอร์มด้วยแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถนำไปใช้ในการเรียนรู้ฟิสิกส์ได้

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเทคโนโลยีในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote ที่พัฒนาขึ้นโดยโครงการพัฒนามรรณะนักเรียนระดับมัธยมศึกษาด้วยนวัตกรรม KKU Smart Learning และกระบวนการเรียนรู้สู่สะเต็มศึกษาบูรณาการเป็นสิ่งที่เชื่อมต่อ

การเรียนรู้แบบเป็นทางการและไม่เป็นทางการ เพื่อให้นักเรียนใช้กระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทดลองและคิดทางคณิตศาสตร์ในรู้แบบการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อ (นันทิพย์ ศรีตะวัน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์, 2564)

แบบแผนของกระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะ (Inquiry-based Science Learning Process)

Buck et al. (2008) ได้พัฒนาและนำเสนอเกณฑ์เชิงปริมาณเพื่อจัดระดับกระบวนการสืบเสาะในการจัดการเรียนรู้ไว้โดยแบ่งองค์ประกอบของกระบวนการสืบเสาะ 6 องค์ประกอบตามลักษณะของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ปัญหาหรือคำถาม ทฤษฎีหรือข้อมูลพื้นฐาน กระบวนการหรือรูปแบบในการแก้ปัญหา ผลการวิเคราะห์ข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และการสรุปผล เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดระดับ โดยแบ่งระดับการสืบเสาะได้เป็น 5 ระดับตามองค์ประกอบที่ให้นักเรียน รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์เชิงปริมาณในการจัดระดับการสืบเสาะความรู้ (Buck et al., 2008)

ลักษณะเฉพาะ	การสืบเสาะหาความรู้แบบ ยืนยัน	การสืบเสาะหาความรู้แบบนำทาง	การสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทาง	การสืบเสาะหาความรู้แบบเปิด	การสืบเสาะหาความรู้ตามสภาพจริง
ปัญหา/คำถาม	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้
ทฤษฎี	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้
วิธีการ/การออกแบบ	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้
การวิเคราะห์ข้อมูล	ครูเตรียมให้	ครูเตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้
การนำเสนอ	ครูเตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้
การสรุปผล	ครูเตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้	ครูไม่เตรียมให้

1) Problem/Question: “ปัญหาหรือคำถาม” จะต้องเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อของการค้นคว้า และคำถามจะไม่ใช่เป็นคำถามที่ซับซ้อนและบ่งบอกถึงการศึกษาค้นคว้า

2) Theory/Background: “ทฤษฎีหรือข้อมูลเบื้องต้น” เป็นข้อมูลความรู้พื้นฐาน ที่จำเป็นสำหรับการค้นคว้า

3) Procedures/Design: “วิธีการ หรือการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา” เป็นการวางแผน ออกแบบและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

4) Results analysis: “การวิเคราะห์ข้อมูล” คือการตีความและวิเคราะห์ข้อมูลที่ค้นพบ

5) Results Communication: “การนำเสนอข้อมูล” เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยนักเรียนสามารถออกแบบการนำเสนอเอง หรือตามที่กำหนดไว้ได้

6) Conclusion: “การสรุปผล” เป็นการลงข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้ศึกษาค้นคว้าหรือรายการผลการสังเกตและข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติการทดลอง

Srisawasdi and Sornkhatha (2014) ได้ทำการศึกษาผลของการสืบเสาะด้วยสถานการณ์จำลองบนอุปกรณ์พกพาต่อการพัฒนาเข้าใจโมเดลเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนมัธยมศึกษา จำนวน 36 คน พบว่าหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจโมเดลเพิ่มขึ้น และความเข้าใจโมเดลที่แก้ไขแล้วของนักเรียนส่วนใหญ่ยังคงอยู่แม้หลังจากเรียนรู้ไปแล้วสองเดือน

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ใช้รูปแบบการสืบเสาะแบบแนะแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน สำหรับการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

ดังนั้น การจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อ (Seamless STEM learning) เป็นการจัดเรียนรู้ไร้รอยต่อแบบเป็นทางการและไม่เป็นทางการ (Formal and informal learning contexts) โดยบูรณาการประสบการณ์การเรียนรู้ในมิติต่าง ๆ ให้เกิดความ

ต่อเนื่องในบริบทการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (Science) และปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยการนำเทคโนโลยี (Technology) ได้แก่ โมบายแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote และสถานการณ์จำลองทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มวิจัย Physics Education Technology (PhET) เข้ามามีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้จากประสบการณ์จริง และใช้หลักวิศวกรรม (Engineering) ในการออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบ สมมติฐานที่ตั้งไว้ บนเงื่อนไขการตรวจสอบ และสามารถเชื่อมโยงกับชีวิตจริงได้ โดยมีการนำคณิตศาสตร์ (Mathematic) เข้ามาคำนวณ ในการจัดการเรียนรู้สู่เติมแบบไร้รอยต่อแบบทางการและไม่เป็นทางการประกอบด้วย 2 กิจกรรม ผู้วิจัยได้ออกแบบดังนี้

(1) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้จัดขึ้นภายในชั้นเรียน (Formal Learning) โดยนักเรียนจะเรียนรู้เป็นกลุ่มโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะแบบชี้แนะแนวทาง (Guided-inquiry Learning)

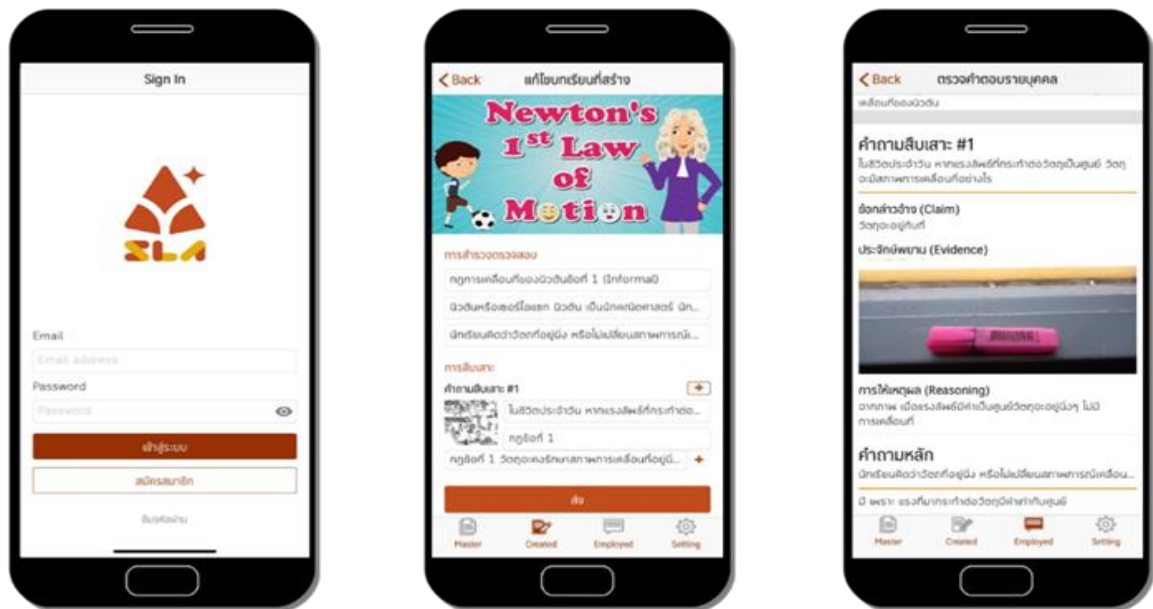
(2) กิจกรรมการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นนอกชั้นเรียนแบบไม่เป็นทางการ (Informal Learning) โดยนักเรียนสามารถสืบเสาะความรู้นอกชั้นเรียนในรูปแบบโปรแกรมการเข้าถึงผ่านอุปกรณ์แบบพกพาแบบ 1 : 1 เช่น โทรศัพท์มือถือ โดยสืบเสาะจากสถานการณ์ที่ครูกำหนดไว้ผ่านแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote ที่พัฒนาขึ้นโดยเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบกำกับตนเอง (Self-directed Learning)

■ บริบทเกี่ยวกับการวิจัยนี้

สิ่งแวดล้อมการเรียนรู้โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลแบบพกพาสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือเทคโนโลยีหลักสำหรับเป็นองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบและพัฒนาประสบการณ์การเรียนรู้สู่เติมแบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีรายละเอียดดังนี้

โมบายแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote

นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์ และทีมนักวิจัยและพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบสมาร์ต ของโครงการพัฒนาสมรรถนะนักเรียนระดับมัธยมศึกษาด้วยนวัตกรรม KKU Smart Learning มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันทางการศึกษาชื่อว่า “KKU Smart iNote” เป็นหนึ่งในเครื่องมือสำคัญของระบบนิเวศการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบดิจิทัลที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการปฏิบัติงานการเรียนรู้สู่เติมศึกษาบูรณาการ (Integrated STEM Education) ผ่านบริบทการปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์สืบเสาะที่เสริมสร้างและการพัฒนาความสามารถในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของผู้เรียนในยุคปัจจุบัน โดยที่เน้นการเอื้ออำนวยความสะดวกเฉพาะสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ นอกจากนั้นแล้วยังเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการปฏิบัติงานการสอนของครูผู้สอนและนำไปสู่การพัฒนาความรู้ในการสอนจำเพาะเนื้อหาโดยใช้เทคโนโลยี (TPACK) สำหรับครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ได้ด้วย ซึ่งเครื่องมือนี้ถูกออกแบบและพัฒนาโดยนักวิจัยในกลุ่มวิจัยส่งเสริมการเรียนรู้ทางด้านสะเต็มโดยเทคโนโลยีดิจิทัล (Technology-enhanced Learning in Leveraging of STEM: TELL-STEM) และถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนางานการสอนของครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ และส่งเสริมความสามารถในการเรียนรู้ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ดังที่แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote: หน้าจอการลงเข้าใช้งาน (ซ้าย), หน้าจอตัวอย่างบทเรียนสะเต็มศึกษาที่สร้างขึ้น
เข้ามาโดยครู (กลาง), หน้าจอตัวอย่างการตอบคำถามผ่านกระบวนการวิทยาศาสตร์สืบเสาะของนักเรียน (ขวา)

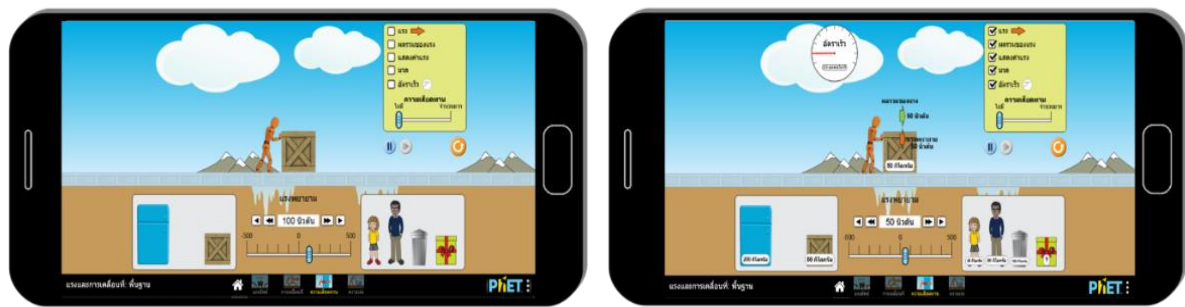
สถานการณ์จำลองทางวิทยาศาสตร์แบบมีปฏิสัมพันธ์ (Interactive Science Simulation)

Kelton, Sadowski and Sturrock (2003) กล่าวว่า การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นวิธีการที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่าง ๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วย เพื่อที่จะศึกษากิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ จากการเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

Wieman, Adams and Perkins (2008) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สถานการณ์จำลองเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แนวคิดฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนไม่สามารถทำความเข้าใจได้ผ่านการดูเพียงอย่างเดียว พวกเขาจะต้องมีการทำกิจกรรมเกี่ยวกับสถานการณ์จำลองนั้นด้วย การเรียนรู้จะเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อนักเรียนมีคำถามที่ชี้นำในการทดลองในสถานการณ์จำลองและการค้นหาความรู้ของเขา เมื่อนักเรียนสร้างความสนใจในการทดลองด้วยตนเอง พวกเขาจะสามารถเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น

Srisawasdi และ Panjaburee (2015) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้สถานการณ์จำลอง มีผู้เข้าร่วมวิจัย 120 คน เพื่อเปรียบเทียบการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลองร่วมกับการประเมินระหว่างเรียน โดยใช้วิธีก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบแบบกลุ่มเดียว ผลวิจัยพบว่าคะแนนความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากเข้าร่วมการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลองร่วมกับการประเมินระหว่างเรียน มีความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์มากกว่าการไม่มีการประเมินระหว่างเรียน การค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่าการรวมการประเมินระหว่างเรียนและสถานการณ์จำลองสามารถใช้เพื่อส่งเสริมความเข้าใจที่ครอบคลุมเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในโรงเรียน

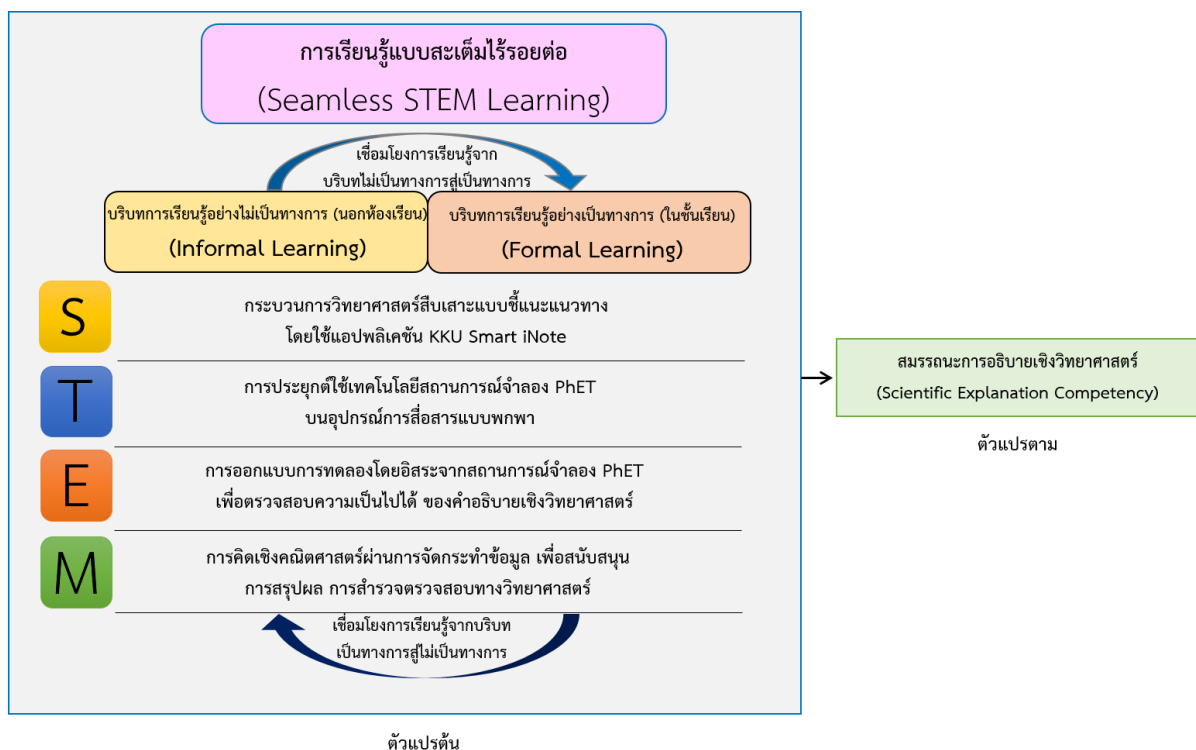
สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ได้มีการนำสถานการณ์จำลองบนอุปกรณ์แบบพกพาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความสนใจและมองเห็นภาพเชิงประจักษ์มากขึ้น ดังที่แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สถานการณ์จำลองทางวิทยาศาสตร์บนโทรศัพท์เคลื่อนที่: หน้าจอตัวอย่างการออกแรงกระทำต่อกล่องให้เคลื่อนที่ (ซ้าย), หน้าจอตัวอย่างการแสดงความหนาและทิศทางของปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของกล่อง (ขวา)

กรอบแนวความคิดในการวิจัย

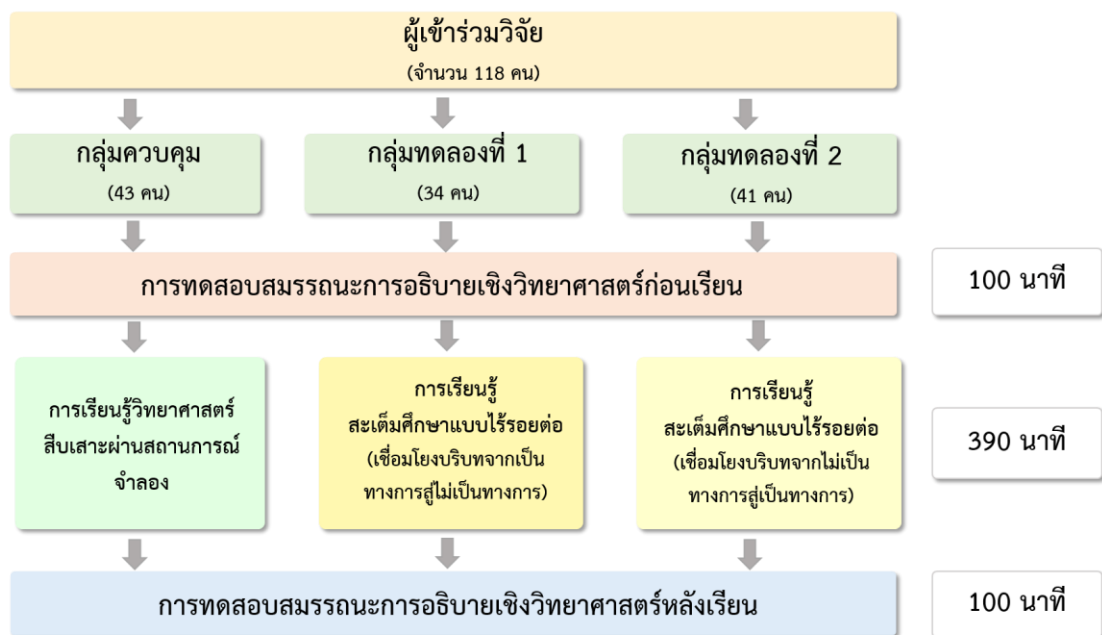
ในการศึกษาการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมการจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อ และการบูรณาการการจัดเรียนรู้สะเต็มศึกษา นำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาแบบไร้รอยต่อ MSL1 เป็นตัวแปรต้น ในการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นตัวแปรตาม ดังนำเสนอได้ในแผนภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

■ วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research methodology) ในรูปแบบกึ่งทดลอง (Quasi-experimental design) และในแบบแผนการทดสอบหลังเรียนเพียงครั้งเดียวกับกลุ่มที่ไม่ได้เทียบเท่ากัน (Posttest-only with nonequivalent groups) ในลักษณะแผนงานวิจัย 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มควบคุม ซึ่งเป็นนักเรียนจำนวน 43 คน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะผ่านสถานการณ์จำลอง 2) กลุ่มทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นนักเรียน จำนวน 34 คน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อในรูปแบบระหว่างบริบทเป็นทางการและไม่เป็นทางการ (MSL1) ในแบบแผนการสร้างการเชื่อมโยงประสบการณ์การเรียนรู้ในชั้นเรียนไปสู่ประสบการณ์การเรียนรู้นอกชั้นเรียน (Formal-to-informal Learning: F2I) และ 3) กลุ่มทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นนักเรียน จำนวน 41 คน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมแบบไร้รอยต่อในรูปแบบระหว่างบริบทเป็นทางการและไม่เป็นทางการ (MSL1) เช่นกันกับกลุ่มทดลองที่ 1 แต่ในแบบแผนที่แตกต่างกัน โดยเป็นแบบแผนการสร้างการเชื่อมโยงประสบการณ์การเรียนรู้ในชั้นเรียนไปสู่ประสบการณ์การเรียนรู้ในชั้นเรียน (Informal-to-formal Learning: I2F) โดยมีการทดสอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียน ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ภาพแสดงวิธีดำเนินการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 118 คน จากจำนวน 3 ห้องเรียนตามการจำแนกของสถานศึกษา ที่กำลังศึกษาในภาคการเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 ของโรงเรียนประจำอำเภอแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจงโดยใช้ห้องเรียนที่ผู้วิจัยในฐานะครูประจำการที่ได้รับมอบหมายให้รับผิดชอบงานการสอนรายวิชาฟิสิกส์โดยสถานศึกษา

เครื่องมือทดลองสำหรับการจัดการเรียนรู้

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ กิจกรรมการจัดการเรียนรู้เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน มีจำนวน 3 แผน ประกอบไปด้วย กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สอง และ กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่สาม ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 390 นาที เป็นแผนจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อ โดยมีรายละเอียดการจัดกิจกรรม ประกอบด้วย 2 กิจกรรม ดังนี้

(1) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้จัดขึ้นภายในชั้นเรียน (Formal Learning) โดยนักเรียนจะเรียนรู้เป็นกลุ่มโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะแนะแนวทาง (Guided Inquiry)

(2) กิจกรรมการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นนอกชั้นเรียนตามอัธยาศัย (Informal Learning) โดยนักเรียนสามารถสืบเสาะความรู้นอกชั้นเรียนในรูปแบบโปรแกรมการเข้าถึงผ่านอุปกรณ์แบบพกพาแบบ 1 : 1 เช่น โทรศัพท์มือถือ โดยการสืบเสาะจากสถานการณ์ที่ครูกำหนดไว้ผ่านแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote ที่พัฒนาเพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนสามารถนำความรู้ที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนไปใช้ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวันได้ โดยกลุ่มทดลองที่ 1 จะได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนก่อน กิจกรรมการเรียนรู้นอกชั้นเรียนตามอัธยาศัย ส่วนกลุ่มทดลองที่ 2 จะได้รับกิจกรรมการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นนอกชั้นเรียนก่อน กิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน ดังตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาแบบไร้รอยต่อ (Seamless STEM learning)

ตารางที่ 3 ตัวอย่าง การจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แผนที่ 1 เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่หนึ่ง

การจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อ (Seamless STEM Learning)

กิจกรรมนอกชั้นเรียนตามอัธยาศัย (Informal Learning)

นักเรียนสืบเสาะสถานการณ์เกี่ยวกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุในชีวิตประจำวันของนักเรียน เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้นมีค่าเป็นศูนย์แล้วตอบคำถามสืบเสาะในแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote ดังแสดงในภาพที่ 6

คำถามสืบเสาะ #1

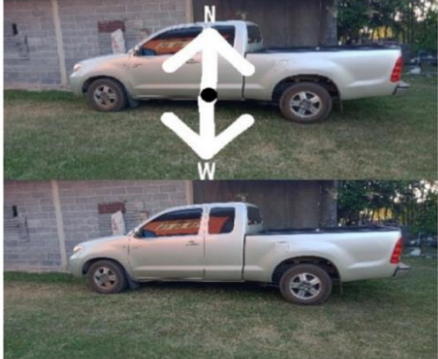
1. กฎข้อที่ 1 วัตถุจะคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เมื่อไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุ (แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์)



ในชีวิตประจำวัน หากแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ วัตถุจะมีสภาพการเคลื่อนที่อย่างไร

ข้อกล่าวอ้าง (Claim)
วัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่ง หรือสภาพการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

ประจักษ์พยาน (Evidence)



รถคงสภาพอยู่นิ่ง

การให้เหตุผล (Reasoning)
วัตถุอยู่นิ่งถ้าไม่มีแรงภายนอก อันใดมากระทำต่อวัตถุหรือมีแรงภายนอกหลายแรงมากระทำต่อวัตถุ แต่แรงลัพธ์เหล่านั้นเป็นศูนย์แล้ววัตถุนั้นยังคงรักษาสภาพนิ่งไว้อย่างเดิม

ภาพที่ 6 คำถามสืบเสาะที่ 1 ในโมบายแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote (ซ้าย), ตัวอย่างการตอบคำถามสืบเสาะที่ 1 ของนักเรียน ในโมบายแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote (ขวา)

กิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน แบบสืบเสาะแนะแนวทาง (Guided Inquiry)

ขั้นที่ 1 ขั้นก่อนปฏิบัติการทดลอง (Pre - Laboratory)

บทบาทของครู : การนำเข้าสู่ขั้นก่อนปฏิบัติการทดลองมีการสร้างความสนใจและเชื่อมโยงความรู้เดิมกับเรื่องที่จะศึกษา โดยครูนำเสนอสถานการณ์รูปภาพเกี่ยวกับแรงลัพธ์ โดยครูตั้งคำถามปลายเปิดเพื่อการสำรวจตรวจสอบผ่านแอปพลิเคชัน KKK Smart iNote ว่า “ถ้าหากนักเรียนผลักกล่องบนพื้นลื่น (ไม่มีแรงเสียดทาน) ด้วยแรงค่าหนึ่ง จากนั้นปล่อยมือ ความเร็วของกล่องหลังจากปล่อยมือจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร” ดังแสดงในภาพที่ 7 นักเรียนสังเกตเห็นอะไรจากผลของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุในสถานการณ์รูปภาพ มีผลต่อการเคลื่อนที่อย่างไร หลังจากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันทบทวนความรู้และนำเสนอแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับแรงพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสถานการณ์จำลอง (simulation) เรื่องแรงและการเคลื่อนที่: พื้นฐาน

บทบาทของนักเรียน : สังเกตผลของแรงลัพธ์ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ และความเร็วของวัตถุ พร้อมทั้งศึกษาแนวคิดพื้นฐานเพื่อหาคำตอบของคำถามนำมาสู่ข้อกล่าวอ้าง (Claim) โดยระบุข้อกล่าวอ้างผ่านแอปพลิเคชัน KKK Smart iNote



ภาพที่ 7 คำถามสืบเสาะที่ 2 ในโมบายแอปพลิเคชัน KKK Smart iNote

ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิบัติการทดลอง (Laboratory)

บทบาทของครู : ครูกระตุ้นการให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มขนาดเล็กเพื่อดำเนินการสืบเสาะ จัดกระทำ วิเคราะห์ผลหรือข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การทดลอง การสำรวจ ตรวจสอบ

บทบาทของนักเรียน : นักเรียนออกแบบการทดลอง ดำเนินการสืบเสาะจัดกระทำ วิเคราะห์ผลหรือข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การทดลอง การสำรวจตรวจสอบ โดยทำการทดลองผ่านสถานการณ์จำลอง (Simulation) และบันทึกผลการทดลอง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะประกอบด้วยแรงลัพธ์ และความเร็วของวัตถุที่เวลาต่าง ๆ จากนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มรวบรวมประจักษ์พยานเพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยระบุประจักษ์พยาน (Evidence) ผ่านแอปพลิเคชัน KKK Smart iNote ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 นักเรียนออกแบบการทดลองและบันทึกผลการทดลอง ผ่านสถานการณ์จำลองบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ซ้าย), นักเรียนระบุประจักษ์พยานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างผ่านแอปพลิเคชัน KKK Smart iNote (ขวา)

ขั้นที่ 3 ขั้นหลังปฏิบัติการทดลอง (Post - Laboratory)

บทบาทของครู : ครูกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลการสืบเสาะ พร้อมทั้งร่วมกันสร้างข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ และความเร็วในการเคลื่อนที่ ในคำถามที่ว่า “เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุ บนพื้นไร้แรงเสียดทาน แรงลัพธ์และความเร็วของวัตถุเป็นอย่างไร” โดยหาประจักษ์พยานและเหตุผลสนับสนุนข้อกล่าวอ้างให้มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด เพื่อนำไปสู่การลงข้อสรุปผลการสืบเสาะ

บทบาทของนักเรียน : นักเรียนนำเสนอผลการสืบเสาะที่ได้จากการดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลการสังเกต การทดลอง การสำรวจตรวจสอบ โดยแต่ละกลุ่มนำเสนอแลกเปลี่ยนแนวคิด และอภิปรายผลร่วมกันระหว่างกลุ่มทั้งห้องเรียน ซึ่งจะต้องประกอบด้วย ข้อกล่าวอ้างในขั้นก่อนปฏิบัติการสืบเสาะ และประจักษ์พยานในขั้นปฏิบัติการสืบเสาะ เพื่อนำมาสู่การสรุปผลที่เกี่ยวข้องกับหลักการและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักเรียนสามารถหาหลักการและทฤษฎีที่ได้มาใน การให้เหตุผล (Reasoning) ผ่านแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote เพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้างและประจักษ์พยานดังกล่าวให้เป็นที่ยอมรับ และน่าเชื่อถือได้ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ตัวอย่างการตอบคำถามสืบเสาะที่ 2 ของนักเรียนผ่านโมบายแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote

เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบทดสอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แบบอัตนัย (open-ended questionnaire) จำนวน 6 ข้อใหญ่ 18 ข้อย่อย สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 1 ฉบับ ซึ่งใช้สำหรับทั้งการทดสอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ 1) ให้นักเรียนผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดดำเนินการทดสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบทดสอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทดสอบกับนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้ 2) ในกลุ่มควบคุม จะมีการดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสืบเสาะวิทยาศาสตร์ ผ่าน

สถานการณ์จำลอง เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ส่วนในกลุ่มทดลองที่ 1 กลุ่มที่มีการจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อแบบ MSL1-F2I เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน และในกลุ่มทดลองที่ 2 นั้นดำเนินการจัดการเรียนรู้เรียนรู้อะเต็มศึกษาแบบไร้รอยต่อแบบ MSL1-I2F เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ตามแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 แผน ใช้เวลา 6 คาบ คาบละ 50 นาที และกิจกรรมสืบเสาะนอกชั้นเรียนตามอัธยาศัย จำนวน 3 กิจกรรม ใช้เวลา 90 นาที 3) ให้นักเรียนผู้เข้าร่วมวิจัยทั้งหมดดำเนินการทดสอบหลังเรียน โดยใช้แบบทดสอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทดสอบกับนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ ดังแสดงในภาพที่ 10 4) นำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Office Excel และโปรแกรม SPSS



ภาพที่ 10 การเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อ (ซ้าย) และดำเนินการทดสอบหลังเรียน (ขวา)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจากคะแนนแบบทดสอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ซึ่งประกอบไปด้วยทั้งหมด 3 องค์ประกอบ คือ ข้อกล่าวอ้าง ประจักษ์พยาน และการให้เหตุผล จำนวน 6 สถานการณ์ โดยนำคะแนนรวมก่อนเรียนและหลังเรียนมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ค่าเฉลี่ย และใช้สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) ที่เป็นการวิเคราะห์ Wilcoxon signed rank test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลภายในกลุ่ม และที่เป็นการวิเคราะห์ Kruskal-Wallis test ร่วมกับ Mann-Whitney U test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลระหว่างกลุ่ม

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์จากคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 118 คน วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ จากรวมคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนในแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากข้อคำถาม 6 สถานการณ์ ของนักเรียนแต่ละกลุ่ม ใช้สถิติ Shapiro-Wilk Test เพื่อตรวจสอบลักษณะการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ของข้อมูลคะแนนการรับรู้ในแต่ละด้านพบว่า ชุดข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้น คะแนนก่อนเรียนกลุ่มควบคุม ($p = .250$) คะแนนหลังเรียนกลุ่มควบคุม ($p = .635$) คะแนนก่อนเรียนกลุ่มทดลองที่ 1 ($p = .463$) คะแนนหลังเรียนกลุ่มทดลองที่ 1 ($p = .047$) คะแนนก่อนเรียนกลุ่มทดลองที่ 2 ($p = .638$) และคะแนนหลังเรียนกลุ่มทดลองที่ 2 ($p = .010$) ซึ่งปฏิเสธ Null hypothesis ที่ว่าชุดข้อมูลดังกล่าวมาจากลักษณะการแจกแจงแบบปกติในทุกชุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้สถิติแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลคะแนนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มและกลุ่มควบคุม โดยเลือกใช้การวิเคราะห์ Kruskal-Wallis Test ร่วมกับ Mann-Whitney U test ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบ

ความแตกต่างระหว่างข้อมูลคะแนนรวมสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละกลุ่ม ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถนำเสนอได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าสถิติเชิงบรรยายของคะแนนการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียน โดยเปรียบเทียบกันของนักเรียนทั้งสามกลุ่มและทีละคู่

คะแนนรวม	กลุ่มควบคุม (43คน)	กลุ่มทดลองที่ 1 (34 คน)	กลุ่มทดลองที่ 2 (41 คน)	Asymp.Sig	เปรียบเทียบ ระหว่าง กลุ่ม
ก่อนเรียน	A=10.12 [45.92] (4.594)	C=13.38 [71.88] (3.701)	E=12.46 [63.48] (4.718)	.003	A < C* A < E* E < C
หลังเรียน	B=23.47 [32.60] (6.057)	D=30.76 [72.34] (4.068)	E=31.44 [77.06] (3.571)	.000	B < D* B < E* D < E

หมายเหตุ

1) สัญลักษณ์ * แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p < 0.05$)

2) สัญลักษณ์ xx.xxx [yy.yyy] (zz.zzz) หมายถึง Mean [Mean rank] (S.D)

จากตารางที่ 4 แสดงค่าสถิติเชิงบรรยายของคะแนนการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียน โดยเปรียบเทียบกันของนักเรียนทั้งสามกลุ่มและทีละคู่ ได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาคะแนนรวมก่อนเรียน พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ 13.38 ตามด้วยนักเรียนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 12.46 และนักเรียนกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ย 10.12 ซึ่งทั้งสามกลุ่มมีคะแนนรวมก่อนเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทีละคู่ พบว่ากลุ่มทดลองที่ 1 มีคะแนนมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($Z=-3.322$, $p_{(C>A)} = 0.001$) กลุ่มทดลองที่ 2 มีคะแนนมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($Z=-2.347$, $p_{(E>A)} = 0.019$) และกลุ่มทดลองที่ 1 มีคะแนนมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 2 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($Z=-1.053$, $p_{(C>E)} = 0.239$)

และเมื่อพิจารณาคะแนนรวมหลังเรียน พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ 2 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ 31.44 ตามด้วยนักเรียนกลุ่มทดลองที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 30.76 และนักเรียนกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ย 23.47 ซึ่งทั้งสามกลุ่มมีคะแนนรวมหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทีละคู่ กลุ่มทดลองที่ 1 มีคะแนนมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($Z=-5.093$, $p_{(C>A)} = .000$) กลุ่มทดลองที่ 2 มีคะแนนมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($Z=-5.929$, $p_{(E>A)} = .000$) และกลุ่มทดลองที่ 2 มีคะแนนมากกว่ากลุ่มทดลองที่ 1 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($Z=-0.623$, $p_{(E>C)} = .527$)

สามารถสรุปผลลัพธ์เบื้องต้นได้ว่า หลังเรียนนักเรียนทั้งสามกลุ่มคะแนนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น โดยกลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มแบบไร้รอยต่อ (Seamless STEM learning) ในบริบทที่แตกต่างกัน มีคะแนนรวมความสามารถในการอธิบายวิทยาศาสตร์มากกว่ากลุ่มควบคุม โดยกลุ่มทดลองที่ 2 มีคะแนนเพิ่มขึ้นมากที่สุด ตามด้วยกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มควบคุม ตามลำดับ ซึ่งนักเรียนกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีคะแนนไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงต้องวิเคราะห์คะแนนรวมก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนแต่ละกลุ่ม เพื่อเปรียบเทียบคะแนนความสามารถในการอธิบายวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของภายในกลุ่ม โดยใช้การวิเคราะห์ Wilcoxon signed rank test ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลต่างคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการอธิบายวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของภายในกลุ่มของนักเรียน โดยใช้การวิเคราะห์ Wilcoxon signed rank test

กลุ่มการทดลอง	จำนวน (คน)	คะแนนรวมความสามารถในการอธิบายวิทยาศาสตร์		Asymp.Sig	เปรียบเทียบภายในกลุ่ม
		ก่อนเรียน	หลังเรียน		
กลุ่มควบคุม	43	A=10.12 [45.92] (4.594)	B=23.47 [32.60] (6.057)	.000	A < B*
กลุ่มทดลองที่ 1	34	C=13.38 [71.88] (3.701)	D=30.76 [72.34] (4.068)	.000	D < D*
กลุ่มทดลองที่ 2	41	E=12.46 [63.48] (4.718)	E=31.44 [77.06] (3.571)	.000	E < F*

หมายเหตุ

- 1) สัญลักษณ์ * แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($p < 0.05$)
- 2) สัญลักษณ์ xx.xxx [yy.yyy] (zz.zzz) หมายถึง Mean [Mean rank] (S.D)

จากตารางที่ 5 แสดงผลคะแนนเฉลี่ยความสามารถการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนทั้งสามกลุ่ม พบว่านักเรียนทั้งสามกลุ่มมีรวมเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่าคะแนนรวมเฉลี่ยก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่มีคะแนนรวมเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือ นักเรียนกลุ่มทดลองที่ 2 มีคะแนนรวมเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียน ($Z=-5.091$, $p_{(post>pre)} < .05$) โดยนักเรียนกลุ่มทดลองที่ 1 มีคะแนนรวมเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียน ($Z=-5.581$, $p_{(post>pre)} < .05$) และนักเรียนกลุ่มควบคุมมีคะแนนรวมเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียน ($Z=-5.715$, $p_{(post>pre)} < .05$) สรุปได้ว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ทั้งสามวิธีการ สามารถส่งเสริมสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาได้

อภิปรายผล

การวิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้สะสมแบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ต่อการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่าพบว่าหลังเรียนนักเรียนทุกกลุ่มมีคะแนนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม่นักเรียนทุกกลุ่มจะได้ทำการทดลองผ่านสถานการณ์จำลองบนอุปกรณ์พกพาในการจัดการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มควบคุมได้รับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สืบเสาะร่วมกับสถานการณ์จำลอง ส่วนกลุ่มทดลองที่ 1 ได้รับการจัดการเรียนรู้สะสมแบบไร้รอยต่อแบบ MSL-F2I และกลุ่มทดลองที่ 2 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เรียนรู้สะสมแบบไร้รอยต่อแบบ MSL-I2F สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srisawasdi and Sornkhatha (2014) ได้ทำการศึกษาผลของการสืบเสาะด้วยสถานการณ์จำลองบนอุปกรณ์พกพาต่อการพัฒนาเข้าใจแนวคิดเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนมัธยมศึกษา จำนวน 36 คน พบว่าหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดเพิ่มขึ้นและมีความคงทน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Srisawasdi และ Panjaburee (2015) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้สถานการณ์จำลอง มีผู้เข้าร่วมวิจัย 120 คน เพื่อเปรียบเทียบการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์จำลองร่วมกับการประเมินระหว่างเรียน โดยใช้วิธีการทดสอบและหลังการทดสอบแบบกลุ่มเดียว ผลวิจัยพบว่าคะแนนความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อนำคะแนนเฉลี่ยมาวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียน โดยเปรียบเทียบกันของนักเรียนทั้งสามกลุ่มและทีละคู่ แยกตามองค์ประกอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ พบว่าหลังเรียนนักเรียนกลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มที่มีการจัดการเรียนรู้สะสมแบบไร้รอยต่อแบบ MSL1 ในบริบทที่แตกต่างกันมีคะแนนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ นั่นคือ ในการจัดการเรียนรู้สะสมแบบไร้รอยต่อในรูปแบบ MSL 1 สามารถที่จะเป็นแบบ F2I หรือ I2F โดยไม่มีความแตกต่างในการเรียนรู้ในการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนทั้ง

สองกลุ่ม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sharples (2015) ได้ศึกษาการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อข้ามผ่านบริบท (Seamless Learning Despite Context) เพื่อสร้างการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อในบริบทที่แตกต่างกัน พบว่า การเรียนรู้ที่ไร้รอยต่อเป็นแนวทางการศึกษาที่เชื่อมโยงการเรียนรู้โดยการช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ที่ควบคุมตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งครอบคลุมเวลา สถานที่ การเรียนรู้สามารถเกิดขึ้นได้ทุกตามอรรถยาศัยได้ และพบว่าหลังเรียนนักเรียนกลุ่มทดลองที่ 1 และกลุ่มทดลองที่ 2 มีการจัดการเรียนรู้สู่เต็มแบบไร้รอยต่อมีคะแนนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ร่วมกับสถานการณ์จำลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ การจัดการเรียนรู้สู่เต็มแบบไร้รอยต่อสามารถพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ เนื่องจากมีการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล ได้แก่ โมบายแอปพลิเคชัน KKU Smart iNote มาเป็นส่วนหนึ่งในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งช่วยพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ คมเชต เหมือนศรี และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์ (2558) ได้ศึกษาการประยุกต์การเรียนรู้แบบไร้ขอบเขตสำหรับสาระความบันเทิงบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ พบว่า เครื่องมือดิจิทัลสำหรับการปฏิบัติการสืบเสาะ และช่วยเสริมสร้างพัฒนาความสามารถในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยเน้นการเอื้ออำนวยความสะดวกสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Asmiliyah , Khaerudin และ Solihatin (2022) ได้ทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้สู่เต็มศึกษาผ่านอุปกรณ์พกพาในรายวิชาฟิสิกส์ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และแบบสอบถาม พบว่าแอปพลิเคชันการเรียนรู้ผ่านอุปกรณ์พกพา โดยใช้ปัญหาเป็นหลักในการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา เป็นหนึ่งในบทเรียนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างประสิทธิภาพในการเรียนรู้ฟิสิกส์ การพัฒนาแอปพลิเคชันการเรียนรู้ผ่านมือถือข้ามแพลตฟอร์มด้วยแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถนำไปใช้ในการเรียนรู้ฟิสิกส์ได้ ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวพบว่า นักเรียนจะสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดี หากนักเรียนมีประสบการณ์หรือมีความคุ้นเคยในการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากการที่นักเรียนได้นำความรู้ไปใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิต ในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เช่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โดยออกแบบการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้มีโอกาสเชื่อมโยงความรู้ในชั้นเรียนและนอกชั้นเรียนให้ต่อเนื่องกัน ผ่านใช้ผ่านเทคโนโลยีดิจิทัลที่อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ ซึ่งจะสามารถช่วยให้นักเรียนมีได้นำความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อประกอบการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ได้

■ บทสรุปจากการวิจัย

จากการวิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้สู่เต็มแบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ต่อการพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ พบว่านักเรียนกลุ่มทดลองทั้งสองกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สู่เต็มแบบไร้รอยต่อ มีคะแนนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยการสืบเสาะวิทยาศาสตร์ร่วมกับสถานการณ์จำลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ การจัดการเรียนรู้แบบไร้รอยต่อสามารถพัฒนาสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ และนักเรียนที่ได้ในการจัดการเรียนรู้สู่เต็มแบบไร้รอยต่อในรูปแบบ MSL1 ทั้งในลักษณะเป็นแบบแผนการสร้างการเชื่อมโยงประสบการณ์การเรียนรู้ในชั้นเรียนไปสู่ประสบการณ์การเรียนรู้นอกชั้นเรียน (F2I) และเป็นแบบแผนการสร้างการเชื่อมโยงประสบการณ์การเรียนรู้ในชั้นเรียนไปสู่ประสบการณ์การเรียนรู้ในชั้นเรียน (I2F) นั้น มีคะแนนสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ นั่นคือ การจัดการเรียนรู้สู่ศึกษาแบบไร้รอยต่อในรูปแบบ MSL1-F2I และ MSL1-I2F สามารถนำไปใช้เพื่อสร้างเสริมสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้โดยเป็นอย่างดีโดยไม่แตกต่างกัน

■ ข้อจำกัดหรือข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ข้อจำกัด

ในงานวิจัยนี้มีการเก็บข้อมูลจากคะแนนที่ได้จากแบบทดสอบสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน ซึ่งนักเรียนอาจจะมีสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ มากหรือน้อยอยู่แล้วก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเรียนรู้สู่แบบไร้รอยต่อ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ในรูปแบบ MSL1 และในการเก็บข้อมูลนั้นมีการเก็บข้อมูลเฉพาะในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งไม่ได้มาจากการสุ่ม ซึ่งหากมีการนำงานวิจัยไปใช้ในนักเรียนระดับอื่น อาจจะได้รับผลที่แตกต่างออกไป

ข้อเสนอแนะ

ในการจัดการเรียนรู้สู่แบบไร้รอยต่อสามารถจัดได้หลากหลายรูปแบบตามความเหมาะสมของเนื้อหา ในการประยุกต์การจัดการเรียนรู้สู่แบบไร้รอยต่อไปใช้ในการสอนหรือการทำการวิจัย ครูหรือผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบ และความสอดคล้องของเนื้อหาที่จะนำไปใช้ในการสอนอย่างลึกซึ้ง เพื่อให้การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นกับนักเรียนมีความต่อเนื่องกันและไร้รอยต่อในการเรียนรู้ และส่งเสริมสมรรถนะการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

■ กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2564 และบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการโรงเรียน คณาจารย์ และขอขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

■ References

- คมเขต เหมือนศรีชัย และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์. (2558). การประยุกต์การเรียนรู้แบบไร้ขอบเขตสำหรับสาระความบันเทิงบนโทรศัพท์เคลื่อนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- น้ำทิพย์ ศรีตะวัน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์. (2564). ผลการออกแบบการปฏิบัติการสอน เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้สู่แบบไร้รอยต่อ. วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 14(3), 1-17.
- พิมพ์ ภาพรหม และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์. (2561). การส่งเสริมแนวคิดหลักและการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ด้วยโมดูลการเรียนรู้สู่แบบไร้รอยต่อบนฐานวิทยาศาสตร์สืบเสาะ เรื่อง วิทยาศาสตร์ระดับนาโน. วารสารบัณฑิตวิจัย, 9(2), 43-67.
- สสวท. (2551). ความรู้และสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ สำหรับโลกวันพรุ่งนี้, สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พิมพ์เผยแพร่, 337 หน้า, ISBN 9789789955918.

- American Association for the Advancement of Science. (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University.
- OECD. (2015). *Assessment of the Domain*. Draft Science Framework. Apereo Foundation, Apereo Learning Analytics Initiative: Open LRS, 2017, Retrieved October 27, 2020 from <https://bit.ly/3xuwoQr>.
- Buck, et al. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching*, September/October 2008.
- Beyer, C. J., and Davis, E. A.. (2008). “Fostering Second Graders’ Scientific Explanations: A beginning Elementary Teacher’s knowledge, Beliefs, and Practice”. *The Journal of the Learning Science*, (17), 381-414.
- Chan, et al. (2006). One-to-one technology-enhanced learning: an opportunity for global research collaboration. *Research and Practice in Technology-Enhanced Learning*, 1(1), 3–29.
- Devourou, C., and Jimoyiannis (2022), Mobile seamless learning in primary education: a case study on second grade students in Greece. *Educational Media International*, 59(3), 3 July 2022.
- Kelley and Knowles. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, No. 19 Jun 2016.
- Kelton, S., and Sturrock. (2003). *Simulation With Arena*. Publisher: McGraw-Hill, New York, Jan 2003.
- Kiyota, M., and Ogatac. (2015). *A Proposal of e-Book Based Seamless Learning System*. *Proceedings of the 23rd International Conference on Computers in Education*. China: Asia-Pacific Society for Computers in Education
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- McNeill, K. L., and Krajcik, J. (2008) . Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In Luft, J., Bell, R. and Gess-Newsome, J. (Eds.). *Science as inquiry in the secondary setting* (p. 121-134). Arlington, VA: National Science Teacher Association Press.
- McNeill, K. L., and Krajcik, J. S. (2010). *Importance for supporting students in scientific Explanation*. Retrieved December 8, 2014.
- McNeill, K. L., and et al. (2006). Supporting Students’ Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *The journal of the learning sciences*, 15(2), 153-191.
- Peker, D., and Wallace, S. C. (2011). Characterizing High School Students’ Written Explanations in Biology Laboratories. *Research in Science Education*, (41), 169-191.
- Primo, R. A. M., and Al., e. (2010). Testing one premise of scientific inquiry in science classroom: Examining students’ scientific explanation and student learning. *Journal of research in Science Teaching*, 47(5), 583-608.
- Resier, B. J., Berland, L. K., and Kenyon, L. (2012). Engaging student in the scientific practices of explanation and argumentation. *Science Scope*, 35(8), 6 – 11
- Şad, S. N., İlhan, A., and Poçan, S. (2016). Seamless learning: A review study. *Inonu University Journal of the Graduate School of Education*, 3(6), 1-22.

- Sharples. (2015). Seamless Learning Despite Context. In L-H Wong, M. Milrad & M. Specht (eds.) *Seamless Learning in the Age of Mobile Connectivity*. Singapore: Springer, pp. 41-55.
- Smith, K. V., Loughran, J., Berry, A., and Dimitrakopoulos, C. (2012). Developing scientific literacy in a primary school. *International Journal of Science Education*, 34(1), 127–152.
- Srisawasdi, N., and Panjaburee, P. (2015). Exploring effectiveness of simulation-based inquiry learning in science with integration of formative assessment. *J. Comput. Educ.* 2, 323–352. Retrieved December 8, 2014, from <https://doi.org/10.1007/s40692-015-0037-y>
- Srisawasdi, N., and Sornkhatha, P. (2014). The effect of simulation-based inquiry on students' conceptual learning and its potential applications in mobile learning. *International Journal of Mobile Learning and Organization*, 8(1), 28-49.
- Widayanti, Abdurrahman, A., and Suyatna, A. (2019). Future Physics Learning Materials Based on STEM Education: Analysis of Teachers and Students Perceptions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1155(1). Retrieved December 8, 2014, from <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1155/1/012021>
- Wieman, Adams, and Perkins. (2008). Physics. *PhET: Simulations that enhance learning*, *Science* 322(5902), 682-3, Nov 2008.
- Wong, and Looi. (2011). What seams do we remove in mobile-assisted seamless learning? A critical review of the literature. *Computers & Education*, 57(2011) 2364–23 .