กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม: กลไกขับเคลื่อนกิจกรรมสะเต็ม

กรกนก เลิศเดชาภัทร[1*] และชาตรี ฝ่ายคำตา[2]

[1]ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330;
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[*]E-mail: Kornkanok.L@chula.ac.th

รับบทความ: 26 พฤศจิกายน 2563 แก้ไขบทความ: 11 มีนาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 1 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

การดำรงชีวิตในสังคมที่ซับซ้อนต้องอาศัยการบูรณาการความรู้และทักษะในการดำรงชีวิตเพื่อแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการสังคม การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยให้ผู้เรียนบูรณาการความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ร่วมกับคณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมซึ่งเป็นกลไกการขับเคลื่อนกิจกรรมสะเต็ม อย่างไรก็ตาม ครูมีความเข้าใจเพียงบางส่วนเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งส่งผลให้กิจกรรมสะเต็มศึกษาไม่สอดคล้องกับธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์ แม้ว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะไม่มีขั้นตอนที่ตายตัว แต่มีลักษณะสำคัญที่สอดคล้องกันและเป็นแนวทางให้ผู้สอนออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาที่นำไปใช้ในบริบทจริง ผู้เขียนจึงได้ถอดบทเรียนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่นิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูนำไปใช้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ ลักษณะสำคัญดังกล่าว อาทิ การระบุสถานการณ์และให้ข้อมูลที่เพียงพอต่อวิเคราะห์ปัญหา สาเหตุของปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อนำสู่การเลือกสาเหตุของปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ ผู้เรียนสำรวจตรวจสอบและระดมความคิดเกี่ยวกับปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด สร้างชิ้นงานหรือออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ทดสอบและปรับปรุงแนวทางดังกล่าว โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าต่อเวลาและแรงที่ใช้ไป รวมทั้งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์ สะเต็มศึกษา

Engineering Design Process: A Drive of STEM Activities

Kornkanok Lertdechapat[1*] and Chatree Faikhamta[2]

[1]Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand; [2]Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand

[*]E-mail: Kornkanok.L@chula.ac.th

Received: 26 November 2020 Revised: 11 March 2021 Accepted: 1 June 2021

Abstract

Living in the complex societies requires the integration of knowledge and skills to solve the problems or improve the needs of people. The integrated STEM education is an approach to enhance students to apply scientific knowledge and skills with mathematics, technology, and engineering in order to develop the solutions through the engineering design process (EDP) which is the drive of STEM activities. However, teachers had alternative understandings about EDP which affect the alignment of nature of engineering with STEM activities. Although there are no rigorous steps of EDP, the common features are shown from several models of EDP. The teachers could design the STEM lessons aligned with the common features of EDP to promote students design the solutions for the real-word problems. The most common features of EDP included presenting the authentic problematic situation and relevant information which are enough to analyze the problem(s), cause(s), and effect(s). This will lead to the selection of the most feasible problem which could be solved by students themselves. Students will be provided the opportunity to investigate and brainstorm the problem(s) and possible solutions to apply the most feasible solution to solve the selected problem within the determined conditions and constraints. Students also develop, test, and evaluate the solutions with the consideration of the cost and time they spend, as well as social, environmental impacts.

Keywords: Engineering design process, Nature of engineering, STEM education

บทนำ

การเตรียมพร้อมและพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะในศตวรรษที่ 21 เพื่อใช้ชีวิตท่ามกลางสังคมที่ซับซ้อนได้นั้น การจัดการเรียนรู้โดยทั่วไปที่มุ่งพัฒนาความรู้ความเข้าใจเนื้อหาวิชาอาจไม่เพียงพอที่ช่วยให้ผู้เรียนสามารถใช้ชีวิตในโลกที่ซับ-

ซ้อนได้ แต่จำเป็นต้องใช้ทักษะที่สำคัญจำเป็นเพื่อดำรงชีวิต (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2016; Organisation for Economic Co–operation and Development [OECD], 2018) Battelle for Kids (2019) ให้ความสำคัญกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ในด้านทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ได้แก่ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การสื่อสาร การร่วมมือรวมพลัง และการคิดอย่างสร้างสรรค์ สะเต็มศึกษาเป็นทางเลือกหนึ่งที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะดังกล่าว (Stohlmann *et al.,* 2012; National Research Council [NRC], 2014)

สะเต็มศึกษาเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ในการบูรณาการรายวิชาที่เกี่ยวข้องทั้งวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการในบริบทจริง ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Bybee, 2013; Bryan *et al.,* 2016; Honey *et al.,* 2014) ทั้งนี้ การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย โดยมีกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นกลไกขับเคลื่อนการจัดการเรียนรู้ โดยช่วยให้เกิดการนำปัญหาหรือความต้องการที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงและวิศวกรรมศาสตร์เป็นตัวกลางในการบูรณาการรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาเข้าด้วยกัน (Capobianco *et al.,* 2013; Johnson *et al.,* 2018) และเน้นการประยุกต์องค์ความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์นวัตกรรม (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2015) จากนิยามข้างต้นพบว่า วิศวกรรมศาสตร์นับเป็นกลไกสำคัญในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ดังนั้นธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จึงน่าจะมีส่วนสำคัญที่ช่วยให้ผู้สอนออกแบบกิจกรรมและสนับสนุนให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์

ธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์

บทบาทหลักของวิศวกรคือการออกแบบและพัฒนาแนวทางการในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการของบุคคลในสังคมในชีวิตประจำวันภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเครื่องมือทางเทคโนโลยี (Chou and Chen, 2017) การเรียนรู้และเข้าใจธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์จะช่วยให้ผู้สอนออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรมได้อย่างสอดคล้องกับธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา (Capobianco *et al.,*2013) แนวปฏิบัติในการทำงานของวิศวกรรมนั้นสะท้อนผ่านธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์ (Antink–Meyer and Brown, 2019) ซึ่งมุ่งเน้นแสดงความเข้าใจว่าที่ครอบคลุม 3 ประเด็น ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์คืออะไร วิศวกรทำงานอย่างไร และความสัมพันธ์ระหว่างวิศวกรรมศาสตร์กับศาสตร์อื่นที่ได้รับอิทธิพลจากหรือมีอิทธิพลต่อสังคมเป็นอย่างไร (Pleasants and Olson, 2018) โดยสรุปได้ดังนี้

1) การออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาหรือเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวก ตามลักษณะที่กำหนด ข้อจำกัด และเป้าหมายในการออกแบบ โดยต้องคำนึงถึงสุนทรียะในการออกแบบ การตลาด และการทำงานได้จริงในธรรมชาติ ซึ่งเป็นการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา และ

เป็นการทำงานบนพื้นฐานของข้อมูลและกระบวนการโต้แย้งเป็นกุญแจเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลกับหลักฐาน

2) วิศวกรใช้ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นความรู้ที่สร้างขึ้นเป็นความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเทคโนโลยี หรือเครื่องมือและแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์การทำงาน สามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์เชิงเทคโนโลยี และเชื่อมโยงกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ช่วยให้สามารถออกแบบตามเป้าหมายที่กำหนด

3) ขอบเขตของวิศวกรรมศาสตร์คือ การดำเนินการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาโดยวิศวกรในหลายลักษณะ ได้แก่ การผ่านการพัฒนาเทคโนโลยีหรือสิ่งอำนวยความสะดวก การศึกษาเทคโนโลยีที่มีอยู่ภายใต้ความล้มเหลวที่ไม่ได้คาดคิด รวมถึงการดำเนินการที่มุ่งการวิจัยมากกว่าการออกแบบ โดยมีกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักออกแบบที่เพิ่งเริ่มต้นการทำงานเข้าใจขั้นตอนการทำงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายมากกว่าที่จะเป็นการอธิบายการทำงานของการปฏิบัติของมืออาชีพ

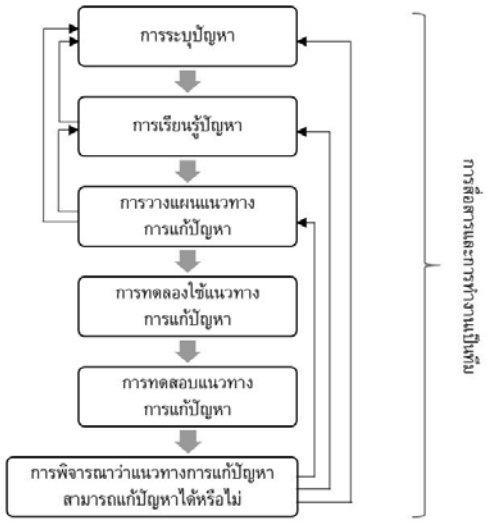
4) สังคมและวัฒนธรรมส่งผลต่อการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา และวิศวกรต้องมีความรับผิดชอบต่อเทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้และสังคม และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจะให้ข้อมูลย้อนกลับเพื่อพัฒนาการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

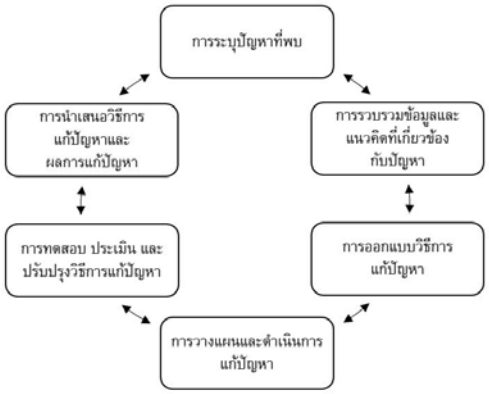
แม้ว่าสะเต็มศึกษาจะเป็นที่ยอมรับในระดับชาติและนานาชาติว่าสามารถพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะการแก้ปัญหานอกเหนือจากความเข้าใจเนื้อหาบทเรียน (Johnson *et al.,* 2018) อย่างไรก็ตาม ผู้สอนในฐานะผู้อำนวยความสะดวกในการออกแบบและจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษานั้นมีอุปสรรคบางประการที่ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์ อาทิ ความเข้าใจไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กล่าวคือ ความเข้าใจว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหาให้เหมาะสมกับหัวข้อที่กำหนด โดยไม่ได้ครอบคลุมถึงการออกแบบ การวางแผน การแก้ปัญหา และการใช้ความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ มาประยุกต์ในการสร้างสรรค์ผลงานอย่างเป็นระบบ เพื่อตอบสนองความต้องการหรือความจำเป็น (Vichaidit and Faikhamta, 2017) การไม่ได้รับโอกาสในการสำรวจตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา (Iaolek *et al.,* 2019) และความเข้าใจที่หลากหลายเกี่ยวกับลักษณะของการบูรณาการรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Pimthong and Williams, 2020) ความเข้าใจคลาดเคลื่อนของครูข้างต้นล้วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้งสิ้น

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถดำเนินการได้หลายรูปแบบขึ้นกับระดับของการนำไปใช้ (Pleasants and Olson, 2018) แม้จะไม่มีขั้นตอนตายตัว แต่ลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีความสอดคล้องกัน โดยเฉพาะการเริ่มต้นจากการระบุและทำความเข้าใจปัญหา การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา การทดสอบ ประเมิน และปรับปรุงแนวทางการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นแนวปฏิบัติหลักของ

ในการดำเนินการทางวิศวกรรมศาสตร์ ดังในภาพที่ 1–2



ภาพที่ 1 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ที่มา: Johnsone *et al*., 2018



ภาพที่ 2 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ที่มา: IPST, 2015

เมื่อผู้สอนออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาให้สอดคล้องกับขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมดังภาพข้างต้น อาจไม่สะท้อนถึงรายละเอียดเชิงลึกที่จำเป็นต้องคำนึงถึงในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุเป้าหมายในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาที่สามารถนำไปใช้ได้ในบริบทจริง ดังนั้นเพื่อให้รายละเอียดของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถนำไปใช้ได้จริง ผู้เขียนจึงได้ถอดบทเรียนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่นิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูได้ออกแบบและนำไปใช้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของผู้เรียน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ณ โรงเรียนสาธิตแห่งหนึ่ง ในกรุงเทพมหานคร นิสิตใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ออกแบบ ประกอบด้วย 4 แนวทางที่แตกต่างกัน แต่ที่มีจุดร่วมเดียวกันคือการใช้กระบวนการออกเชิงวิศวกรรมเป็นกลไกการขับเคลื่อนกิจกรรมและบทเรียนสะเต็มในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ ดังที่จะนำเสนอในบทความวิชาการนี้ ทั้งนี้ โครงการวิจัยดังกล่าวผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เอกสารเลขที่ COE No. COE62/026

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถใช้กลยุทธ์ได้อย่างหลากหลาย แต่ต้องสอดคล้องกับลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมซึ่งเป็นกลการขับเคลื่อนกิจกรรมสะเต็มให้เกิดขึ้นในชั้นเรียน ในบทความนี้ ผู้เขียนนำเสนอตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แนวทางสะเต็มศึกษา 4 แนวทาง ตามที่นิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพได้ออกแบบและนำไปใช้ในชั้นเรียน ตัวอย่างกิจกรรมและลักษณะเด่นของแต่ละแนวทางแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ผู้สอนใช้กระบวนการออก-

แบบเชิงวิศวกรรม ที่เสนอโดย Museum of Science, Boston (2014) เพื่อพัฒนาทักษะการสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จุดเด่นของแนวทางนี้คือ ขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสอดคล้องกับวัยของผู้เรียน กิจกรรมชัดเจน ไม่ซับซ้อน และมุ่งเน้นสร้างสรรค์ชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหา ผู้เรียนได้รับภารกิจในการสร้างหรือพัฒนาของเล่นที่มีอยู่ให้สามารถใช้งานได้หลากหลายขึ้น โดยใช้แนวคิดหลักเรื่องสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ผ่านการดำเนินการตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 5 ขั้นตอน เริ่มตั้งแต่ การระบุปัญหาของของเล่นที่อยู่รอบตัว การออกแบบแนวทางการพัฒนาของเล่นที่สามารถดำเนินการได้และสอดคล้องกับเงื่อนไขในการสร้างของเล่น ได้แก่ ประสิทธิภาพในการเล่นของเล่นซ้ำและไม่มีชิ้นส่วนเสียหาย และความสวยงาม การเลือกแนวทางการพัฒนาของเล่นที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นลงมือสร้างของเล่นตามแบบร่าง ทดสอบของเล่นที่สร้างขึ้นว่าบรรลุเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่อย่างไร และวิพากษ์ข้อควรปรับปรุงในการพัฒนาของเล่นให้สอดคล้องกับเงื่อนไขมากขึ้น

ตัวอย่างที่ 2 ผู้สอนใช้ design–based learning ที่เสนอโดย Pimthong and Williams (2018) เพื่อพัฒนาทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ของผู้เรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 จุดเด่นของแนวทางนี้คือ ผู้สอนสามารถจัดกิจกรรมโดยเริ่มจากขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ขั้นตอนใดก่อนก็ได้และการดำเนินกิจกรรมสามารถย้อนกลับไปมาได้ขึ้นกับบริบทและการดำเนินกิจกรรมของผู้เรียน ผู้เรียนสำรวจตรวจสอบเกี่ยวกับวัฏจักรการปรากฏของกลุ่มดาว เพื่อนำแนวคิดดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาความเข้าใจที่ไม่สอดคล้องกับนักดาราศาสตร์ในการมองเห็นกลุ่มดาวบนท้องฟ้า ผู้เรียนออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลายแล้วเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดและสอดคล้องกับเงื่อนไขการแก้ปัญหา โดยอภิปราย 3 ประเด็น ได้แก่ เหตุผลในการออกแบบเป็นอย่างไร วิธีการที่ออกแบบช่วยแก้ปัญหาที่ระบุไว้ได้อย่างไร และการนำความรู้เรื่องวัฏจักรการปรากฏของกลุ่มดาวไปใช้ในการออกแบบในขั้นตอนใด จากนั้นผู้เรียนสร้างตัวต้นแบบตามแนวทางที่ได้ออกแบบ ประเมินตัวต้นแบบโดยเพื่อนร่วมชั้นเรียน และปรับปรุงตัวต้นแบบให้สอดคล้องกับเงื่อนไขมากขึ้น

ตัวอย่างที่ 3 ผู้สอนใช้ 6E Learning by Design™ (Burke, 2014) เพื่อพัฒนาทักษะการทำงานอย่างร่วมมือรวมพลังของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จุดเด่นของแนวทางนี้คือ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้คล้ายคลึงกับการจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน (Bybee *et al*., 2006) ซึ่งผู้สอนมีความคุ้นชินในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างนี้ ผู้เรียนนำแนวคิดเรื่องการถ่ายโอนความร้อนมาประยุกต์สร้างกล่องเก็บความเย็นในการรักษาความสดใหม่ของอาหารกลางวัน กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเกิดขึ้นตลอดการจัดการเรียนรู้ ดังจะเห็นได้จาก ผู้เรียนระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ และวางแผนออกแบบภาชนะเก็บความเย็นโดยใช้แนวคิดเรื่องการถ่ายโอนความร้อน โดยให้สอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด จากนั้นดำเนินการสร้างภาชนะเก็บความเย็น ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของกล่องเก็บความเย็นที่สร้างขึ้น

ตัวอย่างที่ 4 ผู้สอนใช้การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการออกแบบเชิงวิศว-

กรรม (engineering design problem–based learning) (Grubbs and Strimel, 2015) เพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จุดเด่นของแนวทางนี้คือ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้คล้ายคลึงกับการจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน (Bybee *et al.,* 2006) โดยมุ่งเน้นการทำความเข้าใจแนวคิดหลักก่อนจะประยุกต์แนวคิดที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาสะเต็มศึกษา ผู้เรียนใช้แนวคิดหลักเรื่องโมเมนต์ของแรงในการออกแบบและสร้างคานสำหรับยอที่ใช้ยกปลาที่สามารถยกปลาได้น้ำหนักมากแต่ออกแรงน้อย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเกิดขึ้นตลอดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเริ่มจาก ผู้เรียนวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่ปรากฏในสถานการณ์ ลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหาเพื่อนำสู่การเลือกสาเหตุที่สามารถแก้ไขได้ สำรวจตรวจสอบแนวคิดเรื่องสภาพสมดุลและโมเมนต์ของแรง เพื่อออกแบบและสร้างคานในการยกยอให้สอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัด ดำเนินการทดสอบและประเมินคานที่สร้างขึ้นว่าบรรลุเงื่อนไขอย่างไร มีข้อดีและข้อความปรับปรุงอย่างไร

ตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาข้างต้นดำเนินการในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ต่างระดับชั้นกัน และมีเป้าหมายในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการที่แตกต่างกัน แต่พบว่ามีลักษณะร่วมที่แสดงถึงลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม: กลไกขับเคลื่อนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาทั้ง 4 ตัวอย่างข้างต้น แม้ว่าจะมีวัตถุประสงค์การออกแบบโดยมุ่งพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ที่แตกต่างกัน แต่มีลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่เอื้อให้ผู้เรียนได้ออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหาหรือสนองความต้องการตามเป้าหมายของกิจกรรมสะเต็ม และเพื่อให้เข้าใจลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและธรรมชาติของวิศวกรรมศาสตร์มากขึ้น ผู้เขียนได้วิเคราะห์กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเพื่อสังเคราะห์เป็นลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ผู้สอนควรตระหนักถึงในการออกแบบและจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประการแรก การระบุและให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหาที่ผู้เรียนได้เคยเผชิญหรือจะมีโอกาสได้เผชิญในชีวิตจริง จะช่วยให้ผู้เรียนตระหนักถึงความสำคัญของการหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้และได้ผลจริง ซึ่งเป็นเป้าหมายของกิจกรรมสะเต็มศึกษา นั่นคือ ผู้เรียนจะสามารถนำแนวทางการแก้ปัญหาที่ได้ออกแบบไปใช้ได้จริงหากผู้เรียนเผชิญปัญหาดังกล่าว ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่ 1 การปรับปรุงของเล่นที่มีอยู่ให้สามารถใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ และตัวอย่างที่ 2 การออกแบบแนวทางการช่วยให้บุคคลทั่วไปมองเห็นกลุ่มดาวสอดคล้องกับนักดาราศาสตร์ เป็นต้น

ประการที่สอง การระบุปัญหาที่เป็นไปได้ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของปัญหาข้างต้น จะช่วยให้ผู้เรียนลำดับความสำคัญของปัญหา นำสู่การเลือกปัญหาหลักที่ส่งผลให้เกิดปัญหาอื่น ๆ และเลือก

ปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ด้วยตัวผู้เรียนเอง จะช่วยให้ผู้เรียนระบุแนวทางแก้ปัญหาและลงมือสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างประสบความสำเร็จ ดังตัวอย่างที่ 4 ที่ผู้เรียนได้วิเคราะห์ความสำคัญของปัญหาในสถานการณ์น้ำท่วม ที่ส่งผลให้ชาวบ้านต้องออกแรงหาปลาด้วยตัวเอง โดยใช้ยอยกปลา ซึ่งมีน้ำหนักมาก และอาจไม่คุ้มกับแรงที่เสียไป

ประการที่สาม การกำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดที่สอดคล้องกับความเป็นจริงในออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา จะช่วยให้ผู้เรียนตระหนักถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบและพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหาที่นำมาใช้ในชีวิตจริง ทั้งนี้ เงื่อนไขเป็นเกณฑ์ที่กำหนดลักษณะของแนวทางการแก้ปัญหาที่ต้องได้รับการพัฒนาให้สอดคล้องและบรรลุเกณฑ์ข้างต้น เช่น ประสิทธิภาพขั้นพื้นฐานที่พึงบรรลุ และการทดสอบประสิทธิภาพแนวทางการแก้ปัญหา เป็นต้น ส่วนข้อจำกัดเป็นข้อกำหนดการออกแบบและพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหา เช่น ชนิดของวัสดุอุปกรณ์ งบประมาณในการสร้างชิ้นงาน และระยะเวลาในการออกแบบและสร้างชิ้นงาน เป็นต้น ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่ 4 เงื่อนไขที่กำหนด ได้แก่ 1) คานที่ออกแบบต้องสามารถยกยอได้ถึงในระดับสมดุลของคานหรือมากกว่า เมื่อใส่ดินน้ำมันสำหรับการทดสอบไปทั้งหมด 15 ก้อน (กำหนดให้ 1 ก้อน แทน 1 นิวตัน) และ 2) การใช้แรงน้อยที่สุดในการยกยอ ส่วนข้อจำกัด คือ การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่กำหนด นอกจากนี้ตัวอย่างที่ 3 ยังให้ความสำคัญกับการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าในการเลือกใช้วัสดุสร้างกล่องเก็บความเย็น ซึ่งเป็นหนึ่งในเงื่อนไขที่กำหนดไว้เบื้องต้น

ประการที่สี่ การสำรวจตรวจสอบเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย จะช่วยให้ผู้เรียนตัดสินใจเลือกแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับบริบทของผู้เรียน โดยคำนึงถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด การสำรวจตรวจสอบสามารถดำเนินการได้อย่างหลากหลายตามความเหมาะสมของลักษณะของเนื้อหาหรือความรู้ที่นำมาใช้ในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา เช่น ตัวอย่างที่ 1 การทดลองเรื่องการนำความร้อนของวัสดุ ตัวอย่างที่ 2 การสำรวจหรือสังเกตการมองเห็นดาวฤกษ์และดาวเคราะห์จากชุดกิจกรรม และตัวอย่างที่ 4 การสังเกตและอภิปรายการทดลองเรื่องสภาพสมดุลจากวีดิทัศน์ การสำรวจตรวจสอบช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจปัญหา และเข้าใจแนวทางการแก้ปัญหาในเชิงลึก นำสู่การออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้

ประการที่ห้า การออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด แนวทางการแก้ปัญหาอาจเป็นชิ้นงานหรือขั้นตอนการแก้ปัญหา ขึ้นกับลักษณะของปัญหาที่วิเคราะห์จากสถานการณ์ ผู้เรียนร่างแบบชิ้นงานโดยระบุวัสดุที่ใช้ ขนาดของชิ้นงานแต่ละส่วน และข้อมูลอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงาน ในกรณีของวิธีการแก้ปัญหา ผู้เรียนจะระดมความคิดวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ พร้อมทั้งแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาดังกล่าว ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่ 1 ผู้เรียนร่างแบบของเล่นที่แสดงถึงการทำงานได้อย่างหลากหลาย โดยระบุขนาดของของเล่นแต่ละส่วน และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างของเล่น เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนจัดเตรียมอุปกรณ์โดยกลุ่มของผู้เรียน

ประการที่หก การสร้างและทดสอบชิ้นงานเป็นระยะ ๆ เพื่อปรับปรุงชิ้นงานให้บรรลุเงื่อน-

ไขและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น การปรับปรุงและแก้ไขแนวทางการแก้ปัญหาเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสร้างชิ้นงานให้บรรลุเงื่อนไขและข้อจำกัดที่เกิดขึ้นตลอดการดำเนินการ ดังตัวอย่างที่ 4 เมื่อผู้เรียนสร้างคานจากก้านพลาสติกและกำหนดระยะของจุดหมุน จุดที่วางยอ และจุดที่จะออกแรงยกแล้ว ผู้เรียนลองทดสอบความแข็งแรงของคานที่สร้างขึ้นว่า คานสามารถรับน้ำหนักที่กำหนดโดยไม่งอหรือไม่ หากพบว่าคานงอและไม่แข็งแรงเท่าที่ควร ผู้เรียนปรับแก้ไขโดยเพิ่มจำนวนก้านพลาสติกและมัดให้แน่นหนาขึ้น เมื่อมั่นใจว่าคานที่ปรับแก้ไขบรรลุเงื่อนไขและข้อจำกัด และลดความผิดพลาดที่มีโอกาสเกิดขึ้นแล้ว จะเริ่มขั้นทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานเป็นลำดับต่อไป

ประการที่เจ็ด การทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานจะช่วยให้ผู้เรียนทราบว่าผลของการดำเนินการแก้ปัญหาตามแนวทางการแก้ปัญหาที่ออกแบบนั้นสามารถแก้ไขปัญหาที่ระบุไว้ได้อย่างไร เนื่องจากแนวทางการแก้ปัญหาครอบคลุมทั้งลักษณะของชิ้นงานและวิธีการแก้ปัญหา การทดสอบประสิทธิภาพจึงทำได้แตกต่างกันดังนี้ ในกรณีของชิ้นงาน ผู้เรียนนำชิ้นงานที่สร้างขึ้นไปทดสอบว่าสามารถแก้ไขปัญหาที่ระบุไว้ได้อย่างไร บรรลุเงื่อนไขที่กำหนดได้ในระดับใด ดังตัวอย่างที่ 4 ที่มุ่งทดสอบและประเมินความสามารถในการยกยอ และแรงที่ใช้ในการยก จากการทดสอบคานที่สร้างขึ้น ทั้งนี้ การทดสอบประสิทธิภาพไม่ได้ดำเนินการโดยการทดสอบชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังสามารถทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของชิ้นงานโดยอาศัยการวิพากษ์โดยผู้ใช้หรือผู้เชี่ยวชาญ ดังตัวอย่างที่ 2 ผู้เรียนกลุ่มอื่น ๆ ร่วมกันวิพากษ์ชิ้นงานที่สร้างขึ้นเพื่อนช่วยให้มองกลุ่มดาวได้สอดคล้องกับนักดาราศาสตร์นั้นช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจได้ตามที่วางแผนไว้ได้หรือไม่ อย่างไร ส่วนแนวทางการแก้ปัญหาในลักษณะของวิธีการแก้ปัญหา ผู้เรียนสามารถทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาโดยดำเนินการตามขั้นตอนการแก้ปัญหาแล้วพิจารณาว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นได้รับการแก้ไขหรือไม่อย่างไร ผลการทดสอบแนวทางการแก้ปัญหาทั้งสองลักษณะจะช่วยให้ผู้เรียนทราบประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาตามแนวทางที่ออกแบบไว้และนำสู่การวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของแนวทางดังกล่าวเป็นลำดับถัดไป

ประการที่แปด การยอมรับความล้มเหลวของผลการทดสอบ และยอมรับผลการวิเคราะห์จุดแข็งและข้อควรปรับปรุงของชิ้นงานหรือแนวทางการแก้ปัญหาจะช่วยให้ผู้เรียนมีข้อมูลเป็นพื้นฐานในการปรับปรุงแนวทางการแก้ปัญหาให้สอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดมากขึ้น ทั้งนี้ การวิเคราะห์จุดแข็งและข้อควรปรับปรุงจะใช้ข้อมูลจากการทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานเป็นหลักฐานในการสะท้อนจุดแข็งและข้อควรปรับปรุง เพื่อลดอคติหรือความลำเอียงที่อาจเกิดขึ้นจากทัศนคติของผู้ประเมิน ดังตัวอย่างที่ 3 ผู้เรียนประเมินจุดแข็งและข้อควรปรับปรุงของกล่องเก็บความเย็นที่สร้างขึ้น โดยเปรียบเทียบขนาดของน้ำแข็งที่เหลือ และปริมาณน้ำที่อยู่ในภาชนะแก้วบรรจุน้ำแข็งที่เก็บอยู่ภายในกล่องเก็บความเย็นที่ผู้เรียนทุกกลุ่มสร้างขึ้น ผู้เรียนจะเปรียบเทียบลักษณะของกล่องเก็บความเย็นที่ส่งผลต่อขนาดของน้ำแข็งที่เหลือและปริมาณน้ำที่คงอยู่ในภาชนะ นำสู่การวิเคราะห์ว่า กล่องเก็บความเย็นควรมีลักษณะอย่างไรที่ช่วยในการรักษาความสดใหม่ของอาหารกลางวันตามที่ระบุในสถานการณ์

นอกจากนั้น ลักษณะสำคัญในประการนี้ ยังเป็นหลักฐานที่สะท้อนความรู้และทักษะในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องผ่านการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาของผู้เรียน

ประการที่เก้า การคำนึงถึงปัจจัยด้านอื่น ๆ ทั้งความคุ้มค่าของการสร้างชิ้นงาน ความเป็นมิตรกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ช่วยให้การออกแบบแนวทางการแก้ปัญหานำไปใช้ได้ในชีวิตจริง เนื่องจากการสร้างชิ้นงานในการแก้ปัญหาแต่ละครั้งมีต้นทุน ทั้งด้านเวลา ค่าใช้จ่าย และการใช้ทรัพยากรที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้น เพื่อให้การสร้างชิ้นงานไม่ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมและเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า ผู้เรียนหรือผู้สร้างชิ้นงานที่ช่วยในการแก้ปัญหาต้องคำนึงถึงผลกระทบที่จะตามมาจากการใช้ชิ้นงานในการแก้ปัญหาในชีวิตจริง ดังตัวอย่างที่ 3 ผู้สอนให้ผู้เรียนตระหนักถึงการใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างคุ้มค่าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เน้นการลดใช้กล่องโฟมซึ่งใช้เวลานานในการย่อยสลายตามธรรมชาติ

ประการสุดท้าย การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การทำงานเป็นทีม และการสื่อสาร เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้เรียนปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับสมาชิกกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการออกแบบและสร้างชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหาของสถานการณ์นั้น ๆ ผู้เรียนจะลงมือทำเป็นกลุ่มย่อย 4–6 คน ซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และประสบการณ์การแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน ความแตกต่างดังกล่าวนี้ช่วยให้ผู้เรียนได้แลกเปลี่ยนมุมมองและประสบการณ์ระหว่างสมาชิกในกลุ่ม นำสู่การระดมความคิดและเลือกแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ เหมาะสมและสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดในการแก้ปัญหา

ลักษณะสำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 10 ประการข้างต้น เป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยให้ผู้สอนออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาที่คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในบริบทจริงและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว หากผู้เรียนเผชิญปัญหาในลักษณะเดียวกันในชีวิตจริง จะสามารถดำเนินการแก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ผู้เรียนได้ฝึกฝนในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์

บทสรุป

แม้ว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะเป็นจุดเชื่อมของการบูรณาการความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาเพื่อแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการที่เกิดขึ้นในบริบทจริง ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบขึ้นกับการนิยามของกลุ่มคนและระดับความซับซ้อนของการนำไปใช้ (Pimthong and Williams, 2020) แต่ลักษณะสำคัญและความตระหนักในการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไปใช้นั้นมีลักษณะสำคัญทั้งหมด 10 ประการที่ผู้สอนควรตระหนักถึง และยังเป็นตัวกลางเชื่อมศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาเพื่อนำสู่การบูรณาการในการออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา (Bryan *et al.,* 2016; Capobianco *et al.,* 2013) ดังที่นำเสนอในบทความ ซึ่งเป็นการปฏิบัติเพื่อได้มาซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการของมนุษย์ โดยคำนึงถึงความคุ้มค่ากับการลงทุนและลงแรง และผลกระทบที่อาจมีต่อสภาพแวดล้อมเมื่อนำแนวทางการแก้ปัญหานั้นไปใช้ในบริบทจริงนอกชั้นเรียนวิทยา-

ศาสตร์ การส่งเสริมให้ผู้เรียนนำหรือประยุกต์แนวทางการแก้ปัญหาได้พัฒนาผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไปใช้ในชีวิตจริงได้นั้น ผู้สอนควรตระหนักถึงความสอดคล้องกับความเป็นจริงของสถานการณ์ปัญหาที่นักเรียนได้มีโอกาสเผชิญในชีวิตจริง ผู้เรียนมีบทบาทหลักในการสำรวจตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา แนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย และเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถดำเนินการได้ด้วยกลุ่มของผู้เรียนเองโดยใช้กระบวนการสื่อสาร การทำงานอย่างร่วมมือรวมพลัง และการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ตลอดจนดำเนินการสร้างทดสอบชิ้นงานเป็นระยะ ๆ เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น จากนั้นดำเนินการทดสอบ และประเมินแนวทางการแก้ปัญหาโดยใช้ผลการทดสอบเป็นข้อมูลในการปรับปรุงแนวทางการแก้ปัญหาให้สอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดมากขึ้น และที่สำคัญ ผู้เรียนต้องตระหนักถึงการความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์บูรณาการกับศาสตร์อื่น ๆ เพื่อออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สะเต็มศึกษาไม่ได้ทำให้ผู้เรียนละทิ้งความรู้ แต่เป็นการนำความรู้และทักษะในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องไปใช้แก้ปัญหา เพื่อเตรียมผู้เรียนให้ออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาในชีวิตจริงรอบตัวได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) หน่วยงานผู้ให้ทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (เลขที่สัญญา PHD/0147/2561) ในการสนับสนุนการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Antink–Meyer, A., and Brown, R. A. (2019). Nature of engineering knowledge. **Science & Education** 28(3-5): 539–559.

Battelle for Kids. (2019). **Framework for 21st Century Learning**. Retrieved from https://www.battelleforkids.org/networks/p21/frameworks-resources, October 6, 2020.

Bryan, L. A., Moore, T. J., Johnson, C. C., and Roehrig, G. H. (2016). **Integrated STEM Education** (pp. 23–37). New York: Routledge.

Burke, B. N. (2014). The ITEEA 6E learning by DeSIGN^{TM} model: Maximizing informed design and inquiry in the integrative STEM classroom. **Technology and Engineering Teacher** 73(6): 14–19.

Bybee, R. W. (2013). **The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities**. USA: NSTA.

Bybee, R. W., Tylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. V., Powell, J. C., Westbrook, A., and Landes, N. (2006). **The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness and Application**. Colorado: BSCS.

Capobianco, B. M., Nyquist, C., and Tyrie, N. (2013). Shedding light on engineering design. **Science and Children** 50(5): 58–64.

Chou, P., and Chen, W. (2017). Elementary school students' conceptions of engineers: A drawing analysis study in Taiwan. **International Journal of Engineering Ed-**

ucation 33(1): 476–488.

Engineering is Elementary (EIE). (2020). **Engineering Design Process**. Retrieved from https://www.eie.org/overview/engineering-designprocess, November 6, 2020.

Grubbs, M., and Strimel, G. (2015). Engineering design: The great integrator. **Journal of STEM Teacher Education** 50(1): 77–90.

Honey, M., Pearson, G., and Schweingruber, H. (Eds.). (2014). **STEM Integration in K–12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research**. Washington, DC: National Academies.

Iaolek, C., Butkatanyoo, O. and Samahito, C. (2019). Effects of science learning experience provision by using inquiry and engineering design process on young children's science communications. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 10(1): 79–93. (in Thai)

Johnson, C. C., Peters–Butron, E. E., and Moore, T. J. (2016). **STEM Road Map: A Framework for Integrated STEM Education**. New York: Routledge.

Johnson, C. C., Walton, J. B., and Peters–Burton, E. (2018). **STEM Road Map for High School**. Virginia: National Science Teacher Association.

Museum of Science, Boston. (2014). **Engineering in Elementary**. Retrieved from http://www.eie.org/, May 12, 2020.

National Research Council [NRC]. (2014). **STEM Integration in K–12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research**. USA: National Academies.

Organisation for Economic Co–operation and Development [OECD]. (2018). **The future of education and skills: Education 2030**. Retrieved from https://www.oecd.org/education/2030-project/, October 14, 2020.

Pimthong, P., and Williams, J. (2018). **Research report: Conceptual Framework for STEM Teacher Education Course**. Bangkok: Kasetsart University.

Pimthong, P., and Williams, J. (2020). Preservice teachers' understanding of STEM education. **Kasetsart Journal of Social Sciences** 41: 289–295.

Pleasants, J., and Olson, J. K. (2018). What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K–12 education. **Science Education** 103(1): 145–166.

Stohlmann, M., Moore, T. J., and Roehrig, G. H. (2012). Considerations for teaching integrated STEM education. **Journal of Pre–College Engineering Education Research (J–PEER)** 2(1): 28–34.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST]. (2015). **Standards of STEM education**. Bangkok: Success Publication. (in Thai)

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO]. (2016).

2014 Regional Study on Transversal Competencies in Education Policy and Practice (Phase II). Asia–Pacific Education Research Institutes Network (ERI–NET). Paris and Bangkok, UNESCO.

Vichaidit, C., and Faikhamta, C. (2017). Exploring orientations toward STEM education of pre–service science teachers. **Rajabhat Maha Sarakham University Journal** 11(3): 165–175. (in Thai)