

จากการรู้วิทยาศาสตร์และการสืบเสาะสู่สะเต็มศึกษาและการออกแบบ FROM SCIENTIFIC LITERACY AND INQUIRY TO STEM EDUCATION AND DESIGN

ลือชา ลดาชาติ^{1*} และลฎาภา ลดาชาติ²
Luecha Ladachart^{1*} and Ladapa Ladachart²

¹วิทยาลัยการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

²คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹School of Education, University of Phayao, Phayao, 56000, Thailand

²Faculty of Education, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: ladachart@gmail.com

บทคัดย่อ

ด้วยแรงกดดันทางเศรษฐกิจและสังคม สะเต็มศึกษาได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา บทความนี้มุ่งนำเสนอหลักการและเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงจุดเน้นของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ จากเดิมที่เป็น การรู้วิทยาศาสตร์มาเป็นสะเต็มศึกษา อันเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวทางการจัดการเรียนการสอน จากเดิมที่ เน้นการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มาเป็นการออกแบบเชิงวิศวกรรม บทความนี้นำเสนอบนพื้นฐานของการวิจัยและ ทฤษฎีการเรียนรู้ว่า การเรียนรู้โดยการออกแบบสามารถเป็นทางเลือกในการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็ม ศึกษา ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม อย่างไรก็ตาม ครูมีความท้าทายบาง ประการในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีการออกแบบเป็นฐาน

คำสำคัญ: สะเต็มศึกษา การเรียนรู้โดยการออกแบบ การเรียนรู้ที่มีการออกแบบเป็นฐาน การออกแบบเชิง วิศวกรรม

Abstract

Because of economic and social pressure, STEM education has gained more attention in recent years. This article aims at presenting the rationale of the changing focus on science education from scientific literacy to STEM education, resulting in a change in an instructional approach from scientific inquiry to engineering design. This article presents based on empirical research and contemporary theories of learning that learning by design can be an alternative learning approach to STEM education, which students can learn science through engineering design processes. However, teachers have some challenges to conduct design-based learning activities.

Keywords: STEM education, Learning by design, Design-based learning, Engineering design

บทนำ

เมื่อเร็วๆ นี้ รัฐบาลได้ประกาศนโยบาย “ประเทศไทย 4.0” (The Secretariat of the House of Representatives, 2016, p. 2) ซึ่งมุ่งเน้น “การปฏิรูปโครงสร้างทางเศรษฐกิจที่เน้นการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยี” นโยบายนี้ต้องการขับเคลื่อนประเทศไทยให้ก้าวพ้นจาก “กับดักรายได้ปานกลาง” (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2014) โดยประเทศไทยจำเป็นต้องเร่งพัฒนาความสามารถในการผลิตและส่งออกสินค้าเชิงนวัตกรรมให้มากขึ้น แทนการผลิตและส่งออกสินค้าโภคภัณฑ์ดั้งเดิมในอดีตที่ผ่านมา เนื่องจากการผลิตนวัตกรรมต้องอาศัยทรัพยากรบุคคลที่มีความสามารถ แต่ประเทศไทยยังขาดบุคลากร “ระดับมัธยมศึกษาที่สามารถประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือ/อุปกรณ์ต่างๆ ที่เป็นตราสัญลักษณ์ของตนเองได้” (Homhol & Kanjanasakda, 2009, p. 80) กระทรวงศึกษาธิการจึงมีนโยบายส่งเสริมการพัฒนานักเรียนด้านการสร้างนวัตกรรม (Ramasuta & Rohitsthean, 2016)

“สะเต็มศึกษา” (STEM education) เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่มุ่งปูพื้นฐานให้นักเรียนมีความสามารถด้านการสร้างนวัตกรรม (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2014; Cotabish, et al., 2013) คำว่า “สะเต็ม” (STEM) มาจากอักษรตัวแรกของ 4 สาขาวิชาที่เป็นพื้นฐานในการสร้างนวัตกรรม ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) (Chanprasert, 2014) สะเต็มศึกษาจึงเป็นการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการบูรณาการ 4 สาขาวิชาเหล่านี้ (Kijkuakul, 2015) โดยมีกรอบออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็น “หัวใจหลักของการเรียนรู้” (Chanprasert, 2014) ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้และประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่แก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการของมนุษย์ (Kelly & Knowles, 2016)

เนื่องจากสะเต็มศึกษาเป็นเรื่องใหม่ หลายฝ่ายจึงอาจมีแนวคิดต่อสะเต็มศึกษาแตกต่างกันไป (Prasertsan, 2015; Bybee, 2010; English, 2016) แนวคิดที่ต่างกันอาจสร้างความสับสนและความกังวลให้กับครู (Nadelson, et al., 2013) ว่า การบูรณาการ 4 สาขาวิชาจะช่วยให้นักเรียนประสบผลสำเร็จตามมาตรฐานการเรียนรู้ในแต่ละวิชาหรือไม่ (Wang, et al., 2011) บทความนี้นำเสนอทางเลือกหนึ่งในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษา บทความนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการทำความเข้าใจแนวทางการจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในอดีตที่ผ่านมา มีข้อจำกัดอย่างไร และสะเต็มศึกษาเข้ามาเติมเต็มข้อจำกัดนั้นอย่างไร ส่วนที่ 2 นำเสนอแนวทางการจัดการเรียนการสอนโดยการออกแบบในฐานะทางเลือกหนึ่งของสะเต็มศึกษา ส่วนที่ 3 เป็นการทบทวนงานวิจัยที่ใช้กิจกรรมการออกแบบเพื่อพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน และส่วนที่ 4 เป็นการสรุปความท้าทายในการนำสะเต็มศึกษาสู่การปฏิบัติ

ภูมิหลัง: การรู้วิทยาศาสตร์และการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

ในอดีตจนถึงปัจจุบัน เป้าหมายหลักของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์คือการส่งเสริม “การรู้วิทยาศาสตร์” (Scientific literacy) ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนทุกคนสามารถดำรงชีวิตและมีส่วนร่วมในสังคมที่เต็มไปด้วยอิทธิพลของวิทยาศาสตร์ได้ (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2013) แนวคิดนี้เกิดขึ้นในสหรัฐอเมริกาหลังจากที่สหภาพสาธารณรัฐสังคมนิยมโซเวียตส่งดาวเทียม “สปุตนิก” (Sputnik) ไปโคจรรอบโลกได้สำเร็จ (Hurd, 1958) ความสำเร็จนี้ทำให้สหรัฐอเมริกาเกิดความตระหนักว่า ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ของตนเองล้าหลังและไม่ทัดเทียมกับประเทศคู่แข่ง พรรคการเมืองจึงหยิบยกประเด็นนี้เป็นนโยบายว่า พลเมืองทุกคนต้องได้รับการศึกษาวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานอย่างทั่วถึง ทั้งนี้เพราะในสังคมประชาธิปไตย

ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์จะเกิดขึ้นไม่ได้ หากพลเมืองไม่รู้ ไม่เข้าใจ และไม่สนับสนุนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ การรู้วิทยาศาสตร์จึงเป็นแนวคิดที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากทฤษฎีการเรียนรู้ หากแต่เกิดขึ้นจาก “คำขวัญ” (Slogan) เพื่อสร้างความตระหนักให้กับผู้คนในสังคม ก่อนที่แนวคิดนี้จะได้รับการต่อยอดทางทฤษฎีและขยายไปยังประเทศอื่นๆ

จากแนวคิดข้างต้น นักการศึกษาพยายามคิดค้นแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่จะทำให้นักเรียนเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ ด้วยความตระหนักว่า การรู้วิทยาศาสตร์มีความหมายมากกว่าการมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ หากแต่ยังหมายถึงการมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วย (DeBoer, 2000) การบรรยายที่มุ่งเน้นเพียงแค่ว่าความรู้จึงไม่ตอบโจทย์อีกต่อไป ในช่วงเวลาเดียวกันนี้ ทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยม (Constructivist theory of learning) ได้รับความสนใจมากขึ้น ทฤษฎีนี้อธิบายว่า ความรู้ไม่ใช่สิ่งที่ใครจะให้หรือรับกันได้ ความรู้เป็นสิ่งที่แต่ละบุคคลสร้างขึ้นจากประสบการณ์ของตนเอง ดังนั้น นักเรียนจึงมีความรู้เดิมเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ อันเป็นผลมาจากประสบการณ์ในอดีต ซึ่งมักคลาดเคลื่อนไปจากความรู้ที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ (Allen, 2004) การเรียนรู้จึงไม่ใช่การรับความรู้ แต่เป็นการสร้างความรู้ใหม่บนพื้นฐานของความรู้เดิม (Yager, 1991)

ด้วยความตระหนักถึงข้อจำกัดของการจัดการเรียนการสอนแบบบรรยาย เป้าหมายของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ไม่ใช่แค่ความรู้ และความเข้าใจที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้นเกี่ยวกับธรรมชาติของการเรียนรู้ นักการศึกษาจึงเชื่อว่า แนวทางการจัดการเรียนการสอนที่จะช่วยพัฒนานักเรียนให้เป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์ก็คือการส่งเสริมให้นักเรียนได้ทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) ซึ่งนักเรียนจะได้ตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ วางแผนและดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างข้อสรุปบนพื้นฐานของข้อมูล (National Research Council, 1996) แนวทางนี้สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยม ซึ่งเชื่อว่า หากนักเรียนได้ทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และได้รับข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกับความรู้เดิมของตนเองแล้ว ข้อมูลนั้นจะช่วยให้นักเรียนเห็นข้อจำกัดของความรู้เดิมของตนเอง อันจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงความรู้เดิมนั้นให้สอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น (Posner, et al., 1982)

สืบเนื่องมาจากทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยม ทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยมทางสังคม (Social constructivist theory of learning) ได้ให้มุมมองเพิ่มเติมว่า กระบวนการทางสังคมสามารถทำให้การเรียนรู้ (ซึ่งในที่นี้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงความรู้เดิม) เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากนักเรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น โดยเฉพาะผู้ที่มีความรู้ ทักษะ และประสบการณ์มากกว่าตนเอง (Vygotsky, 1978) ทฤษฎีนี้ให้ความสำคัญกับกระบวนการทางสังคมรูปแบบต่างๆ ที่มีภาษาเป็นสื่อกลางระหว่างนักเรียนกับผู้อื่น ไม่ว่าจะเป็นการให้คำแนะนำ การสาธิต การเป็นแบบอย่าง การอภิปราย และการให้ข้อมูลย้อนกลับ (Wertsch, 1985) ดังนั้น ในระหว่างที่นักเรียนทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนควรมีโอกาสได้แลกเปลี่ยนความคิด ให้เหตุผล ชี้แจง หรือแม้กระทั่งโต้แย้ง เพื่อสร้างข้อสรุปที่น่าเชื่อถือร่วมกับผู้อื่น (Driver, et al., 2000) ภาษาและปฏิสัมพันธ์ทางสังคมมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน (Mortimer & Scott, 2003)

ต่อยอดมาจากทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยมทางสังคมคือทฤษฎีการเรียนรู้ในสถานการณ์ (Situational theory of learning) ซึ่งอธิบายว่า ความรู้ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างอิสระจากบริบททางสังคมและวัฒนธรรม การเรียนรู้จำเป็นต้องเกิดขึ้นใน “สถานการณ์จริง” (Authentic situation) ภายใต้ค่านิยมและวัฒนธรรมในสังคม (Lave & Wenger, 1991) การเรียนรู้จึงไม่ใช่แค่การปรับเปลี่ยนความรู้เดิมให้สอดคล้องกับความรู้ที่เป็นที่ยอมรับในสังคม แต่เป็นการพัฒนาความสามารถในการมีส่วนร่วมในบริบททางสังคมของผู้ซึ่งมีความรู้ (Wenger, 1998) นักเรียนต้องเรียนรู้ที่จะประเมินและจัดการกับสถานการณ์จริงในบริบททางสังคมที่ซับซ้อน ซึ่งอาจเริ่มต้นจากการเรียนรู้ใน

สถานการณ์ที่ซับซ้อนน้อยไปสู่สถานการณ์ที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยมีผู้รู้ในบริบททางสังคมนั้นให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด ดังนั้น หากนักเรียนจะได้รับการพัฒนาให้เป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์ที่สามารถมีส่วนร่วมในสังคมของนักวิทยาศาสตร์ นักเรียนควรได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์จากการมีส่วนร่วมและฝึกปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ในสถานการณ์จริง (NGSS Lead States, 2013)

จากทั้ง 3 ทฤษฎีการเรียนรู้ข้างต้น นักเรียนจึงควรได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านการทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในบริบททางสังคมและวัฒนธรรมที่เป็นวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เพราะไม่เพียงแค่นักเรียนจะได้นำหลักฐานจากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มาปรับเปลี่ยนความรู้เดิมของตนเองแล้ว นักเรียนยังจะได้พัฒนาทักษะต่างๆ (เช่น การใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และการจัดกระทำข้อมูลทางวิทยาศาสตร์) ฝึกปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์ (เช่น การตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ และการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์) และซึมซับค่านิยมที่เป็นที่ยอมรับในชุมชนทางวิทยาศาสตร์ (เช่น การให้ความสำคัญกับหลักฐาน และการรับฟังการตีความหลักฐานด้วยมุมมองที่หลากหลาย) สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งจำเป็นต่อการมีส่วนร่วมในสังคมยุคปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ ความพยายามตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันจึงเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้พัฒนาความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ผ่านการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ พร้อมๆ กับการปลูกฝังเจตคติและค่านิยมทางวิทยาศาสตร์

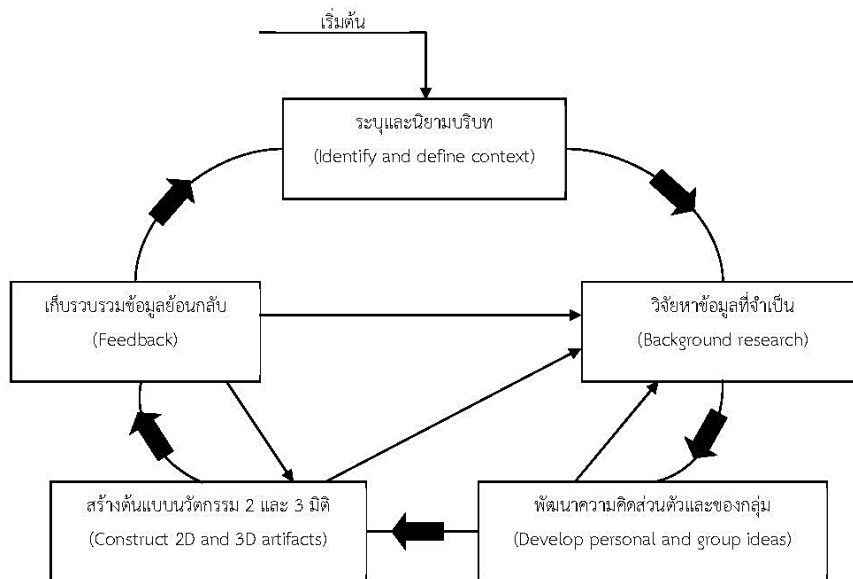
แม้การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์สามารถส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์หลายด้าน และมีทฤษฎีการเรียนรู้ต่างๆ ให้การสนับสนุน แต่แนวทางนี้ยังคงมีข้อจำกัดบางอย่าง เนื่องจากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มีเป้าหมายเพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ (Lederman, et al., 2014) ซึ่งบ่อยครั้งเป็นคำถามทางทฤษฎี เช่น เหตุใดดวงจันทร์จึงมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละคืน เหตุใดเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่จึงลอยน้ำ และเหตุใดสิ่งมีชีวิตต่างๆ จึงมีลักษณะแตกต่างกัน คำถามเหล่านี้แม้มีความน่าสนใจในตัวเอง แต่ก็อาจไกลตัวจนทำให้นักเรียนไม่มีความสนใจมากพอในการตอบคำถามเหล่านั้น (Edelson, et al., 1999) นักเรียนอาจไม่เห็นคุณค่าว่า ความรู้จากการตอบคำถามเหล่านั้นมีประโยชน์ในชีวิตจริงอย่างไร (Mehalik, et al., 2008) นักการศึกษาจึงพยายามหาแนวทางการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่จะตอบโจทย์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันของนักเรียนมากขึ้น

แนวทางปัจจุบัน: สะเต็มศึกษาและการออกแบบเชิงวิศวกรรม

สะเต็มศึกษาได้รับการกล่าวถึงมากขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา แนวคิดนี้มีจุดเริ่มต้นไม่แตกต่างไปจากการรู้วิทยาศาสตร์ ท่ามกลางความถดถอยหรือการชะลอตัวทางเศรษฐกิจที่สหรัฐอเมริกากำลังเผชิญ ผสมกับความเจริญทางเศรษฐกิจของประเทศกำลังพัฒนาอื่นๆ เช่น สาธารณรัฐประชาชนจีน และสาธารณรัฐเกาหลี แนวคิดสะเต็มศึกษาเกิดขึ้นจากแรงกดดันทางเศรษฐกิจและสังคม (Williams, 2011) ซึ่งสหรัฐอเมริกามีความกังวลว่า ตนเองอาจต้องเผชิญกับวิกฤติทางเศรษฐกิจที่รุนแรงขึ้น หากพลเมืองไม่ได้รับการส่งเสริมความสามารถทางด้านสะเต็มเพื่อสร้างนวัตกรรม เทคโนโลยี หรือผลิตภัณฑ์ที่สามารถแข่งขันทางเศรษฐกิจกับประเทศอื่นในตลาดโลก (National Research Council, 2011) ในทางกลับกัน นักเรียนชาวอเมริกันมีแนวโน้มที่จะให้ความสนใจในการศึกษาต่อด้านสะเต็มน้อยลง แนวคิดสะเต็มศึกษาจึงเกิดขึ้นมาจากคำขวัญเพื่อรณรงค์ให้นักเรียนสนใจการเรียนรู้ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มมากขึ้น (Bybee, 2010)

ด้วยความต้องการให้นักเรียนเห็นว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีประโยชน์ในชีวิตประจำวัน นักการศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะนำการออกแบบ (Design) มาเป็นบริบทในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน (Kelly & Knowles, 2016) แทนการใช้คำถามทางทฤษฎีเพื่อให้นักเรียนทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ในการนี้นักเรียนจะถูกท้าทายด้วยปัญหาที่นักเรียนสามารถรับรู้ได้ในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนออกแบบสิ่งต่างๆ

เช่น รถ (Kolodner, et al., 2003) เครื่องร่อน (English & King, 2015) ที่ปัก (Dankenbring & Capobianco, 2016) ปั่นจั่น (Korur, et al., 2017) เรือ (Park, et al., 2016) ทศานุอุปกรณ์ (King & English, 2016) และระบบแจ้งเตือนไฟฟ้า (Mehalik, et al., 2008) ซึ่งต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับความรู้ในศาสตร์สาขาอื่น เนื่องจากการออกแบบเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการสร้างนวัตกรรม (Cotabish, et al., 2013) แนวคิดนี้จึงได้รับความสนใจในฐานะทางเลือกที่ตอบโจทย์นโยบายสะเต็มศึกษา (Kelly & Knowles, 2016)

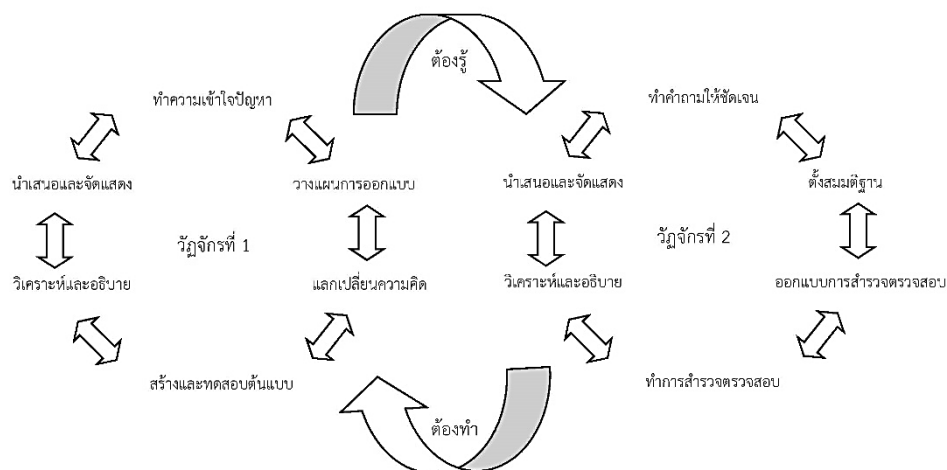


ภาพ 1 วิถีการเรียนรู้ที่มีการออกแบบเป็นฐาน

ตัวอย่างเช่น Fortus, et al. (2005, pp. 859-860) ได้พัฒนารูปแบบ “การเรียนรู้ที่มีการออกแบบเป็นฐาน” (Design-based learning) ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (ดังภาพ 1) โดยขั้นตอนที่ 1 คือ การระบุและนิยามบริบท (Identify and define context) ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาที่นักเรียนจะต้องออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาในขั้นตอนที่ 2 คือ การที่นักเรียนทำวิจัยและสืบค้น (Background research) เพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบนวัตกรรม ขั้นตอนที่ 3 คือ การที่นักเรียนนำข้อมูลที่จำเป็นมาพัฒนาเป็นความคิดต่างๆ (Develop ideas) เกี่ยวกับนวัตกรรมที่เป็นไปได้ ขั้นตอนที่ 4 คือ การที่นักเรียนสร้างนวัตกรรมต้นแบบ (Construct artifacts) และขั้นตอนที่ 5 คือ การนำนวัตกรรมต้นแบบนั้นไปทดสอบว่าสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ ซึ่งนักเรียนจะได้ข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) เพื่อปรับปรุงนวัตกรรมต้นแบบนั้นให้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ นักเรียนไม่จำเป็นต้องปฏิบัติตามลำดับขั้นตอนอย่างเคร่งครัด นักเรียนสามารถย้อนกลับไปทำวิจัยและสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมได้ทุกเมื่อ (Fortus et al., 2004)

ในทำนองเดียวกัน Kolodner, et al. (2003, p. 511) ได้พัฒนารูปแบบ “การเรียนรู้โดยการออกแบบ” (Learning by Design™) ซึ่งประกอบด้วย 2 วิถีการที่เกิดขึ้นควบคู่กันไป (ดังภาพ 2) วิถีการที่ 1 คือ วิถีการการออกแบบซ้ำๆ ซึ่งนักเรียนต้องออกแบบและสร้างนวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ส่วนวิถีการที่ 2 คือ วิถีการการสำรวจตรวจสอบ ซึ่งนักเรียนต้องทำการสืบเสาะเพื่อให้ได้ความรู้และข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบนวัตกรรมนั้น การเรียนรู้โดยการออกแบบเริ่มต้นขึ้นในวิถีการที่ 1 โดยครูหยิบยกปัญหาในชีวิตจริงมาทำ

ทายนักเรียน จากนั้น นักเรียนจึงทำความเข้าใจปัญหา เช่น สิ่งที่ต้องทำ ข้อจำกัด และเงื่อนไขความสำเร็จ แล้วนักเรียนจึงใช้ความรู้เดิมของตนเองในการออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหา ในระหว่างนี้ นักเรียนอาจตระหนักว่า ตนเองยังมีความรู้เดิมที่ไม่เพียงพอในการออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหานั้นได้ ความตระหนักนี้จึงนำไปสู่คำถามที่เป็นจุดเริ่มต้นของการสำรวจตรวจสอบในวัฏจักรที่ 2



ภาพ 2 วัฏจักรการเรียนรู้โดยการออกแบบ

เมื่อนักเรียนเกิดคำถามขึ้นในระหว่างการออกแบบนวัตกรรม ซึ่งนักเรียนแต่ละกลุ่มไม่จำเป็นต้องมีคำถามเดียวกัน คำถามนั้นจะนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบในวัฏจักรที่ 2 ในครั้งนี้ นักเรียนต้องทำคำถามนั้นให้ชัดเจนในรูปแบบที่ตนเองสามารถหาคำตอบได้ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม จากนั้นนักเรียนจึงตั้งสมมติฐาน วางแผนและดำเนินการสำรวจตรวจสอบ จนกระทั่งได้ผลที่เป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากนักเรียนแต่ละกลุ่มไม่ได้ทำการสำรวจตรวจสอบเรื่องเดียวกัน นักเรียนแต่ละกลุ่มจึงสามารถนำผลจากการสำรวจตรวจสอบของตนเองมาแลกเปลี่ยนกัน จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มก็นำผลเหล่านั้นมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างนวัตกรรมในวัฏจักรที่ 1 เมื่อนักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างนวัตกรรมเสร็จแล้ว นักเรียนจึงทำการทดสอบนวัตกรรมนั้นตามเงื่อนไขความสำเร็จ จากนั้น นักเรียนก็นำเสนอและอภิปรายผลการทดสอบกับเพื่อนร่วมชั้น ทั้งนี้เพื่อพัฒนานวัตกรรมนั้นให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

การใช้การออกแบบเป็นบริบทในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ต่างๆ ในแง่ของทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยม นักเรียนได้ใช้ความรู้เดิมในการร่างและออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหา (King & English, 2016) และนำผลจากการสำรวจตรวจสอบมาปรับเปลี่ยนความรู้เดิมนั้นให้สอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น (Dankenbring & Capobianco, 2016) ในแง่ของทฤษฎีการเรียนรู้สรณนิยมทางสังคม การออกแบบเป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกันและมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน (English & King, 2015) ซึ่งช่วยยกระดับการเรียนรู้ของนักเรียน (King & English, 2016) และในแง่ของทฤษฎีการเรียนรู้ในสถานการณ์ การออกแบบสร้างสถานการณ์จริงให้นักเรียนได้ฝึกแก้ปัญหา ซึ่งนักเรียนได้เรียนรู้ลักษณะงานและค่านิยมที่แฝงอยู่ในการปฏิบัติงาน (Capobianco, et al., 2011; 2015) เนื่องจากการออกแบบต้องอาศัยความรู้

ทางวิทยาศาสตร์ การออกแบบจึงช่วยให้นักเรียนเห็นว่า ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีประโยชน์ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอย่างไร

ผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จากกิจกรรมการออกแบบ

ตามทฤษฎีการเรียนรู้แล้ว การออกแบบเป็นกิจกรรมที่เอื้อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ เพราะในระหว่างที่นักเรียนกำลังออกแบบเพื่อสร้างนวัตกรรมในการแก้ปัญหา นักเรียนต้องหาข้อมูลที่จำเป็นและ/หรือทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ผลจากการสืบเสาะจะช่วยให้ นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบนั้น อย่างไรก็ตาม แม้จะได้ศึกษาได้รับการกล่าวถึงมากในประเทศไทย แต่งานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ศึกษาผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากกิจกรรมการออกแบบแทบไม่มีปรากฏ ถึงกระนั้นก็ตาม นักวิจัยในต่างประเทศเริ่มให้ความสนใจในการศึกษาผลของกิจกรรมการออกแบบต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนอย่างจริงจังมากขึ้น (Cotabish, et al., 2013; Dankenbring & Capobianco, 2016; Fortus, et al., 2004; King & English, 2016; Kolodner, et al., 2003; Korur, et al., 2017; Mehalik, et al., 2008; Park, et al., 2016; Wendell & Lee, 2010; Wendell & Roger, 2013) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

จากการให้นักเรียนชั้น ม.3 และ ม.4 จำนวน 92 คน ทำกิจกรรม “การเรียนรู้ที่มีการออกแบบเป็นฐาน” และติดตามผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนด้วยแบบทดสอบทั้งก่อนและหลังเรียน Fortus, et al. (2004) พบว่า นักเรียนมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยความรู้ที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดขึ้นทั้งในกรณีของนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงและนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ ในขณะเดียวกัน การวิเคราะห์แบบจำลองและโปสเตอร์ที่นักเรียนสร้างขึ้นในระหว่างการออกแบบยังเปิดเผยด้วยว่า นักเรียนสามารถนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้ ทั้งนี้เพราะการเรียนรู้ที่มีการออกแบบเป็นฐาน เป็นกิจกรรมที่ทำให้นักเรียนรู้สึกเป็นเจ้าของและเป็นผู้กำหนดการเรียนรู้ของตนเอง นักเรียนจึงสามารถสร้างปรับเปลี่ยน และปรับปรุงนวัตกรรมต้นแบบ ในระหว่างที่นักเรียนพัฒนานวัตกรรมต้นแบบ นักเรียนก็ได้พัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกัน

ในการวิจัยและพัฒนา รูปแบบ “การเรียนรู้โดยการออกแบบ” กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นในช่วง ปี ค.ศ. 1999-2000 Kolodner, et al. (2003) ได้ศึกษาผลการเรียนรู้ 3 ด้าน (ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะการเรียนรู้) ของนักเรียน ผลปรากฏว่า การเรียนรู้โดยการออกแบบช่วยให้นักเรียนกลุ่มทดลองเรียนรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์ได้เท่ากับหรือดีกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม โดยความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นมากที่สุดในกรณีของนักเรียนที่ด้อยโอกาสทางด้านเศรษฐกิจและสังคมและนักเรียนที่ทำคะแนนก่อนเรียนได้ต่ำที่สุด นอกจากนี้ การเรียนรู้โดยการออกแบบยังช่วยให้นักเรียนกลุ่มทดลองมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (เช่น การออกแบบการทดลอง การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล) และทักษะการเรียนรู้ (เช่น การทำงานร่วมกับผู้อื่น และการขึ้นนำการเรียนรู้ของตนเอง) สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Koror, et al. (2015) ศึกษาผลการเรียนรู้ของนักเรียนชั้น ม.1 ทั้งด้านความรู้เกี่ยวกับเครื่องกลอย่างง่าย เจตคติต่อเนื้อหาวิชา และเจตคติต่อความคิดสร้างสรรค์ จำนวน 65 คน ซึ่งเป็นกลุ่มทดลอง 31 คน และกลุ่มควบคุม 34 คน โดยนักเรียนกลุ่มทดลองได้ทำกิจกรรมการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องมือผ่อนแรงที่มีเครื่องกล 3 ชนิด เป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้ นักเรียนต้องสืบค้นหรือทดลองเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องกลแต่ละชนิดด้วยตนเองโดยมีครูให้การสนับสนุน ในขณะที่นักเรียนกลุ่มควบคุมทำการสร้างเครื่องมือผ่อนแรงภายใต้การขึ้นนำของครู ผลการวิจัยเปิดเผยว่า นักเรียนทั้ง 2 กลุ่มมีพัฒนาการที่ดีขึ้นทั้ง 3 ด้าน อย่างไรก็ตาม นักเรียนกลุ่มทดลองทำคะแนนหลังเรียนด้านความรู้และเจตคติต่อความคิดสร้างสรรค์ได้ดีกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม ในขณะที่เจตคติต่อเนื้อหาวิชา

ของทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการจัดการเรียนการสอนโดยครูคนเดียวกัน ผลการวิจัยนี้จึงบอกเป็นนัยว่า การให้อิสระแก่นักเรียนในการคิดออกแบบและทดสอบความคิดของตนเองช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ด้านความรู้และความคิดสร้างสรรค์ได้ดีกว่าการชี้นำโดยครู

อย่างไรก็ดี งานวิจัยบางเรื่องไม่ได้ให้ผลเชิงบวกต่อการจัดการเรียนการสอนโดยการออกแบบมากนัก ดังเช่นที่ Damkenbring & Capobianco (2016) เปรียบเทียบความเข้าใจทางดาราศาสตร์ของนักเรียน 2 กลุ่ม (กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม) โดยนักเรียนกลุ่มทดลองได้รับมอบหมายให้ออกแบบที่พักที่ไม่มีแสงแดดส่องถึงตลอดทั้งปี ซึ่งต้องอาศัยความเข้าใจเกี่ยวกับสุริยวิถี ในขณะที่นักเรียนกลุ่มควบคุมได้อ่านใบความรู้ สรุปความคิดรวบยอด และสร้างแบบจำลอง ผลการวิจัยเปิดเผยว่า แม้นักเรียนกลุ่มทดลองทำคะแนนก่อนเรียนได้ต่ำกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม แต่นักเรียนทั้ง 2 กลุ่มทำคะแนนหลังเรียนได้เพิ่มขึ้น โดยคะแนนที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสรุปว่า กิจกรรมการออกแบบ “ไม่จำเป็นต้องขัดขวาง” (p. 842) การพัฒนาความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน แต่กระนั้น ครูจำเป็นต้องประเมินและส่งเสริมความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นระยะๆ ในระหว่างที่นักเรียนกำลังทำกิจกรรมการออกแบบ

Wendell and Lee (2010) ทำการศึกษารายกรณีกับนักเรียนชั้น ป.3 จำนวน 9 คน ที่ทำการออกแบบและสร้างบ้านจำลอง ทั้งนี้เพื่อพิจารณาว่า นักเรียนเหล่านี้ได้เรียนรู้อะไรเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุต่างๆ ในการนี้นักเรียนจะได้ศึกษาสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด ออกแบบและสร้างบ้านจำลอง และทดสอบบ้านจำลองว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ (ได้แก่ ความแข็งแรง การป้องกันเสียงจากภายนอก และการรักษาอุณหภูมิภายในที่เหมาะสม) จากการสัมภาษณ์และการพิจารณาสมุดบันทึกของนักเรียน ผู้วิจัยพบว่า ในขณะที่ยังมีการออกแบบเป็นฐานสามารถปรับปรุงความสามารถของนักเรียนในการสร้าง ทดสอบ และตัดสินใจเลือกวัสดุได้ แต่การเรียนรู้ของนักเรียนถูกกีดขวางโดยข้อจำกัดด้านความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุ (เช่น ความร้อน และอุณหภูมิ) อย่างไรก็ตาม นักเรียนที่มีการจดบันทึกอย่างสม่ำเสมอมีผลการเรียนรู้ได้ดีกว่านักเรียนที่ไม่ได้จดบันทึก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การจดบันทึกความคิดของตนเองมีบทบาทสำคัญในการเรียนรู้จากกิจกรรมการออกแบบ

Wendell and Rogers (2013) ใช้การออกแบบสิ่งต่างๆ (เช่น สัตว์ บ้าน พาหนะขนส่ง และเครื่องดนตรี) ด้วยตัวต่อเลโก้เป็นบริบทในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับชั้น ป.3 และ ป.4 เรื่อง โครงสร้างร่างกายของสัตว์ สมบัติของวัสดุ เครื่องกลอย่างง่าย และเสียง ตามลำดับ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยข้อสอบและแบบวัดเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยปรากฏว่า นักเรียนมีความรู้ด้านเนื้อหาและเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ที่ดีขึ้น นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ผ่านการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติ กลุ่มทดลองมีการปรับปรุงความรู้ด้านเนื้อหามากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทุกเรื่อง ยกเว้นเรื่องเสียงที่แม้กลุ่มทดลองทำได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม แต่ความแตกต่างนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะเดียวกัน นักเรียนทั้ง 2 กลุ่มมีเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ไม่แตกต่างกัน ผลการวิจัยนี้บอกเป็นนัยว่า กิจกรรมการออกแบบอาจไม่ได้เหมาะสมกับทุกเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์

จากตัวอย่างงานวิจัยข้างต้น กิจกรรมการออกแบบช่วยส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์หลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นความรู้ (Fortus, et al., 2004; Kolodner, et al., 2003; Koror, et al., 2015; Wendell & Rogers, 2013) การประยุกต์ใช้ความรู้ (Fortus, et al., 2004; Wendell & Lee, 2010) ทักษะกระบวนการ (Kolodner, et al., 2003) เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ (Koror, et al., 2015; Wendell & Rogers, 2013) ความคิดสร้างสรรค์ (Koror, et al., 2015) และทักษะการเรียนรู้ (Kolodner, et al., 2003) นอกจากนี้ การเรียนรู้โดยการออกแบบยังช่วยลดช่องว่างระหว่างนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำกับนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์สูงอีกด้วย (Fortus, et al., 2004; Mehalik, et al., 2008) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดการเรียนการสอนรูปแบบอื่น (เช่น การสืบเสาะที่มีครูชี้นำ และการ

สร้างแบบจำลอง) การเรียนรู้โดยการออกแบบอาจไม่ได้ดีกว่าเสมอไปในการส่งเสริมการเรียนรู้บางด้าน เช่น ความเข้าใจเชิงแนวคิด (Damkenbring & Capobianco, 2016; Park, et al., 2016; Wendell & Lee, 2010) และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ (Koror, et al., 2015) งานวิจัยที่ศึกษาผลของกิจกรรมการออกแบบต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้านต่างๆ ยังคงเป็นที่ต้องการ

นักเรียนกับการออกแบบเชิงวิศวกรรม

สำหรับครูวิทยาศาสตร์ที่กังวลใจในการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา การวิจัยข้างต้นคงพอแสดงให้เห็นว่า การเรียนรู้โดยการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถเป็นแนวทางหนึ่งที่ตอบโจทย์นโยบายสะเต็มศึกษา ซึ่งนักเรียนสามารถเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้จากกิจกรรมการออกแบบ อย่างไรก็ตาม ครูจำเป็นต้องตระหนักว่า เป้าหมายหลักของสะเต็มศึกษาไม่ใช่แค่การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หากแต่เป็นความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2014; Cotabish, et al., 2013) ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนพร้อมที่จะเผชิญและจัดการกับปัญหาด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้อย่างเหมาะสม (National Research Council, 2011) ดังนั้น นอกเหนือจากการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ นักเรียนต้องเรียนรู้และฝึกปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบเชิงวิศวกรรมควบคู่กันไปด้วย (NGSS Lead States, 2013)

แม้การเรียนรู้โดยการออกแบบสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ต่างๆ เป็นอย่างดี แต่การให้นักเรียนฝึกออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริงไม่ใช่เรื่องง่าย งานวิจัยจำนวนหนึ่งเปิดเผยว่า นักเรียนมักมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Atman, et al., 2007) โดยนักเรียนมักทำการออกแบบในลักษณะของ “การลองผิดลองถูก” (Prasertsan, 2015, p. 19) มากกว่าการใช้ความคิดอย่างเป็นระบบในการเลือกแนวคิดเพื่อออกแบบ สร้าง และประเมินนวัตกรรมที่แก้ปัญหา และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ดังเช่นที่ นักออกแบบมีอาชีพทำ (Dym, et al., 2005) ในกรณีนี้ Crismond (2013) ได้สรุปพฤติกรรม การออกแบบที่มักพบได้บ่อยในกรณีของนักออกแบบมือใหม่ ซึ่งมีก

1. มองปัญหาอย่างผิวเผิน และออกแบบนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหานั้นในทันที
2. ศึกษา ระดมความคิด และหาข้อมูลเพียงเล็กน้อยก่อนการออกแบบนวัตกรรม
3. ยึดติดกับแนวคิดใดแนวคิดหนึ่งในการออกแบบนวัตกรรม และละเลยการพิจารณาแนวคิดทางเลือกอื่น ๆ

4. ไม่ชั่งน้ำหนักข้อดีข้อเสียของแต่ละแนวคิดในการออกแบบนวัตกรรม และไม่ตระหนักถึงเหตุผลที่ตนเองตัดสินใจเลือกนวัตกรรม

5. ไม่ค่อยทำการทดสอบนวัตกรรมต้นแบบ หรือหากทำ การทดสอบนั้นไม่ค่อยเป็นระบบเพียงพอที่จะให้ผลที่เป็นแนวทางในการปรับปรุงนวัตกรรมต้นแบบ

6. ขาดการวินิจฉัยผลการทดสอบนวัตกรรมต้นแบบอย่างละเอียด ซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุประเด็นหรือข้อผิดพลาดของนวัตกรรมต้นแบบนั้นได้

7. ละเลยการสะท้อนคิดและสื่อสารสิ่งที่ตนเองได้เรียนรู้จากการออกแบบและสร้างนวัตกรรมต้นแบบ

การวิจัยหลายเรื่องสนับสนุนข้อสังเกตของ Crismond (2013) ในฐานะนักออกแบบมือใหม่ นักเรียนมักใช้ประสบการณ์เดิมของตนเองเป็นพื้นฐานในการออกแบบ และลองผิดลองถูกจนกระทั่งการออกแบบนั้นเป็นไปตามข้อกำหนด (Park, et al., 2016) จากการสังเกตนักเรียนชั้น ป.4 จำนวน 62 คน ในระหว่างการออกแบบเครื่องร่อน (English & King, 2015) และจากการสังเกตนักเรียนชั้น ป.5 จำนวน 24 คน ในระหว่างการออกแบบ

ทัศนูปกรณ์ (King & English, 2016) ผู้วิจัยพบว่า แม้นักเรียนร่างความคิดของตนเองลงในกระดาษ (ซึ่งเป็นวิธีการที่ผู้วิจัยกำหนดให้นักเรียนทำเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย) แต่นักเรียนไม่สามารถอธิบายได้ว่า เหตุใดตนเองจึงร่างแนวคิดเช่นนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนยังไม่ชัดเจนว่า ตนเองใช้ความรู้อะไรเป็นพื้นฐานในการออกแบบ และในช่วงของการออกแบบซ้ำ นักเรียนปรับปรุงร่างแนวคิดเดิมเพียงเล็กน้อย โดยนักเรียนไม่สามารถบอกได้ว่า การปรับปรุงนั้นจะทำให้การออกแบบเป็นไปตามข้อกำหนดอย่างไร โดยสรุปแล้ว นักเรียนไม่ได้ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบ

ดังนั้น หากครูใช้การออกแบบเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนเพิ่มเติม ครูจะมีบทบาทสำคัญในระหว่างที่นักเรียนทำกิจกรรมการออกแบบ Crismond and Adams (2012) เสนอว่า ครูต้องใช้เวลากับนักเรียนอย่างเพียงพอ เพื่อให้นักเรียนไม่ด่วนตัดสินใจเกี่ยวกับนวัตกรรม จนกว่านักเรียนจะเข้าใจปัญหา ข้อจำกัด และเงื่อนไขความสำเร็จ นักเรียนต้องมีเวลาในการสืบค้นข้อมูลและ/หรือทำการสืบเสาะเพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้หรือข้อมูลที่จำเป็น นักเรียนควรได้ระดมและแลกเปลี่ยนความคิด เพื่อให้เห็นแนวคิดที่หลากหลายในการออกแบบนวัตกรรม ซึ่งจะนำไปสู่การพิจารณาข้อดีข้อเสียของแต่ละแนวคิด และตัดสินใจเลือกแนวคิดที่ดีที่สุดบนพื้นฐานของความรู้และข้อมูล เมื่อนักเรียนเริ่มออกแบบและสร้างนวัตกรรมต้นแบบ นักเรียนอาจต้องการความช่วยเหลือจากครูในการออกแบบการทดสอบที่ยุติธรรม (Fair test) และการวินิจฉัยข้อบกพร่องของนวัตกรรมต้นแบบนั้นบนพื้นฐานของผลการทดสอบ ซึ่งจะนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงนวัตกรรมต้นแบบนั้นอย่างมีเป้าหมาย ในกรณีนี้ นักเรียนต้องได้รับการกระตุ้นให้มีการสะท้อนและบันทึกความคิดอยู่เสมอ

ความท้าทายในทางปฏิบัติ

นโยบายสะเต็มศึกษาได้กลายเป็นความท้าทายใหม่ของผู้คนในแวดวงการศึกษา โดยเฉพาะครูในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งถูกคาดหวังให้เปลี่ยนแปลงการจัดการเรียนการสอน จากเดิมที่เน้นองค์ความรู้ในแต่ละสาขาวิชามาเน้นการบูรณาการความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ และนำความรู้เหล่านั้นไปประยุกต์ใช้มากขึ้น แม้หลายฝ่ายเห็นตรงกันว่า การเปลี่ยนแปลงนี้ตอบโจทยการขับเคลื่อนประเทศด้วยนวัตกรรม แต่ด้วยข้อจำกัดของการจัดการศึกษาแบบเดิม (เช่น โครงสร้างหลักสูตร และการประเมินผลการเรียนรู้) ที่ยังคงแยกรายวิชาและเน้นองค์ความรู้เป็นหลัก การนำแนวคิดสะเต็มศึกษาไปสู่การปฏิบัติก็ยิ่งมีความท้าทายมากขึ้น จากการทบทวนงานวิจัยบทความนี้เสนอว่า กิจกรรมการออกแบบสามารถเป็นทางเลือกสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ร่วมกับศาสตร์สาขาอื่น) ผ่านการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อสร้างนวัตกรรมที่แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน

เนื่องจากการออกแบบมีกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แฝงอยู่ ทั้งในส่วนของการสร้างความรู้ที่จำเป็นในการออกแบบ และการทดสอบนวัตกรรมต้นแบบอย่างเป็นระบบ (Kolodner, et al., 2003) แต่จากประสบการณ์การส่งเสริมการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในอดีต ครูมักมองกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในรูปแบบของการปฏิบัติตามขั้นตอนที่แน่นอน (Buaraphan, 2009) ด้วยเหตุนี้ มันจึงมีความเป็นไปได้ว่า ครูก็อาจมองการออกแบบในรูปแบบของการปฏิบัติตามขั้นตอนที่แน่นอนด้วยเช่นกัน ทั้งๆ ที่การออกแบบเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน (Mosborg, et al., 2005) ซึ่งนักเรียนต้องพิจารณาปัจจัยหลายอย่างไปพร้อมๆ กัน ไม่ว่าจะเป็นปัญหาความรู้ที่เกี่ยวข้อง ข้อจำกัดทางบริบท และแนวคิดที่เป็นไปได้ (Dym, et al., 2005) การนำเสนอกระบวนการออกแบบในรูปแบบของขั้นตอนที่แน่นอนตายตัวอาจทำให้เกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และไม่สามารถส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการออกแบบอย่างแท้จริง

นอกจากนี้ ภายใต้สถานการณ์ที่ประเทศต่างๆ แข่งขันกันสร้างนวัตกรรมเพื่อแข่งขันกันได้เปรียบในตลาดโลก ครูอาจเผลอเข้าใจว่า เป้าหมายอันดับต้นๆ ของออกแบบนวัตกรรมคือการแข่งขันกับผู้อื่น ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนนี้อาจได้รับการส่งเสริมในระหว่างการพัฒนาวิชาชีพครูด้านสะเต็ม หากวิทยากรกระตุ้นให้ครูแข่งขันกันออกแบบและสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาด้วยวัสดุอุปกรณ์ที่เหมือนกัน (เช่น การสร้างหอคอยจำลองที่สูงที่สุด การสร้างสะพานแบบจำลองที่รองรับน้ำหนักได้มากที่สุด และการสร้างรถจำลองที่เคลื่อนที่ไปได้ไกลที่สุด) ในแต่ความเป็นจริงแล้ว เป้าหมายอันดับต้นๆ ของการออกแบบนวัตกรรมไม่ใช่การแข่งขันกับผู้อื่น แต่เป็นการแข่งขันกับข้อจำกัดตามธรรมชาติในบริบทของปัญหา (Fortus, et al., 2004) หากปราศจากความเข้าใจที่ถูกต้องนี้ กิจกรรมการเรียนรู้โดยการออกแบบอาจไม่มีกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาเกี่ยวข้อง และจะกลายเป็นเพียงแค่การแข่งขันเพื่อความสนุกสนานโดยปราศจากการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

แม้งานวิจัยหลายเรื่องเปิดเผยว่า หลังจากการเรียนรู้โดยการออกแบบ นักเรียนมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เพิ่มขึ้น (Fortus, et al., 2004; Kolodner, et al., 2003; Koror, et al., 2015; Wendell & Rogers, 2013) แต่งานวิจัยบางเรื่องก็เปิดเผยด้วยเช่นกันว่า นักเรียนอาจไม่สามารถพัฒนาความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ที่ลึกซึ้งได้ (Damkenbring & Capobianco, 2016; Park, et al., 2016; Wendell & Lee, 2010) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอาจนำนักเรียนไปสู่การสับสนที่ไม่ตรงประเด็นกับลักษณะสำคัญของปัญหา และการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาบางอย่างอาจเกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกินพัฒนาการทางสติปัญญาของนักเรียน ดังนั้น หากครูจะใช้การออกแบบเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ ครูต้องวิเคราะห์ว่า ด้วยปัญหาที่ครูกำหนดให้นักเรียนจะได้ออกแบบนวัตกรรมอะไร ภายใต้ข้อจำกัดใด และเพื่อให้เกิดการเรียนรู้อะไรในแต่ละสาขาวิชา นอกจากนี้ ครูต้องคำนึงด้วยว่า กิจกรรมการออกแบบนั้นสอดคล้องกับพัฒนาการของนักเรียนและมาตรฐานการเรียนรู้หรือไม่ นี่คือการท้าทายสำหรับครูในการกำหนดปัญหาให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการออกแบบ

จากประสบการณ์การส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในช่วงเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมา ครูมักประสบกับข้อจำกัดทางบริบทต่างๆ เช่น เวลาที่น้อยและไม่ยืดหยุ่น ปริมาณเนื้อหาที่มาก การประเมินระดับชาติที่เน้นเฉพาะองค์ความรู้ และวัสดุอุปกรณ์ที่จำกัด ด้วยการใช้การออกแบบเกี่ยวกับการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Kolodner, et al., 2003) ข้อจำกัดเหล่านี้ก็อาจเกิดขึ้นกับครูในการจัดการเรียนการสอนโดยการออกแบบ ทั้งนี้เพราะอย่างไรเสีย นักเรียนก็ต้องทำการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างความรู้ที่จำเป็นในการออกแบบอยู่ดี หากข้อจำกัดเหล่านี้ยังไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม การจัดการเรียนการสอนโดยการออกแบบก็ยากที่จะเกิดขึ้นในทางปฏิบัติ ทั้งหมดนี้จึงเป็นความท้าทาย (ทั้งในส่วนของครูและผู้ที่เกี่ยวข้อง) ในการใช้กิจกรรมการออกแบบในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

บทสรุป

ด้วยแรงกดดันทางเศรษฐกิจและสังคม เป้าหมายของการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ได้เปลี่ยนไปจากเดิม แม้การรู้วิทยาศาสตร์ของพลเมืองยังคงเป็นเป้าหมายพื้นฐาน แต่ประเทศไทยควรมีความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจในตลาดโลกด้วย นักเรียนจึงควรได้รับการส่งเสริมให้สามารถสร้างนวัตกรรมที่มีมูลค่า การจัดการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพียงอย่างเดียวจึงอาจยังไม่เพียงพอ สะเต็มศึกษาได้ถูกกล่าวถึงมากขึ้น ในฐานะยุทธวิธีในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลของประเทศ บทความนี้เสนอว่า “การเรียนรู้โดยการออกแบบ” เป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการเรียนการสอนตามนโยบายสะเต็มศึกษา ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้จากการออกแบบที่มีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ใดๆ ก็ดี จากการส่งเสริมการเรียนการสอนโดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หลายสิบปีที่ผ่านมา ครูต้องเผชิญกับความท้าทายต่างๆ ทั้งข้อจำกัดส่วนบุคคล (เช่น ความเข้าใจ

เกี่ยวกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการออกแบบเชิงวิศวกรรม) และข้อจำกัดทางบริบท (เช่น โครงสร้างหลักสูตร และการประเมินผลการเรียนรู้แบบเดิม) การขับเคลื่อนสะเต็มศึกษาจึงต้องเดินไปด้วยความระมัดระวัง (Williams, 2011) ทั้งเพื่อให้ครูมีความเข้าใจและแนวทางที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ หากไม่เช่นนั้นแล้ว สะเต็มศึกษาอาจเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงแค่ผิวเผิน

References

- Allen, M. (2014). *Misconceptions in Primary Science*. Maidenhead: Open University Press.
- Atman, C. J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. (2007). Engineering Design Processes: A Comparison of Students and Expert Practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359-379.
- Buaraphan, K. (2009). Thai In-service Science Teachers' Conceptions of the Nature of Science. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 32(2), 188-217.
- Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30-35.
- Capobianco, B. M., Diefes-Dux, H. A., MENA, I., & Weller, J. (2011). What is an Engineering? Implications of Elementary School Student Conceptions for Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 100(2), 304-328.
- Capobianco, B. M., Yu, J. H., & French, B. F. (2015). Effects of Engineering Design-based Science on Elementary School Science Students' Engineering Identity Development across Gender and Grade. *Research in Science Education*, 45(2), 275-292.
- Chanprasert, S. (2014). STEM Education and Learning in 21st Century. *IPST Magazine*, 42(186), 3-5. (in Thai)
- Cotabish, A., Dailey, D., Robinson, A., & Hughes, G. (2013). The Effects of a STEM Intervention on Elementary Students' Science Knowledge and Skills. *School Science and Mathematics*, 113(5), 251-226.
- Crismond, D. (2013). Design Practices and Misconceptions. *The Science Teacher*, 80(1), 50-54.
- Crismond, D. P. & Adams, R. S. (2012). The Informed Design Teaching and Learning Matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738-797.
- Dankenbring, C. & Capobianco, B. M. (2016). Examining Elementary School Students' Mental Models of Sun-Earth Relationships as a Result of Engaging in Engineering Design. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(5), 825-845.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific Literacy: Another Look at Its Historical and Contemporary Meanings and Its Relationship to Science Education Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.

- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103-120.
- Edelson, D. C., Gordin, D. N., & Pea, R. D. (1999). Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning through Technology and Curriculum Design. *The Journal of the Learning Sciences*, 8(3&4), 391-450.
- English, L. D. (2016). STEM Education K-12: Perspectives on Integration. *International Journal of STEM Education*, 3(3), DOI: 10.1186/s40594-016-0036-1.
- English, L. D. & King, D. T. (2015). STEM Learning through Engineering Design: Fourth-grade Students' Investigations in Aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(14), 1-18.
- Fortus, D., Dershimer, R. C., Krajcik, J., Marx, R. W., & Mamlok-Naaman, R. (2004). Design-Based Science and Student Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 1018-1110.
- Fortus, D., Krajcik, J., Dershimer, R. C., Marx, R. W., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Design-Based Science and Real-World Problem-Solving. *International Journal of Science Education*, 27(7), 855-879.
- Homhol, P., & Kanjanasakda, Y. (2009). Need for and Lack of Engineering Workforce in Thailand's Industrial Estates. *University of the Thai Chamber of Commerce Journal*, 29(3), 67-83. (in Thai)
- Hurd, P. D. (1958). Scientific Literacy: Its Meaning for American Schools. *Educational Leadership*, 16(1), 13-16, 52.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2014). *STEM Education*. Retrieved December 12, 2016, from <http://www.stemedthailand.org/wp-content/uploads/2015/03/Intro-to-STEM.pdf> (in Thai)
- Kelly, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A Conceptual Framework for Integrated STEM Education. *International Journal of STEM Education*, 3(11), DOI: 10.1186/s40594-016-0046-z.
- Kijkuakul, S. (2015). STEM Education. *Journal of Education Naresuan University*, 17(2), 201-207. (in Thai)
- King, D. & English, L. D. (2016). Engineering Design in the Primary School: Applying STEM Concepts to Build an Optical Instrument. *International Journal of Science Education*, (Online First), DOI: [dx.doi.org/10.1080/09500693.2016.1262567](https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1262567).
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, C. D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., & Ryan, M. (2003). Problem-Based Learning Meets Case-Based Reasoning in the Middle-School Science Classroom: Putting Learning by Design™ into Practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495-547.
- Korur, F., Efe, G., Erdogan, F., & Tunc, B. (2017). Effects of Toy Crane Design-based Learning on Simple Machines. *Journal of Science and Mathematics Education*, 15(2), 251-271.

- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. New York: Cambridge University Press.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful Assessment of Learners' Understandings about Scientific Inquiry—The Views about Scientific Inquiry (VASI) Questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65-83.
- Mehalik, M. M., Doppelt, Y., & Schunn, C. D. (2008). Middle-school Science through Design-based Learning versus Scripted Inquiry: Better Overall Science Concept Learning and Equity Gap Reduction. *Journal of Engineering Education*, 97(1), 71-85.
- Mortimer, E. & Scott, P. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classroom*. Maidenhead: Open University Press.
- Mosborg, S., Adams, R., Kim, R., Atman, C. J., Turns, J., & Cardella, M. (2005). *Conceptions of the Engineering Design Process: An Expert Study of Advanced Practicing Professionals*. Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition. Portland, Oregon: American Society for Engineering Education.
- Nadelson, L. S., Callahan, J., Pyke, P., Hay, A., Dance, M., & Pfister, J. (2013). Teacher STEM Perception and Preparation: Inquiry-Based STEM Professional Development for Elementary Teachers. *The Journal of Educational Research*, 106(2), 157-168.
- National Research Council. (1996). *The National Science Education Standards*. Washington, D.C.: The National Academy Press.
- National Research Council. (2011). *Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- National Science and Technology Development Agency. (2014). *Overcoming Middle Income Trap*. Retrieved December 12, 2016, from <http://www.nstda.or.th/news/19435-middle-income-trap> (in Thai)
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, by States*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2013). PISA 2015: Draft Science Framework. Retrieved December 12, 2016, from <https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>
- Park, D., Park, M., & Bates, A. B. (2016). Exploring Young Children's Understanding about the Concept of Volume through Engineering Design in a STEM Activity: A Case Study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, (Online First), DOI: 10.1007/s10763-016-9776-0.

- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Prasertsan, S. (2015). *STEM Education: Thai Education's New Challenges*. Songkhla: Numsilp Advertise. (in Thai)
- Prasertsan, S. (2016). *STEM Education: Problems from Engineering Design Processes*. Songkhla: Numsilp Advertise. (in Thai)
- Ramasuta, N., & Rohitsthean, B. (2016). *Thailand Education 4.0 in Educational Contexts for Sustainable Development*. Retrieved December 12, 2016, from <http://www.moe.go.th/websm/2016/aug/354.html> (in Thai)
- The Secretariat of the House of Representatives. (2016). *Academic Paper: Thailand 4.0*. Retrieved December 12, 2016, from http://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2559/jul2559-5.pdf (in Thai)
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wang, H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM Integration: Teacher Perceptions and Practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 1(2), 1-13.
- Wendell, K. B. & Lee, H. (2010). Elementary Students' Learning of Materials Science Practices through Instruction Based on Engineering Design Tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 19(6), 580-601.
- Wendell, K. B. & Rogers, C. (2013). Engineering Design-Based Science, Science Content Performance, and Science Attitudes in Elementary School. *Journal of Engineering Education*, 102(4), 513-540.
- Wenger, E. (1998). *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity*. New York: Cambridge University Press.
- Wertsch, J. V. (1985). *Vygotsky and the Social Formation of the Mind*. Cambridge: Harvard University Press.
- Williams, P. J. (2011). STEM Education: Proceed with Caution. *Design and Technology Education*, 16(1), 26-35.
- Yager, R. E. (1991). The Constructivist Learning Model: Towards Real Reform in Science Education. *The Science Teacher*, 58(6), 52-57.