

นิยามของสะเต็มและลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

The Definition of STEM and Key Features of
STEM Education Learning Activity

สุทธิดา จำรัส

Suthida Chamrat

อาจารย์ประจำคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นผลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและสังเคราะห์องค์ความรู้เพื่อตอบคำถามว่านิยามของสะเต็มและลักษณะสำคัญของกิจกรรมสะเต็มศึกษาในชั้นเรียนเป็นอย่างไร ซึ่งมีจุดมุ่งหมายที่เน้นการกำหนดกรอบในการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาให้มีประสิทธิภาพรวมทั้งการพัฒนาที่ยั่งยืนด้วยการทำความเข้าใจกับนิยามและแนวปฏิบัติที่บูรณาการสาขาวิชาทั้งสี่ของสะเต็มศึกษาที่ประกอบด้วยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ ทั้งนี้จากการศึกษาเอกสารและประสบการณ์วิชาการรับใช้สังคมของผู้เขียนพบว่า ลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ประกอบด้วยลักษณะสำคัญ 6 ด้าน คือ (1) การบูรณาการศาสตร์ทั้ง 4 ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่มุ่งเน้นการพัฒนาความรู้เรื่องสะเต็ม (2) การอ้างอิงตามกรอบแนวคิดความก้าวหน้าในการเรียนรู้ (3) การเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน (4) การเน้นการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (5) กิจกรรมเน้นการออกแบบและแก้ปัญหา และ (6) การวัดและประเมินผลตามสภาพจริงเพื่อพัฒนาผู้เรียน โดยนิยามและแนวปฏิบัติรวมทั้งลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาจะช่วยให้ครูสามารถออกแบบและจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในชั้นเรียนของตนเองได้ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อส่งเสริมให้ครูได้ออกแบบและพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาด้วยตนเองเพื่อจัดการเรียนรู้ในบริบทเฉพาะของแต่ละห้องเรียนในบริบทสถานศึกษาที่มีความแตกต่างหลากหลาย

คำสำคัญ: กิจกรรมการเรียนรู้ ลักษณะสำคัญของกิจกรรมสะเต็มศึกษา สะเต็มศึกษา

Abstract

This article is the results of literature review and knowledge synthesis to answer essential questions about the definition of STEM, and the key characteristics of STEM education activity. Clear understanding of STEM definition and practices in term of the integration of science, technology, engineering and mathematics will lead to an effective way promote STEM education. Based on both literature review and experiences in providing academic services of the author, it has been found that key characteristics of STEM Education learning activity consist of 6 features: (1) the integration of science, technology, engineering, and mathematics that addresses STEM

literacy; (2) designing learning activities based on learning progression framework; (3) providing context-based learning; (4) emphasizing 21st century learning; (5) organizing activities focusing on designing and problem solving; and (6) employing authentic and formative assessment. The definition and practices of STEM education, including its key features of the learning activities will enable teachers to design and implement STEM education in their classroom. Furthermore, they can be applied in teacher professional development as they help teachers develop capacity in designing and developing STEM activity for their own specific classroom contexts.

Keywords: Learning activity, Key features of STEM education learning activity, STEM education

บทนำ

สะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นกรอบแนวคิดการจัดการศึกษาที่เน้นการบูรณาการศาสตร์หรือสาขาวิชาทั้ง 4 คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยปัจจุบันเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดรูปแบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นนโยบายเพื่อขับเคลื่อนประเทศโดยเฉพาะด้านการศึกษา (คณะกรรมการการสื่อสารมวลชน การวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสารสนเทศ, 2558; สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2559) โดยถูกกำหนดให้เป็นเป้าหมายการจัดการศึกษาของประเทศไทยในปัจจุบัน (กระทรวงศึกษาธิการ, 2559) ทั้งนี้เพราะการเร่งรัดพัฒนาองค์ความรู้ กรอบแนวคิดและนวัตกรรมเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ หรือที่บัญญัติศัพท์ว่าสะเต็ม (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556) ได้ถูกผลักดันให้เป็นแผนปฏิบัติการในระดับชาติ ดังจะเห็นได้จากการนำเสนอรายงานข้อเสนอเชิงนโยบาย สะเต็มศึกษา นโยบายเชิงรุกเพื่อพัฒนาเยาวชนและกำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ ของคณะกรรมการการสื่อสารมวลชน การวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสารสนเทศต่อประธานสภานิติบัญญัติแห่งชาติ (คณะกรรมการการสื่อสารมวลชน การวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสารสนเทศ, 2558) และการประกาศนโยบายโดยรัฐบาล ทั้งนี้ความคาดหวังคือ การมุ่งสร้างกำลังคน(ด้านสะเต็ม)เพื่อผลักดันประเทศออกจากกับดักรายได้ปานกลาง (middle income trap) (Jitsuchon, 2012; Pasuk & Pornthep, 2012) เพื่อยกระดับประเทศเข้าสู่ประเทศไทย 4.0 ที่มุ่งเน้นการพัฒนาประเทศด้วยนวัตกรรม (Maesincee, 2016) ผ่านการพัฒนากลุ่มทักษะขั้นสูงที่จำเป็นต่อการใช้ชีวิตของพลเมืองในปัจจุบันและอนาคต เช่น ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2015) การเตรียมพร้อมสมรรถนะสำคัญเพื่อตัดสินใจและแก้ปัญหาที่ซับซ้อนทั้งในปัจจุบันและอนาคต

ความเคลื่อนไหวเกี่ยวกับสะเต็มและสะเต็มศึกษามีความเป็นสากล เป็นประเด็นที่หลายประเทศให้ความสนใจ โดยมีการกำหนดเป้าหมายด้านการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีความรู้และทักษะในสาขาสะเต็ม ยกตัวอย่างเช่น อังกฤษ ออสเตรเลีย สิงคโปร์ ญี่ปุ่น เกาหลี (Fan and Ritz, 2014; สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2559) ตัวอย่างของประเทศที่มีความเคลื่อนไหวด้านสะเต็มและสะเต็มศึกษาอย่างชัดเจนคือประเทศสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดให้สะเต็มเป็นแกนของมาตรฐานการศึกษาที่ประกาศในระดับประเทศ ด้วยการประกาศใช้มาตรฐานการศึกษา Next Generation Science Standards (NGSS) (NGSS Lead States, 2013; Moore et

al., 2015) ทั้งนี้ นโยบายของรัฐบาลกลางสหรัฐอเมริกาต้องการให้แต่ละมลรัฐนำไปปฏิบัติ มีการกำหนดกรอบการดำเนินงานครอบคลุมทั้งระบบ ตั้งแต่การกำหนดนิยามที่ครอบคลุมคำว่า สะเต็ม การกำหนดอาชีพในสาขาที่เกี่ยวข้องกับ สะเต็ม การทำวิจัยและพัฒนาจนถึงการป้อนกำลังคนด้านสะเต็มเข้าสู่ภาควิชาชีพ (Feder, Heller & Zeisler, 2011)

จากความสำคัญของสะเต็มศึกษาและความจำเป็นในการพัฒนาผู้เรียน หลายหน่วยงานได้ริเริ่มโครงการเพื่อสร้างกิจกรรมและการดำเนินงานตามนโยบายสะเต็มศึกษาเพื่อให้ครูสามารถนำไปจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมุ่งหวังให้ผู้เรียนได้พัฒนาความรู้ความเข้าใจด้านเนื้อหา ทักษะและธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ได้ ทั้งนี้มีการสร้างกิจกรรมสะเต็ม (สะเต็มศึกษา ประเทศไทย, 2558ก) หรือต้นแบบแนวทางการเรียนรู้และจากนั้นก็ทำการอบรมขยายผลเพื่อให้ครูนำไปใช้ โดยกรอบแนวคิดของการดำเนินงานของแต่ละหน่วยงาน มีจุดเน้นที่แตกต่างกัน สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเน้นกิจกรรมที่มีการบูรณาการสาขาวิชาทั้ง 4 ในระดับที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ ระดับภายในสาขาวิชา (Disciplinary) ต่างพหุสาขาวิชา (Multidisciplinary) (สหสาขาวิชา) (Interdisciplinary) และข้ามสาขาวิชา (Transdisciplinary) (สะเต็มศึกษาประเทศไทย, 2558ข) โครงการเพาะพันธุ์ปัญญาได้นั้นกระบวนการคิดและการแก้ปัญหาขั้นสูงผ่านกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานฐานวิจัย (Research-based Learning) (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2559) ในขณะที่สำนักงานคณะกรรมการพัฒนานโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทช.) ได้เน้นการใช้ประเด็นของเทคโนโลยีเพื่ออนาคตกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจและเป็นสื่อในการเรียนรู้จากสถานการณ์จริงไปสู่การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ เช่น รถไฟฟ้าความเร็วสูง (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนานโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ, 2557) กระทรวงพลังงานร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ออกแบบกิจกรรมสะเต็มที่เน้นพลังงาน (โครงการการส่งเสริมการเรียนการสอนวิชาพลังงานในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560) เป็นต้น

นอกจากนี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ซึ่งเป็นองค์กรหลักที่ดำเนินการพัฒนาด้านสะเต็มศึกษา โดย ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. มนตรี จุฬาวัตตนทล ในฐานะประธานคณะกรรมการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้นำเสนอแนวคิดการขับเคลื่อนสะเต็มศึกษาเป็นวิสัยทัศน์ของ สสวท. (Chulawattana, 2012) ผ่านเอกสารกรอบความคิด “การศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ หรือสะเต็มศึกษา (Science, Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education)” ซึ่งนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการกำหนดวิสัยทัศน์เชิงนโยบายของสะเต็มศึกษาในประเทศไทย เนื้อหาเอกสารว่าด้วยการนำเสนอและแนะนำให้รัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องขับเคลื่อนนโยบายสะเต็มศึกษา ดังนี้ (1) ส่งเสริมความร่วมมือของหน่วยงานระดับชาติและนานาชาติในการให้ความสำคัญและกำหนดเป้าหมายเกี่ยวกับสะเต็มร่วมกัน (2) ก่อตั้งศูนย์สะเต็มศึกษา (3) ยกย่องเชิดชูบุคลากรด้านสะเต็มและสะเต็มศึกษา (4) กระตุ้นให้นักการศึกษาและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตระหนักในความสำคัญของสะเต็มศึกษา (5) รวบรวมและนำเสนอสื่อและแหล่งเรียนรู้เกี่ยวกับสะเต็มเพื่อให้นักเรียนและประชาชนทั่วไปสามารถเข้ามาใช้ได้ เช่น การตั้งแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ และ (6) สร้างหอเกียรติยศสะเต็ม (STEM Hall of Fame) เพื่อเชิดชูบุคลากรในสายอาชีพสะเต็มเพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้กับนักเรียนในการเติบโตไปประกอบอาชีพสาขาสะเต็มในอนาคต

ซึ่งในปัจจุบันได้มีหน่วยงานทั้งสถาบันอุดมศึกษา มูลนิธิ รวมถึงภาคเอกชนให้ความสนใจในการร่วมพัฒนาการจัดการศึกษาตามแนวทางสะเต็มศึกษา (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2559)

นิยามของสะเต็ม

กรอบแนวคิดและนวัตกรรมเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์หรือที่บัญญัติศัพท์ว่าสะเต็ม (Science, Technology, Engineering, and Mathematics , STEM) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556) ซึ่งเป็นแนวคิดในการเร่งรัดพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันด้านเศรษฐกิจที่ส่งผลรวมถึงชีวิตและสิ่งแวดล้อมของสังคมและประเทศ โดยเป็นที่ยอมรับและตระหนักในความสำคัญอย่างกว้างขวาง องค์ความรู้และกรอบแนวคิดสะเต็มจึงนับว่าเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ จากการศึกษาและงานวิจัย พบว่า ประเทศใดที่ประชากรมีระดับพื้นฐานความรู้สะเต็มอยู่ในระดับสูงจะส่งผลให้ประเทศนั้นมีความได้เปรียบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ดังนั้นประเทศต่าง ๆ ได้เริ่มส่งเสริมให้มีการพัฒนาการเรียนการสอนสะเต็ม เป็นประเด็นสำคัญในการพัฒนาวิทยาศาสตร์ศึกษาในศตวรรษที่ 21

คำว่า “สะเต็ม” เป็นคำทับศัพท์ที่มาจากอักษรภาษาอังกฤษ “STEM” ซึ่งเป็นชื่อย่อของศาสตร์หรือสาขาวิชาการทั้ง 4 คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดย Oxford Dictionary ได้ให้ความหมายว่า STEM เป็นคำย่อเชิงวิชาการที่มุ่งเน้นการเรียนการสอนที่ใช้ความเชื่อมโยงระหว่างสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ (Oxford Dictionary, n.d.) เมื่อพิจารณาความหมายของแต่ละศาสตร์จะมีคำอธิบายและลักษณะดังนี้

1) S ย่อมาจากคำว่า Science หรือ วิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นวิชาหลักของหลักสูตรการศึกษาในหลายๆ ประเทศ โดยเฉพาะระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน อย่างไรก็ตามวิทยาศาสตร์ยังหมายถึงการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของโลกทั้งที่เกิดจากมนุษย์และเกิดขึ้นเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์อาศัยกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) เป็นกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการศึกษาความเป็นไปของธรรมชาติสิ่งที่อยู่รอบตัวเรา เนื้อหาสาระทางวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ และวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ

การจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในห้องเรียน ซึ่งมีความสอดคล้องกับการสืบเสาะหาความรู้ของนักวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในห้องเรียน ควรให้สอดคล้องกับ 5 ลักษณะสำคัญในการสืบเสาะหาความรู้ ได้แก่ (1) ผู้เรียนมีส่วนร่วมในประเด็นคำถามทางวิทยาศาสตร์ (2) ผู้เรียนให้ความสำคัญกับข้อมูลหลักฐาน (3) ผู้เรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามข้อมูล (4) ผู้เรียนเชื่อมโยงคำอธิบายของตนกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือคำอธิบายอื่น ๆ และ (5) ผู้เรียนสื่อสารและให้เหตุผล ผู้สอนสามารถจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนมีบทบาทในการลงมือปฏิบัติมากหรือน้อยได้ตามระดับการสืบเสาะหาความรู้ เพื่อให้เหมาะสมกับศักยภาพ และพัฒนาการทางการเรียนรู้ของผู้เรียน (Olson & Loucks-Horsley, 2000)

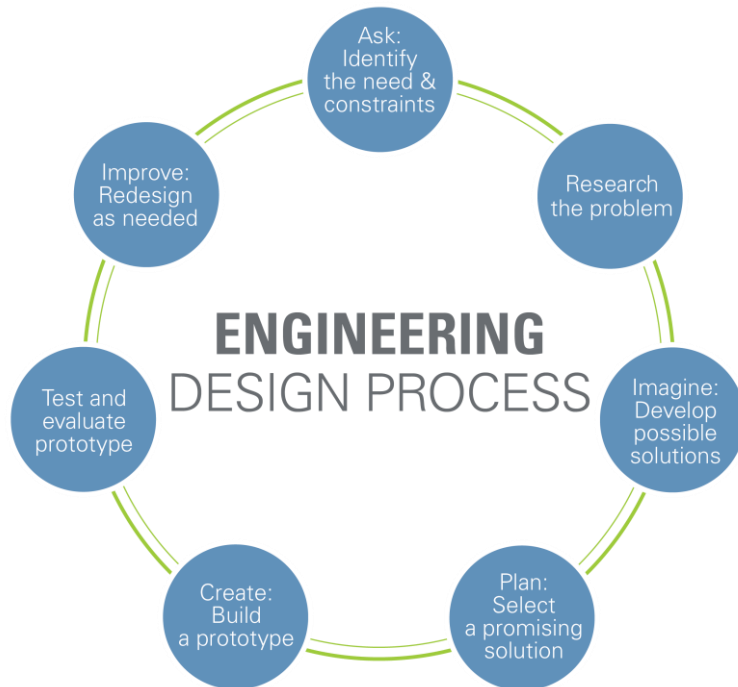
2) T ย่อมาจาก Technology หรือ เทคโนโลยี หมายถึง ทุกสิ่งทุกอย่างที่มนุษย์สร้างขึ้นจากพื้นฐานความเป็นธรรมชาติของสิ่งต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ซึ่งมักจะทำให้มนุษย์มีความสะดวกสบายหรือ

ปลอดภัยมากขึ้น เทคโนโลยีเป็นวิชาที่เกี่ยวกับกระบวนการ แก้ปัญหา ปรับปรุง พัฒนาสิ่งต่าง ๆ หรือกระบวนการต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของคนเรา โดยเทคโนโลยี มีนัย 3 ประการคือ (1) เทคโนโลยีในฐานะศาสตร์แขนงหนึ่งที่เป็นความรู้และแนวปฏิบัติเพื่อการออกแบบ และนำเทคโนโลยีไปใช้ (2) เทคโนโลยีที่สอดคล้องกับเนื้อหาวิชาเฉพาะ และ (3) เทคโนโลยีด้านการจัดการเรียนการสอน โดยไม่ว่าจะมองจากนัยใด เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพก็ต้องผ่านกระบวนการออกแบบทางเทคโนโลยี ที่เรียกว่า Technological design หรือ Technological design process ซึ่งคล้ายกับกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

ปัจจุบันการเรียนการสอนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การพัฒนาความรู้เรื่องเทคโนโลยี (Technological literacy) ให้กับผู้เรียน โดยมุ่งพัฒนาความสามารถในการใช้ จัดการ ประเมินและเข้าใจเทคโนโลยี ปรากฏหนึ่งของเทคโนโลยีศึกษา คือ การสอนให้นักเรียนเกิดการแก้ปัญหา การแก้ปัญหาก็เป็นทักษะสำคัญในการดำรงชีวิต และนักเรียนจะได้ใช้ทักษะนี้มากในชีวิตประจำวัน ทักษะการแก้ปัญหาก็เกี่ยวข้องกับความสามารถในการหาทางออกของปัญหาที่ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ การมีเหตุผล และประสบการณ์ในอดีตของการเข้าถึงข้อมูล โดยวิธีการแก้ปัญหประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักพื้นฐาน คือ ความรู้ในประเด็นนั้น การพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และ การหาทางแก้ไขปัญหา สำหรับกระบวนการแก้ปัญหาวางเทคโนโลยีศึกษา เช่น การวิจัยและพัฒนา วิธีการทางวิทยาศาสตร์และการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม การประดิษฐ์และนวัตกรรม

3) E ย่อมาจากคำว่า Engineering หรือ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นการประยุกต์ความรู้ ทักษะ กระบวนการและความเชี่ยวชาญในเชิงวิทยาศาสตร์ เศรษฐกิจ สังคมและการนำความรู้ไปสู่การปฏิบัติจริง วิศวกรรมศาสตร์ในสะเต็มจึงหมายถึงศาสตร์ด้านกระบวนการ มากกว่าจะเป็นศาสตร์อย่างวิทยาศาสตร์หรือคณิตศาสตร์ (สุธีระประเสริฐสรรพ, 2559) โดยเน้นการออกแบบ การวางแผนเพื่อแก้ปัญหา การใช้องค์ความรู้ต่างๆ มาสร้างสรรค์ออกแบบผลงานภายใต้ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งเป็นกระบวนการออกแบบหรือสร้างบางสิ่งขึ้นมาโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ หรือกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

วิศวกรรมศาสตร์เป็นแนวคิดที่พัฒนาและประยุกต์มาจากการรวมกันของศาสตร์ที่สำคัญๆ เช่น วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาสู่การออกแบบ การแก้ปัญหา การสร้าง การจำลอง จนพัฒนาเป็นเครื่องมือ วิธีคิด ระบบ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น ดิ็ก สะพาน เขื่อน เป็นต้น ในการศึกษาในระดับขั้นพื้นฐาน วิศวกรรมศาสตร์ถือว่าการเตรียมเยาวชนเพื่อการเป็นวิศวกรหรือการคิดอย่างนักวิศวกรในอนาคต ซึ่งเน้นกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบและสร้างสรรค์ วิศวกรรมศาสตร์ไม่ได้เป็นวิชาหลักที่ปรากฏในหลักสูตรระดับการศึกษาทั้งในสหรัฐอเมริกาและประเทศไทย แต่จะเน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process) ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ และสามารถใช่วิธีการได้อย่างหลากหลายในการพัฒนานวัตกรรมหรือวิธีการแก้ปัญหาใหม่ๆ ทั้งในการทำงานและชีวิตประจำวัน เป้าหมายของการเรียนรู้วิศวกรรมศาสตร์ในสะเต็มศึกษา คือ การเรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบหรือแก้ปัญหา และเรียนรู้ว่าจะออกแบบหรือแก้ปัญหาอย่างไร กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์แสดง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ที่มา: Teach Engineering. (2016). Engineering Design Process. Retrieved from <https://www.teachengineering.org/k12engineering/designprocess>.

4) M ย่อมาจาก คำว่า Mathematics หรือ คณิตศาสตร์ หมายถึง ภาษาของจำนวน รูปร่าง และปริมาณ คณิตศาสตร์เป็นวิชาสำคัญอย่างยิ่งวิชาหนึ่ง ที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความคิดของมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความคิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบระเบียบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาและสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วนรอบคอบ ทำให้สามารถคาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ และแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสม การเรียนรู้คณิตศาสตร์มี 3 เรื่องหลัก คือ 1) กระบวนการคิดเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical thinking) ได้แก่ การเปรียบเทียบ การจำแนก/จัดกลุ่ม การจัดแบบรูป และการบอกรูปร่างและคุณสมบัติ 2) ภาษาคณิตศาสตร์ เด็กจะสามารถถ่ายทอดความคิดหรือ ความเข้าใจความคิดรวบยอด ทางคณิตศาสตร์ได้ โดยใช้ภาษาคณิตศาสตร์ในการสื่อสาร เช่น มากกว่า น้อยกว่า เล็กกว่า ใหญ่กว่า ฯลฯ และ 3) การส่งเสริมการคิดเชิงคณิตศาสตร์ขั้นสูง (higher-level mathematical thinking) จากกิจกรรมการเล่นของเด็กหรือการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

อย่างไรก็ตาม สะเต็มเป็นมากกว่าประเด็นทางการศึกษาเพราะในชีวิตจริงนั้นสะเต็มมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตของมนุษย์โดยเฉพาะการทำงานในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงได้ให้นิยามของสะเต็มว่า เป็นองค์ความรู้ วิชาการของศาสตร์ทั้ง 4 ที่มีความเชื่อมโยงกันในโลกของความเป็นจริงที่ต้องอาศัยองค์ความรู้ต่าง ๆ มาบูรณาการเข้าด้วยกันในการดำเนินชีวิตและการทำงาน (สะเต็มศึกษาประเทศไทย, มปป.) แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจแนวคิดของศาสตร์ที่มาบูรณาการรวมทั้งการนำความเข้าใจเหล่านั้นมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต แก้ปัญหา ตัดสินใจและประกอบอาชีพไม่ใช่เรื่องใหม่ในวงการศึกษามีความพยายาม

เรียกร้องให้สถานศึกษา หลักสูตร มาตรฐานเตรียมผู้เรียนให้พร้อมไปกับโลกในอนาคตมานานแล้ว (Woodruff, 2013) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อกล่าวถึงสะเต็ม มักจะมีการให้น้ำหนักในประเด็นของการประกอบอาชีพ เนื่องจากคำว่าสะเต็มนั้นปรากฏครั้งแรกในแบบฟอร์มสำหรับการกรอก VISA ด้านอาชีพ คือกลุ่มอาชีพสะเต็ม ดังนั้นหลายประเทศนอกจากจะเน้นการจัดการศึกษาด้านความรู้และเทคโนโลยีเกี่ยวกับสะเต็มแล้ว ยังเน้นความสำคัญของการกำลังคนในด้านสะเต็ม อีกด้วย (Baranyai et al., n.d.; Rothwell, 2013) โดยสรุปเมื่อกล่าวถึงสะเต็ม นิยามจึงครอบคลุมถึงองค์ความรู้ นวัตกรรม การสร้างสรรค์ การแก้ปัญหาที่ต้องใช้องค์ความรู้ วิธีปฏิบัติ วิธีการคิดของศาสตร์ทั้ง 4 มาบูรณาการกัน รวมไปถึงการประกอบอาชีพและความสำคัญในภาคแรงงาน ซึ่งจะช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ (Rothwell, 2013) โดยคาดว่าสะเต็มจะช่วยให้ประเทศหลุดพ้นจากกับดักรายได้ปานกลาง (Middle income trap) (Jitsuchon, 2012; Pasuk & Pornthep, 2012) โดยหากจะสกัดแนวคิดสำคัญของการพัฒนาสะเต็มศึกษาเพื่อระบุปัจจัยหลักในการพัฒนาสะเต็มศึกษา พบว่ามี 2 ปัจจัย คือ (1) รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่สะท้อนแนวคิดการพัฒนา “การรู้เรื่องสะเต็ม (STEM Literacy)” ของผู้เรียน และ (2) การพัฒนาวิชาชีพครู เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจและศักยภาพที่จะจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งหัวใจของการพัฒนาทั้งกิจกรรมการเรียนรู้และการพัฒนาวิชาชีพครูคือ การระบุลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งนำไปสู่การตั้งคำถามเกี่ยวกับลักษณะสำคัญของกิจกรรมสะเต็มศึกษาในชั้นเรียนว่าเป็นอย่างไร โดยจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

ลักษณะสำคัญของการจัดการเรียนรู้แนวสะเต็มศึกษา

กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา มีความมุ่งหมายที่สอดคล้องกับนิยามของสะเต็ม โดยออกแบบมาเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้แนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ ใช้ฐานแนวคิดที่สอดคล้องและต่อยอดจากตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางวิทยาศาสตร์เป็นหลัก (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551) และอาจจะมีการเชื่อมโยงระหว่างมาตรฐานหรือตัวชี้วัดในกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์หรือต่างกลุ่มสาระหรือต่างวิชา ซึ่งสอดคล้องกับระดับการบูรณาการขั้นสูงคือข้ามสาขาวิชา โดยรูปแบบของกิจกรรมจะเน้นการออกแบบกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา (มนตรี จุฬวัฒน์ทล, 2556; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556) เพื่อให้ผู้เรียนได้นำความรู้และทักษะไปใช้อย่างมีความหมาย จากการศึกษาเอกสาร งานวิจัย และประสบการณ์วิชาการรับใช้สังคมของผู้เขียน จึงนำเสนอกรอบในการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งมีลักษณะสำคัญที่จำเป็น (Key features) ของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา 6 ด้าน ดังต่อไปนี้

1. มีการบูรณาการความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน ตามบริบทเนื้อหาและระดับความรู้ในแต่ละชั้นของผู้เรียน (สะเต็มศึกษาประเทศไทย, 2558 ก.) โดยมุ่งเน้นการเรียนรู้เรื่องสะเต็ม (STEM Literacy) เป็นเป้าหมายหลัก (สุธีระ ประเสริฐสุรพร, 2558; Zollman, 2012)
2. การออกแบบกิจกรรม อ้างอิงตามกรอบการพัฒนาแนวคิดแบบ “ความก้าวหน้าในการเรียนรู้” (learning progression) (ถิชา ลดาชาติ, 2555; 2559; Duschl & Bismack, 2016) ทั้งในมิติเนื้อหาและกระบวนการ รวมทั้งใช้หลักการของการจัดหลักสูตรแบบเกลียว (spiral curriculum) โดยผู้เรียนจะเพิ่มพูนความรู้จาก

ระดับพื้นฐานไปสู่ระดับสูงตามลำดับพัฒนาการทางสติปัญญาของแต่ละช่วงวัย หรือระดับการรู้คิด (Cognitive demand)

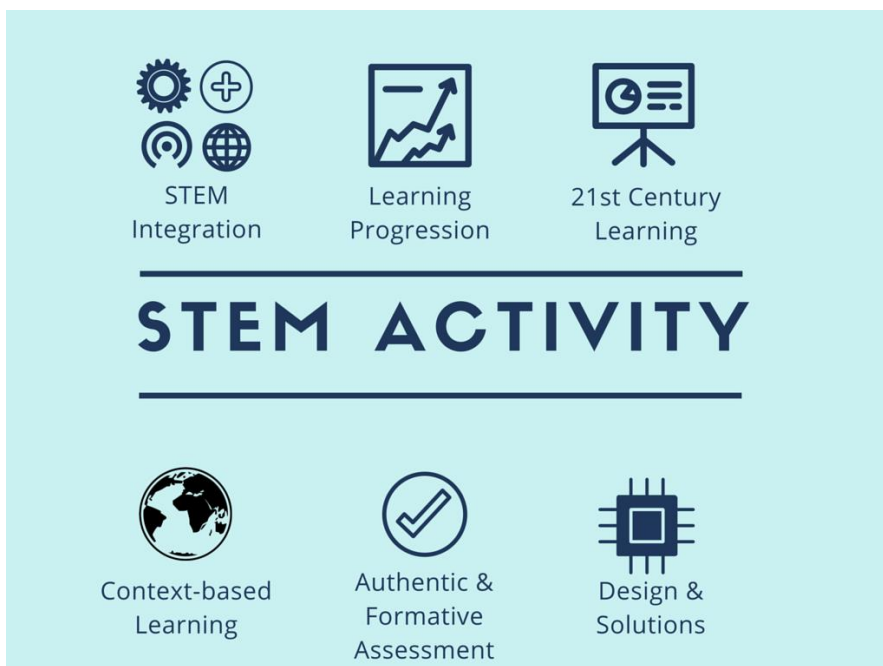
3. การเรียนรู้ต้องเชื่อมโยงกับผู้เรียน บริบทที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน และเป็นการเรียนรู้ที่มีความหมาย โดยอาจจะยึดกรอบแนวคิดบริบทตาม PISA OECD รวมทั้งประเด็นที่ผู้สอนต้องการเน้น ซึ่งอาจจะเป็นนโยบายของสถานศึกษา หรือเป็นประเด็นเร่งด่วน เช่น นโยบายดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ หรือความเข้าใจเรื่องพลังงานในภาพรวมของประเทศ (กระทรวงพลังงาน, 2558)

4. ผู้เรียนผ่านประสบการณ์การเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2011) ที่เน้นการพัฒนาทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 ควบคู่ไปกับการเรียนรู้เนื้อหาและทักษะของวิชาแกน

5. กิจกรรมเน้นการออกแบบและแก้ปัญหา โดยการลงมือปฏิบัติเพื่อนำไปสู่การรังสรรค์ชิ้นงาน/โครงการตามแนวคิดของการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐาน (Project-based Learning) ที่เน้นกระบวนการออกแบบ หรือ แนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) ที่เน้นกระบวนการแก้ปัญหา

6. เน้นการวัดผลตามสภาพจริง (Authentic assessment) และการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียน (Formative assessment) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของผลที่ได้จากการจัดกิจกรรมสะเต็มคือ โครงการหรือชิ้นงาน (Project/artifact) หรือ การแก้ปัญหา

จากคำอธิบายลักษณะสำคัญ 6 ประการข้างต้น สรุปเป็นแผนภาพเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาและจุดเน้นในการพัฒนาวิชาชีพครูสะเต็ม ดังภาพที่ 2

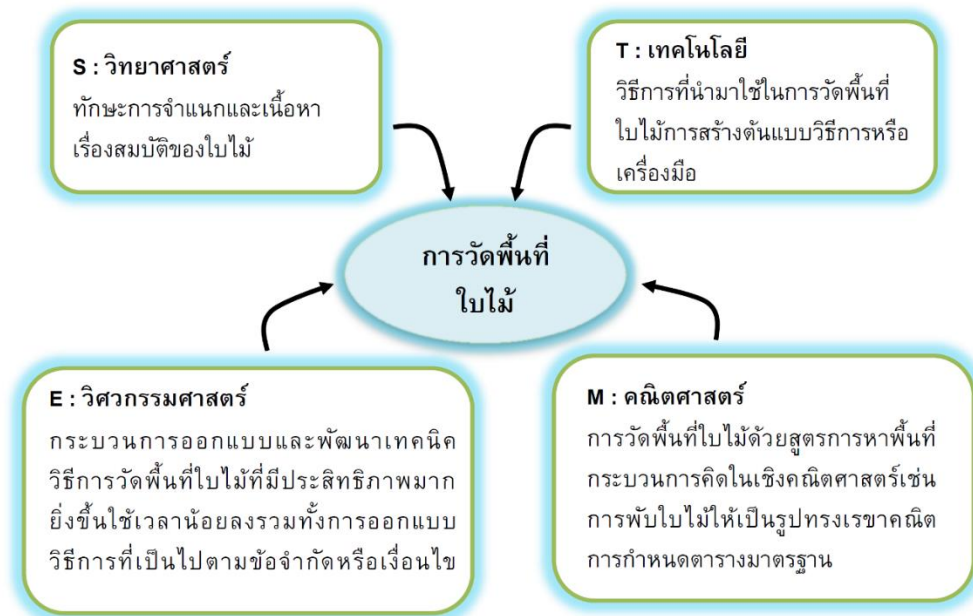


ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงลักษณะสำคัญ (Key features) ของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

โดยมีรายละเอียดของลักษณะสำคัญแต่ละประเด็นดังต่อไปนี้

1. การบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์

กิจกรรมการเรียนรู้ต้องมีการบูรณาการสาขาวิชาทั้ง 4 อย่างชัดเจน (Explicit integration) ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่สุดของการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเปรียบเสมือนแกนหรือกระดูกสันหลังของกิจกรรม เอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาจะให้นิยามและระบุลักษณะสำคัญของการบูรณาการศาสตร์ทั้ง 4 ไว้ (Moore, 2010; Wang et al., 2011; English, 2016) ทั้งนี้อาจจะมีระดับของการบูรณาการที่แตกต่างกัน รวมทั้งการเลือกศาสตร์ที่เป็นจุดเน้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การเรียนรู้ (Vasquez et al., 2013) การบูรณาการอย่างชัดเจนอาจทำได้โดยการพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ระบุการบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งในส่วนจุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ ดังตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องการวัดพื้นที่ใบไม้ (สุทธิดา จำรัส, 2559) มีการแสดงการบูรณาการอย่างชัดเจน โดยเพิ่มแผนผังความคิดของการบูรณาการในการออกแบบกิจกรรมโดยปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังความคิดที่ระบุการบูรณาการระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่ปรากฏในแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง การวัดพื้นที่ใบไม้

อย่างไรก็ตาม การบูรณาการสะเต็มนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาการเรียนรู้เรื่องสะเต็ม (Bybee, 2010) กิจกรรมสะเต็มจึงต้องเน้นการบูรณาการที่มุ่งสู่เป้าหมายคือการพัฒนาการเรียนรู้เรื่องสะเต็ม ซึ่งหมายถึง ความสามารถของบุคคลในการทำความเข้าใจและประยุกต์แนวคิด กระบวนการ เจตคติ วิธีคิดและธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ร่วมกันเพื่อสืบเสาะ อธิบาย แก้ปัญหา สร้างสรรค์สิ่งต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทำได้โดยสาขาความรู้แบบเดี่ยว โดยแนวคิดและกระบวนการสะเต็มจะหมายรวมถึงการให้คุณค่าและตระหนักถึงความเชื่อมโยงระหว่าง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ ผู้ที่มีการเรียนรู้เรื่องสะเต็มจะสามารถ

ประยุกต์ใช้ความรู้หรือทำความเข้าใจบทบาทของสะเต็มที่มีต่อการพัฒนาตัวบุคคล สังคม สิ่งแวดล้อม รวมทั้งการพัฒนาในมิติเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการรู้เรื่องสะเต็มเป็นพื้นฐานสำหรับผู้เรียนในการเรียน สืบเสาะหาความรู้ รวมไปถึงการประกอบอาชีพในอนาคต (U.S. Department of Labor, 2007) ดังนั้นการรู้เรื่องสะเต็มจะมีความเชื่อมโยงกับทักษะต่าง ๆ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (สุทธิดา จำรัส, 2560 ก)

2. ความก้าวหน้าในการเรียนรู้และการจัดหลักสูตรแบบเกลียว

การจัดหลักสูตรแบบเกลียว จะมีหลักการคือให้ผู้เรียนแต่ละชั้นปีเรียนเนื้อหาหรือแนวคิดในเรื่องเดิมแต่เพิ่มพูนความลึกซึ้งในเนื้อหาหรือกิจกรรมตามพัฒนาการของผู้เรียน นอกจากนี้การออกแบบต้องคำนึงถึงความก้าวหน้าในการเรียนรู้ ซึ่งจะทำให้ความสำคัญต่อการพัฒนาแนวคิดพื้นฐานที่จำเป็นก่อน จากนั้นจึงจะเพิ่มเติมแนวคิดที่มีความซับซ้อนมากขึ้นหรือก้าวหน้ามากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การที่ผู้เรียนจะเรียนเรื่องพลังงาน ต้องมีการทำความเข้าใจพลังงานในบริบทของเนื้อหาที่หลากหลาย เพราะพลังงานถือว่ามีสำคัญและเป็นแนวคิดที่ข้ามกลุ่มวิชา (Cross-cutting concept) ซึ่งปรากฏอยู่ในวิชาวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ ทั้งฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา โลกศาสตร์หรือแม้กระทั่งดาราศาสตร์และอวกาศ ความสามารถในการเชื่อมโยงหรือบูรณาการความรู้จะช่วยให้ผู้เรียนทำความเข้าใจได้มากขึ้น ดังเช่น การใช้พลังงานจากชีวมวล (Biomass) ต้องใช้พินความรู้ทั้ง เคมี ชีววิทยาและฟิสิกส์เข้าด้วยกัน นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้ในลักษณะของสะเต็มศึกษายังต้องมีการพิจารณาลำดับความก้าวหน้าของการเรียนรู้ทั้งการสร้างชิ้นงานหรือการแก้ปัญหา (Duschl & Bismack, 2016) ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบกิจกรรมสะเต็มต้องคำนึงถึงในการวางลำดับกิจกรรมที่จะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายของการเรียน ดังนั้น หากการจัดการเรียนรู้เน้นให้ผู้เรียนสร้างสรรค์ชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาวางอย่าง กิจกรรมจะต้องมีลำดับไม่ใช่การสั่งงานในครั้งเดียว แต่อาจจะต้องตรวจสอบความก้าวหน้าและให้คำปรึกษาหรือช่วยเหลือผู้เรียนเมื่อจำเป็น การยึดกรอบความก้าวหน้าในการเรียนรู้จะส่งผลต่อการออกแบบลำดับของกิจกรรม รวมถึงการวางลำดับของระดับการรู้คิด ซึ่งจะพัฒนาผู้เรียนไปสู่ระดับความคิดขั้นสูง อย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยมีกิจกรรมและครุภัณฑ์ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกการเรียนรู้

3. การเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับผู้เรียน บริบทที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนและการเรียนรู้ที่มีความหมาย

ตามนิยามของสะเต็มที่เชื่อมโยงสู่โลกชีวิตจริงทั้งในการทำงานและการใช้ชีวิตของแต่ละบุคคล การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาจึงต้องเชื่อมโยงกับผู้เรียน ทั้งในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน ประเด็นที่เป็นกระแสในสังคม ประเด็นที่มีการโต้แย้ง นอกจากนี้กิจกรรมต้องเป็นการเรียนรู้ที่มีความหมาย ผู้เรียนต้องมีความสนใจหรือมีความผูกพันในเนื้อหาหรือกิจกรรมที่กำลังเรียน

เมื่อพิจารณารอบที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน ผู้เขียนขอเสนอกรอบแนวคิดขององค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา หรือ OECD (Organization for Economic Co-operation and Development: OECD, 2013) ซึ่งได้กำหนดกรอบแนวคิดการศึกษาในระดับสากลที่มองว่า บริบทแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับบุคคล ระดับท้องถิ่น/ประเทศ และระดับโลก โดยแต่ละระดับจะเกี่ยวข้องกับ 5 บริบทซึ่งคนทุกคนจะต้องได้มีส่วนเกี่ยวข้อง เพราะเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตหรือเป็นสิ่งที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของบุคคลทั้งในปัจจุบันและ

อนาคต ได้แก่ สุขภาพและโรค ทรัพยากรธรรมชาติ คุณภาพสิ่งแวดล้อม พืชภัย และความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นำเสนอรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกำหนดบริบทสถานการณ์และบริบทเนื้อหาตามกรอบของ OECD

บริบท/ระดับ	ระดับตนเอง	ระดับท้องถิ่น/ประเทศ	ระดับโลก
สุขภาพและโรค	- การดูแลสุขภาพ - อุบัติเหตุ - สารอาหาร	- การควบคุมโรค - การถ่ายทอดความรู้ทางสังคม - การเลือกรับประทานอาหาร - การสาธารณสุข	- โรคระบาด - การแพร่กระจายของโรค
ทรัพยากรธรรมชาติ	- การใช้ทรัพยากรและพลังงานในระดับบุคคล	- การควบคุมจำนวนประชากร - คุณภาพชีวิต - ความปลอดภัย - การผลิตและการจัดสรรอาหาร - การสำรองพลังงาน	- ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปและใช้แล้วไม่หมดไป - การเพิ่มขึ้นของประชากร - ความยั่งยืนของชนิดพันธุ์
คุณภาพสิ่งแวดล้อม	- การกระทำที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - การใช้และการกำจัดวัสดุ/อุปกรณ์ต่าง ๆ	- การกระจายตัวของประชากร - การกำจัดของเสีย - ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	- ความหลากหลายทางชีวภาพ - ความยั่งยืนของระบบนิเวศ - การควบคุมประชากร - การสร้างและการสูญเสียดิน/ชีวมวล
อันตราย	- การประเมินความเสี่ยงในการเลือกใช้ชีวิต	- การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (แผ่นดินไหว อากาศเปลี่ยนแปลงฉับพลัน) - การเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ (การทับถม การพังทลายของดิน) - การประเมินความเสี่ยง	- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ - ผลกระทบจากการสื่อสารที่ทันสมัย
ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	- วิทยาศาสตร์ในฐานะงานอดิเรก - เทคโนโลยีใช้งานส่วนบุคคล - กิจกรรมดนตรีและกีฬา	- วัสดุใหม่ - อุปกรณ์และวิธีการใช้ - การตัดแต่งพันธุกรรม - วิทยาศาสตร์สุขภาพ - การขนส่ง	- การสูญพันธุ์ของชนิดพันธุ์ต่างๆ - การสำรวจอวกาศ - การกำเนิดและโครงสร้างของจักรวาล

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าการเลือกสถานการณ์หรือบริบทที่จะนำมาออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษานั้นสามารถใช้กรอบแนวคิดของการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ OECD มาเป็นแนวทางในการออกแบบยกตัวอย่างเช่น หากผู้เรียนที่ยังอยู่ในระดับชั้นประถมศึกษาอาจจะเลือกสถานการณ์การสร้างชิ้นงานหรือการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับบริบทส่วนตัว เช่น เรื่องสุขภาพ หรือหากเป็นผู้เรียนที่อยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษา อาจจะ

เริ่มออกแบบกิจกรรมที่ใช้บริบทในระดับท้องถิ่นหรือระดับโลกได้เช่น เรื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ดังนั้น ตารางที่ 1 จึงถือว่าเป็นเครื่องมือที่กำหนดแนวทางการเลือกบริบทที่สอดคล้องกับชีวิตในปัจจุบันและอนาคตของผู้เรียน ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งที่ขาดไม่ได้ของการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

นอกจากนี้ การกำหนดบริบทอาจจะสร้าง “แก่นเรื่อง” (Theme) ตามความสนใจของผู้เรียนหรือกำหนดตามจุดเน้นตามนโยบายของสถานศึกษา เขตพื้นที่การศึกษาหรือนโยบายระดับประเทศ ในขั้นนี้ผู้ที่จะกำหนดกรอบของหัวเรื่องหรือแก่นเรื่อง อาจจะเป็นตัวผู้สอน กลุ่มสาระการเรียนรู้หรือนโยบายที่กำหนดทิศทางการพัฒนาให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน หรืออาจจะเป็นจุดเน้นในหลักสูตรสถานศึกษาที่แตกต่างกันไปตามสถานที่ โดยอาจจะใช้แหล่งเรียนรู้ในชุมชนของผู้เรียน (สุดา ทองช่วง และคณะ, 2558) หรือจุดเน้นของแต่ละพื้นที่ที่มีความเฉพาะ เช่น มลรัฐเมน ประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดนโยบายสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับสิ่งแวดล้อมของรัฐ (Richardson, 2011) ในส่วนของบริบทประเทศไทย ในที่นี้ขอยกตัวอย่างเป็นแก่นเรื่องที่เน้นนโยบายด้านเศรษฐกิจดิจิทัลและพลังงานของประเทศตามแผนบูรณาการระยะยาว นโยบายของเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัล (Digital Economy หรือ DE) หมายถึง เศรษฐกิจและสังคมที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information Communication Technology: ICT) หรือปัจจุบันเรียกว่าเทคโนโลยีดิจิทัล เป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนการปฏิรูปกระบวนการผลิตการดำเนินธุรกิจ การค้า การบริการ การศึกษา การสาธารณสุข การบริหารราชการแผ่นดิน รวมทั้งกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคมอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้จะเน้นไปที่การบูรณาการ ICT ที่นำมาเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ โดยช่วยแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ชิ้นงาน เทคโนโลยีเหล่านี้เป็น “เทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรง (Disruptive technology)” ที่จะส่งผลกระทบต่อผู้เรียนและส่งผลกระทบต่อดำเนินชีวิตของทุกคนในอนาคต ซึ่งยืนยันด้วยข้อมูลว่า เทคโนโลยีมีสื่อที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ที่รวมถึงโทรศัพท์ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต กล้องมือถือ นาฬิกา ฯลฯ ส่งผลกระทบมากที่สุดเมื่อแสดงเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจเทียบกับเทคโนโลยีอื่น ๆ (Manyika et al., 2013) และคาดการณ์ว่าจากนี้ไปอีกไม่น้อยกว่า 1 ทศวรรษ เทคโนโลยีนี้จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางธุรกิจ ลักษณะการจัดการองค์กร รวมไปถึงวิถีการใช้ชีวิตของผู้คน (Geng, 2016)

การมุ่งเน้นที่จะดึงนโยบายนี้เข้ามาเป็นแก่นเรื่องหรือบริบทการเรียนรู้ รวมทั้ง “เทคโนโลยี” ในการบูรณาการสะเต็มจึงเป็นการวางรากฐานอนาคตให้ผู้เรียน เช่น การวางลำดับของ “เทคโนโลยี” ในการทำกิจกรรมสะเต็ม อาจจะเริ่มต้นจากการหาเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาชิ้นงานหรือโครงการให้ดีขึ้น จากนั้นจึงพัฒนาเป็นการฝึกฝนเพื่อให้ใช้เป็นและใช้ให้เป็นประโยชน์ หลังจากนั้นจึงกำหนดจุดประสงค์การใช้เพื่อแก้ปัญหาและนำไปสร้างนวัตกรรม เช่น การใช้แอปพลิเคชันเพื่อการวัดผลที่แม่นยำกว่าเดิม การสร้างมโนภาพสามมิติเพื่อการนำเสนอโครงสร้างโมเลกุลทดแทนภาพสองมิติในหนังสือที่มีข้อจำกัดด้านการมอง เป็นต้น (สุทธิดา จารัส, 2560 ข)

ตัวอย่างที่สองของการเน้นบริบทเพื่อสร้างเป็นแก่น คือการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาเรื่องพลังงาน ซึ่งเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์แผนบูรณาการระยะยาวที่กำหนดโดยกระทรวงพลังงาน (กระทรวงพลังงาน, 2558) โดยประเด็นที่สามารถนำมาบูรณาการในหลักสูตรและกิจกรรม เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งการลดการปล่อยมลพิษ การกระตุ้นการอนุรักษ์พลังงานแนวใหม่ ที่แตกต่างจากอดีตที่ผ่านมา และเทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อลดอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน การศึกษาวิธีการและเทคโนโลยีเพื่อนำพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทนมาใช้ให้มากขึ้น เทคนิควิธีการเพื่อยืดอายุแหล่งพลังงาน

ภายในประเทศ รวมทั้งยุทธวิธีในการลดอัตราการผลิตแก่ธรรมชาติภายในประเทศ รวมทั้ง ความเข้าใจของภาคประชาชนในเรื่องพลังงาน เป็นต้น (โครงการการส่งเสริมการเรียนรู้การสอนวิชาพลังงานในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560)

4. การเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21

การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (The 21st Century Learning) จะแตกต่างจากการเรียนรู้ในอดีตที่ผ่านมา โดยมีจุดเน้นที่สำคัญคือทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตในคริสต์ศตวรรษที่ 21 (ซึ่งต่อไปนี้จะใช้คำว่า “ศตวรรษที่ 21”) ซึ่งหมายถึงปี ค.ศ. 2001 – ค.ศ. 2100 ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักที่แตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่มผู้วิจัยหรือสถาบันต่าง ๆ ที่มีจุดเน้นแตกต่างกันออกไป หน่วยงานหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติคือ Partnership for 21st Century Learning (2011; 2015) ได้ให้นิยามว่า ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (21st Century Skills) หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการดำรงชีวิตปัจจุบันและอนาคตโดยเฉพาะในศตวรรษที่ 21 (ปีคริสต์ศักราช 2000 - 2099) ประกอบด้วยกลุ่มทักษะหลัก 3 ด้านคือ ทักษะการเรียนรู้ และนวัตกรรม (Learning and innovation skills) ทักษะด้านข้อมูล สื่อ และเทคโนโลยี (Information, media and technology skills) และทักษะชีวิตและทักษะในอาชีพ (Life and career skills) ในส่วนของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับศตวรรษที่ 21 มีลักษณะสำคัญคือ การนำทักษะที่สำคัญมาบูรณาการกับเนื้อหาวิชาแกน โดยกลุ่ม Partnership for 21st Century Learning ได้นำเสนอกรอบการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ที่ควรจะมีการนำทักษะสำคัญได้แก่ ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะด้านข้อมูล สื่อ และเทคโนโลยี และ ทักษะชีวิตและทักษะในอาชีพ มาบูรณาการในการจัดการเรียนรู้วิชาแกนที่มีการเรียนการสอนอยู่เดิม ซึ่งวิทยาศาสตร์ก็เป็นหนึ่งในวิชาแกนเหล่านั้น

ในรายละเอียดของทักษะหลักทั้งสามจะมีย่อสรุปประกอบย่อ ดังนี้

1. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ประกอบด้วยความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา การสื่อสารและทำงานร่วมกับคนอื่น
2. ทักษะด้านข้อมูล สื่อ และเทคโนโลยี ประกอบด้วยทักษะในการจัดระบบและมีการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งหมายความว่ารวมถึง การรู้ข้อมูล (Information literacy) การรู้สื่อ (Media literacy) และ การรู้ไอซีที (Information, communications and technology literacy)
3. ทักษะชีวิตและทักษะในอาชีพ ประกอบด้วย การยืดหยุ่นและปรับตัวการสร้างสรรค์สิ่งใหม่และการมีเป้าหมาย ทักษะทางสังคมและความเข้าใจในวัฒนธรรมที่แตกต่าง ความมีประสิทธิภาพและความรับผิดชอบในหน้าที่ ความเป็นผู้นำและรับผิดชอบ

อย่างไรก็ตาม กรอบแนวคิดของทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 หรือ การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 อาจจะมี ความแตกต่างไปจากนี้ได้ ขึ้นอยู่กับกรอบแนวคิดของกลุ่มนักวิชาการที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่นในกลุ่มของ Metri Group (Turiman et al., 2012) จะแบ่งองค์ประกอบของทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 เป็น 4 ด้านคือ (1) การรู้เรื่องในยุคดิจิทัล (Digital age literacy) (2) การคิดเชิงประดิษฐ์ (Inventive thinking) (3) การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ (Effective communication) และ (4) ผลิตภาพ/ความสามารถหรือศักยภาพการผลิตที่สูง (High productivity) แนวคิดของกลุ่ม Metri Group สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในสังคมและการจ้างงานเน้นทักษะที่

เพิ่มขึ้นของประเทศไทย (Suvit, 2016) รวมทั้งการขับเคลื่อนนโยบายประเทศไทย 4.0 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ของภาคีเพื่อการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2015) สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ในการพัฒนาผู้เรียนตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (Ministry of Education Thailand, 2008)

หากผู้สอนให้ความสำคัญกับทักษะที่สำคัญและจำเป็นในศตวรรษที่ 21 การกำหนดเป้าหมายหรือผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องนำทักษะสำหรับศตวรรษที่ 21 เข้าไปประกอบด้วย เนื่องจากผู้เรียนจำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่มีความซับซ้อน ดังนั้นแนวการจัดการศึกษาจำเป็นต้องปรับให้สอดคล้องกับความต้องการและจำเป็นในโลกปัจจุบันและอนาคตที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การเรียนรู้จึงต้องเปลี่ยนจากแบบเดิมที่เรียนในมิติเดียว ที่เน้นแต่เนื้อหา เป็นลักษณะของวัฏจักรมีการประยุกต์ใช้และเชื่อมโยงสู่โลก สังคม ชีวิตจริงให้มากขึ้น จุดเน้นนี้จึงสอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกับแนวคิดสะเต็มศึกษา จึงเป็นลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

5. กิจกรรมเน้นการออกแบบและแก้ปัญหาผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐาน และการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน

กิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐาน (Project-based Learning) และแนวทางการแก้ปัญหาตามแนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) เหมาะสมในการนำมาใช้ออกแบบกิจกรรมที่เน้นการลงมือปฏิบัติ โดยเฉพาะในกรอบของสะเต็ม (Capraro et al., 2013) เนื่องจากสิ่งที่ผู้เรียนต้องสร้างขึ้นมามีทั้งที่ยากที่สุดคือ ชิ้นงาน โครงการหรือวิธีแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด ดังที่แสดงกระบวนการในภาพที่ 4 ซึ่งถือว่าการจัดการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ผลของการจัดกิจกรรมของทั้งสองวิธีมีจุดมุ่งหมายพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณลักษณะของนักประดิษฐ์หรือเมกเกอร์ (Maker¹) หรือ นักแก้ปัญหา (Problem solver) โดยคุณลักษณะแบบเมกเกอร์นั้นเป็นพื้นฐานสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา (Honey & Kanter, 2013; Peppler, 2013 ; Martin, 2015)

Project-based Learning -----> Designing -----> Artifacts/Projects

Problem-based Learning -----> Problem Solving -----> Solutions

ภาพที่ 4 แผนผังการเปรียบเทียบกระบวนการและผลผลิตที่ได้จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐาน และการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน

¹ Maker เป็นคำที่ใช้เรียกบุคคลที่มีแนวคิดและวิธีปฏิบัติในการสร้างสรรค์หรือประดิษฐ์สิ่งต่าง ๆ โดยอาจจะเริ่มจากสิ่งของง่าย ๆ ไปจนถึงชิ้นงานหรือโครงการที่ซับซ้อน ในปัจจุบันถือว่าเป็นวัฒนธรรมสมัยใหม่ ที่ค่อยๆ อดจากแนวคิด Do It Yourself (DIY)

6. การวัดผลตามสภาพจริง และการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียน

การวัดและประเมินผลการจัดการเรียนรู้ต้องสอดคล้องกับกรอบลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่ผ่านมา ดังนั้นเมื่อเน้นให้ผู้เรียนได้สร้างชิ้นงาน โครงการหรือแนวทางการแก้ปัญหา การวัดประเมินผลต้องสอดคล้องกับธรรมชาติของกิจกรรมการเรียนรู้ที่ต้องเน้นไปที่สมรรถนะของผู้เรียน ความรู้ ทักษะ การปฏิบัติ รวมทั้งจิตพิสัย ที่แสดงออกมาในขณะที่ทำกิจกรรมหรือสะท้อนออกมาในชิ้นงาน ดังนั้นการวัดและประเมินผลต้องเน้นไปที่ชิ้นงาน เช่นการวัดด้วย Rubric scores) การวัดด้วยเครื่องมือที่หลากหลาย การวัดและประเมินโดยเพื่อน หรือโดยตัวผู้เรียนเอง โดยปัจจุบันแนวทางการวัดและประเมินผลทางการศึกษามีความหลากหลายมากครอบคลุมทั้งด้านความรู้ ทักษะ คุณลักษณะ เจตคติ เป็นต้น (บุญศรี พรหมมาพันธุ์, 2557) จึงเป็นทางเลือกให้ครูสามารถออกแบบการวัดผลตามสภาพจริง (Authentic assessment) และการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียน (Formative assessment) นอกจากนี้ควรวัดตามลำดับความก้าวหน้าของกิจกรรม เช่น หากออกแบบกิจกรรมให้ผู้เรียนนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ ควรมีเครื่องมือวัดตามลำดับที่กำหนดคือ วัดว่าผู้เรียนมีการนำเทคโนโลยีมาใช้หรือไม่ จากนั้นจึงวัดขั้นต่อไปว่ามีการใช้เป็นอย่างดี และเมื่อกิจกรรมมีความก้าวหน้าขึ้นไป ก็วัดว่ามีการนำเทคโนโลยีไปใช้เพื่อแก้ปัญหาและนำไปสร้างนวัตกรรมอย่างไร และเทคโนโลยีดังกล่าวเหมาะสมกับระดับผู้เรียนหรือไม่ เพราะหากเป็นผู้เรียนในชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายเทคโนโลยีก็ไม่ควรจะเน้นเพียงกรรไกรหรือไม้บรรทัดซึ่งเป็นเทคโนโลยีเบื้องต้นเท่านั้น นอกจากนี้การวัดและประเมินควรต้องเปิดเผยรูปแบบและเกณฑ์การวัดและประเมินเพื่อให้ผู้เรียนใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาตนเองขณะสร้างสรรค์ชิ้นงาน โครงการหรือออกแบบและสืบเสาะหาวิธีการแก้ปัญหา (Lawrenz & Huffman, 2006)

จากกรอบแนวคิดที่ถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาข้างต้น การออกแบบและพัฒนากิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา ต้องมีความสอดคล้องภายในของลักษณะสำคัญของการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา สร้างลำดับความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของผู้เรียน พิจารณาจุดเน้นที่สำคัญบริบทของบทเรียน รวมถึงการวัดและประเมินผลที่เน้นการประเมินตามสภาพจริงและเพื่อพัฒนาผู้เรียน

การประยุกต์ใช้ลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาวิชาชีพครู

การพัฒนาวิชาชีพครูเกี่ยวกับสะเต็มเป็นกรณีที่มีความซับซ้อนและค่อนข้างท้าทาย โดยเนื้อหาแล้วหากครูคนเดียวจะออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มจะต้องมีความรู้ทั้งสี่ศาสตร์ หรือสองศาสตร์ขึ้นไปมาบูรณาการ ในกรณีที่เป็นการสอนร่วม (Co-teaching) ก็จะต้องมีการร่วมมือระหว่าง ครูวิทยาศาสตร์ ครูคณิตศาสตร์ และครูกลุ่มสาระการเรียนรู้ อื่นๆ และเทคโนโลยี ซึ่งจะสอนเกี่ยวกับ เทคโนโลยี คอมพิวเตอร์ รวมทั้งวิศวกรรมศาสตร์เบื้องต้น ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานสำคัญในการออกแบบและแก้ปัญหา ซึ่งใช้ในหลากหลายสาขา โดยเฉพาะสาขาที่เน้นการปฏิบัติ การสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือโครงการต่าง ๆ

การที่จะพัฒนาให้ครูมีความรู้เรื่องสะเต็ม เมื่อพิจารณาตามกรอบแนวคิดของการพัฒนาวิชาชีพที่สำคัญ คือ การพัฒนาความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอน (Pedagogical Content Knowledge, PCK) (Shulman, 1986; Ashton,

1990) ที่นำเสนอว่า ครูจะสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความรู้ในเนื้อหาที่จะสอนผนวกกับความรู้เกี่ยวกับการสอนในเนื้อหานั้น ๆ ดังนั้นหากต้องการพัฒนาครูให้มีศักยภาพในการออกแบบการสอนและการปฏิบัติการสอนสะเต็ม ครูต้องมีความรู้เนื้อหาผนวกกับวิธีสอนสะเต็ม (STEM Pedagogical Content Knowledge, STEM-PACK)

การพัฒนาครูให้มี STEM-PACK ไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะเป็นเรื่องใหม่สำหรับครู ครูส่วนใหญ่ไม่ได้ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบนี้มาก่อน (Lederman and Lederman, 2013) นอกจากนี้ในภูมิหลังด้านการเรียนไม่ปรากฏวิชาสะเต็ม หรือการเรียนรู้ที่สาขาวิชาบูรณาการกัน รวมทั้งขาดประสบการณ์ในการเรียนด้านวิศวกรรมศาสตร์ (De Miranda, 2008) การพัฒนาครูในช่วงแรกมีการออกแบบกิจกรรมสะเต็มสำหรับครูเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในชั้นเรียนอย่างไรก็ตาม การออกกิจกรรมมาก่อนโดยผู้เชี่ยวชาญจากนั้นทำการอบรมขยายผลให้กับครูเพื่อนำไปใช้ไม่ใช่การพัฒนา STEM-PACK อย่างยั่งยืน การเปิดโอกาสให้ครูได้เข้าร่วมกิจกรรมที่ออกแบบสื่อและการเรียนการสอนตามความเข้าใจและความต้องการของครูเอง โดยมีผู้เชี่ยวชาญมาให้ความรู้พื้นฐานและให้ข้อเสนอแนะตลอดช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี ต่อเนื่อง เป็นวิธีการที่พบว่า มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความเข้าใจและการปฏิบัติการสอนสะเต็มของครู (Wang et al., 2011)

กล่าวโดยสรุป การพัฒนาให้ผู้เรียนมีความรู้เรื่องสะเต็มเพื่อให้เป็นพื้นฐานสำหรับการเรียน การใช้ชีวิต และการทำงานในอนาคต ปัจจัยที่สำคัญมากคือครูผู้สอน ซึ่งพบว่า ครูยังขาดความชัดเจนเกี่ยวกับสะเต็มและการสอนสะเต็ม (สุทธิดา จำรัส, 2560 ก; Brown et al., 2011) ทั้งที่ความรู้เนื้อหาผนวกวิธีสอนสะเต็ม (STEM-PACK) เป็นสิ่งสำคัญที่ครูต้องมี การพัฒนาวิชาชีพครูจึงต้องให้ความสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพของครูที่จะคิด ออกแบบ สร้างสรรค์สื่อและกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็ม โดยนิยามและแนวปฏิบัติรวมทั้งลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่ได้นำเสนอไป จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้ครูสามารถออกแบบและจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในชั้นเรียนของตนเองได้ รวมทั้งเป็นแนวทางในการกำหนดองค์ประกอบและจัดการความรู้ของแผนการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มให้สอดคล้องกับบริบทของห้องเรียนและสถานศึกษาของตนเองที่มีความแตกต่างหลากหลาย ซึ่งเป็นการพัฒนาศักยภาพของครูที่ยั่งยืน เพื่อไปสร้างสรรค์ต่อยอดการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการพัฒนาวิชาชีพเพื่อเสริมสร้างศักยภาพนั้นควรต้องเน้นที่การเรียนรู้เรื่องสะเต็มเพราะเป็นเป้าหมายสำคัญของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐานก่อนที่ผู้เรียนจะก้าวไปสู่การเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้าสู่การทำงาน

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สะเต็มศึกษาจะเป็นพื้นฐานสำหรับผู้เรียนในการเรียน สืบเสาะหาความรู้ รวมไปถึงการประกอบอาชีพในอนาคต โดยการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาจะมีความเชื่อมโยงกับทักษะต่าง ๆ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา จึงเน้นไปที่ คุณภาพของกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาโดยสรุปแล้วจะประกอบด้วย

1. การบูรณาการศาสตร์ทั้ง 4 ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์
2. การยึดกรอบแนวคิดความก้าวหน้าในการเรียนรู้ (learning progression) ที่มุ่งเน้นพัฒนาการของผู้เรียนตามลำดับขั้นจากง่ายไปหายาก เพื่อพัฒนาสร้างสรรค์ชิ้นงาน จากความเรียบง่ายไปสู่ความซับซ้อน หรือการแก้ปัญหาธรรมดาไปสู่ปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น รวมทั้งการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากแนวคิดที่มีความเป็นรูปธรรมไปสู่ความเป็นนามธรรมมากขึ้น
3. กิจกรรมที่เชื่อมโยงไปยังบริบทโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน
4. การเน้นการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21
5. กรอบกิจกรรมใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน ที่นำไปสู่การเป็นผู้สร้างหรือนักประดิษฐ์ และการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน ที่นำไปสู่การเป็นผู้แก้ปัญหา
6. เน้นการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงโดยกิจกรรมต้องออกแบบให้ผู้เรียนได้ออกแบบและแก้ปัญหา

ลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา รวมทั้งนิยามและแนวปฏิบัติของสะเต็มเป็นกรอบแนวคิดที่จะช่วยให้ครูสามารถออกแบบและจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในบริบทของตนเองได้ โดยจะเป็นศักยภาพที่จะติดตัวครูต่อไป การดำเนินการในลักษณะเช่นนี้จะแตกต่างจากการพัฒนาวิชาชีพครูที่เน้นการถ่ายทอดกิจกรรมที่ผู้อื่นออกแบบไว้แล้ว ข้อเสนอแนะของผู้เขียนคือ กรอบแนวคิดลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรมในการพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อเสริมสร้างศักยภาพในการออกแบบและพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยอาจจะเป็นการต่อยอดจากการเรียนรู้กิจกรรมสะเต็มศึกษา การพัฒนาครูให้สามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาได้นั้น จะช่วยให้เห็นโยบายการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษามีประสิทธิภาพรวมทั้งเกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน. (2558). เอกสารประกอบการสัมมนา “เพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจในการดำเนินงานตามแผนบูรณาการพลังงานระยะยาว ประจำปีงบประมาณ 2559” (Action Plan 2016). สืบค้น 5 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://energy.go.th/tieb2015.html>.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2559). แผนพัฒนาการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 – 2564). สืบค้น 5 กุมภาพันธ์ 2560, จาก <http://www.moe.go.th/moe/th/news/detail.php?NewsID=47194&Key=news20>
- คณะกรรมการการสื่อสารมวลชน การวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสารสนเทศ. (2558). รายงานข้อเสนอเชิงนโยบายสะเต็มศึกษา (STEM Education) นโยบายเชิงรุกเพื่อพัฒนาเยาวชนและกำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์. สืบค้น 25 พฤศจิกายน 2558, จาก http://library.senate.go.th/document/Ext11101/11101417_0003.PDF.
- โครงการการส่งเสริมการเรียนการสอนวิชาพลังงานในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2560). คู่มือครูกิจกรรมพลังงาน. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บุญศรี พรหมมาพันธุ์. (2557). การสังเคราะห์งานวิจัยจากวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผลการศึกษา สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ., 7(1), 38-50.
- มนตรี จุฬวัฒน์ทล. (2556). การศึกษาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและ คณิตศาสตร์ หรือ “สะเต็ม”. สมาคมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และ เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 19 (มกราคม-ธันวาคม 2556), 3 -14.
- ลือชา ลดาชาติ. (2555). การสร้าง Learning Progression. สืบค้น 5 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://www.inquiringmind.in.th/archives/940>.
- ลือชา ลดาชาติ. (2559). ความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 7(1), 1-22.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2556). สะเต็มศึกษาประเทศไทยและทูตสะเต็ม (STEM Education Thailand and STEM Ambassadors), นิตยสาร สสวท., 42(185), 14-18.
- สะเต็มศึกษาประเทศไทย. (2558ก). กิจกรรมสะเต็ม. สืบค้น 25 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://www.stemedthailand.org/>
- สะเต็มศึกษาประเทศไทย. (2558ข). มุมมองการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา. สืบค้น 31 มีนาคม 2560, จาก <http://www.stemedthailand.org/>
- สะเต็มศึกษาประเทศไทย. (มปป.). รู้จักสะเต็ม สืบค้น 12 มิถุนายน 2559, จาก http://www.stemedthailand.org/?page_id=23.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนานโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.). (2557). โครงการพัฒนาการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์. สืบค้น 25 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://www.sti.or.th/images/stories/stem1.png>
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2559). รายงานการวิจัยเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะนโยบายการส่งเสริมการจัดการศึกษาด้านสะเต็มของประเทศไทย. พรึกหวานกราฟิก: กรุงเทพฯ.

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2551). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้*

วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สุดา ทองแข็ง, ครุณี จำปาทอง และ ดิเรก สุขสุนัย. (2558). ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แหล่งเรียนรู้ในชุมชนบ้านร่มโพธิ์ทอง เรื่องภูมิปัญญาท้องถิ่น ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการคิดของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านร่มโพธิ์ทอง จังหวัดฉะเชิงเทรา. *วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ.*, 8(2), 217-227.

สุทธิดา จำรัส. (2559). แผนการจัดการเรียนรู้วัดพื้นที่ใบไม้: เอกสารประกอบการพัฒนาวิชาชีพครูเพื่อจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา [เอกสารอัดสำเนา]. เชียงใหม่: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุทธิดา จำรัส. (2560ก). สะเต็มศึกษาบนเส้นทางวิชาการรับใช้สังคม: จุดเปลี่ยนการเรียนรู้สู่อนาคต. *ศึกษาศาสตร์ปริทรรศน์*, 31(3), 34-47.

สุทธิดา จำรัส. (2560ข). *การเรียนรู้ที่บูรณาการร่วมกับเทคโนโลยี*. โครงการนวัตกรรมการเรียนรู้และศาสตร์การสอนแนวใหม่. เชียงใหม่: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุธีระ ประเสริฐสรพร. (2558). *สะเต็มศึกษา : ความท้าทายใหม่ของการศึกษาไทย*. กรุงเทพมหานคร: โครงการเพาะพันธุ์ปัญญา.

สุธีระ ประเสริฐสรพร. (2559). *ถอดรหัสการสอนสะเต็ม*. สงขลา: หน่วยจัดการกลาง โครงการเพาะพันธุ์ปัญญา.

Ashton, P. T. (Ed.). (1990). Theme: Pedagogical Content Knowledge [Special issue]. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 2.

Baranyai, K., Jennifer, B., Samira, H., Roslyn, P., Phillippa, S., & Chris, W. (n.d.). *Australia's STEM workforce: science technology, engineering and mathematics*. Retrieved from http://www.chiefscientist.gov.au/wp-content/uploads/Australias-STEM-Workforce_for-distribution.pdf

Brown, R., Brown, J., Reardon, K., & Merrill, C. (2011). Understanding STEM: Current Perceptions. *Technology and Engineering Teacher*, 70(6), 5-9.

Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30-35.

Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (2013). STEM project-based learning. Rotterdam: *Sense Publishers*, 10(1007), 978-94.

Chulawattanatorn, M. (2012). *Science Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education*. Concept Paper for the IPST Steering Committee Meeting.

De Miranda, M. A. (2008). Pedagogical Content Knowledge and Engineering and Technology Teacher Education: Issues for thought. *Journal of the Japanese Society of Technology Education*, 50 (1), 17-26.

Duschl, R. A., & Bismack, A. S. (Eds.). (2016). *Reconceptualizing STEM Education: The Central Role of Practices*. New York: Routledge.

- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. Retrieved from <http://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Fan, S. C. & J. M. Ritz (2014). *International views of STEM education*. Proceedings of the 28st Pupils Attitudes Towards Technology in conjunction with the 76th Annual International Technology and Engineering Educators Association Conference. Retrieved from <http://www.iteea.org/Conference/PATT/PATT28/Fan%20Ritz.pdf> (8 December 2015)
- Feder, M., Ferrini-Mundy, J., & Heller-Zeisler, S. (2011). *The federal science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education portfolio*. Retrieved from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED542910.pdf>.
- Geng, H. (Ed.). (2016). *Internet of Things and Data Analytics Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Honey, M., & Kanter, D. E. (Eds.). (2013). *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators*. New York: Routledge.
- Jitsuchon, S. (2012). Thailand in a Middle-income Trap. *TDRI Quarterly Review*, 27(2), 13–21.
- Lawrenz, F., & Huffman, D. (2006). Methodological pluralism: The gold standard of STEM evaluation. *New Directions for Evaluation*, 2006(109), 19-34.
- Lederman, N., & Lederman, J. (2013). Is it STEM or “S & M” that we truly love? *Journal of Science Teacher Education*, 24(8), 1237-1240.
- Maesincee, S.. (2016). *Thailand 4.0 Thriving in the 21st Century through Security, Prosperity & Sustainability*. [Online]. <http://www.ait.ac.th/news-and-events/2016/news/1thailand-4.0-english-dr.-suvit.pdf> (November 20, 2015)
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013). *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy* (Vol. 180). San Francisco, CA: McKinsey Global Institute.
- Martin, L. (2015). The promise of the Maker Movement for education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 5(1), 30-39.
- Ministry of Education Thailand. (2008). *Basic Education Core Curriculum. Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)*, 2551. Retrieved from <http://academic.obec.go.th/web/doc/d/147>
- Moore, T.J. (2010). *CAREER: Implementing K-12 Engineering Standards through STEM Integration*. National Science Foundation (NSF) Faculty Early Career Development (CAREER) Program, Engineering Education Division, Award # 1055382
- Moore, T. J., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Kersten, J. A. (2015). NGSS and the landscape of engineering in K-12 state science standards. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(3), 296-318.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Wasington, D.C.: National Academies Press.

OECD (2013). *Draft PISA 2015 Science Framework*. Paris: OECD. Retrived from 10 November 2015

<http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>

Olson, S., & Loucks-Horsley, S. (Eds.). (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. National Academies Press.

Oxford Dictionary. (n.d.). *Stem - definition of stem in English from the Oxford dictionary*. Retrieved from <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/stem>.

Pasuk, P., & Pornthep, B. (2012). *Locked in the Middle-Income Trap: Thailand's economy between resilience and future challenges*. [online] <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/thailand/09208.pdf> (March 18, 2016)

Partnership for 21st Century Learning. (2011). *Framework for 21st Century Learning*. Partnership for 21st Century Skills, 1–2. Retrieved from http://doi.org/http://www.21stcenturyskills.org/documents/framework_flyer_updated_jan_09_final-1.pdf

Partnership for 21st Century Learning. (2015). *P21 Partnership for 21st Century Learning*. Partnership for 21st Century Learning, 9. Retrieved from http://www.p21.org/documents/P21_Framework_Definitions.pdf

Pasuk, P., & Pornthep, B. (2012). *Locked in the Middle-Income Trap: Thailand's economy between resilience and future challenges*. *Friedrich Ebert Stiftung*, (March). Retrieved from <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/thailand/09208.pdf>

Peppler, K., & Bender, S. (2013). *Maker movement spreads innovation one project at a time*. *Phi Delta Kappan*, 95(3), 22-25.

Richardson, N., Berns, B. B., and L., Marco. (2011). *Briefing Paper on STEM Education Maine*. Learning and Teaching Division, Massachusetts: Education Development Center, Inc.,

Rothwell, J. (2013). *The hidden STEM Economy*. *Washington, DC: Brookings*, (June), 1–38. Retrieved from http://www.brookings.edu/~media/Research/Files/Reports/2013/06/10stem_economy_rothwell/SrvyHiddenSTEMJune3b.pdf

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4-14.

Teach Engineering. (2016). *Engineering Design Process*. Retrieved from <https://www.teachengineering.org/k12engineering/designprocess>

Turiman, P., Omar, J., Mohd, J., Daud and K., Osman. (2012). *Fostering the 21st Century Skills through Scientific Literacy and Science Process Skills*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 17 October 2012.

U.S. Department of Labor. (2007). *The STEM Workforce Challenge: the Role of the Public Workforce System in a National Solution for a Competitive Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM)*

- Workforce. Washington, DC: Author. Retrieved from http://digitalcommons.ilr.cornell.edu/key_workplace/637.
- Vasquez, J. A., Sneider, C. I., & Comer, M. W. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Heinemann.
- Wang, H., Moore, T., Roehrig J., Gillian H. and M. Park. (2011). STEM Integration: Teacher Perceptions and Practice, *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2),2, Retrieved from <http://dx.doi.org/10.5703/1288284314636>.
- Woodruff, K. (2013). *A History of STEM – Reigniting the Challenge with NGSS and CCSS*. Retrieved from <http://www.us-satellite.net/STEMblog/?p=31>.
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12–19. Retrieved from <http://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2012.00101.x>.