

การบูรณาการสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่องวงจรไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมการ คิดเชิงออกแบบของนักเรียนระดับประถมศึกษา

The Integrated STEM learning Emphasis on Electric Circuit Engineering Design to Enhance Primary Students' Design Thinking

เบญจมาศ รอดวงษ์^{1*} เอกรัตน์ ทานาค² สุธารัตน์ โชติกaprakhan³ และ เบญจพร สาภักดี อดัมส์⁴

Benjamas Rodwong^{1*} Akarat Tanak² Sutharat Chotikaprakhan³ and

Benjaporn Sapakdee Adams⁴

^{1*} สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, benjamas.r@ku.th
(Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University)

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, feduakr@ku.ac.th
(Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University)

³ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, sutharat.c@ku.th
(Department of Physics, Faculty of Science, Kasetsart University)

⁴ โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา, benjaporn.s.adams@gmail.com
(Kasetsart University Laboratory School Center for Educational Research and Development)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคิดเชิงออกแบบของผู้เรียนระดับประถมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา 5 ขั้นตอน คือ 1) กำหนดขอบเขตปัญหา 2) สร้างความคิด 3) ออกแบบและสร้างแบบจำลอง 4) ประเมินการออกแบบ และ 5) ปรับปรุงการออกแบบ ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ จำนวน 36 คน โดยใช้แบบวัดการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้าที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิดจำนวน 5 ข้อ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยวิเคราะห์ระดับการคิดเชิงออกแบบตามองค์ประกอบทั้ง 5 ได้แก่ 1) การทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ 2) การตั้งกรอบปัญหา 3) การสร้างความคิด 4) การสร้างต้นแบบ และ 5) การทดสอบ ซึ่งแบ่งระดับการคิดเชิงออกแบบออกเป็น 3 ระดับ คือ สูง กลาง และต่ำ ผลการวิจัยพบว่าการจัดกิจกรรมในขั้นกำหนดขอบเขตปัญหาที่มีการนำประเด็นสถานการณ์ปัญหาจริงในชีวิตประจำวันที่ไม่ซับซ้อนสามารถส่งเสริมการตั้งกรอบปัญหาได้มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58.3 นอกจากนี้การจัดกิจกรรมที่กระตุ้นให้นักเรียนคิดในมุมมองของผู้ผลิตหรือผู้บริโภคเป็นหลักทำให้นักเรียนมีองค์ประกอบทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ และองค์ประกอบการสร้างต้นแบบระดับกลาง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการจัดกิจกรรมยังไม่สะท้อนกระบวนการออกแบบที่สามารถย้อนกลับได้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีการคิดเชิงออกแบบที่แต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กัน

คำสำคัญ: การบูรณาการสะเต็มศึกษา การออกแบบเชิงวิศวกรรม การคิดเชิงออกแบบ

ABSTRACT

This research aimed to examine design thinking of 36 sixth grade students learning through the integrated STEM learning emphasized on engineering design process, which consisted of 5 steps of Problem Scoping, Idea Generation, Design and Construct, Design Evaluation, and Redesign. A research instrument was a design thinking ability test about electric circuits produced by the researcher, which consisted of 5 open-ended questions. By assessing the 3 levels of design thinking in relation to 5 components of design thinking (i.e., Empathize, Define, Ideate, Prototype, and Test), quantitative analysis and qualitative data was analyzed. The findings revealed that organizing events at the problem scoping stage with real-life situations that are not complex is the most effective strategy to motivate 58.3% of students who can “Define” at a high level. Furthermore, encourage design thinking from the perspective of a maker or inventor, students have design thinking in the component of Empathize and Prototype in middle level. Furthermore, organizing activities that enable students to think primarily from the standpoint of makers or inventors provides students with an element of Empathize and Prototype at middle level. This could be due to the fact that the activity arrangements have yet to represent a reversible design process that encourages students to think in terms of design thinking in which each aspect is interconnected.

KEYWORDS: Integrated STEM learning, Engineering Design, Design Thinking

**Corresponding author, E-mail: benjamas.r@ku.th โทร. 0969935580*

Received: 23 January 2022 / Revised: 4 March 2022 / Accepted: 9 March 2022 / Published online: 1 September 2022

บทนำ

เป้าหมายของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ไม่ได้ต้องการให้นักเรียนมีเพียงความรู้เท่านั้น แต่เป็นการเน้นเชื่อมโยงความรู้สู่ชีวิตจริงโดยผสมผสานองค์ความรู้ทักษะในหลาย ๆ ด้านเข้าด้วยกันเพื่อเตรียมพร้อมในการแก้ปัญหาใหม่ของโลกอนาคต (สุพรรณิ ขาญประเสริฐ, 2556) จึงทำให้การออกแบบเชิงวิศวกรรมได้รับความสนใจอย่างมากในยุคปัจจุบัน เนื่องจากการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะส่งเสริมให้นักเรียนใช้แนวคิดและวิธีการที่หลากหลายในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนด้วยการแก้ปัญหาที่มากกว่าหนึ่งวิธีที่เป็นไปได้ (ITEEA, 2000; English & King, 2015; Lachapelle & Cunningham, 2014) โดยหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) และมาตรฐานหลักสูตรนานาชาติ เช่น K-12 Next Generation Science Standard (NGSS) ของประเทศสหรัฐอเมริกาต่างให้ความสำคัญกับการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยในหลักสูตรของไทยได้มีการกำหนดว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ผู้สอนต้องจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับการพัฒนาและฝึกฝนทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง พร้อมกล่าวว่าในวิชาวิทยาศาสตร์ต้องมีการจัดการเรียนรู้วิชาการออกแบบและเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างสร้างสรรค์ ผู้เรียนจะได้รับการพัฒนาทักษะและกระบวนการที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตผ่านการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการลงมือปฏิบัติ ซึ่งสอดคล้องกับ Next Generation Science Standard

(NGSS) ของประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีการรวมแนวคิดทางวิศวกรรมเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งในแนวคิดสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนในปัจจุบัน นั่นคือแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม (Science and Engineering Practices) ที่เชื่อมโยงกัน (NRC, 2013)

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา (STEM Education) เนื่องจากเป็นการผนวกแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ของผู้เรียน กล่าวคือ ในขณะที่นักเรียนทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ และฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ผู้เรียนต้องมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือกระบวนการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากการออกแบบเชิงวิศวกรรม (NRC, 2012) ที่แสดงถึงการออกแบบเชิงวิศวกรรม (E) ใน STEM อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเชิงวิศวกรรมส่วนใหญ่ก่อนหน้านี้ได้กำหนดเป้าหมายในการพัฒนาการออกแบบทางวิศวกรรมไปยังนิสิต นักศึกษา และนักเรียนช่วงระดับชั้นมัธยมมากกว่านักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา โดยงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการพัฒนาทักษะขั้นสูง เช่น ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ (Critical Thinking) มีการออกแบบปัญหาที่ซับซ้อน รวมถึงมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการออกแบบงาน (Daly, Adams, & Bodner, 2012; English & King, 2015; English, King, & Smeed, 2016; Goncher & Johri, 2015; Mentzer, Becker, & Sutton, 2015)

แต่งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ปรากฏการส่งเสริมการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนในระดับประถมศึกษาอย่างเต็มที่ (Dorie, Cardella, & Svarovsky, 2014; English et al., 2016; Portsmouth, Watkins, & McCormick, 2012) โดยการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) เป็นขั้นตอนหรือกรอบที่ผู้ออกแบบใช้ในการดำเนินงานเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งแต่ละสถานการณ์อาจมีลำดับการดำเนินงานตามขั้นตอนที่แตกต่างกัน เช่น มีการทำซ้ำหรือย้อนกลับ การแก้ปัญหาไม่ได้หมายถึงการสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่เท่านั้น แต่อาจเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม สถานการณ์ หรือทรัพยากรที่มีอยู่ให้เป็นไปตามที่มนุษย์ต้องการ และส่งเสริมให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิต ดังนั้นผลลัพธ์ของการแก้ปัญหานั้นอาจเป็นสิ่งประดิษฐ์ กระบวนการหรือขั้นตอนการทำงาน การบริการ หรือโมเดลทางธุรกิจก็ได้ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ, 2562) การศึกษางานวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลที่ผู้วิจัยได้จากการสังเกตการสอนระดับชั้นประถมศึกษาแห่งหนึ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่พบว่า การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับศึกษายังไม่พบการเน้นให้นักเรียนได้ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เนื่องจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีความซับซ้อนมากเกินไปสำหรับนักเรียนนักเรียนระดับประถมศึกษา (Daly et al., 2012; Goncher & Johri, 2015; Mentzer et al., 2015) นักเรียนยังไม่สามารถระบุหรือกำหนดกรอบปัญหาที่ชัดเจนได้ (Dorie et al., 2014; Li et al., 2019) และนักเรียนยังขาดทักษะการประยุกต์ใช้และการออกแบบร่างชิ้นงาน (King & English, 2016; Welch & Lim, 2000) เช่น ไม่มีการกำหนดสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนได้ลองออกแบบหรือคิดแก้ปัญหาจากสถานการณ์ตัวอย่างที่ครูหยิบยกมา ไม่มีการใช้เกณฑ์หรือข้อจำกัดมากำหนดเงื่อนไขในการออกแบบ และในการสร้างแบบจำลองหรือสิ่งประดิษฐ์ ไม่มีการระบุหรือบอกนักเรียนว่าสามารถแก้ไขวิธีการได้จนกว่าจะได้วิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมออกมา รวมถึงจากการสำรวจบริบทนักเรียนระหว่างที่ผู้วิจัยได้ฝึกปฏิบัติการวิชาชีพก็พบว่านักเรียนขาดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมต่าง ๆ โดยมีปัญหาที่เห็นเด่นชัดคือนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับการออกแบบร่างค่อนข้างต่ำ

ดังนั้น งานวิจัยชิ้นนี้จึงสนใจที่จะส่งเสริมการคิดเชิงออกแบบผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาในรายวิชาวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา เพราะสะเต็มศึกษาเป็นแนวทางการเรียนการสอนที่มีลักษณะของการบูรณา

การเรียนการสอนทั้ง 4 สาขาเข้าด้วยกัน ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) เพื่อให้นักเรียนได้นำความรู้ทุกแขนงมาใช้ในการแก้ปัญหา และสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ในชีวิตประจำวัน (สะเต็มศึกษาประเทศไทย, 2557) สะเต็มศึกษาจะฝึกให้นักเรียนรู้จักวิธีการตั้งคำถาม การแก้ปัญหา และสร้างทักษะการหาข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อค้นพบใหม่ ๆ พร้อมทั้งฝึกให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ได้ทำงานเป็นกลุ่ม มีการอภิปราย และสื่อสารกันเพื่อนำเสนอผลงาน จึงช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้และแนวคิดที่เรียนได้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น (Bicer, Navruz, Capraro, & Capraro, 2014; Bicer et al., 2015) พร้อมทั้งมีการใช้เทคโนโลยีในกระบวนการแก้ปัญหา ปรับปรุง พัฒนาสิ่งต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการ มีการใช้กระบวนการเชิงวิศวกรรมในการคิดสร้างสรรค์ พัฒนานวัตกรรมต่าง ๆ โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ผ่านการสร้างชิ้นงาน ทำให้นักเรียนได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ สามารถแก้ปัญหาเพื่อตอบสนองความต้องการโดยการสร้างนวัตกรรม ซึ่งมีความสอดคล้องกับศตวรรษที่ 21 อย่างยิ่ง

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการคิดเชิงออกแบบของผู้เรียนระดับประถมศึกษาที่ได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาในรายวิชาวิทยาศาสตร์

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การคิดเชิงออกแบบ หมายถึง ความสามารถของบุคคลที่มีต่อกระบวนการคิดแก้ปัญหาหรือสร้างนวัตกรรมจากสถานการณ์ เพื่อให้การเรียนรู้หรือการปฏิบัติงานบรรลุตามวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cross, 2011) ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ 2) การตั้งกรอบปัญหา 3) การสร้างความคิด 4) การสร้างต้นแบบ และ 5) การทดสอบ (Stanford d.school, 2010 อ้างถึงใน DEX Space, 2016) โดยวัดได้จากแบบวัดการคิดเชิงออกแบบของนักเรียน

2. การบูรณาการสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรม หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยผู้สอนมีบทบาทหน้าที่ในการเป็นผู้สร้างสถานการณ์หรือปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน หรือการสร้างสถานการณ์ที่ทำให้ผู้เรียนนั้นสนใจที่จะแก้ปัญหา ผู้เรียนมีบทบาทหน้าที่ในการนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน (NRC, 2012) โดยการจัดกิจกรรมประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นกำหนดขอบเขตปัญหา 2) ขั้นสร้างความคิด 3) ขั้นออกแบบและสร้างแบบจำลอง 4) ขั้นประเมินการออกแบบ และ 5) ขั้นปรับปรุงการออกแบบ (English & King, 2015)

กรอบแนวคิดการวิจัย

สะเต็มศึกษาอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการเรียนรู้จากสถานการณ์จริง (Situated Learning) ซึ่งเป็นทฤษฎีการเรียนรู้ที่ให้ความสำคัญกับบริบทและปฏิสัมพันธ์ของกระบวนการสร้างองค์ความรู้ด้านการคิด (Thinking) เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้แบบสหวิทยาการ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตและการทำงาน และมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะต่าง ๆ ในศตวรรษที่ 21 (สะเต็มศึกษาประเทศไทย, 2557; Breiner, Harkness,

Johnson, & Koehler, 2012; Bybee, 2010; Dejamette, 2012) จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา พบว่า มีการผนวกหลักการของการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับหลักสูตรเพื่อส่งเสริมการใช้งานจริงและช่วยเตรียมผู้เรียนให้พร้อมสำหรับการศึกษาต่อหลังระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีการเชื่อมต่อกับสิ่งที่ผู้ประกอบอาชีพเกี่ยวกับสะเต็มทำจริง (สุทธิดา จำรัส, 2560; Capraro, Capraro, & Morgan, 2013) ดังนั้น นักการศึกษาจึงพยายามอธิบายและหารูปแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษามานุกรณาการโดยเน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับนักเรียนในระดับประถมศึกษาเป็นต้นไป (Dorie et al., 2014; English & King, 2015) โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้กรอบการบูรณาการสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมของ English & King (2015) ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นกำหนดขอบเขตปัญหา 2) ขั้นสร้างความคิด 3) ขั้นออกแบบและสร้างแบบจำลอง 4) ขั้นประเมินการออกแบบ และ 5) ขั้นปรับปรุงการออกแบบ เนื่องจากสามารถอธิบายกระบวนการโดยสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะและพฤติกรรมบ่งชี้ที่เกิดขึ้นกับนักเรียนในแต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจน จึงมีการนำกระบวนการนี้ไปใช้ในงานวิจัยระดับประถมศึกษาอย่างแพร่หลาย (English et al., 2016; King & English, 2016) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษามานุกรณาการโดยเน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงนำมาใช้ในการพัฒนาทักษะต่าง ๆ เช่น ทักษะการแก้ปัญหา (กฤษณะ พงระย้า กุลธิดา นกุลธรรม และทัศนวิมลวรรณเกตุศิริ, 2564) ความคิดสร้างสรรค์ (พิทยาภรณ์ ปัญญาหอม ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ ชำนาญ เขียวกิตติพงศ์ และภิญโญ วงษ์ทอง, 2563) เป็นต้น แต่ทักษะทางความคิดของการคิดเชิงออกแบบก็มีความสำคัญสำหรับผู้เรียนเช่นกัน เนื่องจากการคิดเชิงออกแบบเป็นกระบวนการหนึ่งที่ยอมรับใช้สำหรับการพัฒนานวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ โดยยึด “คน” เป็นศูนย์กลางในการออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาที่สามารถส่งเสริมผู้เรียนให้มีความเป็นนวัตกรรม (มะยุรีย์ พิทยาเสนีย์ และพิชญภา ยวงสร้อย, 2564) ซึ่งประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ 2) การตั้งกรอบปัญหา 3) การสร้างความคิด 4) การสร้างต้นแบบ และ 5) การทดสอบ (Stanford d.school, 2010 อ้างถึงใน DEX Space, 2016) โดยในงานนี้ผู้วิจัยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบูรณาการสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมและการคิดเชิงออกแบบว่ากิจกรรมการบูรณาการสะเต็มศึกษาในขั้นตอนใดช่วยส่งเสริมหรือพัฒนาการคิดเชิงออกแบบในองค์ประกอบใด ซึ่งแต่ละขั้นตอนหรือองค์ประกอบสามารถทำซ้ำหรือย้อนกลับได้ ดังภาพ 1



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) ดำเนินการวิจัยโดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบวัดการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้า แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพโดยนำคำตอบของนักเรียนแต่ละคนมาจัดกลุ่มเพื่อวิเคราะห์ระดับการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนแต่ละคน จากนั้นนำผลการคำนวณร้อยละของนักเรียนทั้ง 5 องค์ประกอบมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา อธิบาย และวิเคราะห์ สำหรับการศึกษาการคิดเชิงออกแบบโดยที่ผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นครูผู้สอน

ประชากร และตัวอย่างวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6/1 ของโรงเรียนสหศึกษาระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร สังกัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม จำนวน 36 คน โดยเลือกจากกลุ่มที่ผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้ทำการจัดการเรียนรู้ในช่วงเวลาของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู ปีการศึกษา 2563 เพื่อสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลและสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมในเชิงลึกได้ในกรณีที่คำตอบของนักเรียนไม่ครบถ้วน หรือคลุมเครือ

เนื้อหาที่ใช้ คือ หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 แรงไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า บทที่ 2 วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย ซึ่งเป็นเนื้อหาส่วนหนึ่งของรายวิชาวิทยาศาสตร์ 6 (ว16101) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามโครงสร้างหลักสูตรสถานศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563

เครื่องมือวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้การบูรณาการสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่องไฟฟ้า ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อส่งเสริมการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6/1 จำนวน 1 แผน 10 ชั่วโมงเรียน (500 นาที) ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จากนั้นนำไปหาคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

2. แบบวัดการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้าที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ประกอบด้วย 1 สถานการณ์ มี 4 หน้า 5 ข้อคำถาม โดยมีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิด เพื่อวัดการคิดเชิงออกแบบทั้ง 5 องค์ประกอบตามกรอบอ้างอิงของ Stanford d.school เครื่องมือนี้ผ่านการหาความตรงเชิงเนื้อหาและเชิงโครงสร้างโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน โดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านพิจารณาแล้วว่าข้อคำถามทุกข้อมีความตรง แต่มีข้อเสนอแนะให้ปรับแก้ไขสถานการณ์ปัญหาให้เป็นปัญหาที่พบได้ในปัจจุบันและเหมาะสมกับนักเรียนในช่วงระดับประถมศึกษา และเพิ่มข้อมูลตัวอย่างในบางข้อให้หลากหลายมากขึ้น เพื่อให้นักเรียนได้เลือกพิจารณาข้อมูลเองว่าจะตั้งกรอบปัญหาใด จึงนำมาปรับปรุงจนได้สถานการณ์ปัญหาและข้อคำถามที่มีคุณภาพ แสดงสถานการณ์และตัวอย่างคำถามในแบบวัดการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้า ข้อที่ 1 ดังภาพ 2

สถานการณ์ปัญหา: แผ่นเต้นออกกำลังกาย (dance pad) เป็นแผ่นที่ใช้สำหรับควบคุมการเล่นเกมส์ โดยการเหยียบลูกศร ขึ้น ลง ซ้าย ขวาบนแผ่นเหยียบตามจังหวะของเพลงที่ได้ยิน เมื่อผู้เล่นเหยียบแผ่นเหยียบได้ตรงกับลูกศรที่ขึ้นบนจอภาพจะทำให้มีคะแนน การได้ออกกำลังกายและเกิดความสุขสนุกสนานไปพร้อมกัน ทำให้เกมเล่นได้รับความเพลิดเพลินเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากแผ่นเต้นในปัจจุบันส่วนมากใช้สำหรับการเต้นคนเดียว เหมาะสำหรับผู้ใหญ่และวัยรุ่นเป็นส่วนใหญ่ หากนักเรียนต้องออกแบบแผ่นเต้นโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในบ้านมาคิดแปลงเพื่อให้สมาชิกในครอบครัวได้ออกกำลังกายร่วมกัน นักเรียนจะออกแบบชิ้นงานอย่างไร และใช้ความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ามาช่วยในการออกแบบชิ้นงานอย่างไร



ที่มา: <https://shopes.com/shopping/Shop-Dance-Step-Dance-Mat-Pad-Pad-Dance-Mat-Black-Top-PC-With-USB>

จะตอบคำถามต่อไปนี้ให้มีความชัดเจน

1. หากนักเรียนต้องการข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นงานและแก้ปัญหา นักเรียนจะทำการสัมภาษณ์ใครบ้าง และในประเด็นอะไร

ภาพ 2 สถานการณ์และตัวอย่างคำถามในแบบวัดการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้า ข้อที่ 1

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากแบบวัดการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้ามาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยวิเคราะห์ระดับการคิดเชิงออกแบบตามองค์ประกอบทั้ง 5 จากกรอบอ้างอิงของ Stanford d.school ตามที่ได้กล่าวในนิยามศัพท์เฉพาะ ซึ่งแบ่งระดับการคิดเชิงออกแบบออกเป็น 3 ระดับ คือ สูง กลาง และต่ำ ตามคำอธิบายจากคำตอบของนักเรียนทั้ง 5 ข้อคำถาม ซึ่งในแต่ละข้อผู้วิจัยจะทำการพิจารณาความครบถ้วนสมบูรณ์ของคำตอบและพฤติกรรมบ่งชี้ในแต่ละองค์ประกอบ ดังตัวอย่างเกณฑ์ระดับการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนในองค์ประกอบการสร้างความคิด (3) ดังตาราง 1 จากนั้นจึงนับความถี่ของจำนวนนักเรียนที่ตอบคำถามในแต่ละระดับ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละ

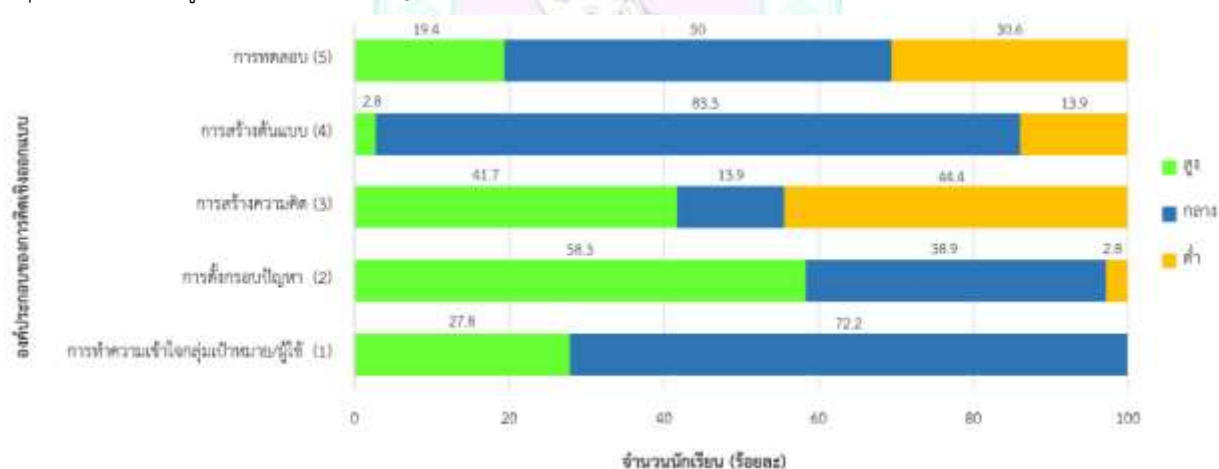
ตาราง 1 ตัวอย่างเกณฑ์และการวิเคราะห์ระดับการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนในองค์ประกอบการสร้างความคิด

พฤติกรรมบ่งชี้	เกณฑ์		ตัวอย่างคำตอบ
	ระดับ	คำอธิบาย	
สร้างความคิดให้เกิดความสร้างสรรค์ แสดงความคิดที่หลากหลาย แตกต่าง หรือนอกกรอบเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาให้ได้มากที่สุด	สูง	เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่แตกต่างหรือนอกกรอบโดยมีการระบุตัวอย่างเพิ่มเติม หรืออธิบายแนวทางการแก้ปัญหาอย่างละเอียดและชัดเจน	นักเรียนรหัส 16: “ปัญหาคือเวลาแต่ละคนไม่ตรงกันทำให้ไม่สามารถใช้แผ่นเต้นออกกำลังกายพร้อมกันได้ แนวทางแก้ไขคือสร้างแผ่นเต้นออกกำลังกายสำหรับสมาชิกในครอบครัวที่มีมากกว่า 1 คน โดยสามารถเล่นพร้อมกันไปด้วย ทำงานไปด้วยได้ เช่น ตอนล้างจานก็ยังสามารถเหยียบแผ่นเต้นเพื่อออกกำลังกายไปด้วยได้”

พฤติกรรมบ่งชี้	เกณฑ์		ตัวอย่างคำตอบ
	ระดับ	คำอธิบาย	
	กลาง	เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่แตกต่างหรือนอกกรอบ แต่ไม่มีการระบุตัวอย่างเพิ่มเติม หรือทำการอธิบายแนวทางการแก้ปัญหาไม่ละเอียดและชัดเจน	นักเรียนรหัส 26: “ปัญหาคือ สมาชิกในครอบครัวต้องการออกกำลังกายร่วมกัน แนวทางแก้ไขคือ จัดสรรเวลาว่างของสมาชิกในครอบครัวให้ตรงกัน และกระตุ้นให้สมาชิกในครอบครัวสนใจที่จะใช้แผ่นเดินออกกำลังกาย”
	ต่ำ	เสนอแนวทางการแก้ปัญหาโดยไม่ได้ใช้แนวทางที่แตกต่างหรือนอกกรอบ	นักเรียนรหัส 08: “ปัญหาคือ หลายครอบครัวไม่ได้ออกกำลังกายเนื่องจากคิดว่าการออกกำลังกายเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก แนวทางแก้ไขคือ ต่อวงจรไฟฟ้าให้สามารถใช้งานได้ง่าย สะดวกสบาย”

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ระดับการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้าทั้ง 5 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ 2) การตั้งกรอบปัญหา 3) การสร้างความคิด 4) การสร้างต้นแบบ และ 5) การทดสอบ ได้ผลดังภาพ 3



ภาพ 3 ร้อยละของนักเรียนที่มีองค์ประกอบของการคิดเชิงออกแบบในระดับต่าง ๆ

จากภาพ 3 เมื่อพิจารณาการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนในระดับสูงจะพบว่า นักเรียนมีองค์ประกอบ การตั้งกรอบปัญหา (2) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58.3 รองลงมา คือ การสร้างความคิด (องค์ประกอบที่ 3) คิดเป็นร้อยละ 41.7 โดยนักเรียนมีองค์ประกอบที่ 4 และ 1 อยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 83.3 และ 72.2 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากแบบวัดการคิดเชิงออกแบบเรื่องวงจรไฟฟ้า สามารถสรุปข้อค้นพบได้ 3 ข้อ ดังนี้

ข้อ 1 การจัดกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมในชั้นกำหนดขอบเขตปัญหาที่มีการนำประเด็นสถานการณ์ปัญหาจริงในชีวิตประจำวันที่ไม่ซับซ้อน นักเรียนระดับประถมศึกษาสามารถทำความเข้าใจขอบเขตของปัญหาได้อย่างชัดเจน สามารถส่งเสริมการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนในองค์ประกอบ การตั้งกรอบปัญหา (2) ให้อยู่ในระดับสูงได้มากที่สุด

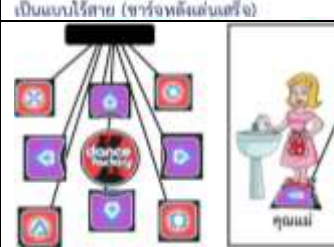
ผลการวิจัยพบว่าในขั้นกำหนดขอบเขตปัญหาที่มีการนำประเด็นสถานการณ์ปัญหาจริงในชีวิตประจำวันที่ไม่ซับซ้อน นักเรียนระดับประถมศึกษาสามารถทำความเข้าใจขอบเขตของปัญหาได้อย่างชัดเจน เช่น ปัญหาการวางระบบเปิดปิดไฟฟ้าของหลอดไฟในห้องนอนผู้สูงอายุมาให้นักเรียนตั้งกรอบปัญหา โดยมีข้อกำหนดคือ ระบบไฟฟ้าต้องใช้งานได้ง่าย และหลอดไฟจะต้องมีความสว่างมากที่สุดเท่าที่ทำได้ภายในวงจรไฟฟ้าเดียว พบว่าทำให้นักเรียนร้อยละ 58.3 สามารถตั้งกรอบปัญหา (2) อยู่ในระดับสูง ร้อยละ 38.9 อยู่ในระดับกลาง และมีเพียงร้อยละ 2.8 อยู่ในระดับต่ำ โดยกำหนดสถานการณ์ปัญหาในภาพ 2 เกี่ยวกับการออกแบบแผ่นต้นออกกำลังกายเพื่อให้สมาชิกในครอบครัวได้ออกกำลังกายร่วมกัน โดยให้รายละเอียดเกี่ยวกับจำนวนสมาชิกในครอบครัว กิจกรรมประจำวัน ความถี่ในการออกกำลังกายของสมาชิกในบ้าน อวัยวะที่ต้องการออกกำลังกาย ช่วงเวลาที่ต้องการออกกำลังกาย และระยะเวลาที่ต้องการออกกำลังกาย จากนั้นให้นักเรียนกำหนดกรอบปัญหา นักเรียนที่อยู่ในระดับสูงสามารถกำหนดกรอบปัญหาจากข้อมูลที่ได้จากกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้งานเป็นหลักที่สามารถนำไปหาแนวทางการแก้ไขปัญหาได้อย่างแท้จริง รวมทั้งสรุปปัญหาและความต้องการที่สำคัญเพื่อนำไปหาทางแก้ไขหรือสร้างนวัตกรรมต่อไป ตัวอย่างเช่น “จากตารางข้างต้นผมคิดว่าปัญหาของคนส่วนใหญ่เกิดจากการมีเวลาไม่เพียงพอ ดังนั้นผมจะแก้ไขปัญหามาโดยการปรับให้สามารถเล่นด้วยกันได้มากกว่า 1 คน โดยการเพิ่มโหมดให้สามารถแข่งขันกันได้และสามารถเลือกเพลงได้โดยจะมีระยะเวลาและความยากเขียนกำกับไว้ด้วย (นักเรียนรหัส 04)” ซึ่งแตกต่างจากนักเรียนที่อยู่ในระดับกลางที่กำหนดกรอบปัญหาไม่สอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้งานส่วนใหญ่อย่างแท้จริง ตัวอย่างเช่น “ปัญหาส่วนใหญ่คือ 1) เวลาแต่ละคนไม่ตรงกัน เช่น คุณแม่ต้องซักผ้า ในขณะที่คุณพ่อก็ทำงานอีกอย่าง จึงทำให้ไม่สามารถเล่นพร้อมกันได้ 2) จำนวนคนเล่นไม่เท่ากันในแต่ละครอบครัว (นักเรียนรหัส 16)” และนักเรียนที่อยู่ในระดับต่ำไม่สามารถกำหนดกรอบปัญหาที่พิจารณาจากข้อมูลที่กำหนดให้ได้เลย ตัวอย่างเช่น “ถ้าฉันได้ข้อมูลมาจาก 20 ครอบครัวเช่นตัวอย่างตารางข้างล่าง ฉันคิดว่าปัญหาของผู้ใช้งานแผ่นต้นออกกำลังกายคือแต่ละครอบครัวไม่เหมือนกัน (โดยเฉพาะจำนวนคนในครอบครัว) และฉันจะให้กรอกข้อมูลของแต่ละครอบครัวว่ามีลักษณะอย่างไรแล้วนำเกมเด่นที่เหมาะสมส่งไปให้ทีหลังเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ (นักเรียนรหัส 01)”

แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมในขั้นกำหนดขอบเขตปัญหายังไม่สามารถส่งเสริมให้นักเรียนบางส่วนมีองค์ประกอบการทำงานทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ (1) ในระดับสูง นักเรียนส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 72.2 มีองค์ประกอบนี้ในระดับกลาง เนื่องจากนักเรียนยังไม่ได้ทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายอย่างแท้จริง นักเรียนรู้เพียงว่าจะต้องสัมภาษณ์ใคร แต่ประเด็นที่ทำการสัมภาษณ์ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งานหรือสิ่งที่ต้องการให้ปรับปรุงหรือพัฒนาของแผ่นต้นออกกำลังกายเดิมที่สามารถใช้งานได้ทีละคน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในระดับสูง เช่น “ฉันจะเลือกสัมภาษณ์คุณแม่และคุณยายที่ต้องการออกกำลังกายเพื่อลดน้ำหนัก ด้วยประเด็นพื้นที่สำหรับออกกำลังกาย เพื่อให้มีพื้นที่พอสำหรับ 2 คนขึ้นไปและความเร็วของแผ่นต้นออกกำลังกายเพื่อให้สามารถออกกำลังกายได้ทั้งครอบครัว โดยจะมีความเร็วที่เหมาะสมกับทุกเพศทุกวัย (นักเรียนรหัส 29)” และตัวอย่างคำตอบในระดับกลาง เช่น “สัมภาษณ์คุณพ่อ คุณแม่และน้องชาย เรื่องความต้องการในการออกกำลังกายในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (นักเรียนรหัส 05)”

ข้อ 2 การจัดกิจกรรมให้นักเรียนออกแบบร่างต้นแบบโดยนำความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าไปใช้ในการแก้ปัญหาช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถออกแบบร่างต้นแบบเพื่อแก้ปัญหาตามกรอบปัญหาที่กำหนดได้ แต่เนื่องจากผู้สอนให้นักเรียนออกแบบและพิจารณาเพียงปัญหาในด้านการใช้งานของต้นแบบที่นักเรียนออกแบบขึ้นมาเพียงอย่างเดียว นักเรียนจึงไม่ได้ฝึกพิจารณาทัศนคติของผู้ใช้งานหรือปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อกลุ่มเป้าหมายใช้งานต้นแบบแล้ว จึงทำให้นักเรียนส่วนใหญ่มีองค์ประกอบการสร้างต้นแบบ (4) อยู่ระดับกลาง

ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีองค์ประกอบการสร้างต้นแบบ (4) ได้ระดับกลางร้อยละ 83.3 โดยนักเรียนสามารถสร้างต้นแบบโดยอธิบายรายละเอียดหรือการใช้งานเพื่อแก้ปัญหาตามกรอบปัญหาที่กำหนดไว้ พิจารณาหาจุดบกพร่องหรือปัญหาในการใช้งานของทั้งผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบ แต่ไม่ได้พิจารณาว่าเมื่อทดลองใช้ต้นแบบแล้วจะมีทัศนคติหรือปัญหาอะไรหรือไม่ แตกต่างจากนักเรียนที่อยู่ในระดับต่ำโดยนักเรียนกลุ่มนี้จะมีการออกแบบชิ้นงานโดยไม่ได้แก้ปัญหาตามกรอบปัญหาที่กำหนดไม่ได้พิจารณาหาจุดบกพร่องหรือปัญหาในการใช้งาน และไม่ได้พิจารณาว่าเมื่อทดลองใช้ต้นแบบแล้วจะมีทัศนคติหรือปัญหาอะไรหรือไม่ แสดงตัวอย่างดังตาราง 2

ตาราง 2 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในระดับต่าง ๆ

นักเรียน	คำตอบ	ระดับ
นักเรียนรหัส 30	 แผ่นต้นแบบ เป็นแผ่นต้นแบบที่เกิดจากการนำหลอดมาติดเป็นเส้นๆ แทนสายไฟ เรียงเป็นวงจรรูปสี่เหลี่ยม ขนาน หุ้มด้วยผ้า เพื่อกันไฟฟ้าช็อตขณะเล่น ทำงานโดย เมื่อเหยียบไปที่ตุ๊กตา ตัวตุ๊กตาก็จะถูกกดลงทำให้ไฟหลอดติดไปทีละหลอด (จุดสีแดงๆ) แล้วแผ่นต้นแบบจะส่งสัญญาณไปที่ TV ถ้าเหยียบตุ๊กตาตรงไหนหลอดไหนจะเพิ่มขึ้น ก่อนเดินเล่นจะต้องเลือกเพลงที่ตรงกับจุดประสงค์ของการออกกำลังกาย และส่วนที่ต้องการออก (จะขึ้นบน TV ขณะเลือกเพลง เช่น เพลง abc ช่วยลดความอ้วน ส่วนที่ต้องการออกกำลังกายคือ เท้า ขา เข่า) และ เพื่อให้เด็กเล็กเดินสะดวกสายแผ่นต้นแบบ แผ่นต้นแบบเป็นแบบไร้สาย (ชาร์จแบตเตอร์รี่)	สูง
นักเรียนรหัส 16	 ชิ้นงานนี้คือแผ่นต้นแบบออกกำลังกายซึ่งจะทำให้ทำงานไปด้วยออกกำลังกายไปด้วยได้ เช่น ถ้าคุณแม่และคุณตาขำไม่ตี ขาไม่แข็งแรงก็จะสามารถใช้มือในการออกกำลังกายได้	กลาง
นักเรียนรหัส 07	 โดย Pad นี้ใช้สำหรับเล่นเต้นรำ (เช่น เกมเต้น) และสามารถใช้เล่นเกมอื่นๆ (เช่น เกมยิง) ได้ด้วย Pad นี้มีปุ่มกดต่างๆ เช่น ปุ่มขึ้น ปุ่มลง ปุ่มซ้าย ปุ่มขวา ปุ่มกลาง ปุ่มรอบๆ (เช่น ปุ่ม A, B, X, Y) และปุ่มอื่นๆ (เช่น ปุ่ม Start, Select)	ต่ำ

ข้อ 3 การจัดกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการสร้างความคิดโดยนักเรียนเรียนรู้แนวคิดเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าผ่านกิจกรรมการสืบเสาะหาความรู้แบบนำทาง (Directed Inquiry) โดยให้นักเรียนสำรวจตรวจสอบตามกิจกรรมที่ผู้สอนกำหนดแผนการแก้ไข

ปัญหาหรือคำตอบด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถเสนอความคิดใหม่ ๆ จึงทำให้มีองค์ประกอบการสร้างความคิด (3) เพียงระดับต่ำ

การจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมในชั้นสร้างความคิดสามารถส่งเสริมการคิดเชิงออกแบบ ในองค์ประกอบการสร้างความคิด (3) ของนักเรียนส่วนใหญ่ได้เพียงระดับต่ำ คิดเป็นร้อยละ 44.4 เนื่องจากชั้นสร้างความคิด ผู้สอนจัดกิจกรรมเป็นกลุ่มเพื่อให้นักเรียนนำแนวคิดและองค์ความรู้ที่ได้มาใช้หาแนวทางแก้ไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ โดยผู้สอนจัดกิจกรรมการสืบเสาะหาความรู้แบบนำทาง (Directed Inquiry) ให้นักเรียนสำรวจตรวจสอบ นักเรียนจะสร้างความคิดหรือค้นพบองค์ความรู้ตามกรอบที่ผู้สอนกำหนดเพื่อให้ได้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้นักเรียนเรียนรู้แนวทางแก้ไขปัญหามีเพียงรูปแบบเดิม ๆ หรือมีเพียงรูปแบบเดียว แต่สำหรับการคิดเชิงออกแบบในองค์ประกอบการสร้างความคิด (3) นักเรียนจะต้องประยุกต์ใช้ความคิด มีการนำทักษะการคิดขั้นสูง เช่น การเสนอความคิดที่แปลกใหม่ในการแก้ปัญหาใช้ ทำให้การจัดการเรียนรู้ในชั้นนี้ไม่ได้ส่งเสริมองค์ประกอบการสร้างความคิด (3) อย่างเต็มที่ จึงไม่สามารถทำให้นักเรียนสร้างกรอบแนวคิดที่แตกต่างหรือนอกกรอบได้ โดยผลวิจัยพบว่านักเรียนที่อยู่ในระดับต่ำจะไม่สามารถเสนอความคิดใหม่ ๆ ที่แตกต่างจากแนวทางเดิม ๆ ได้ และยังมีนักเรียนที่เสนอความคิดที่ไม่สามารถแก้ปัญหาให้ตอบสนองต่อกรอบปัญหาที่กำหนดได้จริง เช่น “กรอบปัญหาคือเวลาในการออกกำลังกายและใช้ไวยวะในการออกกำลังกายไม่ครบทุกส่วน การแก้ปัญหาคือสร้างให้พื้นที่ใหญ่ขึ้น อาจจะทำให้แผ่นดินมีไฟจะได้มองเห็นได้ชัดเจนมากขึ้น และอาจจะใช้การต่อแบบขนาน เพราะสามารถใช้งานได้มากกว่า (นักเรียนรหัส 06)” ซึ่งแตกต่างจากนักเรียนที่อยู่ในระดับสูงโดยนักเรียนที่อยู่ในระดับสูงสามารถเสนอความคิดในการแก้ปัญหาที่แตกต่างหรือนอกกรอบได้อย่างสร้างสรรค์ ทำให้สามารถเลือกแนวทางไปใช้ในการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมได้ เช่น “กรอบปัญหาคือครอบครัวส่วนใหญ่ใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อย การแก้ปัญหาคือ ใช้วงจรไฟฟ้ามาออกแบบให้แผ่นดินออกกำลังกายให้น่าสนใจยิ่งขึ้น โดยมีไฟกระพริบเปลี่ยนสี มีเสียงปรบมือให้จังหวะ มีการให้คะแนนในการเดิน และสามารถเลือกเพลงได้หลากหลาย ให้เล่นได้พร้อมกันหลาย ๆ คน เพื่อสร้างความสนุกสนาน (นักเรียนรหัส 36)”

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยบูรณาการสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยใช้สถานการณ์ ปัญหาที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของนักเรียนจะช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาความรู้และทักษะต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ ออกแบบทั้งวิธีการและนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน (Li et al., 2019; NRC, 2012) ได้มากขึ้น โดยเฉพาะสามารถส่งเสริมการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนระดับประถมศึกษาในองค์ประกอบการตั้งกรอบปัญหา ผลการวิจัยดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนสามารถเรียนรู้ผ่านการออกแบบและพัฒนาการคิดเชิงออกแบบผ่านการบูรณาการสะเต็มศึกษาได้อย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากนำมาผนวกกับด้านวิศวกรรม (Li et al., 2019) แม้ว่าจะพัฒนาการคิดเชิงออกแบบในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่มีมุมมองว่าวิชาวิทยาศาสตร์ไม่ใช่วิชาที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาการคิดเชิงออกแบบ ส่วนมากจึงทำการพัฒนาการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนในรายวิชาศิลปะศึกษา (Li et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าสามารถพัฒนาการคิดเชิงออกแบบกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาได้ นักเรียนที่อายุน้อยสามารถทำการออกแบบโดยใช้จินตนาการ การวางแผน ลงมือสร้าง และประเมินชิ้นงานได้ นอกจากนี้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนั้นต้องใช้เวลาการพัฒนาในระยะยาว จำเป็นต้องเริ่มทำการพัฒนานักเรียนก่อนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 (Dorie et al., 2014; English & King, 2015; Lachapelle & Cunningham, 2014) ซึ่งแตกต่างกับงานที่

วิจัยก่อนหน้าทีนักวิจัยหลายท่านมีมุมมองว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนั้นซับซ้อนเกินไปสำหรับนักเรียนที่อายุน้อย (Daly et al., 2012; Goncher & Johri, 2015; Mentzer et al., 2015)

นอกจากนี้ พบว่าการส่งเสริมความคิดเชิงออกแบบที่เน้นมุมมองของผู้ผลิตหรือวิศวกรในการสร้างชิ้นงานหรือต้นแบบผลิตภัณฑ์ส่งผลทำให้นักเรียนบางส่วนไม่ได้มองในมุมความต้องการหรือทัศนคติในการใช้งานของผู้บริโภคร่วมด้วย จึงทำให้นักเรียนมีองค์ประกอบการทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ (1) และองค์ประกอบการสร้างต้นแบบ (4) อยู่ระดับกลาง โดยนักเรียนที่อยู่ในระดับนี้มักจะสอบถามข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมายเกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรมหรือการใช้งานของผลิตภัณฑ์เดิม แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์และกำหนดเองว่าต้องการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อแก้ปัญหาใด ไม่ใช่ออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานอย่างแท้จริง ซึ่งปัญหานี้พบในการสร้างต้นแบบเช่นเดียวกัน โดยในขั้นนี้นักเรียนจะออกแบบและพิจารณาเพียงปัญหาในด้านการใช้งานของต้นแบบที่ตนเองพัฒนาขึ้นมาเพียงอย่างเดียว นักเรียนยังไม่ได้พิจารณาทัศนคติของผู้ใช้งานว่ามีความคิดเห็นอย่างไร ชอบหรือไม่ชอบผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้น หรือสอบถามเกี่ยวกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อกลุ่มเป้าหมายใช้งานต้นแบบแล้ว ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นที่ 3 ขึ้นออกแบบและสร้างแบบจำลอง และขั้นที่ 4 ขึ้นประเมินการออกแบบ ผู้สอนจัดกิจกรรมที่เน้นเฉพาะให้นักเรียนออกแบบร่างต้นแบบโดยนำความรู้เกี่ยวกับวงจรไฟฟ้าไปใช้ในการแก้ปัญหา จึงช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถออกแบบร่างต้นแบบเพื่อแก้ปัญหาตามกรอบปัญหาที่กำหนดได้ และประเมินการออกแบบร่างต้นแบบโดยพิจารณาเพียงปัญหาในด้านการใช้งานของต้นแบบที่นักเรียนออกแบบขึ้นมาเพียงอย่างเดียว นักเรียนจึงไม่ได้ฝึกพิจารณาทัศนคติของผู้ใช้งานหรือปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อกลุ่มเป้าหมายใช้งานต้นแบบแล้ว

นอกจากนี้ การจัดกิจกรรมการบูรณาการสะเต็มศึกษาที่เน้นการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่จัดกิจกรรมเรียงลำดับขั้นตอนตามแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรมของ English & King (2015) จากขั้นตอนที่ 1) ขึ้นกำหนดขอบเขตปัญหา ไปยังขั้นที่ 2) ขึ้นสร้างความคิด 3) ขึ้นออกแบบและสร้างแบบจำลอง 4) ขึ้นประเมินการออกแบบ และ 5) ขึ้นปรับปรุงการออกแบบ ตามลำดับ ไม่ใช่กระบวนการที่สามารถย้อนกลับได้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ปรับปรุงพัฒนา หรือย้อนกลับมาพิจารณากรอบปัญหาและหาวิธีแก้ไขที่สอดคล้องและเหมาะสมกับกรอบปัญหา จึงไม่ได้สะท้อนให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการคิดเชิงออกแบบของแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์กัน โดยนักเรียนต้องทำความเข้าใจกลุ่มผู้ใช้ ปัญหาหรือความต้องการที่จะแก้ไขเพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมายเพื่อกำหนดกรอบปัญหาและหาแนวทางแก้ไข ปัญหาหรือสร้างนวัตกรรมที่จะตอบสนองตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมายหรือผู้ใช้ โดยพิจารณาทัศนคติหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมา และพิจารณาผลการทดสอบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของนวัตกรรมที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของ National Research Council (2012) ที่สะท้อนถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมว่าสามารถทำการย้อนกลับขั้นตอนการกำหนดและแยกปัญหา การออกแบบวิธีแก้ปัญห หรือการเลือกวิธีแก้ปัญหที่เหมาะสมได้จากการทดสอบและปรับแก้ปัญหายังเป็นระบบเพื่อปรับปรุงการออกแบบขั้นสุดท้ายให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานให้มากที่สุด

ผลการวิจัยยังพบอีกว่านักเรียนสามารถพัฒนาการคิดเชิงออกแบบในองค์ประกอบการสร้างความคิด (3) ได้น้อยที่สุด โดยนักเรียนยังเสนอความคิดในการแก้ไขปัญหาเพียงแนวทางเดียว เสนอแนวทางแก้ไขปัญหามากมาย แต่ยังไม่สามารถเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหามากที่แตกต่างจากแนวทางแก้ไขเดิม ๆ ได้ หรือยังไม่สามารถเสนอความคิดให้ตอบสนองต่อกรอบปัญหาที่กำหนดได้จริง สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่กล่าวว่านักเรียนที่มีอายุน้อยจะมีทักษะในการวางแผนวิธีแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมไม่เพียงพอ (English et al., 2016) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากเวลาในการจัดการเรียนรู้ที่ยังไม่มากพอ ดังนั้นผู้สอนควรจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีมุมมองและแนวทางที่แตกต่างในการพิจารณาและแก้ไขปัญหา ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และสร้างนวัตกรรมต่อไป (NGSS Lead States, 2013) รวมถึงใช้กระบวนการที่วนซ้ำกันของการกำหนดกรอบปัญหา การหาแนวทางแก้ไข และการปรับแก้วิธีแก้ปัญหให้เหมาะสม (English et al., 2016) ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Kelley & Sung (2017) ที่สรุปผลการวิจัยว่าผู้สอนรายวิชาวิทยาศาสตร์

ระดับชั้นประถมศึกษาที่ใช้การออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นแนวทางการปรับปรุงการเรียนรู้นั้นควรต้องให้โอกาสและเวลากับนักเรียนในการปรับปรุงการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ King & English (2016) ที่กล่าวว่าการสร้างแนวคิดที่มีประสิทธิภาพต้องให้นักเรียนได้อธิบายความคิด ได้แย้ง ปรับปรุง และพัฒนาความเข้าใจของกระบวนการแก้ปัญหาด้วยกัน เนื่องจากการสร้างความคิดร่วมกันจะทำให้นักเรียนกลับไปทบทวนขอบเขตของปัญหาและข้อจำกัด ทำให้เกิดความเข้าใจใหม่ ๆ ส่งผลให้สามารถสร้างกระบวนการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาการคิดเชิงออกแบบของนักเรียนผ่านการบูรณาการสะเต็มศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากนำมาผนวกกับด้านวิศวกรรมควรเน้นกระบวนการที่สามารถย้อนกลับได้ ผู้สอนจึงควรเน้นให้นักเรียนได้ย้อนกลับขั้นตอนการกำหนดและแยกปัญหา การออกแบบวิธีแก้ปัญา และการเลือกวิธีแก้ปัญาที่เหมาะสมอย่างเป็นระบบ เพื่อปรับปรุงการออกแบบขั้นสุดท้ายให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งครูผู้สอนควรใช้เวลาแก่นักเรียน รวมถึงส่งเสริมทักษะการทำงานกลุ่มของนักเรียนเพื่อประสิทธิภาพในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

จากผลการวิจัยที่พบว่าองค์ประกอบการสร้างความคิดพัฒนาได้น้อยที่สุดเนื่องจากนักเรียนเสนอความคิดในการแก้ไขปัญาเพียงแนวทางเดียว หรือเสนอแนวทางแก้ไขปัญาที่หลากหลายแต่ยังไม่แตกต่างจากแนวทางแก้ไขเดิม ๆ หรือยังไม่สามารถเสนอความคิดให้ตอบสนองต่อกรอบปัญาที่กำหนดได้จริง ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรเน้นสถานการณ์ปัญาที่อิงบริบทหรือสภาพจริงที่นักเรียนเคยมีประสบการณ์โดยตรงเพื่อให้เห็นคุณค่าในการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญานั้น ๆ หรืออาจพัฒนาการแก้ปัญาแบบร่วมมือเพื่อส่งเสริมการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนในการแก้ไขปัญาร่วมกัน

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณะ พวงระย้า กุลธิดา นกุลธรรม และทัศนิน วรณเกตุศิริ. (2564). การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักศึกษาครูเคมีด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, (12)2, 202-217.
- พิทยาภรณ์ ปัญญาหอม ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ ชำนาญ เขาวงกตพิงศ์ และภิญโญ วงษ์ทอง. (2563). หลักสูตรสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์เรื่องไฟฟ้าสำหรับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาการเรียนรู้*, (3)1, 28-42.
- มะยุรีย์ พิทยาเสนีย์ และพิชญาภา ยวงสร้อย. (2564). การคิดเชิงออกแบบ : ครุ่นวัตกรวิถีใหม่. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, (10)2, 190-199.
- สะเต็มศึกษาประเทศไทย. (2557). *รู้จักสะเต็ม*. เข้าถึงจาก http://www.stemedthailand.org/?page_id=23.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ. (2562). *หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี (การออกแบบและเทคโนโลยี) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุทธิดา จำรัส. (2560). นิยามของสะเต็มและลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ.*, 10(2), 13-34.

- สุพรรณิ ขาญประเสริฐ. (2556). การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21. *สถาบันส่งเสริมการ
สอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 42(185), 10-13.
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What Is STEM? A Discussion About
Conceptions of STEM in Education and Partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1),
3-11.
- Bicer, A., Navruz, B., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2014). STEM schools vs. non-STEM schools:
Comparing students' mathematics state-based test performance. *International Journal of Global
Education*, 3(3), 8-18.
- Bicer, A., Navruz, B., Capraro, R. M., Capraro, M. M., Oner, T. A., & Boedeker, P. (2015). STEM schools vs.
non-STEM schools: Comparing students' mathematics growth rate on high-stakes test
performance. *International Journal of New Trends in Education and Their Implications*, 6(1),
138-150.
- Bybee, R. (2010). Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70,
30-35.
- Capraro, R.M., Capraro, M.M., & Morgan, J. (2013). *STEM project-based learning: An integrated science,
technology, engineering, and mathematics (STEM) approach* (2nd ed.). Rotterdam, The
Netherlands: Sense Publishers.
- Cross, N. (2011). *Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work*. Oxford: Berg.
- Daly, S. R., Adams, R. S., & Bodner, G. M. (2012). What Does it Mean to Design? A Qualitative Investigation
of Design Professionals' Experiences. *Journal of Engineering Education*, 101, 187-219.
- Dejarnette, N. (2012). America's Children: Providing early exposure to STEM (Science, Technology,
Engineering, & Math) Initiatives. *Education*, 133, 77-84.
- DEX Space. (2016). Design Thinking คืออะไร (Overview). เข้าถึงจาก [https://medium.com/base-the-business-
playhouse/design-thinking-คืออะไร-overview-dc8c8e7547db](https://medium.com/base-the-business-playhouse/design-thinking-คืออะไร-overview-dc8c8e7547db).
- Dorie, B. L., Cardella, M., & Svarovsky, G. N. (2014). Capturing the design thinking of young children
interacting with a parent. In *Proceedings of the American Society of Engineering Education
Annual Conference* (pp.24.256.1-24.256.7). Indianapolis, IN.
- English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students'
investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 1-18.
- English, L., King, D., & Smeed, J. (2016). Advancing integrated STEM learning through engineering design:
Sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. *The Journal of
Educational Research*, 110, 1-17.
- Goncher, A., & Johri, A. (2015). Contextual Constraining of Student Design Practices. *Journal of
Engineering Education*, 104(3), 252-278.
- ITEEA. (2000). *Standards for technological literacy: content for the study of technology* (1st ed.). Reston,
VA: ITEEA.

- Kelley, T. R., & Sung, E. (2017). Examining elementary school students' transfer of learning through engineering design using think-aloud protocol analysis. *Journal of Technology Education*, 28(2), 83-108.
- King, D., & English, L. (2016). Engineering design in the primary school: applying stem concepts to build an optical instrument. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2762-2794.
- Lachapelle, C. P., & Cunningham, C. M. (2014). Engineering in elementary schools. In S. Purzer, J. Strobel, & M. Cardella (Eds.), *Engineering in pre-college settings: Synthesizing research, policy, and practices* (pp.61-88). Lafayette, IN: Purdue University Press.
- Li, Y. et al. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, 2, 93-104.
- Mentzer, N., Becker, K., & Sutton, M. (2015). Engineering Design Thinking: High School Students' Performance and Knowledge. *Journal of Engineering Education*, 104(4), 417-432.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Portsmore, M., Watkins, J., & McCormick, M. (2012). Planning, drawing and elementary students in an integrated engineering design and literacy activity. *Paper presented at the 2nd P-12 Engineering and Design Education Research Summit*. DC: Washington.
- Welch, M., & Lim, H. S. (2000). The strategic thinking of novice designers: Discontinuity between theory and practice. *The Journal of Technology Studies*, 26(2), 34-44.