



การจัดการเรียนรู้ธรรมชาติของเทคโนโลยีในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ยุคใหม่
โดยใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม

Teaching Nature of Technology in Modern Science Classroom
by Engineering Design Process

มุสตาเก็ม อาแว¹ ยาสุมิน วรกีจจานนท์² ปิยพร ศักดิ์ภิรมย์³ และ พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ⁴
Mustakeem Awa, Yasumin Worakitchanon, Piyaporn Sakpirom, and Pongprapan Pongsopon

บทคัดย่อ

การจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ ได้เปลี่ยนผ่านจากการมุ่งเน้นการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติไปสู่ยุคของการใช้เทคโนโลยีในการสร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาท้าทาย ผู้เรียนจึงจำเป็นต้องเรียนรู้ธรรมชาติของเทคโนโลยีที่มีลักษณะเฉพาะตัว ได้แก่ เทคโนโลยีเป็นการประยุกต์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ กระบวนการสร้างเทคโนโลยีสามารถเกิดข้อผิดพลาดได้ เทคโนโลยีมีความแตกต่างไปตามบริบทของพื้นที่และเทคโนโลยีมีผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยแนวทางการสอนธรรมชาติของเทคโนโลยีในวิชาวิทยาศาสตร์ควรบูรณาการกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ร่วมกับการสะท้อนคิดอย่างชัดเจนของนักเรียนท้ายบทเรียน ซึ่งมีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนว EDP ที่สำคัญ 3 รูปแบบ คือ โมเดล SLED, 6E Learning และ Project-Based Learning ร่วมกับแนวทางการประเมินผลตามสภาพจริงตามตัวชี้วัดตามมาตรฐานเพิ่มเติมศึกษาของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งนี้เพื่อนำมาสู่การยกระดับการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ยุคใหม่ตามบริบทและกระแสสังคมในปัจจุบันอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ธรรมชาติของเทคโนโลยี / กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม / สะเต็มศึกษา / รูปแบบการจัดการเรียนรู้

Article Info: Received 11 February, 2019; Received in revised form 18 March, 2019; Accepted 24 April, 2019

¹ นิสิตปริญญาโทสาขาวิชาศึกษาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: takeem.my@gmail.com

Graduate student in Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University Email: takeem.my@gmail.com

² นิสิตปริญญาโทโครงการ สควค. ระยะที่ 3 รุ่นที่ 6 สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: yasumin.wo@ku.th

Graduate student in Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University Email: yasumin.wo@ku.th

³ นิสิตปริญญาโทโครงการ สควค. ระยะที่ 3 รุ่นที่ 6 สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: ps.nisak@gmail.com

Graduate student in Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University Email: ps.nisak@gmail.com

⁴ อาจารย์ประจำสาขาวิชาศึกษาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: pongprapan.p@ku.th

Lecturer in Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University Email: pongprapan.p@ku.th

Abstract

The next generation of science teaching is moving from the explanation of the natural phenomena to the era of creating technology and innovation to solve challenging problems. This article presents the meanings and essential characteristics of the nature of technology: the technological process can result in errors; the difference of technology bases on each area; technology affects environment and society. To address the nature of technology in a science classroom, teachers should engage the students in the engineering design process (EDP) as well as encourage them to explicitly reflect upon the relevant tenets of the nature of technology. There are three common instructional models where EDP is integrated: the SLED model, 6E Learning, and Project-Based Learning. To evaluate student's learning EDP, the teachers should use authentic assessment and refer to the competencies and indicators in National STEM Standards of Thailand developed by the Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology

KEYWORDS: NATURE OF TECHNOLOGY / ENGINEERING DESIGN PROCESS / STEM EDUCATION / INSTRUCTIONAL MODELS

บทนำ

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์เริ่มเปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างมากในช่วงต้นศตวรรษที่ 21 เนื่องด้วยบริบทของปัจจัยสนับสนุนการเรียนรู้เปลี่ยนแปลงสู่สังคมออนไลน์และโลกความรู้ที่ไร้พรมแดนและสังคมที่ถูกขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 จึงเป็นการเรียนรู้เพื่อรู้อย่างเท่าทันการเปลี่ยนแปลง ปรับเปลี่ยนผู้เรียนให้รู้จักปรับตัวเพื่อแสวงหาความรู้ ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รู้และเข้าใจ ตลอดจนสามารถสร้างสรรค์เทคโนโลยีได้ ประกอบกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยี แบบก้าวกระโดด นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Digital Transformation เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับสินค้าและบริการ ผ่านทางนวัตกรรมและความคิดสร้างสรรค์ รวมถึง “Internet of Thing” ที่ทุกสิ่งทุกอย่างต้องสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ กำลังเข้ามาเปลี่ยนแปลงโลก การไหลเวียนของวัฒนธรรมความต้องการคุณลักษณะของแรงงาน พลเมือง ในสังคมได้เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น สถานศึกษา

ซึ่งเปรียบเสมือนสถานที่เตรียมพลเมืองโลกที่มีคุณลักษณะสำหรับศตวรรษที่ 21 จึงต้องปรับเปลี่ยนตามไปด้วย (ประสาธ นื่องเฉลิม, 2558)

ประเทศไทยจำเป็นต้องค้นหายุทธศาสตร์ใหม่ในการพัฒนาระบบการศึกษาในศตวรรษที่ 21 โดยให้ความสำคัญกับการสร้างเทคโนโลยีและนวัตกรรมมากขึ้น ส่งผลให้ครูจำเป็นต้องเข้าใจความหมาย ลักษณะหรือธรรมชาติของเทคโนโลยี (Nature of Technology: NOT) ตลอดจนสังเกตเห็นความสำคัญของเทคโนโลยีว่ามีความจำเป็นอย่างไรต่อโลกอนาคต นำมาสู่คำถามสำคัญ คือ ครูต้องจัดการเรียนรู้อย่างไร เพื่อปลูกฝังให้ผู้เรียนมีทักษะในการเลือกสรรข้อมูลอย่างมีสติและใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม ทั้งนี้การปลูกฝังความเข้าใจด้านธรรมชาติของเทคโนโลยีจำเป็นต้องสอดคล้องกับคุณสมบัติของการเป็นผู้รู้เทคโนโลยี (Technological literacy) โดย International Technology Education Association (2007) ได้ระบุไว้ว่า การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบันที่ต้องการให้นักเรียนเป็นผู้ประดิษฐ์คิดค้นนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาในสังคม ผู้เรียนควรมีความเป็นผู้รู้เทคโนโลยี ประกอบด้วย สามารถเข้าใจหลักการของเทคโนโลยี พัฒนาและต่อยอดเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ เพื่อนำไปใช้แก้ปัญหาของสังคม ตลอดจนเข้าใจธรรมชาติของเทคโนโลยี อันถือว่าเป็นเป้าหมายของการจัดการศึกษาเพื่อศตวรรษที่ 21

หากพิจารณาแนวทางการปรับตัวทางการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า มีการให้ความสำคัญ วิศวกรรม และเทคโนโลยีเพิ่มมากขึ้นในหลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ ว่าวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์และมีอิทธิพลต่อการดำเนินชีวิตในยุคใหม่และยังเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในสังคมปัจจุบันและในอนาคต (National Research Council, 2012) ทั้งนี้การเตรียมความพร้อมดังกล่าวได้ปรับตัวออกมาในรูปแบบของการกำหนดกรอบมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์สำหรับคนรุ่นใหม่ที่มีชื่อ Next Generation Science Standard (NGSS) ที่เน้นการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering design process) ซึ่งเป็นหนึ่งในการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม โดยให้ความสำคัญกับการบูรณาการการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมและเทคโนโลยีในการสร้างสรรค์นวัตกรรมในรูปแบบผลิตภัณฑ์และวิธีการเพื่อแก้ปัญหาท้าทาย อันเป็นหัวใจและลักษณะสำคัญของการจัด

การเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา (STEM Education) สำหรับประเทศไทยก็กำลังตื่นตัวในเรื่องนี้เป็นอย่างมากดังจะเห็นได้จาก การปรับปรุงตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งจัดทำโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเพื่อดำรงชีวิตในสังคมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ใช้ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และศาสตร์อื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาและพัฒนางานอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process: EDP) เลือกใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม โดยคำนึงถึงผลกระทบที่มีต่อชีวิต สังคมและสิ่งแวดล้อม สิ่งเหล่านี้จึงนับเป็นความท้าทายใหม่ของครูไทย ที่จำเป็นต้องมีทักษะ ตลอดจนความรู้ความเข้าใจด้านธรรมชาติของเทคโนโลยี เพื่อนำมาสู่การออกแบบการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป บทความฉบับนี้จึงมุ่งเน้นนำเสนอความหมายธรรมชาติของเทคโนโลยี ตลอดจนแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความเข้าใจธรรมชาติของเทคโนโลยีอย่างเป็นรูปธรรม

ธรรมชาติของเทคโนโลยี

ก่อนหน้านี้นี้เคยมีการศึกษาในวงกว้างถึงความหมายของ “ธรรมชาติวิทยาศาสตร์” (Nature of Science) ที่บรรยายถึงลักษณะจำเพาะหรือแนวทางของการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แต่ด้วยสภาพการจัดการศึกษาที่เปลี่ยนแปลงไป วิทยาศาสตร์เริ่มเติบโตไปพร้อมกับพัฒนาการทางเทคโนโลยี ส่งผลให้มีการนำนิยามคำว่า ธรรมชาติของเทคโนโลยี (Nature of Technology: NOT) มาบูรณาการในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มากขึ้น ซึ่งการศึกษา “NOT” ถูกนำเสนอผ่านกลุ่มคนที่มีส่วนร่วมในแขนงวิชาที่เกี่ยวข้องและสังเคราะห์ร่วมกันว่าความรู้ทางเทคโนโลยีเกิดขึ้นได้อย่างไร ซึ่งประกอบไปด้วยคำอธิบายลักษณะเฉพาะตัวไว้ดังนี้ (Rutherford & Ahlgren, 1990)

1. **เทคโนโลยี คือ กระบวนการประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์** ซึ่งต้องใช้ศาสตร์เฉพาะหรือความรู้พื้นฐานเพื่อสร้างสรรค์งาน โดยต้องใช้ทักษะที่เกี่ยวข้องหลายด้าน อาทิ การคำนวณ การเก็บข้อมูล เก็บรักษาตัวอย่าง การประมวลผล การขนส่ง การเก็บข้อมูล การป้องกันวัสดุอันตรายและการสื่อสาร เป็นต้น

2. **กระบวนการสร้างเทคโนโลยีสามารถผลิตผลได้** หากพิจารณาพัฒนาการของเทคโนโลยีหลายชิ้นที่ถูกสร้างขึ้น ล้วนผ่านความล้มเหลวและปรับแก้ให้มีประสิทธิภาพมาทั้งสิ้น อาทิ เทคโนโลยีการผลิตเครื่องยนต์เครื่องบิน ที่ในช่วงยุคแรกระบบและอุปกรณ์บางชิ้นไม่สามารถทำงานได้ แต่ก็ถูกปรับปรุงในภายหลัง เป็นต้น ทั้งนี้สิ่งสำคัญที่ควรตระหนักนอกเหนือจากขั้นตอนการวางแผนและออกแบบอย่างรอบคอบแล้ว คือ การรู้ทันปัญหาและสามารถปรับปรุงแก้ไขได้อย่างเหมาะสม เพื่อลดโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

3. **เทคโนโลยีมีลักษณะจำเพาะและสอดคล้องกับบริบทของสังคมแต่ละพื้นที่** เพราะเทคโนโลยีสอดแทรกอยู่ในทุกกิจกรรมของสังคมมนุษย์ โดยเทคโนโลยีทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นมักจะอิงหรือปรับให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของแต่ละพื้นที่ ลักษณะของวัฒนธรรม ตลอดจนอิทธิพลด้านอื่น ๆ ที่มีผลต่อการดำเนินชีวิตในสังคมนั้น ๆ อาทิ เทคโนโลยีการสร้างอุปกรณ์ตกปลาในบริเวณขั้วโลก ซึ่งมีน้ำแข็งปกคลุม มีความแตกต่างไปจากอุปกรณ์ตกปลาในพื้นที่เขตร้อน เป็นต้น

4. **การใช้เทคโนโลยีมีผลกระทบรอบด้านทั้งต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม** ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีถูกสร้างขึ้นเพื่อผลประโยชน์ที่เฉพาะเจาะจงต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่ส่วนใหญ่ มักมีผลกระทบด้านอื่น ๆ ที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ อาทิ การใช้ตู้เย็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดการทำลายชั้นบรรยากาศของโลก เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการออกแบบเทคโนโลยีควรคำนึงถึงผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในทุกระดับ ตลอดจนบริหารจัดการความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

ปัจจุบันการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การพัฒนาความรู้เรื่องเทคโนโลยี (Technological literacy) ให้กับผู้เรียน โดยมุ่งพัฒนาความสามารถในการใช้ บริหารจัดการและประเมินเทคโนโลยี สอนให้นักเรียนเกิดการแก้ปัญหาโดยใช้เทคโนโลยี (สุทธิดา จำรัส, 2560) ทั้งนี้การฝึกให้ผู้เรียนมีทักษะในการแก้ปัญหาและมีความคิดสร้างสรรค์โดยใช้เทคโนโลยีนั้น ครูผู้สอนจำเป็นต้องปลูกฝังธรรมชาติของเทคโนโลยีให้ผู้เรียนได้รับทราบว่ามีลักษณะเฉพาะตัวอย่างไร เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ให้มีศักยภาพต่อไป

สอน NOT ในชั้นเรียนได้อย่างไร

หลังจากที่ได้มีการปรับปรุงตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งจัดทำโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) เพื่อเริ่มต้นนำเทคโนโลยีเข้ามาสู่วิทยาลัยวิทยาศาสตร์โดยผ่านการบูรณาการเพิ่มเติมศึกษา ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนเข้าใจเทคโนโลยี จึงต้องปลูกฝังให้ผู้เรียนพัฒนาเทคโนโลยีด้วยตนเอง ส่งผลให้มีการนำเสนอแนวทางในการฝึกทักษะกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมที่เรียกว่า Engineering Design Process: EDP หรือแนวปฏิบัติทางวิศวกรรม นำเข้ามาสู่บทเรียน โดยเน้นให้อยู่ในระดับเดียวกันกับ Scientific inquiry หรือกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เพื่อฝึกประสบการณ์การเรียนรู้และบูรณาการทั้งสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ในห้องเรียน ซึ่งกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเหล่านี้ค่อนข้างมีความใกล้เคียงกันกับ Scientific method หรือกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่คุ้นเคย อย่างไรก็ตามลักษณะเฉพาะของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมจะเริ่มต้นด้วยปัญหาจากบริบทของสังคมที่ต้องการแก้ไข ซึ่งมักมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดของการแก้ปัญหา รวมถึงจำเป็นต้องมีการออกแบบหรือปฏิบัติซ้ำ หลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการที่ดีที่สุด โดยแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมนั้นประกอบไปด้วยกระบวนการต่าง ๆ 8 ขั้นตอน เกิดขึ้นเป็นวงจร (Vasquez, Sneider, & Comer, 2013) ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของเทคโนโลยีสอดคล้องกันไปพร้อมกัน ดังนี้

1. *การวิเคราะห์และระบุปัญหา (Define the problem)* คือ เป็นการนิยามปัญหาเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตในสังคมด้านต่าง ๆ ที่ผู้เรียนให้ความสนใจ ซึ่งต้องสะท้อนปัญหาจริงที่ทำทนาย โดยผลของการแก้ปัญหาต้องมีคุณค่าสูงต่อสังคม อาจจะเริ่มต้นจากการตั้งคำถาม เช่น ปัญหาหรือความต้องการนั้นคืออะไร ใครที่กำลังประสบกับปัญหาเหล่านี้บ้าง และปัญหานี้มีความสำคัญอย่างไรจึงต้องสร้างนวัตกรรม หรือแนวทางในการแก้ไข

2. *การศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Do background research)* คือ ผู้เรียนต้องมีการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับปัญหานั้นและแนวทางการแก้ไขปัญหาทั้งหมดที่เป็นไปได้ อาจจะเป็นการเรียนรู้จากประสบการณ์ของตนเองหรือของผู้อื่น ซึ่งใน

ขั้นตอนถัดไปผู้เรียนต้องพิจารณาไปถึงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ต้องคำนึงถึง โดยผู้สอนอาจจะเป็นผู้กำหนดข้อจำกัดที่มีอยู่โดยอิงจากสถานการณ์จริง ยกตัวอย่างเช่น ข้อจำกัดทางด้านเวลาดวงงบประมาณ และวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่ เพื่อนำไปประกอบการสร้างแนวทางที่จะนำไปสู่การทำให้สำเร็จได้

3. *การระบุความต้องการ (Specify requirements)* กระบวนการนี้จะทำให้ผู้เรียนได้คิดและพิจารณาถึงการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีโดยผู้เรียนควรพิจารณาไปถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการที่จะทำให้ขั้นตอนนี้มีประสิทธิภาพมากที่สุดควรเริ่มต้นจากการคิดถึงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูปธรรมที่ใกล้เคียงกันกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสร้าง โดยคำนึงถึงคุณลักษณะหลัก ๆ ของแต่ละผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งอาจจะมีได้หลายรูปแบบ

4. *การระดมความคิด (Brainstorm solutions)* คือ การที่ผู้เรียนได้พิจารณาถึงรูปแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ ซึ่งถ้าหากไม่มีกระบวนการนี้ ผู้เรียนอาจจะพิจารณาแค่เพียงแนวทางเดียว ซึ่งอาจจะยังไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาที่ได้นั้นก็ได้ โดยนักออกแบบที่ดัดนั้นควรจะพยายามสร้างแนวทางการแก้ไขปัญหามากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และนำแนวทางเหล่านั้นมาตัดสินใจร่วมกัน

5. *การลงข้อสรุปเลือกวิธีที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนา (Choose the best solution) และพัฒนาโมเดล (Develop the solution)* เพื่อพัฒนาแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ได้นั้น โดยในส่วนนี้จะช่วยทำให้ผู้เรียนได้ตระหนักถึงบทบาทของเทคโนโลยีที่มีต่อสังคมที่เราอยู่ ซึ่งในส่วนของการออกแบบและลงมือทำการทดลองเหล่านี้จะช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ถึงวิธีการใช้งานเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เข้ามามีบทบาทในการเป็นเครื่องมือในการทำงาน มีการนำคณิตศาสตร์มาใช้ในการคำนวณ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้เรียนได้เข้าใจบทบาทของเทคโนโลยีในการพัฒนาทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรม

6. *การสร้างโมเดลหรือต้นแบบ (Build a prototype)* โดยเป็นต้นแบบก่อนที่จะนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมจริง ซึ่งต้นแบบนี้จะต้องแตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่เคยมีมาเพราะเป็นการพัฒนาให้ดีขึ้น กระบวนการสร้างต้นแบบนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สามารถนำไปทดสอบวิธีแก้ปัญหาได้ อย่างไรก็ตามในการสร้างต้นแบบนี้บางครั้งอาจจะยังไม่ได้สำเร็จสมบูรณ์ตั้งแต่การออกแบบครั้งแรกเสมอไป จึงต้องมีการย้อนกลับไปตรวจสอบและแก้ไข

7. การตรวจสอบและแก้ไข (Test and Redesign) ผู้เรียนจะได้ทดสอบต้นแบบที่คิดค้นขึ้นและอาจจะทำให้ค้นพบปัญหาใหม่ทำให้ต้องเกิดการเปลี่ยนแปลงและออกแบบต้นแบบนั้น จนกระทั่งได้ต้นแบบสุดท้ายที่ดีที่สุดออกมา

8. การสื่อสารเผยแพร่สิ่งที่ผู้เรียนได้คิดค้นขึ้นออกไปให้ผู้อื่นได้รับรู้ (Communicate results) ซึ่งเป็นสิ่งที่วิศวกรรมมีอาชีพทำกันโดยตลอด โดยรวบรวมจัดทำเอกสารอย่างละเอียด เพื่อให้ผู้ที่ต้องการสามารถนำไปทำซ้ำเพื่อตรวจสอบ และพัฒนาต่อยอดได้

ทั้งนี้การสอดแทรกการสอนธรรมชาติของเทคโนโลยีหรือ NOT ร่วมกับการบูรณาการกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมข้างต้นในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ อาจต้องผนวกร่วมกับการสะท้อนความคิดกับผู้เรียนในช่วงท้ายบทเรียน หรือ Explicit reflective approach เช่นเดียวกับการสอนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดและอภิปรายเกี่ยวกับลักษณะสำคัญของธรรมชาติของเทคโนโลยี เน้นให้นักเรียนเกิดความเข้าใจธรรมชาติของเทคโนโลยีโดยผ่านกระบวนการคิดของนักเรียนเอง โดยวิธีการที่ง่ายที่สุดในการปรับใช้ คือ การสอดแทรกในสาขาที่ตนเองถนัด อาทิ ให้ผู้เรียนออกแบบเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์ป้องกันการสุกของผลไม้ ในบทเรียนเรื่องฮอร์โมนพืชของรายวิชาชีววิทยาหรือออกแบบเทคโนโลยีการผลิตน้ำผลไม้ปั่น ในบทเรียนเรื่องสมบัติคอลลิเกทีฟ สภาวะเย็นยิ่งยวด และปรากฏการณ์นิวเคลียร์ของรายวิชาเคมี การออกแบบเทคโนโลยียางล้อรถ ในบทเรียนเรื่องการเคลื่อนที่ของรายวิชาฟิสิกส์ เป็นต้น โดยหลังจากที่ผู้เรียนได้คิดค้นและสร้างสรรค์เทคโนโลยีผ่านกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมแล้ว ควรให้ผู้เรียนได้ร่วมกันสะท้อนคิดและสรุปได้ว่าเทคโนโลยีมีลักษณะเฉพาะตัวอย่างไรบ้าง เรียนรู้จากตอนใดของการจัดกิจกรรม จากนั้นจึงสรุปบทเรียนร่วมกัน เพื่อเป็นการประเมินและให้ข้อมูลย้อนกลับแก่ผู้เรียน

รูปแบบการสอน EDP ในวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อส่งเสริมความเข้าใจธรรมชาติของเทคโนโลยี

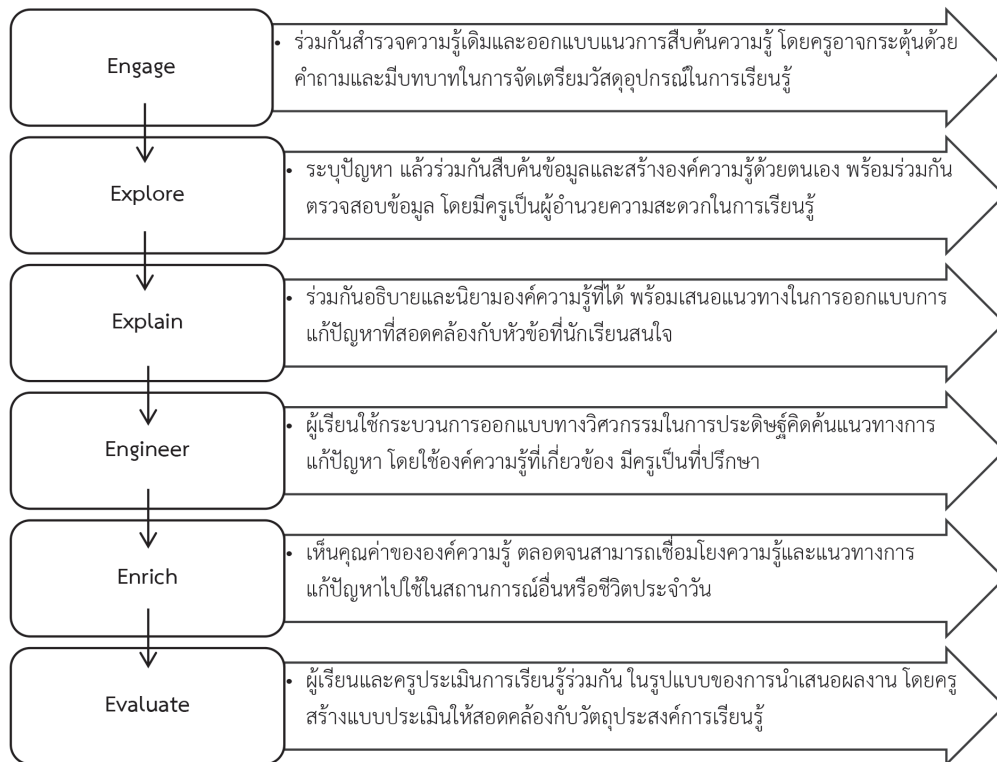
กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมหรือ EDP คือ ขั้นตอนการทำงานของวิศวกรในการสร้างสรรค์เทคโนโลยี ซึ่งได้มีนักวิทยาศาสตร์ศึกษาหลายท่านพยายามนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ เพื่อหวังให้ผู้เรียนได้เติบโตและมีทักษะในการสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาของสังคม จึงมีนักการศึกษาพยายามเสนอ “รูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนว EDP” ไว้หลากหลาย โดยมีรูปแบบการจัดการเรียนรู้ 3 รูปแบบที่น่าสนใจ และ

สามารถนำมาปรับใช้ในบริบทของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี โดยสอดแทรกบทเรียน NOT เข้าไปอย่างกลมกลืน ดังนี้

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบเป็นฐาน (*Design-based learning*)

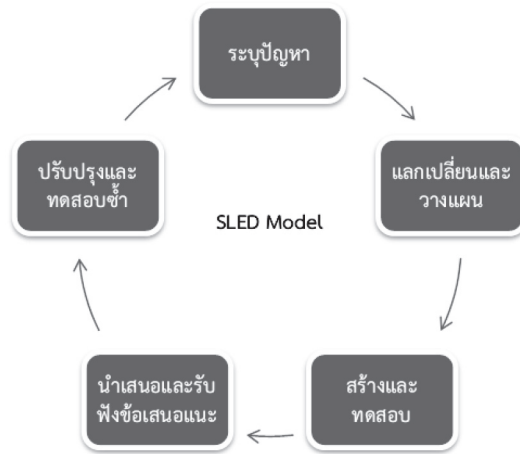
ได้ถูกนำเสนอขึ้นมาเพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน (Apedoe, Reynolds, Ellefson, & Schunn, 2008) โดยการนำการออกแบบ (Design) มาเป็นบริบทในการจัดการเรียนการสอนให้กับผู้เรียนและนำเอากระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมผนวกเข้าไปด้วย อาจจะเริ่มต้นจากการท้าทายผู้เรียนด้วยปัญหาในชีวิตประจำวัน que ผู้เรียนมีความคุ้นเคยหรือสร้างสถานการณ์ขึ้นมาใหม่ เพื่อให้ผู้เรียนได้ออกแบบสิ่งต่าง ๆ มาเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านั้น ซึ่งกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมจะถูกนำมาใช้ให้ผู้เรียนได้ยึดเป็นแนวทางในการวางแผนดำเนินการ การจัดการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบเป็นฐานนอกจากจะช่วยในการนำเทคโนโลยีเข้ามาสู่ในห้องเรียนได้แล้วนั้น ยังช่วยพัฒนาทักษะอื่น ๆ ของผู้เรียนอีกด้วย เช่น พัฒนาทักษะในการทำงานร่วมกันและมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับผู้อื่นของผู้เรียน พัฒนาทักษะในการแก้ปัญหา และแสดงให้เห็นว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอย่างไร (ลือชา ลดาชาติ และ ลฎาภา ลดาชาติ, 2561)

โดยหนึ่งในรูปแบบเทคนิคการจัดการเรียนรู้ที่น่าสนใจตามแนวทางนี้ คือ รูปแบบการสอน 6E Learning byDesign™ Model เสนอโดย Burke (2014) ที่มีการนำทักษะทางวิศวกรรมเข้ามาปรับใช้กับเทคนิคการจัดการเรียนรู้ 5E Learning แบบดั้งเดิม ซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังภาพ 1



ภาพ 1 แสดงขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิค 6E Learning byDesign™ Model

2. รูปแบบการสอน SLED (*The Science Learning through Engineering Design: SLED*) เสนอโดย Capobianco, Nyquist and Tyrie (2012) ซึ่งเป็นการทำให้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมศาสตร์ง่ายลง เหมาะกับการสอนในระดับโรงเรียน บุรณาการเข้ากับเนื้อหาและวิธีการสอนเดิม ซึ่งเน้นการสืบสอบ (Inquiry based approach) ดังภาพ 2



ภาพ 2 แสดงโมเดลการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ออกแบบทางวิศวกรรมแบบ SLED
(The Science Learning through Engineering Design)

ที่มา: พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ, 2561


ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาธรรมชาติของเทคโนโลยี ตามรูปแบบ SLED ในหัวข้อ “การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ขนส่งผลไม้ระยะไกล” (ตามสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 เรื่อง ฮอริโมนพืช วิชาชีววิทยาเพิ่มเติม ระดับมัธยมศึกษา ตอนปลาย) ดังตาราง 1

ตาราง 1 ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้ตามแนวรูปแบบ SLED

| ขั้นตอน SLED Model | บทบาทผู้เรียน | บทบาทครูผู้สอน |
|---------------------------|---|--|
| ระบุปัญหา | กำหนดปัญหาของสังคมที่ต้องการแก้ไข (การขนส่งผลไม้ในระยะไกลทำให้เกิดการเน่าเสียและทำให้ต้องใช้ต้นทุนสูงในการขนส่ง) | กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการตั้งคำถามและระบุปัญหา อาจจัดทำโดยการตั้งคำถาม |
| แลกเปลี่ยนและวางแผน | ระดมความคิดในลักษณะของการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ โดยสมาชิกแต่ละคนร่วมกันนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ เช่น การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ การยืดอายุผลไม้โดยใช้สารทางชีวภาพ เป็นต้น แล้วร่วมกันเลือกแนวทางที่ดีที่สุดมาทดสอบในขั้นถัดไป | จัดหาวัสดุอุปกรณ์และอำนวยความสะดวกให้กับผู้เรียน ในลักษณะของการเป็นที่ปรึกษาและผู้ชี้แนะ |
| สร้างและทดสอบ | สร้างและพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับการบรรจุผลไม้เพื่อการขนส่งในระยะไกล ทั้งนี้ต้องอยู่ภายใต้หลักการทางวิทยาศาสตร์ และสามารถทดสอบได้จริง | ความสะดวกให้กับผู้เรียน ในลักษณะของการเป็นที่ปรึกษาและผู้ชี้แนะ |
| นำเสนอและรับฟังข้อเสนอแนะ | ร่วมกันนำเสนอและแลกเปลี่ยนเรียนรู้โดยเปิดโอกาสให้สมาชิกในชั้นเรียนร่วมกันวิพากษ์ ตลอดจนพิจารณาผลกระทบรอบด้านอย่างรอบคอบ | เปิดโอกาสให้สมาชิกในชั้นเรียนได้แสดงออกความคิดอย่างอิสระ ทำตัวเป็นกลางและร่วมกันสรุปประเด็นจากข้อเสนอแนะ |
| ปรับปรุงและทดสอบซ้ำ | แต่กลุ่มนำข้อเสนอแนะจากชั้นเรียนมาปรับปรุงบรรจุภัณฑ์และทดสอบซ้ำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด | จัดหาวัสดุอุปกรณ์และอำนวยความสะดวกให้กับผู้เรียน ในลักษณะของการเป็นที่ปรึกษาและผู้ชี้แนะ อาจตั้งคำถามเพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบหลักการของกลุ่มตนเองอย่างรอบคอบอีกครั้ง |
| การสอดแทรกบทเรียน NOT | ใช้เทคนิค Explicit Reflective Approach ชั้นเรียนคืออะไร ได้มาอย่างไร สอดคล้องกับธรรมชาติของเทคโนโลยีประเด็นใดบ้าง เช่น ชั้นของการสร้างและทดสอบ ที่ผู้เรียนอาจประสบความล้มเหลวในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ตรงกับความเป็นธรรมชาติของเทคโนโลยีที่สามารถเกิดข้อผิดพลาดได้ เป็นต้น ซึ่งธรรมชาติของเทคโนโลยีในทุกประเด็นสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกขั้นตอนของการปฏิบัติ ครูควรเน้นย้ำและให้ผู้เรียนสรุปบทเรียนร่วมกัน | สอบถามผู้เรียนว่าเทคโนโลยีในชั้นเรียนคืออะไร ได้มาอย่างไร สอดคล้องกับธรรมชาติของเทคโนโลยีประเด็นใดบ้าง เช่น ชั้นของการสร้างและทดสอบ ที่ผู้เรียนอาจประสบความล้มเหลวในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ ตรงกับความเป็นธรรมชาติของเทคโนโลยีที่สามารถเกิดข้อผิดพลาดได้ เป็นต้น ซึ่งธรรมชาติของเทคโนโลยีในทุกประเด็นสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกขั้นตอนของการปฏิบัติ ครูควรเน้นย้ำและให้ผู้เรียนสรุปบทเรียนร่วมกัน |

3. รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ **Project-based Learning Model for 21st Century** พัฒนาโดย Baker, Trygg, Otto, Tudor, and Ferguson (2011) ที่มีการปรับแก้แนวการจัดการเรียนรู้ที่ใช้โครงการเป็นฐานแบบดั้งเดิม มาบูรณาการกับแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมมากขึ้น เพื่อตอบสนองสังคมในยุศตวรรษที่ 21 ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อย 8 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การสืบค้นข้อมูลและองค์ความรู้ (2) การนิยามและระบุปัญหา (3) การตรวจสอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (4) การพิจารณาผลกระทบของปัญหาต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทุกระดับ (5) มองหาแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ (6) วางแผนและร่วมกันออกแบบการปฏิบัติงานร่วมกันกับสมาชิกในกลุ่ม (7) ดำเนินการตามแผนงานในลักษณะของการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ (8) สรุป ประเมินผลและสะท้อนคิดร่วมกันในลักษณะของการนำเสนอโครงการ ทั้งนี้บทบาทของครูเป็นผู้คอยชี้แนะและให้คำปรึกษา รวมถึงประเมินพฤติกรรมผู้เรียนให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ โดยกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมจะถูกนำมาใช้ไปพร้อม ๆ กับการใช้เทคโนโลยีในขั้นตอนการดำเนินงาน ให้ผู้เรียนได้ผนวกความรู้เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริง เช่น โครงการประดิษฐ์เครื่องช่วยให้อาหารสัตว์เลี้ยงหรือให้ผู้เรียนคิดค้นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์อย่างง่าย เพื่อเป็นสื่อการเรียนรู้ในห้องเรียน (Apedoe et.al, 2008; Tseng, Chang, Lou, & Chen, 2013) ทั้งนี้ผู้เขียนได้เปรียบเทียบการจัดการเรียนรู้ทั้ง 3 รูปแบบกับแนวปฏิบัติทางวิศวกรรม เชื่อมโยงกับบทเรียนเรื่องธรรมชาติของเทคโนโลยีในการประกอบความเข้าใจและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับห้องเรียนวิทยาศาสตร์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังตาราง 2

ตาราง 2 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการเรียนรู้ทั้ง 3 รูปแบบกับแนวปฏิบัติทางวิศวกรรม เชื่อมโยงกับบทเรียนเรื่องธรรมชาติของเทคโนโลยี

| Engineering design process | Instructional models | | Project-based learning | Nature of technology |
|---|----------------------|---------------------------|---|--|
| | 6E learning | SLED model | | |
| การวิเคราะห์และระบุปัญหา | Engage | | สืบค้นข้อมูลและนิยามปัญหา |  <p>1. เทคโนโลยี คือ กระบวนการประยุกต์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์</p> <p>2. กระบวนการสร้างเทคโนโลยีสามารถผิดพลาดได้</p> <p>3. เทคโนโลยีมีลักษณะจำเพาะและสอดคล้องกับบริบทของสังคมแต่ละพื้นที่</p> <p>4. การใช้เทคโนโลยีมีผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ครูอาจสอดแทรกบทเรียน NOT ในระหว่างทำกิจกรรมหรือร่วมกันสะท้อนคิดหลังการจัดการเรียนรู้</p> |
| การศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | Explore | ระบุปัญหา | การตรวจสอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| การระบุความต้องการ | Explain | | การพิจารณาผลกระทบรอบด้าน | |
| การระดมความคิด | | แลกเปลี่ยนและวางแผน | มองหาแนวทาง | |
| การลงข้อสรุปเลือกวิธีที่ดีที่สุดเพื่อนำมาพัฒนาโมเดล | Engineering | | การแก้ปัญหาที่เป็นไปได้และร่วมกันวางแผนด้วยการระดมความคิด | |
| การสร้างโมเดลหรือต้นแบบ | | ปรับปรุงและทดสอบซ้ำ | ดำเนินการตามแผนงานในลักษณะของการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ | |
| การตรวจสอบและแก้ไข | | | ดำเนินการตามแผนงานในลักษณะของการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ | |
| การสื่อสารเผยแพร่สิ่งที่ผู้เรียนได้คิดค้นออกไปให้ผู้อื่นได้รับรู้ | Enhance, Evaluate | นำเสนอและรับฟังข้อเสนอแนะ | สรุป ประเมินผลและสะท้อนคิดในลักษณะของการนำเสนอผลงาน | |

แนวทางการประเมินผลผู้เรียน

เมื่อครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ผ่านรูปแบบการเรียนรู้ตามแนว EDP เพื่อปลูกฝัง NOT แล้ว สิ่งสำคัญที่ควรตระหนักถึง คือ การประเมินผลผู้เรียนให้สามารถบรรลุตัวชี้วัดทั้งใน ส่วนของตัวชี้วัดสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานและ ตัวชี้วัดตามมาตรฐานสะสมเต็มศึกษาที่กำหนดขึ้นโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี (2558) ดังนี้

ตัวชี้วัดที่ 1 ระบุปัญหาที่พบ

ตัวชี้วัดที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ตัวชี้วัดที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาโดยเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์

ตัวชี้วัดที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ตัวชี้วัดที่ 5 ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขการแก้ปัญหา

ตัวชี้วัดที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและผลการแก้ปัญหา

ทั้งนี้ แต่ละตัวชี้วัดควรกำหนดสิ่งที่นักเรียนควรรู้และสามารถทำได้ให้สอดคล้องและ ส่งเสริมพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนโดยมีการศึกษาถึงแนวทางการประเมินและเครื่องมือ ที่จะใช้ในการวัดและประเมินผลไว้ด้วยเช่นกัน โดยแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการวัดและ ประเมินผลของผู้เรียนในเรื่องธรรมชาติของเทคโนโลยี ควรเน้นการวัดและการประเมินผล ในสภาพจริง (Authentic assessment) และการประเมินผลด้านความสามารถ (Performance assessment) (มนัส ชวดตา, 2560)

1. การประเมินจากสภาพจริง (Authentic assessment) คือ การประเมินความ สามารถที่แท้จริงของผู้เรียนจากการแสดงออกผ่านชิ้นงานหรือการปฏิบัติกิจกรรมทำให้เห็น ถึงกระบวนการคิดระดับสูง กระบวนการทำงาน และความสามารถในการแก้ปัญหาหรือ การแสวงหาความรู้

การวัดและประเมินผลควรใช้เครื่องมือที่หลากหลาย เพื่อประเมินศักยภาพของ ผู้เรียนด้านต่าง ๆ ดังนี้

1.1 แบบสังเกตการแสดงออกเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่ม โดยจัดทำในรูปแบบ ตารางบันทึกระหว่างจัดการเรียนรู้ กำหนดลักษณะความสามารถที่ผู้เรียนควรแสดงออกตาม วัตถุประสงค์การเรียนรู้ประจำหน่วยการเรียนรู้ นั้น ๆ พร้อมกำหนดเกณฑ์การประเมินที่เป็น รูปธรรมตามความเหมาะสม เช่นเดียวกันกับที่กระทำในแผนจัดการเรียนรู้ทั่วไป

1.2 ชิ้นงาน ผลงาน รายงานหรือการวัดและประเมินผลการเรียนรู้โดยใช้แฟ้ม สะสมผลงาน เพื่อเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่สะท้อนถึงผลงานที่นักเรียนปฏิบัติได้จริง โดยอาจ ประเมินระหว่างปฏิบัติผลงานจนเสร็จสิ้นการทำงาน แล้วร่วมกันนำเสนอแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ภายในชั้นเรียน ทั้งนี้อาจกำหนดให้นักเรียนจัดทำแฟ้มสะสมผลงานเพื่อรวบรวมชิ้นงานในช่วง ท้ายภาคเรียนเพื่อประเมินผลในภาพรวมอีกครั้ง

1.3 การสัมภาษณ์หรือบันทึกของผู้เรียน เป็นการประเมินเพื่อสะท้อนความรู้สึก นึกคิดหรือจิตพิสัยของผู้เรียน โดยเฉพาะในบางตัวชี้วัดที่ไม่สามารถประเมินได้จากพฤติกรรม โดยตรง เช่น การเห็นคุณค่าของกระบวนการทำงาน คุณธรรมในการปฏิบัติงาน เป็นต้น โดย อาจสัมภาษณ์หลังการเรียนรู้เป็นรายบุคคลหรือให้ผู้เรียนสะท้อนความรู้สึกตนเองในลักษณะ ของการจดบันทึกหลังการเรียนรู้

1.4 การวัดและประเมินผลภาคปฏิบัติ ตลอดจนการทดสอบ เป็นการประเมินด้าน ทักษะพิสัยและพุทธิพิสัยตามลำดับ โดยครูอาจวัดผลในลักษณะของการทดสอบภาคการทดลอง ในห้องปฏิบัติการหรืออาจจัดสอบท้ายคาบเพื่อสะท้อนพฤติกรรมที่กำหนดขึ้นตามวัตถุประสงค์ การเรียนรู้ในหลักสูตร

ทั้งนี้ ครูสามารถวัดผลระหว่างเรียนหรือท้ายบทเรียนในลักษณะของ Rubric scale กำหนดระดับผลงานหรือทักษะในด้านต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบ กระบวนการ ออกแบบ การทำงานเป็นทีมหรือทักษะการสื่อสาร

2. การประเมินผลด้านความสามารถ (Performance assessment) คือ การประเมิน ผู้เรียนจากการแสดงออกมาจากการทำงานต่าง ๆ โดยตรงทั้งในสถานการณ์จริงหรือใกล้เคียง กับสภาพจริงที่กำหนดไว้โดยมีการประเมินทั้งในด้านกระบวนการทำงาน กระบวนการคิดเน้น ที่ความคิดขั้นสูงและผลงานที่เกิดขึ้น

ลักษณะสำคัญของการประเมินความสามารถ คือ กำหนดวัตถุประสงค์ของงาน วิธีการทำงานผลสำเร็จของงาน มีคำสั่งควบคุมสถานการณ์ในการปฏิบัติงานและมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจน การประเมินความสามารถที่แสดงถึงศักยภาพของผู้เรียนว่าสามารถทำได้หลายแนวทางต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สถานการณ์และความสนใจของผู้เรียน โดยผู้เรียนควรมีความสามารถหลังจากผ่านการเรียนรู้ตามแนว EDP เพื่อปลูกฝัง NOT ตามกรอบของการเป็นผู้รู้เทคโนโลยี ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. เข้าใจทักษะการทำงานของนักเทคโนโลยี ตลอดจนคุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับการเป็นนักเทคโนโลยีที่ดี เช่น การทำงานเป็นทีม ทักษะการสื่อสาร การแก้ปัญหาและการคิดขั้นสูง (คิดวิเคราะห์ ประเมินค่าและสร้างสรรค์)

2. สามารถอภิปรายผลของการใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มขอบเขตของการศึกษา วิทยาศาสตร์เพิ่มเติมได้ อาทิ การใช้เทคโนโลยีในการทำนายผลการทดลองหรืออธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

3. เข้าใจ และสามารถอธิบายและใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ ตลอดจนมีทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในการเลือกใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนการคิดค้นนวัตกรรม

4. สามารถอภิปรายอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีต่อการเปลี่ยนแปลงทางสังคม

5. สามารถวิจารณ์บทบาทของเทคโนโลยีในแวดวงวิทยาศาสตร์ทุกระดับ มองเห็นผลกระทบทุกมิติทั้งประโยชน์และโทษต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ทุกกลุ่ม

สรุป

ท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงของกระแสสังคมส่งผลให้การศึกษาจำเป็นต้องปรับตัวไปสู่มิติใหม่ ที่เอื้อให้ผู้เรียนได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาสังคม ดังนั้นเทคโนโลยีจึงมีอิทธิพลมากขึ้น ไม่ใช่เพียงเครื่องมือในการสืบค้นข้อมูลอีกต่อไป หากแต่เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการออกแบบหรือประดิษฐ์นวัตกรรมใหม่ ๆ ถึงเวลาแล้วที่ครูไทยต้องตื่นตัวและพร้อมที่จะปลูกฝังทักษะสำคัญเหล่านี้ให้แก่ผู้เรียน จึงนำมาสู่แนวคิดสำคัญที่มนุษย์ในยุคนี้จำเป็นต้องเรียนรู้ คือ NOT ซึ่งการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกับ

การสอดแทรกบทบาทของ NOT จำเป็นต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจของผู้สอนในการขับเคลื่อน
อย่างเป็นรูปธรรม ใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design Process:
EDP) ในการจัดการเรียนรู้ร่วมกับการสะท้อนคิดของนักเรียนท้ายบทเรียน (Explicit reflective
approach) เพื่อผลิตผู้เรียนให้เป็นนวัตกรรมอย่างมีศักยภาพสำหรับโลกอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ประสาธน์ เนื่องเฉลิม. (2558). *การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ. (2561). *แนวการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา. คู่มือฝึกอบรม
เชิงปฏิบัติการนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติสู่การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็ม
ศึกษา*. เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์, คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ,
ประเทศไทย.

มนัส ขวดดา. (2560). *การศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ของนักเรียนระดับ
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ด้วยการจัดการเรียนรู้
ผ่านสะเต็มศึกษา* (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

ลือชา ลดาชาติ และ ลฎาภา ลดาชาติ. (2561). จากการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และการสืบเสาะสู่
สะเต็มศึกษาและการออกแบบ. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 20(1),
246-260.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). *มาตรฐานสะเต็มศึกษา*. กรุงเทพฯ:
ซีเคเอสพีบลีเคชั่น.

สุทธิดา จำรัส. (2560). นิยามของสะเต็มและลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนว
สะเต็มศึกษา. *วารสารศึกษามหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช*, 10(2), 13-34.

ภาษาอังกฤษ

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. doi:10.1007/s10956-008-9114-6
- Baker, E., Trygg, B., Otto, P., Tudor, M., & Ferguson, L. (2011). *Project-based learning model relevant learning for 21st century*. Washington, D.C.: Pacific Education Institute.
- Burke, B. N. (2014). 6E learning by design™ model. *Technology and Engineering Teacher*, 10(2), 14-19.
- Capobianco, B. M., Nyquist, C., & Tyrie, N. (2012). Shedding light on engineering design: Scientific inquiry leads to an engineering challenge, and both are illuminated. *Science and Children*, 50(5), 58-64.
- International Technology Education Association. (2007). *Standards for technological literacy: Content for the study of technology*. Reston, VA: Author.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, D.C.: NAP, National Acad. Pr.
- Rutherford, F. J., & Ahlgren, A. (1990). *Science for all americans*. New York: Oxford University Press.
- Tseng, K., Chang, C., Lou, S., & Chen, W. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87-102. doi:10.1007/s10798-011-9160-x
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essential, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. New York: Heinemann.