

การพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
โดยใช้การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

Developing Tenth Grade Student Conceptual Understanding of
Radioactivity through the 6E Learning Model of STEM Education

วิลาวัลย์ แทนแก้ว* นฤพจน์ พุรวัดนะ** และชลิตา จุงพันธ์**

* ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาการเรียนรู้และศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

** คณะวิทยาการเรียนรู้และศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Wilawan Thankaew* Narupot Putwattana** and Chalida Joongpan**

* Master of Education, Faculty of Learning Sciences and Education, Thammasat University

** Faculty of Learning Sciences and Education, Thammasat University

Received: May 24, 2023 / Revised: June 19, 2023 / Accepted: July 30, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางในการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเรื่องกัมมันตภาพรังสี ให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีการพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยใช้แบบวัดความเข้าใจแนวคิด บันทึกหลังสอน บันทึกการนิเทศ บันทึกการเรียนรู้ บันทึกการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ชิ้นงาน ใบกิจกรรม และการสังเกตจากบันทึกวิดีโอ ผลการวิจัยพบว่าแนวทางจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิด ได้แก่ 1) กำหนดสถานการณ์ปัญหาที่วางเงื่อนไขเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีร่วมกับการกำหนดบทบาทสมมติของนักเรียน รวมถึงจัดบรรยากาศการเรียนรู้โดยจำลองสถานการณ์จริงทั้งในและนอกห้องเรียน 2) อภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดในการออกแบบเพื่อให้เกิดความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง รวมถึงให้ข้อคิดเห็นระหว่างกลุ่มเพื่อปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงาน 3) ส่งเสริมการใช้สื่อที่หลากหลายและมีความเฉพาะเจาะจงกับเนื้อหาเรื่องกัมมันตภาพรังสี เพื่อกระตุ้นการคิด ส่งเสริมการเรียนรู้ และเชื่อมโยงความรู้เดิมไปสู่ความรู้ใหม่ 4) สร้างความร่วมมือระหว่างนักเรียนกับนักเรียน นักเรียนกับครู และครูกับครู เป็นการส่งเสริมกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และผลการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนพบว่านักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดเรื่องประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสีมากที่สุด รองลงมาคือแนวคิดเรื่องครึ่งชีวิต และแนวคิดเรื่องความหมายของกัมมันตรังสี ตามลำดับ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา สามารถพัฒนาแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E สะเต็มศึกษา แนวคิด กัมมันตภาพรังสี

Abstract

The classroom action research aims to develop tenth grade student conceptual understanding of radioactivity in the 6E learning model of science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education. Data was collected and analyzed qualitatively, including the conceptual understanding test,

teacher reflections, supported teacher reflections, student reflections, semi-structured interview transcriptions, student projects, worksheets, and recorded video observation. Results were that teaching approaches could include: 1) specifying conditional radioactivity problems with student role-playing and simulating real situations within and beyond the classroom; 2) promoting student discussion and exchange concepts about project design for correct science conceptual understanding while sharing viewpoints with other groups for project development and improvement; 3) using several specific instruments to stimulate thinking and enhance learning, linking from prior to empirical knowledge; and 4) forming student-student, student-teacher, and teacher-teacher partnerships to acquire scientific knowledge. The best understood tenth grade student concepts were radioactivity benefits and dangers, followed by radioactive element half-life, and radioactivity definitions, respectively. These findings imply that using the 6E learning model in STEM education enhanced tenth grade student conceptual understanding of radioactivity.

Keywords: 6E learning Model, STEM education, Concept, Radioactivity

บทนำ

สังคมโลกปัจจุบันเป็นการก้าวผ่านจากสังคมยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมมาเป็นสังคมดิจิทัลที่เต็มไปด้วยการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างรวดเร็ว นำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เชื่อมโยงกันด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง วัฒนธรรม รวมทั้งสิ่งแวดล้อม (Rakphonlamueang, 2014) มีการนำพลังงานนิวเคลียร์มาประยุกต์ใช้ในด้าน การเกษตร อาหาร การแพทย์ รวมถึงการผลิตกระแสไฟฟ้า (Nilayon & Nilayon, 1996) แม้ว่าผลของการพัฒนา ดังกล่าวจะเข้ามามีบทบาทสำคัญกับมนุษย์ แต่ก็อาจก่อให้เกิดผลกระทบกับสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Wongsa, 2014) ยกตัวอย่างเช่น อุบัติเหตุการระเบิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่เชอร์โนบิล ฟุกุชิมะ และเกาะทรีไมล์ ก่อให้เกิดผลกระทบทางเศรษฐกิจ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการเสียชีวิตของประชากร เหตุการณ์นี้จึงกระตุ้นให้ มวลมนุษยชาติมีความตระหนักและตื่นตัวเกี่ยวกับความปลอดภัยทางนิวเคลียร์มากขึ้น (Kessler et al., 2014) รวมถึง อุบัติเหตุทางรังสีที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทยที่จังหวัดสมุทรปราการ ในปี พ.ศ. 2543 ได้ชี้ให้เห็นว่าสาเหตุสำคัญมา จากการขาดความเข้าใจเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสี เช่น ความหมายของสัญลักษณ์ อันตรายของสารกัมมันตรังสี เป็นต้น (Office of Atom for Peace Ministry of Science and Technology, 2005) ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมายังแสดงให้เห็น ว่านักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีในเรื่องครึ่งชีวิต การสลายตัวของ กัมมันตภาพรังสี รวมถึงการใช้ประโยชน์จากธาตุกัมมันตรังสี (Tekin & Nakiboglu, 2006) โดยนักเรียนเข้าใจว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี การแผ่รังสีจากแหล่งธรรมชาติและทางการแพทย์ถือว่าเป็น ประโยชน์ การแผ่รังสีที่มาจากการฉายรังสีและกากนิวเคลียร์ถือว่าเป็นอันตราย เป็นต้น (Sesen & Ince, 2010) งานวิจัยที่ผ่านมาก็ได้มีการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสี โดยใช้การเปรียบเทียบ การใช้เอกสาร เปลี่ยนโน้มนัสนิ และบทบาทสมมติ แต่ก็ยังมีนักเรียนเกิดความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อน และถูกต้องบางส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี ครึ่งชีวิต และปฏิกิริยานิวเคลียร์ อันเนื่องมาจากนักเรียนไม่ได้ ลงมือปฏิบัติในการวัดค่ารังสีจริง รวมถึงนักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานที่ไม่ถูกต้องจึงส่งผลทำให้เกิดความเข้าใจ ที่คลาดเคลื่อน (Sukkho et al., 2015) และจากประสบการณ์การสอนแนวคิดเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีที่ผ่านมาของ ผู้วิจัย ได้ใช้วิธีการบรรยายร่วมกับการทดลอง ทำให้เห็นว่านักเรียนมักคาดหวังว่าผลการทดลองจะต้องเป็นไปตาม ทฤษฎี จึงพยายามสรุปผลการทดลองเพื่อให้สอดคล้องกับทฤษฎีโดยมองข้ามกระบวนการและผลการทดลองที่ได้ ซึ่ง

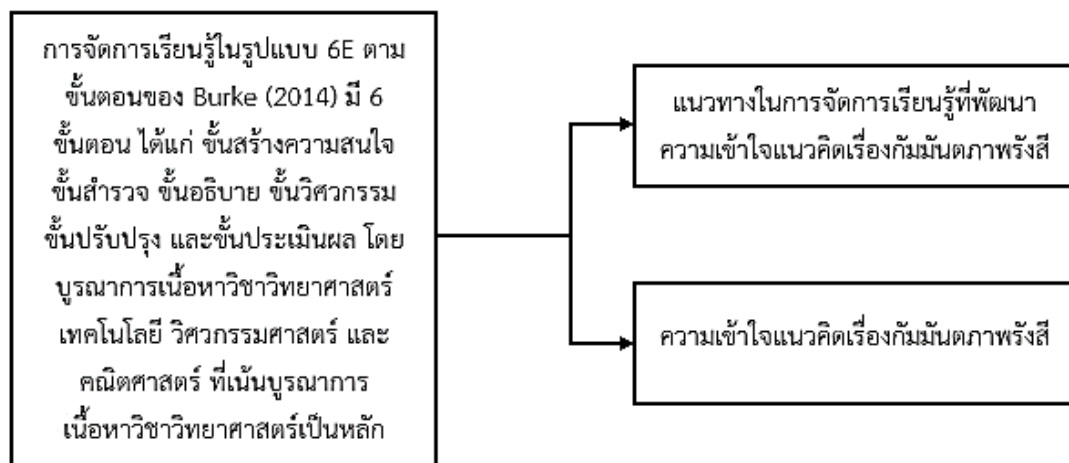
สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนไม่ให้ความสำคัญกับหลักฐานเชิงประจักษ์ที่เป็นข้อมูลนำมาสร้างแนวคิดวิทยาศาสตร์ การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงขาดลักษณะบางประการของการสืบเสาะหาความรู้และการบูรณาการองค์ความรู้เพื่อนำไปใช้ในการอธิบายหรือแก้ปัญหาในชีวิตจริง ผู้วิจัยเห็นความสำคัญในการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงพิจารณาแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่เน้นการบูรณาการความรู้และทักษะในศาสตร์ที่หลากหลาย ซึ่งการดำเนินชีวิตภายนอกห้องเรียนจะต้องใช้การออกแบบและการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์รวมถึงการใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์มาแก้ปัญหาในโลกของความเป็นจริง (Sanders, 2009) จึงนำแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ดังที่ Burke (2014) ได้ปรับปรุงพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้จาก 5E Instructional Model ของ Bybee มาเป็น 6E โดยให้ความสำคัญกับ T เทคโนโลยี และ E วิศวกรรม ที่เน้นการบูรณาการร่วมกับศาสตร์หลักรวมสี่ศาสตร์มา ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่าการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ (Seeprasong, Prakongsup, & Puckdee, 2021)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่องกัมมันตภาพรังสี ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ครั้นนี้ จึงออกแบบการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้พัฒนาความเข้าใจแนวคิดโดยบูรณาการความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม โดยเน้นบูรณาการเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลัก โดยนำรูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนมาเป็นแนวทางในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการเรียนรู้และพัฒนาความเข้าใจแนวคิดของนักเรียน รวมถึงต่อยอดในการพัฒนาแนวคิดอื่น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแนวทางในการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่องกัมมันตภาพรังสี ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีการพัฒนาความเข้าใจแนวคิด
2. เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

กรอบแนวคิดการวิจัย

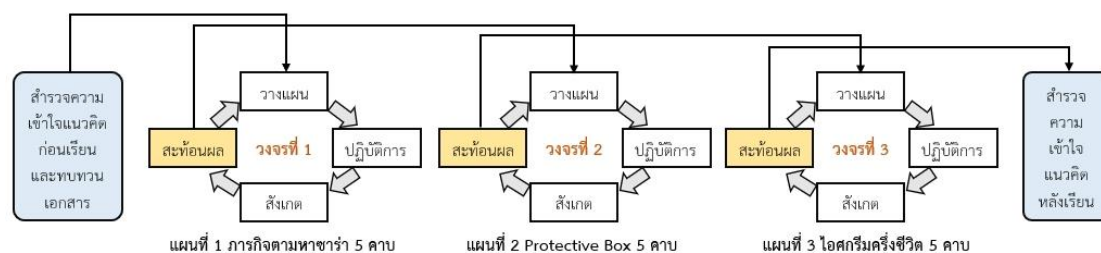


ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีการศึกษา

รูปแบบของการวิจัย

ใช้การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) โดยได้นำขั้นตอนของการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนตามแนวคิดของ Kemmis & McTaggart (1998) มาเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1. ขั้นวางแผน (Plan) วิเคราะห์ผลการเรียนรู้ ทบทวนวรรณกรรม รวมถึงใคร่ครวญสะท้อนคิดถึงวิธีการจัดการเรียนรู้โดยนำข้อมูลมาสังเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้ พัฒนาเครื่องมือและแผนการจัดการเรียนรู้ 2. ขั้นลงมือปฏิบัติ (Act) นำแผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ไปดำเนินการจัดกิจกรรมตามที่ได้ออกแบบไว้ 3. ขั้นสังเกต (Observe) สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนระหว่างจัดการเรียนรู้ ร่วมกับการบันทึกภาพเคลื่อนไหว และเก็บข้อมูลจากการทำใบกิจกรรมเพื่อนำไปสะท้อนผลการปฏิบัติในขั้นต่อไป 4. ขั้นการสะท้อนการปฏิบัติ (Reflect) นำผลที่ได้จากการสังเกตและการใช้เครื่องมือ เช่น บันทึกการเรียนรู้ บันทึกการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง รวมถึงชิ้นงานและใบกิจกรรมของนักเรียน มาสะท้อนผลการปฏิบัติร่วมกับเพื่อนครูเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในวงจรต่อไป ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วงจรวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

ใช้วิธีการเลือกกลุ่มเป้าหมายแบบเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกนักเรียนคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ผู้วิจัยรับผิดชอบสอนในรายวิชา เคมี 1 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดเล็กแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาปทุมธานี ซึ่งมีเพียงจำนวน 1 ห้อง ประกอบด้วยนักเรียนจำนวน 14 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564

เครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล

1) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่อง กัมมันตภาพรังสี จำนวน 3 แผน แผนละ 5 คาบ รวมทั้งสิ้น 15 คาบ

2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความเข้าใจแนวคิด บันทึกหลังสอน บันทึกการนิเทศ บันทึกการเรียนรู้ บันทึกการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ชิ้นงาน ใบกิจกรรม และการสังเกตจากบันทึกวิดีโอ

ซึ่งแผนการจัดการเรียนรู้ แบบวัดความเข้าใจแนวคิด บันทึกหลังสอน บันทึกการนิเทศ บันทึกการเรียนรู้ และบันทึกการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ผ่านการตรวจคุณภาพเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

จำนวน 3 ท่าน ในด้านความตรงเชิงเนื้อหาและความตรงเชิงโครงสร้าง (ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.97 0.87 0.87 0.89 1.00 และ 0.92 ตามลำดับ)

วิธีในการรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษารั้งนี้ ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การประเมินตามสภาพจริง โดยกำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1) ทดสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบวัดความเข้าใจแนวคิด เรื่อง กัมมันตภาพรังสี ซึ่งเป็นคำถามปลายเปิดที่เน้นการคิดวิเคราะห์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ จำนวน 10 ข้อ

2) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบไว้ โดยผู้วิจัยบันทึกวิดีโอขณะจัดการเรียนรู้อบรมหลังสอน สัมภาษณ์นักเรียน และให้นักเรียนเขียนบันทึกการเรียนรู้หลังเสร็จสิ้นกิจกรรมแต่ละแผน เพื่อนำมาปรับปรุงการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละวงจร

3) สังเกตการจัดการเรียนรู้โดยเพื่อนครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสะท้อนผลในบันทึกการนิเทศ

4) ทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบวัดความเข้าใจแนวคิด เรื่อง กัมมันตภาพรังสี ชุดเดียวกับก่อนเรียน

วิธีการวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอุปนัย (Inductive Analysis) เพื่อหาแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากบันทึกหลังสอน บันทึกการนิเทศของเพื่อนครู บันทึกการเรียนรู้ ถอดเทปการสัมภาษณ์นักเรียน ชิ้นงานใบกิจกรรม และวิดีโอบันทึกการเรียนรู้ โดยอ้างอิงการวิเคราะห์ตาม Faikhamta (2016) และวิเคราะห์แนวคิดนักเรียนโดยใช้แบบวัดแนวคิดเรื่อง กัมมันตภาพรังสี ตามการจัดกลุ่มแนวคิดของ Tytler & Peterson (2000)

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1 แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสืบเสาะหาความรู้เป็นฐานตามแนวทางสะเต็มศึกษาเรื่องกัมมันตภาพรังสี ให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีการพัฒนาความเข้าใจแนวคิด ประกอบด้วย

1) กำหนดสถานการณ์ปัญหาที่วางเงื่อนไขเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีร่วมกับการกำหนดบทบาทสมมติของนักเรียน รวมถึงจัดบรรยากาศการเรียนรู้โดยจำลองสถานการณ์จริงทั้งในและนอกห้องเรียน ในขั้นสร้างความสนใจ (Engage) ควรมีการกำหนดสถานการณ์ปัญหาที่วางเงื่อนไขเชิงข้อจำกัด เช่น งบประมาณ อุปกรณ์ สถานที่ เป็นต้น ให้นักเรียนได้วิเคราะห์เงื่อนไขเพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา กระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามจากสิ่งที่สงสัย นำไปสู่การค้นหาสาเหตุและแนวทางในการแก้ปัญหา ร่วมกับการกำหนดบทบาทสมมติของนักเรียนในสถานการณ์ปัญหานั้น เพื่อเร้าอารมณ์และความรู้สึกให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้จากการสมมติบทบาทเป็นบุคคลที่อยู่ในเหตุการณ์ สอดคล้องกับที่นักเรียน S1 ได้ให้สัมภาษณ์ไว้ว่า “หนูชอบช่วงที่เราทำภารกิจตามหาสารรั่วมากเลยคะ มันเหมือนเป็นการสืบคดีจริง ๆ อืกับบท” จากบทสัมภาษณ์ดังกล่าวเกิดจากการที่ผู้วิจัยกำหนดสถานการณ์ปัญหาเกี่ยวกับการหายตัวเข้าไปในป่าของชาวไร่ พร้อมบอกรายละเอียดรูปพรรณสัณฐานและสิ่งของที่เธอได้พกติดตัวไป ซึ่งวัตถุดิบอย่างสามารถแผ่รังสีได้ นักเรียนแต่ละกลุ่มได้วิเคราะห์ว่าวัตถุใดสามารถแผ่รังสีได้และแผ่รังสีชนิดใดออกมา โดยกำหนดบทบาทว่ากลุ่ม

ของนักเรียนสามารถแกระรอยคนหาย “มูลนิธิกระจกเงา” จึงแต่งตั้งทีมของนักเรียนเป็นทีมสำรวจโดยใช้ DIY Geiger Counter Parts Kit ที่ต้องเขียนโปรแกรมวัดเซนเซอร์รังสี นอกจากนี้พบว่าการจัดบรรยากาศการเรียนรู้ทางกายภาพโดยจำลองสถานการณ์จริงให้นักเรียนได้ใช้พื้นที่สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนแทนพื้นที่ป่าทำให้นักเรียนเกิดความรู้สึกร่วมในการเรียนรู้ มีความสุขในการเรียน และส่งเสริมการพัฒนาแนวคิดที่ดี รวมถึงการจัดบรรยากาศในห้องเรียนเหมือนการแข่งขันรายการ Master Chef เพื่อเรียนรู้ครั้งชีวิตจากการละลายของไอศกรีม

2) อภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดในการออกแบบเพื่อให้เกิดความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง รวมถึงให้ข้อคิดเห็นระหว่างกลุ่มเพื่อปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงาน ในการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดในการออกแบบสามารถทำได้ทั้งการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดภายในกลุ่มและอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดระหว่างกลุ่ม โดยผู้วิจัยกระตุ้นนักเรียนโดยใช้คำถามชักใช้ไล่เลียงหรือยกตัวอย่างเปรียบเทียบปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ในชีวิตจริง ซึ่งในขั้นอธิบาย (Explain) เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้นำสิ่งที่ค้นพบและจัดกระทำข้อมูลจากขั้นสำรวจ (Explore) มาแลกเปลี่ยนผ่านการนำเสนอและอภิปรายหน้าชั้นเรียน ทำให้นักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ได้แนวคิดเพื่อนำไปใช้ในการสร้างชิ้นงานในขั้นวิศวกรรม (Engineer) และอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดระหว่างกลุ่มผ่านการนำเสนอแนวคิดในการออกแบบอีกครั้งก่อนที่จะมีการนำชิ้นงานไปทดสอบในสถานการณ์ที่ซับซ้อนขึ้นในขั้นปรับปรุง (Enrich) ซึ่งในขั้นปรับปรุง (Enrich) และขั้นประเมินผล (Evaluate) ผู้วิจัยใช้คำถามขั้นสูงเพื่อให้นักเรียนได้ตั้งเอาความรู้ทั้ง 4 ศาสตร์มาประยุกต์เป็นองค์ความรู้และตรวจสอบความเข้าใจแนวคิดของนักเรียน มีการกระตุ้นให้นักเรียนให้ข้อคิดเห็นระหว่างกลุ่มเพื่อนำองค์ความรู้ไปปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงานของตนเอง สอดคล้องกับนักเรียน S7 ที่ได้สะท้อนผลในบันทึกการเรียนรู้ (Reflection) ไว้ว่า “ได้เห็นมุมมองแนวคิดต่าง ๆ ของเพื่อนในกลุ่มและก็ในชั้นเรียน” และตัวอย่างในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ตอน Protective Box ที่นักเรียนแต่ละกลุ่มจะต้องสร้างกล่องป้องกันรังสีโดยผู้วิจัยใช้สถานการณ์เปรียบเทียบว่า “ชาวามีปัญหาอันไม่หลับเนื่องจากมีสัญญาณจากคลื่นโทรศัพท์มือถือรบกวนเวลานอน นักเรียนจึงต้องเป็นผู้ช่วยชาวามีในการสร้างกล่องป้องกันสัญญาณจากโทรศัพท์มือถือแต่ยังคงตั้งนาฬิกาปลุกจากโทรศัพท์มือถือได้” ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบโทรศัพท์มือถือเป็นแหล่งกำเนิดรังสี โดยที่ขั้นประเมินผล (Evaluate) นักเรียนจะต้องร่วมกันอภิปรายสะท้อนคิดสิ่งที่ได้เรียนรู้ในคาบเรียนโดยการเปรียบเทียบกับแนวคิดหลักเรื่องประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสี โดยภาพรวมจะพบว่าเมื่อมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดระหว่างกลุ่ม นักเรียนเกิดกระบวนการปรับโครงสร้างทางปัญญา มีการพัฒนาแนวคิดในการออกแบบโดยนำเอาสิ่งที่ได้จากการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดมาปรับปรุงพัฒนาชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น ดังบทสนทนา

ผู้วิจัย : ทำไมต้องใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟรอยด์ปิดข้างนอกอีกทีคะ

S8 : กลุ่ม MPJ หุ้มทั้งข้างนอกและข้างใน เขาทดสอบแล้วได้ผล กลุ่มหนูเลยลองดูคะ

ผู้วิจัย : โอเค ปรับไปเรื่อย ๆ ลองทดสอบดูนะ แล้วข้าง ๆ ที่เราปิดรูนี้เราจะใช้เทปใสแทนได้ไหม

S5 : เดียวรังสีจะแผ่ออกคะ ถ้าใช้เทปใสมันบาง มันกันรังสีไม่ได้คะ

(ถอดบันทึกวิดีโอ วันที่ 20 มกราคม 2565)

3) ส่งเสริมการใช้สื่อที่หลากหลายและมีความเฉพาะเจาะจงกับเนื้อหาเรื่อง กัมมันตภาพรังสี เพื่อกระตุ้นการคิด ส่งเสริมการเรียนรู้ และเชื่อมโยงความรู้เดิมไปสู่ความรู้ใหม่ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้สื่อ ซึ่งการเลือกใช้สื่อจะต้องมีความเฉพาะเจาะจงกับเนื้อหาเรื่องกัมมันตภาพรังสี เช่น การวัดปริมาณรังสีโดยใช้ DIY Geiger Counter Parts Kit จะต้องเขียนโค้ดเพื่อให้เซนเซอร์มีการตรวจจบบังคับ มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่อง

Geiger-Muller counter ที่ใช้หาปริมาณรังสีโดยทั่วไป นอกจากนี้สื่อที่ใช้จะต้องส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนสามารถกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจเนื้อหา และเชื่อมโยงความรู้เดิมไปสู่ความรู้ใหม่ได้ เช่น การใช้ M&M เป็นเครื่องมือในการสำรวจตรวจสอบแนวคิดเรื่องครึ่งชีวิตในขั้นสำรวจ (Explore) เพื่อรวบรวมแนวคิดไปใช้ในการสร้างชิ้นงาน ผ่านการเปรียบเทียบเม็ด M&M เป็นธาตุกัมมันตรังสีและมีครึ่งชีวิตค่าหนึ่ง โดยเริ่มต้นในถุงซิปล็อกมี M&M คละสีจำนวน 42 เม็ด จากนั้นให้บันทึกจำนวนเม็ดเริ่มต้น เขย่าถุงซิปล็อก และเท M&M ทุกเม็ดลงบนภาชนะ แล้วเลือกเม็ด M&M ที่มีตัว m ใส่กลับไปในถุง บันทึกจำนวนเม็ดที่ใส่กลับลงไป ทำซ้ำจนกว่าจะไม่มีเม็ด M&M เหลืออยู่ในถุง จากการทดลองพบว่าจำนวนเม็ด M&M ลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิมทุก ๆ 2 ครั้ง แนวโน้มจึงเป็นไปตามครึ่งชีวิต รวมถึงการนำแนวคิดของกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) ควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีทางการเรียนรู้ เช่น การสืบค้นแนวคิด การใช้วัสดุอุปกรณ์ และการเขียนโปรแกรมที่สามารถเป็นสื่อการเรียนรู้ ที่สอดคล้องกับแนวคิดด้านกัมมันตภาพรังสี ในขั้นตอนของการสร้างความสนใจ (Engage) การสำรวจ (Explore) และการอธิบาย (Explain) อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้สื่อต้องคำนึงถึงพื้นฐานการเรียนรู้ของนักเรียน เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ตอน การกักตุนอาหาร เพื่อเรียนรู้เรื่องความหมายของกัมมันตรังสี ผู้วิจัยใช้สื่อ DIY Geiger Counter Parts Kit ที่นักเรียนจะต้องเขียนโค้ดเพื่อตรวจวัดปริมาณรังสีผ่านบอร์ด Arduino โดยใช้ภาษาซี ผู้วิจัยพบว่านักเรียนบางส่วนเกิดความท้อถอยในการเรียนรู้ เนื่องจากต้องใช้ภาษาอังกฤษในการทำกิจกรรมและนักเรียนยังไม่มีประสบการณ์ในการเขียนโค้ดด้วยภาษาซี จึงใช้เวลานานในการทดสอบประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่า หากเป็นสื่อที่นักเรียนคุ้นเคยหรือเคยมีประสบการณ์ร่วมมาก่อนจะช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน แต่อย่างไรก็ตามจะต้องออกแบบการใช้สื่อที่ทำให้นักเรียนได้พบเจอกับประสบการณ์ใหม่ที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อนจะกระตุ้นความสนใจของนักเรียนได้มากขึ้น

4) สร้างความร่วมมือระหว่างนักเรียนกับนักเรียน นักเรียนกับครู และครูกับครู เป็นการส่งเสริมกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในกระบวนการสร้างความร่วมมือทั้ง 3 รูปแบบ ควรเกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้แบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา โดยผู้วิจัยส่งเสริมให้นักเรียนมีการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม สมาชิกทุกคนจะมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ เพื่อร่วมกันแก้ปัญหาจากสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่กำหนด โดยผู้วิจัยมีหน้าที่อำนวยความสะดวกการเรียนรู้ด้วยการให้คำแนะนำ ใช้คำถามกระตุ้นการคิด ส่งเสริมให้การใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อนำองค์ความรู้มาอธิบายสถานการณ์ที่กำหนดและต่อยอดเชื่อมโยงสู่การอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง ซึ่งในขั้นตอนวิศวกรรม (Engineering) และปรับปรุง (Enrich) เป็นกุญแจสำคัญของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process) ที่ผู้วิจัยต้องส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการคิดซ้ำและทบทวนระหว่างการออกแบบใหม่ (Redesign) เพื่อพัฒนาตัวอย่างต้นแบบทางวิศวกรรมเพื่อการแก้ปัญหาตามโจทย์ นอกจากนี้การทำงานร่วมกันระหว่างครูกับครู เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 การร่วมมือกันในการจัดการเรียนรู้ระหว่างผู้วิจัยและครูคอมพิวเตอร์ในการแนะนำขั้นตอนการเขียนโค้ด และในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 การร่วมมือกันในการจัดการเรียนรู้ระหว่างผู้วิจัยกับครูผู้สอนวิชาชีววิทยาเป็นคณะกรรมการตัดสินการทำไอศกรีมครึ่งชีวิต ซึ่งเป็นการสนับสนุนกระบวนการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเติมเต็มความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ให้แข็งแรงมากขึ้น ดังตัวอย่างบันทึกการเรียนรู้ (Reflection) ภาพที่ 3 (ล่างขวา)



ภาพที่ 3 บรรยากาศการเรียนรู้นอกห้องเรียน (บนซ้าย); การสร้างความร่วมมือในการทำงานของนักเรียน (บนขวา); การใช้สื่อ M&M ในการเรียนรู้เรื่องครึ่งชีวิต (ล่างซ้าย); ความเข้าใจแนวคิดของนักเรียน S12 (ล่างขวา)

ผลการศึกษาเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 ผลการวิเคราะห์แนวคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องกัมมันตภาพรังสี ก่อนเรียนและหลังเรียน ซึ่งมีคำถามทั้งหมด 10 ข้อ แบ่งเป็นแนวคิดหลักเรื่องความหมายของกัมมันตรังสี ข้อที่ 1 และ 3 วัดความเข้าใจเกี่ยวกับความหมาย หลักการแผ่รังสีของธาตุกัมมันตรังสี แนวคิดหลักเรื่องประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสี ข้อที่ 5 และ 10 วัดความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรายของธาตุกัมมันตรังสี ข้อที่ 7 วัดความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจสอบปริมาณรังสี ส่วนแนวคิดหลักเรื่องครึ่งชีวิต ข้อที่ 2 วัดความเข้าใจเกี่ยวกับการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี ข้อที่ 6 วัดความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยในการแผ่รังสี ข้อที่ 6 ข้อที่ 8 และข้อที่ 9 วัดความเข้าใจในการวิเคราะห์และคำนวณครึ่งชีวิต ใช้วิธีการจัดกลุ่มแนวคิดของ Tytler & Peterson (2000) เมื่อเปรียบเทียบแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสีก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่านักเรียนมีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นทั้ง 3 แนวคิด โดยนักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดเรื่องประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสีมากที่สุด รองลงมาคือแนวคิดเรื่องครึ่งชีวิต และแนวคิดเรื่องความหมายของกัมมันตรังสี ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่านักเรียนเกิดการเรียนรู้หลังจากจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่อง กัมมันตภาพรังสี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบร้อยละของคำตอบที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เทียบกับแนวคิดหลัก

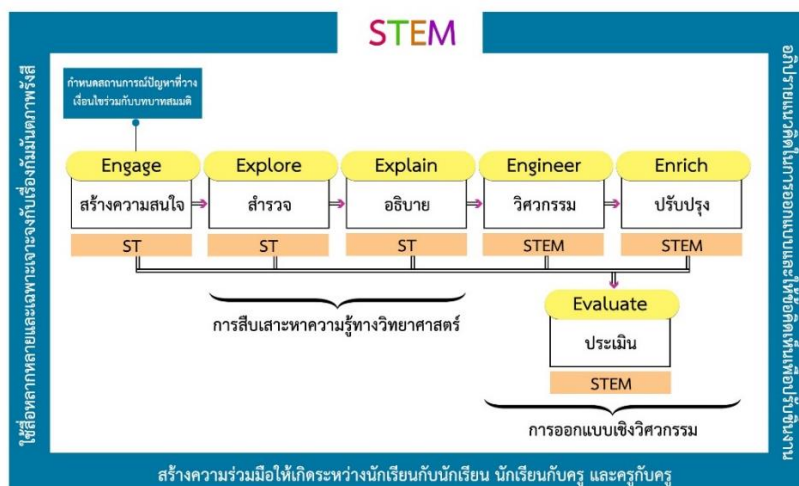
แนวคิดหลัก	ข้อที่	ร้อยละของคำตอบที่สอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน
ความหมายของกัมมันตรังสี	1	0.00	78.57
	3	14.29	64.29
ค่าเฉลี่ย		7.14	71.43
ประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสี	5	0.00	92.86
	7	0.00	71.43
	10	100.00	100.00
ค่าเฉลี่ย		33.33	88.10
ครึ่งชีวิต	2	21.43	100.00
	4	0.00	71.43
	6	35.71	57.14
	8	0.00	57.14
	9	14.29	100.00
ค่าเฉลี่ย		14.29	77.14

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้ เนื่องจาก 1) มีการกำหนดสถานการณ์ปัญหาที่วางเงื่อนไขเชิงข้อจำกัดเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีร่วมกับการกำหนดบทบาทสมมติของนักเรียน ผู้วิจัยมองว่าการใช้สถานการณ์ปัญหาที่วางเงื่อนไขโดยเป็นสถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวันของนักเรียน ทำให้สามารถกระตุ้นความสนใจและท้าทายความคิดของนักเรียนในขั้นแรกของกระบวนการเรียนรู้แบบ 6E คือขั้นสร้างความสนใจ (Engage) ให้เกิดกับนักเรียนได้ จึงสามารถดึงความรู้เดิมของนักเรียนออกมาเพื่อประเมินความเข้าใจแนวคิดเบื้องต้นและเชื่อมโยงไปสู่การวิเคราะห์เงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนด นอกจากนี้มีการกำหนดบทบาทสมมติของนักเรียนในสถานการณ์ปัญหา ทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ อีกทั้งมีการจัดบรรยากาศการเรียนรู้โดยจำลองสถานการณ์ ตัวอย่างเช่น การจำลองเหตุการณ์ตามหาสารที่หลงป่าโดยใช้พื้นที่สวนพฤกษศาสตร์ของโรงเรียน เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีต้นไม้จำนวนมากและมีพื้นที่ในการทำกิจกรรม ทำให้นักเรียนดึงเอาแนวคิดออกมาใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาและเงื่อนไขมากขึ้น ส่งผลต่อการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน สอดคล้องกับ Chatsuriyawong (2016) ที่กล่าวว่า การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาและสถานการณ์รอบตัวทำให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิดในการสร้างสรรค์ชิ้นงานที่เกิดจากการบูรณาการแนวคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเป็นการสร้างโอกาสในการเรียนรู้ที่มีความหมายให้กับผู้เรียนโดยใช้บริบทหรือสภาพแวดล้อมในชีวิตจริง (Kennedy & O'Dell, 2014) 2) มีการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดในการออกแบบเพื่อให้เกิดความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง เปิดโอกาสให้นักเรียนนำเสนอประสบการณ์หรือข้อค้นพบซึ่งเป็นแนวคิดในการออกแบบชิ้นงานมาแลกเปลี่ยนรวมถึงให้ข้อคิดเห็นระหว่างกลุ่มเพื่อปรับปรุงหรือพัฒนาชิ้นงาน จะช่วยให้นักเรียนเกิดการพัฒนาปรับเปลี่ยนแนวคิด

ทางวิทยาศาสตร์ผ่านการอภิปราย อีกทั้งการจัดกิจกรรมในวงจรที่ 2 และ 3 เป็นกิจกรรมเชิงเปรียบเทียบ ครูผู้สอนจึงมีบทบาทสำคัญในการนำนักเรียนอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิด ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับ Roth (2001) ที่กล่าวว่า การเปิดโอกาสให้นักเรียนเกิดความร่วมมือและแสดงความคิดเห็นกับผลงานการออกแบบซึ่งกันและกัน จะส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการพัฒนาและมีความเข้าใจที่ดีขึ้น 3) มีการใช้สื่อที่หลากหลาย โดยเลือกใช้สื่อที่มีความเฉพาะเจาะจงกับเนื้อหาเรื่องกัมมันตภาพรังสี เช่น การใช้สื่อวีดิทัศน์เหตุการณ์การระเบิดโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชอร์โนบิล การใช้ M&M ในการศึกษาครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี การใช้ Case Study จะสามารถกระตุ้นการเรียนรู้ของนักเรียนได้ และการเลือกใช้เครื่องมือในการตอบคำถาม ยกตัวอย่างเช่น กระดานโต้ตอบออนไลน์ Padlet หากไม่มีการระบุตัวตน นักเรียนจะกล้าตอบคำถามมากขึ้น อีกข้อค้นพบหนึ่งคือหากเป็นสื่อที่นักเรียนคุ้นเคยหรือมีประสบการณ์ร่วมมาก่อนจะทำให้ นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ดีขึ้น แต่ต้องจัดบรรยากาศให้นักเรียนได้พบเจอกับประสบการณ์ใหม่ที่ท้าทาย อีกทั้งการเลือกใช้สื่อที่ยากเกินความสามารถของนักเรียนทำให้นักเรียนท้อถอยในการเรียนรู้ ซึ่งอาจส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อนได้ Barke et al. (2009) จึงอธิบายว่าการใช้สื่อเทคโนโลยีร่วมกับการอภิปรายแนวคิดสามารถช่วยให้เกิดการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดได้ดีขึ้น 4) มีการสร้างความร่วมมือให้เกิดระหว่างนักเรียนกับนักเรียน นักเรียนกับครู และครูกับครู สำหรับการสร้างความร่วมมือระหว่างนักเรียนกับนักเรียน ผู้วิจัยส่งเสริมให้นักเรียนมีทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างออกแบบชิ้นงาน เมื่อทดสอบประสิทธิภาพชิ้นงานแล้วไม่ได้ผล นักเรียนต้องระดมสมองเพื่อหาสาเหตุและหาหลักฐานสนับสนุนเพื่อมาออกแบบใหม่ (redesign) สอดคล้องกับข้อค้นพบในงานวิจัยของ Maniam & Pruekpramool (2020) ว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ช่วยให้นักเรียนได้มีโอกาสทำกิจกรรมกับเพื่อน แต่ต้องพิจารณาจำนวนสมาชิกในกลุ่มให้เหมาะสมกับกิจกรรมเพื่อให้เกิดความทั่วถึงในการทำงานร่วมกัน ซึ่งจากการวิจัยพบว่า การจัดกลุ่มนักเรียนในกิจกรรมทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้จำนวนนักเรียนต่อกลุ่มกลุ่มละ 4-5 คน อยู่ในจำนวนที่พอเหมาะ นักเรียนแบ่งบทบาทหน้าที่ในการทำงานอย่างทั่วถึง มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และสามารถพัฒนาชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับความร่วมมือระหว่างนักเรียนกับครู ผู้วิจัยในฐานะครูผู้สอนอำนวยความสะดวกการเรียนรู้ด้วยการให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ตั้งข้อสังเกต ใช้คำถามกระตุ้นการคิดให้นักเรียนเชื่อมโยง สร้างองค์ความรู้และนำองค์ความรู้มาอธิบายปรากฏการณ์หรือแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนพร้อมกับการตรวจสอบความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จึงทำให้เข้าใจปัญหาและช่วยแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้ และสำหรับการสร้างความร่วมมือระหว่างครูกับครูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยมีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกับครูผู้สอนวิชาคอมพิวเตอร์ มาช่วยเติมเต็มความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมเพื่อตรวจจับปริมาณรังสี และครูผู้สอนวิชาชีววิทยา เป็นแขกรับเชิญพิเศษและเป็นคณะกรรมการตัดสินไอศกรีมครึ่งชีวิต ซึ่งงานวิจัยของ Lertcharoenrit et al. (2020) สะท้อนให้เห็นว่าการสร้างความร่วมมือในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิดนักเรียนรวมถึงพัฒนาทักษะอื่น ๆ ทางสะเต็มที่สำคัญและเป็นประโยชน์กับการทำงานอีกด้วย

ผู้วิจัยจึงนำข้อค้นพบทั้งหมดที่ได้จากการวิจัย มาสรุปเป็นรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมการพัฒนาแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสี สำหรับการกำหนดสถานการณ์ปัญหาที่วางเงื่อนไขเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีร่วมกับการกำหนดบทบาทสมมติ จะอยู่ในขั้นสร้างความสนใจ (Engage) ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ส่วนแนวทางที่เหลืออีก 3 แนวทางจะเกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 6 ขั้น ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 รูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ที่ส่งเสริมการพัฒนาแนวคิดเรื่องกัมมันตภาพรังสี

และจากผลการวิเคราะห์แนวคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องกัมมันตภาพรังสี สะท้อนว่านักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดเรื่องประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสีมากที่สุด รองลงมาคือแนวคิดเรื่องครึ่งชีวิต และแนวคิดเรื่องความหมายของกัมมันตรังสี ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ 1) แนวคิดเรื่องประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสี ในแนวคิดนี้นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการออกแบบกล่องป้องกันรังสี ผู้วิจัยเห็นว่านักเรียนมีการปรับปรุงชิ้นงานหลายครั้งเนื่องจากมีการทดสอบประสิทธิภาพแล้วไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจึงต้องมีการสืบเสาะหาหลักฐานหรือข้อมูลสนับสนุนเพื่อใช้ในการออกแบบใหม่ (Redesign) นอกจากนี้ผู้วิจัยในฐานะครูผู้สอนได้ทำหน้าที่ในการกระตุ้นการคิดของนักเรียนผ่านการตั้งคำถาม ทำให้นักเรียนได้ค้นคว้าหาคำตอบและสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตัวเอง (Krutngoen & Eiamguaw, 2021) 2) แนวคิดเรื่องครึ่งชีวิต นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการทำไอศกรีมให้ละลายช้าที่สุดซึ่งเป็นกิจกรรมที่นักเรียนจะต้องนำองค์ความรู้ไปเปรียบเทียบกับแนวคิดเรื่องครึ่งชีวิต สอดคล้องกับ Chiu & Lin (2005) ที่กล่าวว่า การสอนแนวคิดเรื่องครึ่งชีวิตโดยใช้กิจกรรมเชิงเปรียบเทียบ สามารถส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนได้ แต่แนวคิดที่นำมาเปรียบเทียบจะต้องเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เป็นนามธรรมมากขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังมีการใช้สื่อที่หลากหลายและเฉพาะเจาะจงกับแนวคิดเรื่องครึ่งชีวิต ได้แก่ สื่อวีดิทัศน์เหตุการณ์การระเบิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ สื่อ M&M รวมไปถึงแบบฝึกหัดครึ่งชีวิตอีกด้วย และ 3) แนวคิดเรื่องความหมายของกัมมันตรังสี เป็นเรื่องที่มีจำนวนนักเรียนเข้าใจแนวคิดถูกต้องน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 แนวคิด ผู้วิจัยมองว่าอาจเป็นเพราะมีการใช้สื่อที่ยากเกินความสามารถของนักเรียน คือการใช้ DIY Geiger Counter Parts Kit ที่ต้องเขียนโค้ดวัดเซนเซอร์รังสีผ่านบอร์ด Arduino นักเรียนส่วนใหญ่ต่างสะท้อนถึงกิจกรรมในช่วงนี้ว่าเป็นกิจกรรมที่ยาก จึงทำให้นักเรียนเกิดความท้อถอยในการเรียน เนื่องจากผู้วิจัยไม่ศึกษาพื้นฐานการเรียนรู้ของนักเรียนและพื้นฐานการใช้โปรแกรมในเชิงลึกมาก่อน และการจัดกิจกรรมในช่วงนี้ขาดการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดระหว่างกลุ่ม อย่างไรก็ตามเมื่อมีการจัดบรรยากาศการเรียนรู้ในห้องเรียนเพื่อให้นักเรียนได้พบกับประสบการณ์เชิงลึกในขั้นปรับปรุง (Enrich) ทำให้นักเรียนกลับสู่การเรียนรู้อีกครั้ง ข้อค้นพบดังกล่าวจึงสนับสนุนงานวิจัยของ Lai (2018) ที่สะท้อนว่านักเรียนมีความพึงพอใจในการเรียนรู้ผ่านการลงพื้นที่จริง เพราะบรรยากาศในการเรียนรู้จะทำให้นักเรียนกระตือรือร้น มีความสนใจใฝ่รู้ และส่งผลให้นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คือ กิจกรรมการออกแบบสร้างกล่องป้องกันรังสี (Protective Box) เพื่อเรียนรู้แนวคิดเรื่องประโยชน์และโทษของธาตุกัมมันตรังสี มีการใช้โทรศัพท์มือถือเป็นสื่อที่นำมาเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดรังสี เพื่อให้นักเรียนได้แนวคิดย่อยเกี่ยวกับอำนาจทะลุทะลวงของธาตุกัมมันตรังสี จากผลการวิจัยพบว่านักเรียนเกิดความเข้าใจแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยมีความเข้าใจว่าสารกัมมันตรังสีและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสิ่งเดียวกัน จึงควรระมัดระวังในการใช้กิจกรรมเชิงเปรียบเทียบ เพราะอาจทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อนได้

สำหรับข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป จากผลการวิจัยจะพบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบ 6E ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่องกัมมันตภาพรังสี มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นปรับปรุง (Enrich) โดยให้นักเรียนนำองค์ความรู้ไปอธิบายในเชิงลึกมากขึ้นผ่านสถานการณ์ปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งการนำนักเรียนไปเรียนรู้ในห้องเรียนในบริเวณสวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนที่มีต้นไม้จำนวนมากโดยจำลองบรรยากาศเสมือนพื้นที่ป่า จะทำให้นักเรียนรู้สึกตื่นเต้น มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้มากขึ้น จึงควรศึกษาต่อว่าการเรียนรู้ในห้องเรียนมีความเหมาะสมที่จะใช้จัดกระบวนการเรียนรู้ในรูปแบบ 6E ต่อไปหรือไม่

References

- Barke, H.-D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in chemistry: Addressing perceptions in chemical education*. Berlin: Springer.
- Burke, B. N. (2014). The ITEEA 6E Learning ByDesign™ Model: Maximizing Informed Design and Inquiry in the Integrative STEM Classroom. *Technology and Engineering Teacher*, 73(6), 14-19.
- Chatsuriyawong, S. (2016). Instructional of Stem Education Local Integrat. *Silpakorn Educational Research Journal*, 13(2), 132-144. [in Thai].
- Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 429-464.
- Faikhamta, C. (2016). *Classroom Action Research in Science Classroom*. Bangkok: Institute of Academic Development (IAD). [in Thai].
- Kemmis, S. & McTaggart, R. (1998). *The action research reader (3rd Eds.)*. Geelong: Deakin University Press.
- Kennedy, T.J., & O'Dell, M.L. (2014). Engaging Students in STEM Education. *Science Education International*, 25(3), 246-258.
- Kessler, G., Vesper, A., Schlüter, F.-H., Raskob, W., Landman, C., & Päsler-Sauer, J. (2014). *The Risks of Nuclear Energy Technology*. Springer Berlin, Heidelberg.
- Krutngoen, S., & Eiamguaw, P. (2021). The Effect of Integrated STEM Education Inquiry-Based Learning and Attitude to word Science Lesson of Mathayomsuksa 3 Students. *Social Sciences Research and Academic Journal*, 16(3), 189-202. [in Thai].

- Lai, C.S. (2018). Using Inquiry-Based Strategies for Enhancing Students' STEM Education Learning. *Journal of Education in Science, Environment and Health*, 4, 110-117.
- Lertcharoenrit, T., Pimthong, P., Kityakarn, S., Munprom, E., & Ugsonkid, S. (2020). The 12th Grade students' STEM understanding in the topic of PM 2.5. *Kasetsart Educational Review*, 35(3), 176-188. [in Thai].
- Maniam, S., & Pruekpramool, C. (2020). Development of a STEM Education Learning Unit on Geological Resources to Enhance Collaboration Skills and Learning Achievement for Eight Grade Students. *Journal of Social Sciences and Humanities Research in Asia*, 26(3), 97-133. [in Thai].
- Nilayon, S., & Nilayon, D. (1996). *Nuclear Power and Development in Thailand*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. [in Thai].
- Office of Atom for Peace Ministry of Science and Technology. (2005). *The Radiological Accident in Samut Prakarn*. Bangkok: Teachers' Council of Trade Organization. [in Thai].
- Rakphonlamueang, C. (2014). *Scope of Development Studies*. Bangkok: Winyoochon. [in Thai].
- Roth, W.M. (2001). Learning science through technological design. *Journal of Research In Science Teaching*, 38(7), 768-790.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. *The Technology Teacher*, December/January.
- Seeprasong, C., Prakongsup, T., & Puckdee, W. (2021). The Development of Grade 10th Students' Scientific Concepts of Cell Division and Satisfaction through Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) Education by 6E Learning Cycle. *Silpakorn Educational Research Journal*, 13(1), 402-420. [in Thai].
- Sesen, B., & Ince, E. (2010). Internet as a source of misconception: "Radiation and radioactivity". *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(4), 94-100.
- Sukkho, S., Bongkotphet, T., & Bongkan, T. (2015). Effect of Learning Outcome Using Conceptual Change Teaching Strategy in Radioactivity and Nuclear Energy Topics for Matayomsuksa IV Students. *Journal of Community Development Research (Humanities and Social Sciences)*, 8(1), 83-93. [in Thai].
- Tekin, B. B., & Nakiboglu, C. (2006). Identifying Students' Misconceptions about Nuclear Chemistry. A Study of Turkish High School Students. *Journal of Chemical Education*, 83(11), 1712.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2000). Deconstructing learning in science—Young children's responses to a classroom sequence on evaporation. *Research in Science Education*, 30(4), 339-355.
- Wongsa, S. (2014). *Factors Affecting the Behavioral Intention to Use Eco-friendly It Case Study of Rajabhat University Member Perspective in Bangkok Metropolitan Area* [Master's independent study, Thammasat University]. http://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:144121. [in Thai].