

โปรดใช้ความระมัดระวังขณะสอนวิทยาศาสตร์โดยการออกแบบ
Please Mind the Gap between Science and Design

ลฎาภา ลดาชาติ^{1*} และลือชา ลดาชาติ²
Ladapa Ladachart^{1*} and Luecha Ladachart²

^{1*} สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน วิทยาลัยการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา

Science Education, Faculty of Education, Chiang Mai University, Thailand

Curriculum and Instruction, School of Education, University of Phayao, Thailand

ABSTRACT

Due to the STEM education policy in Thailand, science teachers are encouraged to use an engineering design process for teaching and learning science with other subjects. However, learning by engineering design may not always lead to science learning because of the different goals and different nature of science and engineering. Nonetheless, some teachers and educators may overlook these differences by assuming that science learning will occur spontaneously through design activities. In actuality, students need serious scaffolding to achieve design-based learning. This article aims to raise awareness about what Vattam and Kolodner (2008) call the “design-science gap” which often occurs in teaching and learning science through design. This article discusses how to narrow this gap, which will result in more effective science learning through design.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 July 2019

Received in revised form

3 November 2020

Accepted 15 December 2020

Available online

25 December 2020

Keywords:

Learning by Design

(การเรียนรู้โดยการออกแบบ),

Design-based Learning

(การเรียนรู้ที่อิงการออกแบบ),

Design-science Gap

(ช่องว่างระหว่างการออกแบบและ

วิทยาศาสตร์),

STEM Education (สะเต็มศึกษา)

*ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

E-mail address: ladapa23@gmail.com

บทคัดย่อ

ด้วยนโยบายส่งเสริมศึกษาในประเทศไทย ครูวิทยาศาสตร์ได้รับการส่งเสริมให้ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ร่วมกับวิชาอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การเรียนรู้โดยการออกแบบเชิงวิศวกรรมอาจไม่ก่อให้เกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เสมอไป ทั้งนี้เพราะเป้าหมายและธรรมชาติที่แตกต่างกันระหว่างวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ แต่กระนั้นก็ตาม ครูและนักการศึกษาบางคนอาจมองข้ามความแตกต่างเหล่านี้โดยการทึกทักเอาว่าการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จะเกิดขึ้นเองจากกิจกรรมการออกแบบ ทั้ง ๆ ที่นักเรียนต้องการความช่วยเหลืออย่างจริงจังในกิจกรรมการเรียนรู้ที่อิงการออกแบบ บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความตระหนักเกี่ยวกับสิ่งที่ Vattam and Kolodner (2008) เรียกว่า “ช่องว่างระหว่างการออกแบบและวิทยาศาสตร์” ซึ่งเกิดขึ้นอยู่บ่อยครั้งในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยการออกแบบ บทความนี้ยังอภิปรายแนวทางที่เป็นไปได้ในการลดช่องว่างนี้ให้แคบลง อันจะส่งผลให้การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยการออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทนำ

หลังจากการใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มาเป็นเวลาหลายปี Ministry of Education (2017) ได้ปรับปรุงหลักสูตรฉบับนี้ในส่วนของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ การปรับปรุงที่สำคัญคือการปรับลดจำนวนสาระการเรียนรู้ จากเดิมที่มี 8 สาระ ได้แก่ 1. สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต 2. ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม 3. สารและสมบัติของสาร 4. แรงและการเคลื่อนที่ 5. พลังงาน 6. กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก 7. ดาราศาสตร์และอวกาศ และ 8. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้เหลือเพียง 4 สาระ ได้แก่ 1. วิทยาศาสตร์ชีวภาพ 2. วิทยาศาสตร์กายภาพ 3. วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ และ 4. เทคโนโลยี ทั้งนี้ “เพื่อให้มีความสอดคล้องและเชื่อมโยงกันภายในสาระการเรียนรู้เดียวกัน และระหว่างสาระการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตลอดจนการเชื่อมโยงเนื้อหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับคณิตศาสตร์ด้วย (และ) เพื่อให้มีความทันสมัยต่อการเปลี่ยนแปลงและความเจริญก้าวหน้าของวิทยาการต่าง ๆ” (p. 2)

ในขณะที่สาระที่ 1-3 ของหลักสูตรฉบับใหม่มีเนื้อหาที่ครอบคลุมสาระที่ 1-7 ของหลักสูตรฉบับเดิมอยู่ค่อนข้างมาก แต่สาระที่ 4 “เทคโนโลยี” ได้นำเสนอสิ่งใหม่สำหรับครูวิทยาศาสตร์ (Ladachart, Phothonng, Rittikoop, & Ladachart, 2018a; 2018b) โดยมาตรฐาน ว 4.1 ในสาระนี้มุ่งเน้นให้นักเรียน “ใช้ความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และศาสตร์อื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม” (Ministry of Education, 2017: p. 5) แนวคิดนี้สอดคล้องกับเป้าหมายของการจัดการศึกษาในหลายประเทศที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้บูรณาการความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง (Holmlund, Lesseig, & Slavit, 2018) ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อ “สะเต็มศึกษา” (STEM Education) อันเป็นคำที่เกิดจากตัวย่อของอักษรแรกในภาษาอังกฤษของคำว่า วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) ตามลำดับ

แนวคิดหลักของสะเต็มศึกษาคือการมุ่งเน้นให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ผ่านการใช้เทคโนโลยีในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทั้งนี้เพื่อสร้างชิ้นงานหรือนวัตกรรมในการแก้ปัญหาต่าง ๆ (Ladachart & Ladachart, 2018) สะเต็มศึกษาจึงเป็นนโยบายทางการศึกษาเพื่อรองรับนโยบาย “ประเทศไทย 4.0” ที่เน้นการปฏิรูปโครงสร้างทางเศรษฐกิจด้วยการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยี (The Secretariat of the House of Representatives, 2016) ดังข้อความในยุทธศาสตร์ชาติ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ด้านการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพทรัพยากรมนุษย์ ซึ่งกำหนดให้ “(การ)ออกแบบการเรียนรู้ในทุกระดับชั้นอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่ระดับปฐมวัยจนถึงอุดมศึกษา ...มุ่งเน้นการใช้ฐานความรู้และระบบคิดในลักษณะสหวิทยาการ” อาทิ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ (Office of the National Economic and Social Development Council, 2018: p. 33)

ด้วยเหตุนี้ หน่วยงานต่าง ๆ จึงพยายามส่งเสริมสะเต็มศึกษาในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2014) ซึ่งมีบทบาทสำคัญ ทั้งในแง่ของการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ และการอบรมพัฒนาครูทั่วประเทศ ในการนี้ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) ได้เสนอให้ใช้ปัญหาทางวิศวกรรมเป็นบริบท และใช้การออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นกระบวนการ เพื่อก่อให้เกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี โดยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามที่ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) ระบุไว้มี 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การระบุปัญหา 2. การรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา กับปัญหา 3. การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4. การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5. การทดสอบประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 6. การนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ดังภาพที่ 1 (pp. 16-17)



ภาพที่ 1 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

(Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2015)

ในกระบวนการนี้ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) ได้ขยายความว่า หลังจากที่นักเรียนระบุและทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาในขั้นแรกแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเก็บรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถทำได้ โดย 1. การสืบค้นว่าใครเคยแก้ปัญหานั้นแล้วหรือไม่ หากมี เขาแก้ปัญหานั้นอย่างไร และมีข้อเสนอแนะใดบ้าง และ 2. การค้นหาแนวคิด ซึ่งอาจเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยีที่จะสามารถช่วยแก้ปัญหานั้นได้ ทั้งนี้แนวคิดในการแก้ปัญหานั้นอาจมีได้มากกว่า 1 แนวคิด ซึ่งนักเรียนต้องประเมินแนวคิดต่าง ๆ เพื่อเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด ก่อนที่นักเรียนจะดำเนินการในขั้นตอนถัดไป ซึ่งก็คือการออกแบบวางแผน ดำเนินการ ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหา จากคำบรรยายนี้ คำถามเชิงญาณวิทยาที่น่าสนใจคือว่า นักเรียนได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างไรในระหว่างกระบวนการออกแบบเพื่อแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมเช่นนี้

ช่องว่างระหว่างการออกแบบและวิทยาศาสตร์

ตามทฤษฎีการเรียนรู้สรุคนิยม (Constructivist theory of learning) ซึ่งอธิบายการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของมนุษย์ไว้ว่า 1. มนุษย์ทุกคนมีความรู้บางอย่างเป็นทุนเดิม ซึ่งเป็นผลจากประสบการณ์ที่ตนเองมีมาในอดีต 2. ความรู้เดิมมักจะมีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ประสบการณ์ใหม่ ทั้งนี้เพราะมนุษย์จะตีความประสบการณ์ใหม่บนพื้นฐานของความรู้เดิมนั้น 3. ความรู้เดิมมักแตกต่างไปจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เพราะประสบการณ์ในชีวิตประจำวันจำกัด และ 4. การเรียนรู้จึงเป็นการปรับเปลี่ยนความรู้เดิมนั้นให้สอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งบ่อยครั้งต้องอาศัยเวลาและความพยายาม (Ladachart, 2018) ดังนั้น การส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงเป็นความท้าทายสำหรับครู ทั้งนี้เพราะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังที่ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) บรรยายไว้ อาจยังไม่เพียงพอให้นักเรียนปรับเปลี่ยนความรู้เดิมของตนเองให้เป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์

ตัวอย่างเช่น หลังจากที่นักเรียนได้ระบุปัญหาทางวิศวกรรมแล้ว Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) คาดหวังให้นักเรียนเก็บรวบรวมข้อมูลและสืบค้นเพื่อหาแนวคิดหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหานั้น คำถามที่ตามมาคือว่า หากนักเรียนมีความรู้เดิมที่ไม่สอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหานั้น นักเรียนจะอย่างไรกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่สอดคล้องกับความรู้เดิมของตนเอง นักเรียนจะเชื่อความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือความรู้เดิมของตนเอง จากงานวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแนวคิดของนักเรียนในระหว่างการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ความรู้เดิมของนักเรียนเป็นสิ่งที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลง (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982) ซึ่งหากเป็นเช่นนั้น นักเรียนก็จะออกแบบวิธีการแก้ปัญหามบนพื้นฐานของความรู้เดิมของตนเอง ซึ่งมีความเป็นไปได้น้อยที่จะประสบผลสำเร็จ ทั้งนี้เพราะความรู้เดิมนั้น ไม่สอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Wendell & Lee, 2010)

นักการศึกษาบางคนอาจจะแย้งว่า การเปลี่ยนแปลงความรู้เดิมของนักเรียนอาจเริ่มเกิดขึ้น หลังจากที่นักเรียนได้ออกแบบและทดสอบวิธีการแก้ปัญหาบนพื้นฐานของความรู้เดิมของตนเองแล้ว ซึ่งจะทำให้นักเรียนค้นพบว่า ความรู้เดิมนั้นไม่เพียงพอให้ตนเองแก้ปัญหาได้สำเร็จ การค้นพบนี้จะทำให้นักเรียนไม่พอใจความรู้เดิมของตนเอง และมองหาความรู้ใหม่ที่มีศักยภาพมากกว่า (Posner et al., 1982) อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ Chinn and Brewer (1993) เปิดเผยว่า แม้นักเรียนประสบกับหลักฐานที่ไม่ลงรอยกับความรู้เดิมของตนเอง แต่นักเรียนก็มักตอบสนองต่อหลักฐานนั้นในลักษณะที่ไม่เอื้อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความรู้เดิม อาทิ การเพิกเฉยต่อหลักฐาน การปฏิเสธหลักฐาน การกั้นหรือแยกหลักฐานออกไปจากความรู้เดิม และการชะลอการพิจารณาหลักฐาน เป็นต้น ดังนั้น แม้นักเรียนได้หลักฐานที่ขัดแย้งกับความรู้เดิมของตนเองในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักเรียนก็อาจไม่ได้ใช้หลักฐานนั้นเป็นจุดเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลงความรู้เดิมของตนเอง

ในการนี้ Chinn and Malhotra (2002) อธิบายสาเหตุที่นักเรียนมักไม่นำหลักฐานที่ขัดแย้งกับความรู้เดิมของตนเองมาใช้ในการปรับเปลี่ยนความรู้เดิมนั้นว่า นักเรียนจะมีการสังเกตที่ถูกชี้นำด้วยความรู้เดิมของตนเอง โดยความรู้เดิมทำหน้าที่เป็นกรอบทางความคิดที่นักเรียนใช้ในการสังเกต ด้วยเหตุนี้ นักเรียนจึงมักสังเกตเห็นเพียงหลักฐานที่ยืนยันหรือสนับสนุนความรู้เดิมของตนเอง คำอธิบายนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Schauble (1990) ซึ่งศึกษาบทบาทของความรู้เดิมและกลวิธีการหาหลักฐานในระหว่างที่นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 - 6 กำลังออกแบบรถแข่ง โดยนักเรียน “ผู้ซึ่งยึดติดกับความเชื่อ (หรือความรู้เดิม) ของตนเองมากเกินไป อ่านหลักฐานผิด ตีความหลักฐานผิด หรือบิดเบือนหลักฐานอย่างมาก เพื่อให้ตนเองสรุปว่า หลักฐานนั้นสนับสนุนทฤษฎี (ความเชื่อ หรือความรู้เดิม) ที่ตนเองชื่นชอบ” (p. 55) ด้วยเหตุนี้ นักเรียนจึงไม่เข้าใจลักษณะสำคัญบางอย่างของรถแข่งที่ไม่สนับสนุนความรู้เดิมของตนเอง

นอกจากอคติที่นักเรียนมีต่อหลักฐานที่สอดคล้องกับความรู้เดิมของตนเองเป็นพิเศษแล้ว Schauble, Klopfer, and Raghavan (1991) ยังพบว่า การรับรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับเป้าหมายของกิจกรรมก็ส่งผลต่อวิธีการที่นักเรียนใช้เพื่อให้ตนเองบรรลุเป้าหมายของกิจกรรมนั้น หากนักเรียนรับรู้ว่ามีเป้าหมายเพื่อออกแบบและสร้างชิ้นงานที่แก้ปัญหาวงวิศวกรรม นักเรียนก็มีแนวโน้มที่จะลองปรับเปลี่ยนลักษณะของชิ้นงานที่ตนเองสนใจเป็นพิเศษ เพื่อให้ชิ้นงานนั้นสามารถทำงานได้สำเร็จตามข้อกำหนด โดยนักเรียนอาจไม่พยายามสืบเสาะหาความรู้ที่อยู่เบื้องหลังกระบวนการทำงานของชิ้นงานนั้น ในทางตรงกันข้าม หากนักเรียนรับรู้ว่ามีเป้าหมายเพื่อสร้างความรู้ที่ตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนก็มีแนวโน้มที่จะทดลองเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ดังนั้น การนำเสนอปัญหาทางวิศวกรรมเป็นบริบทของการเรียนรู้จึงอาจทำให้นักเรียนมุ่งเป้าไปที่การออกแบบและสร้างชิ้นงานให้สำเร็จมากกว่าการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์

งานวิจัยจำนวนหนึ่งยืนยันว่า เมื่อครูนำเสนอปัญหาทางวิศวกรรมให้นักเรียนออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหานั้น นักเรียนออกแบบชิ้นงานบนพื้นฐานของความรู้เดิมของตนเอง และใช้วิธีการลองผิดลองถูกเพื่อปรับแต่งชิ้นงาน จนกระทั่งชิ้นงานนั้นสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนด (Park, Park, & Bates, 2018)

ด้วยเหตุนี้ แม้นักเรียนจะออกแบบและสร้างชิ้นงานได้อย่างประสบผลสำเร็จ แต่นักเรียนก็อาจไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่า ชิ้นงานนั้นทำงานได้บนพื้นฐานของความรู้ทางวิทยาศาสตร์อะไร (King & English, 2016) ถึงกระนั้น นักเรียนมีความกระตือรือร้นที่จะปรับแต่งลักษณะของชิ้นงานเพื่อปรับปรุงการทำงานของชิ้นงานให้ดีขึ้น แม้นักเรียนไม่ได้้นำการทดลองทางวิทยาศาสตร์มาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบเชิงวิศวกรรมก็ตาม (Schauble et al., 1991) ดังนั้น กิจกรรมการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงมีศักยภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน หากแต่ครูจำเป็นต้องหากวิธีเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนใช้การทดลองทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบชิ้นงาน

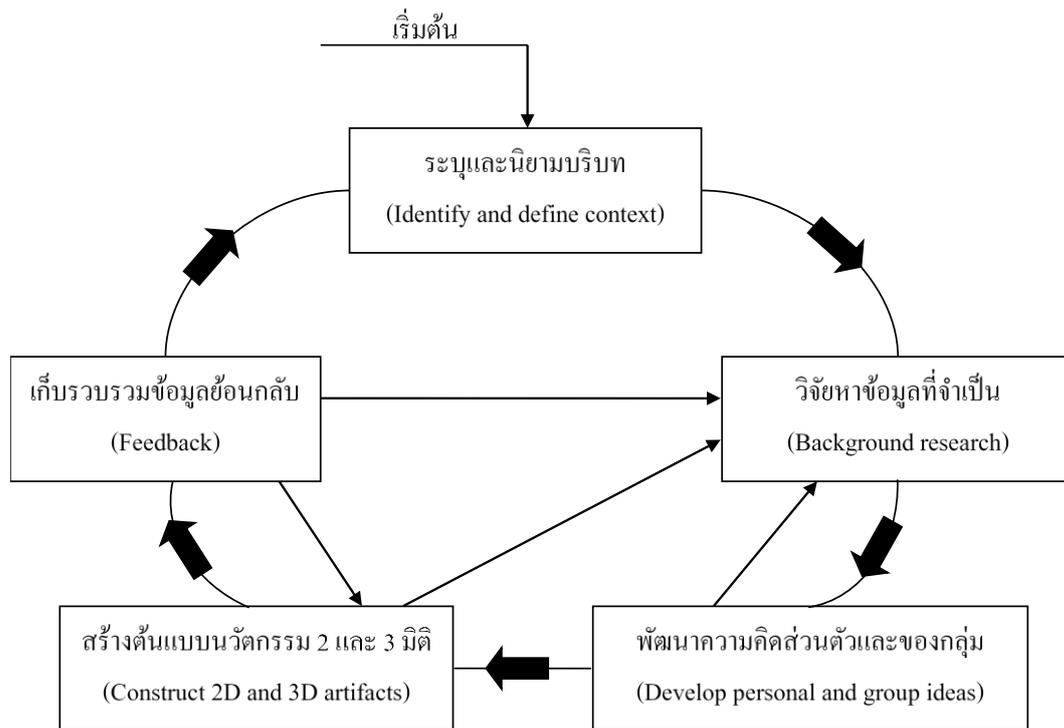
ด้วยความแตกต่างระหว่างกิจกรรมทางวิศวกรรมและกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ การให้นักเรียนได้สร้างความรู้วิทยาศาสตร์ผ่านการออกแบบเชิงวิศวกรรมแม้มีศักยภาพ แต่ก็ยังมีข้อจำกัด โดย Vattam and Kolodner (2008) เรียกข้อจำกัดนี้ว่า “ช่องว่างระหว่างการออกแบบและวิทยาศาสตร์” (Design-science gap) ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อครูนำเสนอปัญหาทางวิศวกรรม เพื่อให้นักเรียนออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาที่นั้น โดยครูคาดหวังให้นักเรียนได้สร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วย แต่กระนั้นก็ตาม นักเรียนอาจมุ่งเป้าไปที่การออกแบบเพื่อแก้ปัญหาให้ได้เท่านั้น โดยนักเรียนอาจจะเลยที่จะทดลองเพื่อสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้น หากการออกแบบเชิงวิศวกรรมเปรียบเสมือนรถไฟฟ้าที่จะพานักเรียนไปสู่สถานีเป้าหมายที่เป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ครูจำเป็นต้องระวังพื้นที่รอยต่อระหว่างรถไฟฟ้ายกับขานชาลาของสถานี มิฉะนั้นแล้ว นักเรียนอาจจะได้แค่ออกแบบชิ้นงาน แต่ไม่ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์

แนวทางการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยการออกแบบ

นอกจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามที่ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) ได้บรรยายไว้เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ นักการศึกษาหลายคนได้นำเสนอแนวทางการใช้กิจกรรมออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ไว้ด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจมีชื่อที่แตกต่างกัน อาทิ วิทยาศาสตร์ที่อิงการออกแบบ (Design-based science, Fortus, Krajcik, Dersheimer, Marx, & Mamlok-Naaman, 2005) การเรียนรู้โดยการออกแบบ (Learning by design, Kolodner, Camp, Crismond, Fasse, Gray, Holbrook, Puntambekar, & Ryan, 2003) และการเรียนรู้ที่อิงการออกแบบ (Design-based learning, Apedoe, Reynolds, Ellefson, & Schunn, 2008) โดยสิ่งสำคัญที่นักการศึกษาเหล่านี้ให้ความสำคัญก็คือการหาวิธีบูรณาการการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ให้เป็นส่วนหนึ่งในกิจกรรมการออกแบบของนักเรียน นั่นคือ นักการศึกษาเหล่านี้พยายามเสนอวิธีการที่จะลด “ช่องว่างระหว่างการออกแบบและวิทยาศาสตร์” (Vattam & Kolodner, 2008) ให้แคบลง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

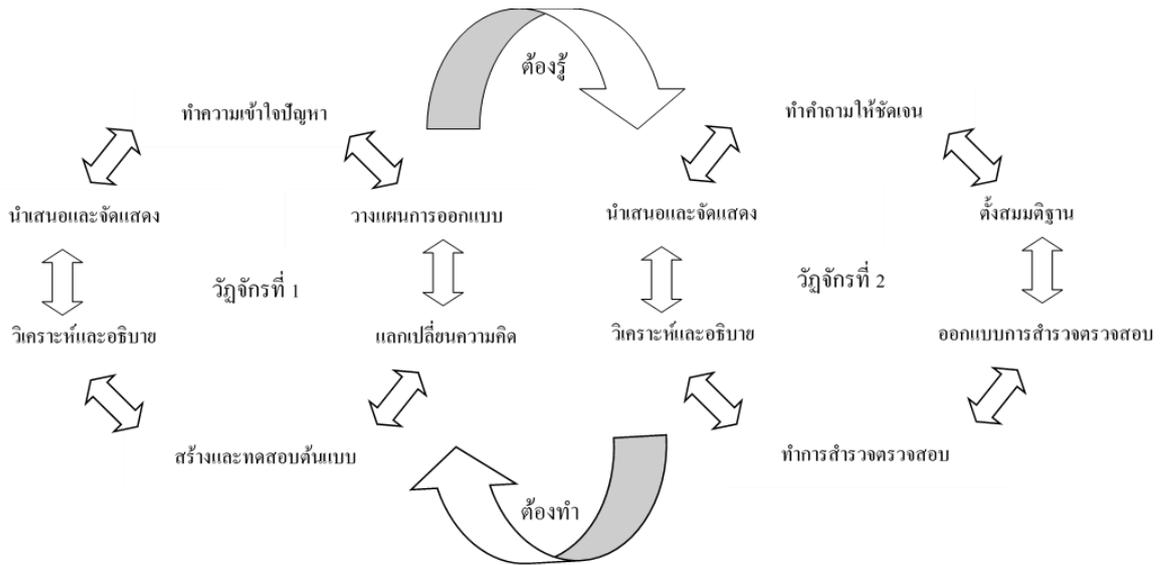
Fortus et al. (2005) เสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่อิงการออกแบบ ดังภาพที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การระบุและนิยามบริบท ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาทางวิศวกรรมที่ครูท้าทายให้นักเรียนได้ออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหานั้น 2. การวิจัยเพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบชิ้นงาน

3. การนำข้อมูลที่จำเป็นมาพัฒนาเป็นความคิดต่าง ๆ เกี่ยวกับชิ้นงานที่เป็นไปได้ 4. การออกแบบและสร้างชิ้นงานต้นแบบ และ 5. การทดสอบว่าชิ้นงานต้นแบบสามารถทำงานและช่วยในการแก้ปัญหาได้หรือไม่ ซึ่งนักเรียนจะได้มาซึ่งข้อมูลย้อนกลับเพื่อปรับปรุงชิ้นงานต้นแบบให้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ลูกศรที่เชื่อมโยงขั้นตอนต่าง ๆ บ่งบอกว่า นักเรียนไม่จำเป็นต้องดำเนินการตามลำดับขั้นตอนอย่างเคร่งครัด ในทางตรงกันข้าม นักเรียนสามารถย้อนกลับไปทำวิจัยเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จำเป็นได้ทุกเมื่อ หากนักเรียนพบว่า ตนเองยังมีข้อมูลไม่เพียงพอในการออกแบบและสร้างชิ้นงานต้นแบบ



ภาพที่ 2 วัฏจักรการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่อิงการออกแบบ (Fortus et al., 2005, p. 859)

วัฏจักรการเรียนรู้ของ Fortus et al. (2005) นี้มีส่วนคล้ายกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) ได้บรรยายไว้หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นการเริ่มต้นด้วยการนิยามปัญหาทางวิศวกรรม การออกแบบและสร้างชิ้นงานต้นแบบ และการทดสอบเพื่อปรับปรุงชิ้นงานต้นแบบ แต่ความแตกต่างที่สำคัญคือว่า นอกจากการสืบค้นหรือค้นหาแนวคิดจากแหล่งทุติยภูมิ เช่น ใบบทความรู้ อินเทอร์เน็ต และการนำเสนอของครู นักเรียนยังต้องทำวิจัยเพื่อเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลปฐมภูมิด้วยตนเอง ดังที่ Fortus et al. (2005) ได้ระบุไว้ว่า “ขั้นตอนที่ 2 ของการวิจัยหาข้อมูลที่จำเป็น ... สามารถอยู่ในรูปแบบของการสืบค้นและรวบรวมข้อมูลที่ตรงประเด็น ... การที่ครูนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ การอ่านใบบทความรู้ การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากการทดลองบนกระดานดำและการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นร่วมกัน การสาธิตที่ครูเป็นผู้นำ การใช้โปรแกรมจำลองปรากฏการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ และการสำรวจแหล่งข้อมูลปฐมภูมิที่เหมาะสม” (p. 859)

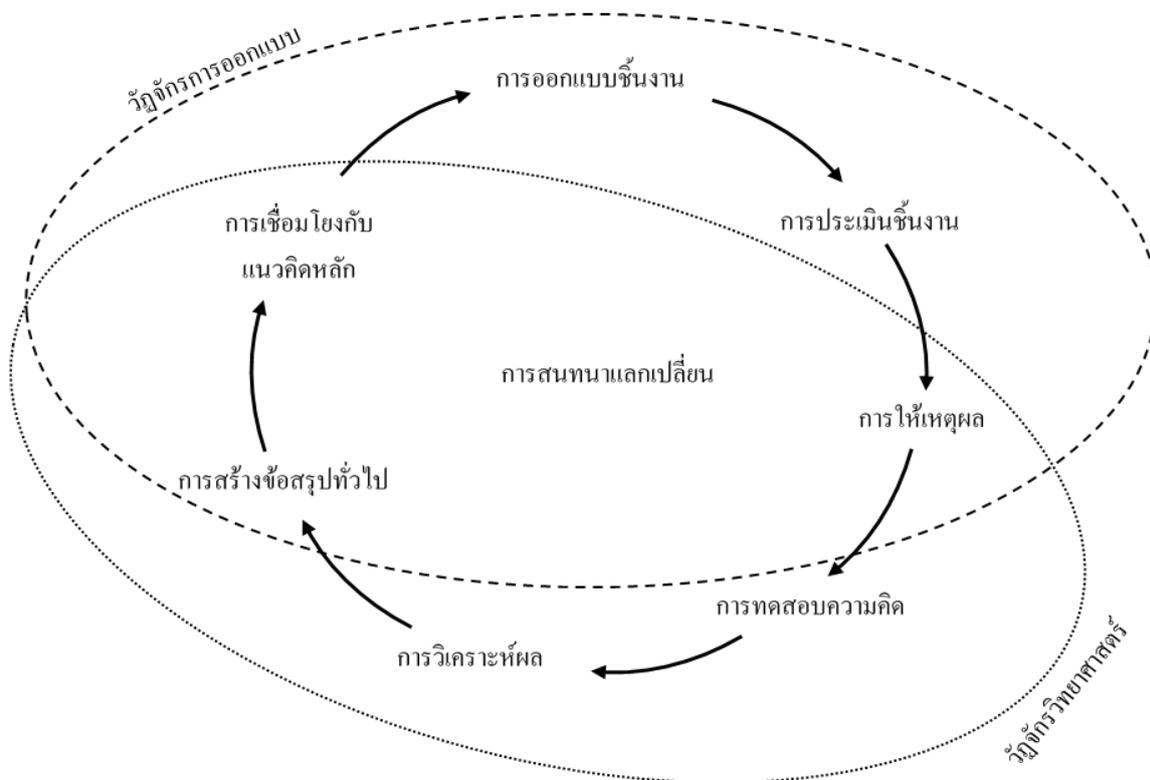


ภาพที่ 3 วัฏจักรการเรียนรู้โดยการออกแบบ (Kolodner et al., 2003: p. 511)

ในขณะที่ Fortus et al. (2005) บูรณาการการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แฝงไว้ในขั้นตอนที่ 2 ของวัฏจักรการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่อิงการออกแบบ นักการศึกษาบางคนพยายามเน้นให้กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ปรากฏชัดเจนยิ่งขึ้นในระหว่างที่นักเรียนกำลังมีส่วนร่วมในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ตัวอย่างเช่น Kolodner et al. (2003) ได้พัฒนาวัฏจักรการเรียนรู้โดยการออกแบบซึ่งประกอบด้วย 2 วัฏจักรที่เกิดขึ้นควบคู่กันไป ดังภาพที่ 3 วัฏจักรที่ 1 คือวัฏจักรการออกแบบ ซึ่งนักเรียนต้องออกแบบและสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ซึ่งประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การทำความเข้าใจปัญหา 2. การวางแผนการออกแบบ 3. การแลกเปลี่ยนความคิด 4. การสร้างและทดสอบต้นแบบ 5. การวิเคราะห์และอธิบายผลการทดสอบ และ 6. การนำเสนอและจัดแสดงชิ้นงาน โดยในระหว่างนี้หากนักเรียนตระหนักว่า ตนเองขาดความรู้หรือข้อมูลที่จำเป็น นักเรียนสามารถตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์เพื่อเริ่มต้นวัฏจักรที่ 2

วัฏจักรที่ 2 คือวัฏจักรการสำรวจตรวจสอบ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนเกิดคำถามขึ้นในระหว่างการออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ในกรณีนี้ นักเรียนจำเป็นต้องทำการสืบเสาะเพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้และข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบชิ้นงานนั้น วัฏจักรนี้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ซึ่งสะท้อนกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ 1. การทำคำถามให้ชัดเจน 2. การตั้งสมมติฐาน 3. การออกแบบการสำรวจตรวจสอบ 4. การทำการสำรวจตรวจสอบ 5. การวิเคราะห์และอธิบายผลการสำรวจตรวจสอบ และ 6. การนำเสนอและจัดแสดงผลการสำรวจตรวจสอบ เนื่องจากคำถามที่นักเรียนแต่ละกลุ่มตั้งขึ้นในระหว่างการออกแบบชิ้นงานอาจแตกต่างกัน ดังนั้น นักเรียนแต่ละกลุ่มจึงไม่จำเป็นต้องทำการสำรวจตรวจสอบประเด็นเดียวกัน ในทางตรงกันข้าม หากนักเรียนแต่ละกลุ่มทำการสำรวจตรวจสอบ

ประเด็นที่แตกต่างกัน นักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและข้อสรุประหว่างกัน ทั้งนี้เพื่อให้ทุกกลุ่มสามารถออกแบบชิ้นงานให้ประสบผลสำเร็จได้



ภาพที่ 4 วัฏจักรการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่อิงการออกแบบ (Apedoe et al., 2008: p. 458)

เช่นเดียวกับ Kolodner et al. (2003) ที่พยายามเน้นกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ให้ปรากฏชัดเจนในระหว่างที่นักเรียนกำลังมีส่วนร่วมในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม Apedoe et al. (2008) ก็เป็นนักการศึกษาอีกกลุ่มหนึ่งที่น่าเสนอรูปแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่อิงการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วย 2 วัฏจักร ได้แก่ 1. วัฏจักรการออกแบบ และ 2. วัฏจักรวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อนำให้นักเรียนได้ใช้การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ให้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม อย่างไรก็ตาม แทนที่ขั้นตอนต่างๆ ของวัฏจักรทั้งสองจะแยกออกจากกัน ดังเช่นที่ Kolodner et al. (2003) ได้นำเสนอไว้ Apedoe et al. (2008) ได้หลอมรวมขั้นตอนของวัฏจักรทั้งสองเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 4 ซึ่งประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การออกแบบชิ้นงาน 2. การประเมินชิ้นงาน 3. การให้เหตุผล 4. การทดสอบความคิด 5. การวิเคราะห์ผล 6. การสร้างข้อสรุปทั่วไป และ 7. การเชื่อมโยงกับแนวคิดหลัก โดยการสนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเป็นใจกลางของวัฏจักรนี้

วัฏจักรการเรียนรู้ของ Apedoe et al. (2008) เริ่มต้นด้วยการที่ครูนำเสนอปัญหาทางวิศวกรรมเพื่อให้ นักเรียนออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหานั้น ในกรณีนี้ นักเรียนสามารถออกแบบชิ้นงานบนพื้นฐานของความรู้เดิมของตนเอง จากนั้น นักเรียนจึงทำการทดสอบเพื่อประเมินว่า ชิ้นงานนั้นสามารถทำงานและแก้ปัญหา

ได้ตามข้อกำหนดหรือไม่ เนื่องจากความรู้เดิมของนักเรียนมักคลาดเคลื่อนไปจากความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ชิ้นงานของนักเรียนจึงยังทำงานได้ไม่ดีนัก ซึ่งนักเรียนต้องเสนอคำอธิบายว่า เหตุใดชิ้นงานของตนเองจึงไม่ประสบความสำเร็จ ซึ่งจะนำไปสู่ความตระหนักถึงความคิดที่อยู่เบื้องหลังการออกแบบชิ้นงานของนักเรียน จากนั้น ครูจึงกระตุ้นให้นักเรียนทดสอบความคิดนั้นด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักเรียนจะต้องเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ทั้งนี้เพื่อสร้างข้อสรุปสำหรับการออกแบบชิ้นงาน ในกรณีนี้ ครูจึงสามารถใช้ข้อสรุปที่นักเรียนสร้างขึ้นเพื่อเชื่อมโยงไปสู่แนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักเรียนจะใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานในวัฏจักรรอบต่อไป

จากการทบทวนเอกสารข้างต้น การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ผ่านการออกแบบเชิงวิศวกรรมมิได้หลากหลายแนวทาง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามแนวทางที่ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) นำเสนอไว้เสมอไป ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางอื่น ๆ (Fortus et al., 2005; Kolodner et al., 2003; Apedoe et al., 2008) แนวทางของ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) มีข้อจำกัดที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และมีแนวโน้มที่จะละเลยการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในระหว่างกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ด้วยเหตุนี้ ครูจึงไม่ควรยึดติดกับแนวทางของ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2015) ในการจัดการเรียนการสอนเนื้อหาวิทยาศาสตร์ทุกเรื่อง หากแต่ควรพิจารณาแนวทางอื่น ๆ ในฐานะทางเลือกที่อาจเหมาะสมกับการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่มีเนื้อหาเฉพาะเรื่อง

การสนับสนุนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยการออกแบบ

นอกจากรูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยการออกแบบ ดังที่นักการศึกษาหลายท่านได้นำเสนอไว้ (Apedoe et al., 2008; Fortus et al., 2005; Kolodner et al., 2003) ครูยังจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับกลวิธีต่าง ๆ ที่จะสนับสนุนให้นักเรียนสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทั้งนี้เพราะการจัดการเรียนการสอนตามวัฏจักรใดวัฏจักรหนึ่งเหล่านี้อาจยังเพียงพอ จากทฤษฎีการเรียนรู้สรรมนิยมทางสังคม (Social constructivist theory of learning) การสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์บนพื้นฐานของความรู้เดิมที่คลาดเคลื่อนอาจอยู่นอกเหนือความสามารถที่นักเรียนสามารถทำได้โดยลำพัง (Vygotsky, 1978) หากแต่นักเรียนต้องการความช่วยเหลือจากครูผ่านกระบวนการทางสังคมต่าง ๆ (Wertsch, 1985) ดังนั้น การปฏิบัติการสอนของครูในระหว่างการจัดการเรียนการสอนจึงเป็นอีกปัจจัยสำคัญในการลด “ช่องว่างระหว่างการออกแบบและวิทยาศาสตร์” (Vattam & Kolodner, 2008) เพื่อให้ นักเรียนเรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการออกแบบ

จากงานวิจัยของ Wendell and Rogers (2013) ซึ่งเปิดโอกาสให้นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาใช้ตัวต่อเลโก้ในการออกแบบสิ่งต่าง ๆ อาทิ สัตว์ บ้าน พาหนะขนส่ง และเครื่องดนตรี ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ทำกิจกรรมเหล่านี้มีความรู้เกี่ยวกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์เรื่องโครงสร้างร่างกายของสัตว์

สมบัติของวัสดุ เครื่องกลอย่างง่าย และเสียง ตามลำดับ ดีกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำกิจกรรมเหล่านี้หรือไม่ โดยผลการวิจัยเปิดเผยว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีความรู้ด้านเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่ดีกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทุกเรื่อง ยกเว้นเรื่องเสียงที่แม้กลุ่มทดลองทำได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม แต่ความแตกต่างนั้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิจัยนี้จึงบอกเป็นนัยว่า กิจกรรมการออกแบบอาจไม่ได้เหมาะสมกับทุกเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ (Ladachart & Ladachart, 2018) หรือในอีกมุมหนึ่ง ลักษณะของปัญหาทางวิศวกรรมอาจเป็นตัวกำหนดโอกาสในการเรียนรู้เนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

เนื่องจากการเรียนการสอนโดยการออกแบบใช้ปัญหาทางวิศวกรรมเป็นบริบทของการเรียนรู้อาการเลือกปัญหาทางวิศวกรรมที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดว่า นักเรียนจะได้เรียนรู้อะไรจากการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาานั้น ในการนี้ Sadler, Coyle, and Schwartz (2000) เสนอเกณฑ์สำหรับครูในการเลือกปัญหาทางวิศวกรรมในการจัดการเรียนรู้โดยการออกแบบ โดยปัญหาทางวิศวกรรมควร 1. มีความเกี่ยวข้องที่ชัดเจนเกี่ยวกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยครูจะต้องทราบว่า การแก้ปัญหานั้นจำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์อะไร 2. ส่งเสริมให้นักเรียนแข่งขันกับข้อจำกัดทางธรรมชาติ ไม่ใช่การแข่งขันเพื่อเอาชนะระหว่างกลุ่มนักเรียน 3. เอื้อให้เกิดการทดสอบซ้ำ ๆ ด้วยวิธีการที่เป็นปรนัย เพื่อให้ นักเรียนมีข้อมูลในการปรับปรุงชิ้นงาน และ 4. เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ปรับปรุงชิ้นงานดีขึ้นได้เรื่อย ๆ ด้วยลักษณะเหล่านี้ ปัญหาทางวิศวกรรมจะเป็นบริบทที่เอื้อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างเช่น ในการส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับการเหนียวนำแม่เหล็กไฟฟ้า Sadler et al. (2000) ใช้ปัญหาทางวิศวกรรมเพื่อท้าทายให้นักเรียนออกแบบการพันสายไฟรอบตะปู ทั้งนี้เมื่อต่อสายไฟนั้นกับถ่านไฟฉายก้อนหนึ่งแล้ว ตะปูสามารถดึงค้อนี้อแม่เหล็กให้ได้จำนวนมากที่สุด จากตัวอย่างนี้ ปัญหาทางวิศวกรรม 1. มีความเกี่ยวข้องอย่างชัดเจนกับความรู้เรื่องการเหนียวนำแม่เหล็กไฟฟ้า 2. ส่งเสริมให้นักเรียนเอาชนะข้อจำกัดทางธรรมชาติภายใต้เงื่อนไขวัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่ (เช่น ความยาวของสายไฟ ขนาดของตะปู และความต่างศักย์ของถ่านไฟฉาย) 3. เอื้อให้นักเรียนทำการทดสอบซ้ำ ๆ ด้วยวิธีการที่เป็นปรนัย โดยนักเรียนสามารถนับจำนวนน็อตที่ถูกตะปูดึงคุดจากการพันสายไฟรูปแบบต่าง ๆ และ 4. เปิดโอกาสให้นักเรียนปรับปรุงรูปแบบการพันสายไฟรอบตะปูได้เรื่อย ๆ ไม่ว่าจะป็นจำนวนรอบของสายไฟ และขนาดของวงรอบของสายไฟที่พันตะปู เป็นต้น การเลือกปัญหาทางวิศวกรรมที่เหมาะสมจึงเป็นการส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยครู

เมื่อครูได้เลือกปัญหาทางวิศวกรรมที่เหมาะสมแล้ว ในระหว่างที่นักเรียนกำลังออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาานั้น นักเรียนอาจไม่ทราบว่า ลักษณะใดของชิ้นงานที่เป็นลักษณะสำคัญ และลักษณะใดของชิ้นงานที่ไม่สำคัญ (Schauble et al., 1991) โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะสำคัญที่ไม่ได้อยู่ในความรู้เดิมของนักเรียนตั้งแต่แรก นักเรียนจึงอาจจะละเลยลักษณะสำคัญนั้นในการออกแบบชิ้นงาน จากตัวอย่างเกี่ยวกับการออกแบบการพันสายไฟรอบตะปู หากนักเรียนไม่มีความรู้เดิมว่า จำนวนรอบของสายไฟส่งผลต่อขนาดของสนามแม่เหล็กรอบตะปู นักเรียนก็ไม่ทันได้สังเกตลักษณะสำคัญนี้ และไม่ได้ใช้ลักษณะสำคัญนี้ในการ

ออกแบบชิ้นงาน จากงานวิจัยของ Chinn and Malhotra (2002) อุปสรรคที่สำคัญของการเปลี่ยนความรู้เดิมของนักเรียนก็คือการสังเกตเพื่อให้ได้มาซึ่งหลักฐานที่ตรงประเด็น ดังนั้น นักเรียนจึงต้องอาศัยความช่วยเหลือจากครูในการสังเกตว่า ลักษณะใดบ้างที่มีความสำคัญต่อการทำงานของชิ้นงานที่ตนเองกำลังออกแบบอยู่

ครูจึงควรเตรียมความช่วยเหลือให้นักเรียนสังเกตเห็นลักษณะสำคัญของชิ้นงานได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ครูไม่ควรบอกลักษณะสำคัญกับนักเรียนโดยตรง ทั้งนี้เพราะนักเรียนอาจเกิดนิสัยการเรียนรู้ที่พึ่งพิงครูเกินไป (Chinn & Malhotra, 2002) นอกจากนี้ หากนักเรียนไม่ได้สังเกตเห็นลักษณะสำคัญด้วยตนเอง นักเรียนอาจไม่สามารถนำลักษณะสำคัญนั้นไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ ได้ (Lobato, Rhodehamel, & Hohensee, 2012) ในการนี้ Chase, Malkiewich, and Kumar (2019) พบว่า การใช้ชิ้นงานหลายชิ้นที่มีลักษณะสำคัญที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน (Contrasting cases) มาเป็นตัวช่วยให้นักเรียนสังเกตเห็นลักษณะสำคัญได้ง่ายขึ้น โดยครูควรกระตุ้นให้นักเรียนวิเคราะห์หาสาเหตุว่า เหตุใดชิ้นงานหนึ่งจึงทำงานได้ดีกว่าชิ้นงานอื่น ชิ้นงานนั้นมีลักษณะสำคัญอะไรที่แตกต่างจากชิ้นงานอื่น และลักษณะสำคัญนั้นส่งเสริมการทำงานของชิ้นงานนั้นอย่างไร การให้เหตุผลเกี่ยวกับชิ้นงาน ทั้งในกรณีที่เหมาะสมและไม่ประสบความสำเร็จ จะมีส่วนช่วยให้นักเรียนเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้ง่ายขึ้น (Kolodner et al., 2003)

แต่การส่งเสริมให้นักเรียนสังเกตเห็นลักษณะสำคัญของการออกแบบชิ้นงานใด ๆ ยังไม่เพียงพอให้นักเรียนสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์จากการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากการวิจัยของ Malkiewich and Chase (2019) ซึ่งศึกษาว่า หลังจากการนำเสนอการต่อเลโก้หลายแบบให้เป็นคานที่ยื่นออกจากขอบโต๊ะ ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนสังเกตเห็นว่า จุดรวมมวลเป็นลักษณะสำคัญที่กำหนดระยะทางที่คานยื่นออกไปจากขอบโต๊ะ ผลการวิจัยเปิดเผยว่า แม้นักเรียนบางกลุ่มสังเกตเห็นลักษณะสำคัญเกี่ยวกับจุดรวมมวลของคาน แต่นักเรียนเหล่านั้นไม่สนใจที่จะสำรวจลักษณะสำคัญนี้ นักเรียนเหล่านั้นจึงไม่เกิดความรู้เกี่ยวกับจุดรวมมวล ในทางตรงกันข้าม นักเรียนบางกลุ่มสนใจและสำรวจปัจจัยที่ส่งผลตำแหน่งของจุดรวมมวลของคาน นักเรียนกลุ่มนี้ก็เกิดความรู้เกี่ยวกับจุดรวมมวล ดังนั้น นอกจากการส่งเสริมให้นักเรียนสังเกตเห็นลักษณะสำคัญแล้ว ครูยังต้องดึงความสนใจของนักเรียนมาที่ลักษณะสำคัญของการออกแบบชิ้นงาน ซึ่งจะช่วยให้ นักเรียนสร้างความรู้จากการสืบเสาะเกี่ยวกับลักษณะสำคัญนั้น

ในการนี้ Apedoe and Schunn (2013) ได้สำรวจวิธีที่นักเรียนใช้ในการสืบเสาะเกี่ยวกับลักษณะต่าง ๆ ที่ตนเองสนใจในระหว่างการออกแบบชิ้นงาน ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่ 1. การปรับเปลี่ยนเพียงลักษณะเดียวในแต่ละครั้ง (Vary one thing at a time: VOTAT) 2. การควบคุมเพียงลักษณะเดียวให้คงที่ในแต่ละครั้ง (Hold one thing at a time: HOTAT) 3. การปรับชิ้นงานให้ดีขึ้นทีละน้อย (Adaptive growth: AG) และ 4. การควบคุมหลายลักษณะให้คงที่ (Hold particular things constant: HPTC) โดย 2 วิธีแรกเป็นวิธีของนักวิทยาศาสตร์ ในขณะที่ 2 วิธีหลังเป็นวิธีของนักออกแบบ ทั้งนี้การเปรียบเทียบระหว่างกลวิธีในการออกแบบและการเรียนรู้ของนักเรียน 2 กลุ่ม (กลุ่มที่ประสบความสำเร็จสูงกับกลุ่มที่ประสบความสำเร็จต่ำ)

เปิดเผยว่า วิธีที่ 3 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่ทำให้นักเรียนออกแบบได้ประสบผลสำเร็จและเข้าใจหลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่อยู่เบื้องหลังของการออกแบบนั้น

ผลการวิจัยของ Apedoe et al. (2013) เป็นสิ่งที่น่าประหลาดใจ ทั้งนี้เพราะวิธีที่ 3 มีความเคร่งครัดน้อยกว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ซึ่งมีการควบคุมตัวแปรอย่างเป็นระบบ และน่าจะช่วยให้นักเรียนเกิดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้ดีกว่าวิธีที่ 3 อย่างไรก็ตาม ในสถานการณ์การออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรมซึ่งมักเกี่ยวข้องกับตัวแปรหลายตัวหรือลักษณะหลายอย่างของชิ้นงาน การใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 เพื่อทดสอบตัวแปรทีละตัวหรือลักษณะทีละอย่างจึงไม่ใช่วิธีการที่มีประสิทธิภาพมากนัก นักเรียนจึงเลือกใช้วิธีที่ 3 มากกว่าวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ด้วยเหตุนี้ Apedoe et al. (2013) จึงสรุปว่า “กลวิธีที่นำไปสู่ความสำเร็จทางวิทยาศาสตร์ไม่จำเป็นต้องนำไปสู่ความสำเร็จในการออกแบบ” (p. 789) ดังนั้น การส่งเสริมให้นักเรียนทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ในระหว่างการออกแบบทางวิศวกรรมจึงอาจไม่ใช่คำตอบ หากแต่เป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้สะท้อนคิดและให้เหตุผลเพื่ออธิบายสิ่งที่ตนเองเรียนรู้จากการปรับชิ้นงานให้ดีขึ้นทีละน้อย

ในการนี้ Puntambekar and Kolodner (2005) เสนอว่า ครูควรมีกิจกรรมย่อยเป็นระยะ ๆ ตลอดช่วงเวลาที่นักเรียนกำลังทำกิจกรรมการออกแบบ ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนสะท้อนคิดและให้เหตุผลเกี่ยวกับสิ่งที่ตนเองได้เรียนรู้ โดยครูสามารถ 1. ส่งเสริมให้นักเรียนได้เขียนบันทึกความคิดของตนเองในระหว่างการออกแบบ 2. จัดหาช่วงเวลาและพื้นที่เพื่อให้นักเรียนนำเสนอข้อสรุปจากการทดสอบชิ้นงาน และ 3. อภิปรายร่วมกับนักเรียนทั้งชั้นเพื่อสรุปความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่อยู่เบื้องหลังการออกแบบชิ้นงาน ในทำนองเดียวกัน Capobianco, DeLisi, and Radloff (2018) พบว่า การปฏิบัติการสอนของครูมีส่วนช่วยส่งเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระหว่างการออกแบบ ไม่ว่าจะเป็นการดึงความรู้เดิมของนักเรียนให้ปรากฏชัดเจนในระหว่างที่นักเรียนกำลังนิยามและวางแผนเพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม การส่งเสริมให้นักเรียนสร้างความหมายในระหว่างการสร้างและทดสอบชิ้นงาน และการส่งเสริมให้นักเรียนสะท้อนและแลกเปลี่ยนความคิดเกี่ยวกับชิ้นงานและการทำงานของชิ้นงาน เป็นต้น

บทสรุป

นโยบายสะเต็มศึกษาได้ทำให้เกิดความสนใจในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยการออกแบบเชิงวิศวกรรม แต่สิ่งที่มีถูกกลไลก็คือ “ช่องว่างระหว่างการออกแบบและวิทยาศาสตร์” (Vattam & Kolodner, 2008) ซึ่งเป็นผลจากการที่คิดว่า นักเรียนจะเกิดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้โดยง่ายผ่านกิจกรรมการออกแบบ บทความนี้มุ่งสร้างความตระหนักและเสนอแนวทางในการลดช่องว่างนี้ให้แคบลง ซึ่งครูต้องระมัดระวังตั้งแต่การเลือกปัญหาทางวิศวกรรมมาเป็นบริบทของการเรียนรู้ นอกจากนี้ ครูยังจำเป็นต้องหาวิธีเพื่อบูรณาการกระบวนการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์เข้ากับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านการให้ความช่วยเหลือรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนสังเกตเห็นลักษณะสำคัญของการออกแบบชิ้นงาน ตลอดจนการส่งเสริมให้นักเรียนสนใจและศึกษาลักษณะสำคัญนั้นอย่าง

ละเอียด ในกรณีนี้ ครูสามารถใช้กระบวนการทางสังคมเพื่อให้นักเรียนสะท้อนคิดและให้เหตุผลเกี่ยวกับความรู้ที่อยู่เบื้องหลังการออกแบบชิ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

- Apedoe, X. S., Reynolds, B., Ellefson, M. R., & Schunn, C. D. (2008). Bringing Engineering Design into High School Science Classrooms: The Heating/Cooling Unit. **Journal of Science Education and Technology**. 17(5): 454-465.
- Apedoe, S. X., & Schunn, C. D. (2013). Strategies for Success: Uncovering What Makes Students Successful in Design and Learning. **Instructional Science**. 41(4): 773-791.
- Capobianco, B. M., DeLisi, J., & Radloff, J. (2018). Characterizing Elementary Teachers' Enactment of High-Leverage Practices through Engineering Design-based Science Instruction. **Science Education**. 102(2): 342-376.
- Chase, C. C., Malkiewich, L., & Kumar, A. S. (2019). Learning to Notice Science Concepts in Engineering Activities and Transfer Situations. **Science Education**. 103(2): 440-471.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. **Review of Educational Research**. 63(1): 1-49.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Children's Responses to Anomalous Scientific Data: How Is Conceptual Change Impeded? **Journal of Educational Psychology**. 94(2): 327-343.
- Fortus, D., Krajcik, J., Dersheimer, 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.
- Holmlund, T. D., Lesseig, K., & Slavitt, D. (2018). Making Sense of "STEM Education" in K-12 Contexts. **International Journal of STEM Education**. doi: <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0127-2>.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2014). **STEM Education Thailand**. (In Thai). [On-line]. Available: <http://www.stemedthailand.org>.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2015). **Basic Knowledge about STEM Education**. (In Thai). [On-line]. Available: <http://www.stemedthailand.org/wp-content/uploads/2015/03/newIntro-to-STEM.pdf>.
- 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**. 38(18): 2762-2794.
- 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.
- Ladachart, L. (2018). **Teaching and Learning Science Scientifically: History, Philosophy, and Education**. (In Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Ladachart, L. & Ladachart, L. (2018). From Scientific Literacy and Inquiry to STEM Education and Design. (In Thai). **Journal of Education, Naresuan University**. 20(1): 246-260.
- Ladachart, L., Phothong, W., Rittikoo, W., & Ladachart, L. (2018a). STEM Education and Engineering Design According to Teachers' Understandings and Perspectives. (In Thai). **Journal of Education, Burapha University**. 30(1): 89-103.
- Ladachart, L., Phothong, W., Rittikoo, W., & Ladachart, L. (2018b). Teachers' Understandings and Views about STEM Education and Engineering Design. (In Thai). **Silpakorn University Journal**. 39(3): 133-149.
- Lobato, J., Rhodehamel, B., & Hohensee, C. (2012). "Noticing" as an Alternative Transfer of Learning Process. **The Journal of the Learning Sciences**. 21(3): 433-482.
- Malkiewich, L. J., & Chase, C. C. (2019). Focusing Processes: Potential Pathways for Transfer of Science Concepts from an Engineering Task. **International Journal of Science Education**. 41(11): 1475-1495.
- Ministry of Education. (2017). **Indicators and Core Science Learning Content (Revised Version B.E. 2560) According to Basic Education Curriculum B.E. 2551**. (In Thai). Bangkok: The Agricultural Co-Operative Federation of Thailand Printing Press.
- Office of the National Economic and Social Development Council. (2018). **National Strategy for 20 Years (B.E. 2561-2580)**. (In Thai). [On-line]. Available: http://www.nesdb.go.th/download/document/SAC/NS_PlanOct2018.pdf
- Park, D., Park, M., & Bates, A. B. (2018). 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**. 16(2): 275-294.
- 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.

- Puntambekar, S. & Kolodner, J. L. (2005). Toward Implementing Distributed Scaffolding: Helping Students Learn Science from Design. **Journal of Research in Science Teaching**. 42(2): 185-217.
- Sadler, P. M., Coyle, H. P., & Schwartz, M. (2000). Engineering Competitions in the Middle School Classroom: Key Elements in Developing Effective Design Challenges. **The Journal of the Learning Sciences**. 9(3): 299-327.
- Schauble, L. (1990). Belief Revision in Children: The Role of Prior Knowledge and Strategies for Generating Evidence. **Journal of Experimental Child Psychology**. 49(1): 31-57.
- Schauble, L., Klopfer, L. E., & Raghavan, K. (1991). Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. **Journal of Research in Science Teaching**. 28(9): 859-882.
- The Secretariat of the House of Representatives. (2016). **Thailand 4.0**. (In Thai). [On-line]. Available: https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2559/jul2559-5.pdf
- Vattam, S. S. & Kolodner, J. L. (2008). On Foundations of Technological Support for Addressing Challenges Facing Design-based Science Learning. **Pragmatics and Cognition**. 16(2): 406-437.
- Vygotsky, L. (1978). **Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes**. Cambridge: Harvard University Press.
- 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 Scientific Attitudes in Elementary School. **Journal of Engineering Education**. 102(4): 513-540.
- Wertsch, J. V. (1985). **Vygotsky and the Social Formation of the Mind**. Cambridge: Harvard University Press.