

การวิเคราะห์แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ที่พบในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง)

กรกนก เลิศเดชาภัทร* และชาตรี ฝ่ายคำตา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900

*E-mail: Kornkanok.Le@ku.th

รับบทความ: 13 กันยายน 2561 แก้ไขบทความ: 6 เมษายน 2562 ยอมรับตีพิมพ์: 15 มิถุนายน 2562

บทคัดย่อ

ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ของประเทศไทยเป็นแนวทางการพัฒนานักเรียนให้เป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์และมีทักษะที่สามารถปฏิบัติกิจกรรมสะเต็มศึกษา ในขณะที่แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (science and engineering practices) เป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่สหรัฐอเมริกาใช้เพื่อเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบตัวชี้วัดในหลักสูตรไทยและต่างประเทศ งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเอกสาร (documentary research) ที่มุ่งวิเคราะห์แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในตัวชี้วัด ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) การวิเคราะห์ตัวชี้วัดจะเปรียบเทียบและใช้กรอบแนวคิดเกี่ยวกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่ปรับจาก National Research Council (2012) ประกอบด้วยแนวปฏิบัติ 8 ข้อ รวมพฤติกรรมบ่งชี้ 36 พฤติกรรม โดยแบ่งเป็นแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ 17 ข้อ และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ 19 ข้อ ผลการวิจัยพบว่า 1) ตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ของประเทศไทยมีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ของสหรัฐอเมริกามากกว่าแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ และไม่ได้ครอบคลุมแนวปฏิบัติ ครบทุกข้อ 2) ตัวชี้วัดไม่ได้แสดงความลุ่มลึกของแนวปฏิบัติ เพียงแต่แสดงพฤติกรรมที่คาดหวังให้นักเรียนปฏิบัติได้เมื่อจบแต่ละระดับชั้นเท่านั้น โดยที่ตัวชี้วัด 1 ข้อ สามารถสอดคล้องกับแนวปฏิบัติได้มากกว่า 1 พฤติกรรมบ่งชี้ 3) จำนวนตัวชี้วัดไม่มีความสอดคล้องกับความถี่ของแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ จากผลการวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางให้กับนักพัฒนาหลักสูตรนำไปออกแบบหลักสูตรโดยสะท้อนการปฏิบัติของนักวิทยาศาสตร์ พิจารณาความสอดคล้องตลอดแนวและความเข้มข้นของการปฏิบัติของตัวชี้วัด กับแนวปฏิบัติ ครูสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนพัฒนาตนเองตามแนวปฏิบัติ ที่สอดคล้องกับตัวชี้วัด นั้นๆ นอกจากนั้นงานวิจัยครั้งต่อไป

สามารถวิเคราะห์ตัวชี้วัดโดยเทียบกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดเชื่อมโยงระหว่างสาขา รวมทั้งธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา อีกทั้งสามารถศึกษาผลของการนำหลักสูตรไปใช้ โดยประเมินการจัดการเรียนรู้ของครูและประเมินการรู้สะเต็มของนักเรียน

คำสำคัญ: สะเต็มศึกษา แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรวิทยาศาสตร์

Analysis of Science and Engineering Practices in a Revised Thai Science Curriculum

Kornkanok Lertdechapat* and Chatree Faikhamta

Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education

Kasetsart University, Bangkok, Bangkok 10900, Thailand

*E-mail: Kornkanok.Le@ku.th

Received: 13 September 2018 Revised: 6 April 2019 Accepted: 15 June 2019

Abstract

The indicators and expected learning outcomes in Thai science (revised curriculum A.D. 2017) aim to enhance students' science and STEM literacy. Similarly, US use science and engineering practices as the key features and approach for implementing STEM education. It is interesting to analyze and compare indicators in Thai science curriculum to others. This documentary research employed content analysis for analyzing indicators for grades 1 through 6 by using Science and Engineering Practice (SEPs) as an analytical lens which modified from National Research Council (2012). There were 8 SEPs which comprised of 36 desired learning outcomes were divided into 17 science practices and 19 engineering practices. The results showed that 1) grades 1 through 6 indicators were consistent with science practices rather than engineering practices and they were not cover all SEPs, 2) higher grades were not addressed the complex performance and indicators presented the desired learning outcomes after finished each grade by addressing at least 1 outcome within 1 indicator and, and 3) the frequencies of indicators were inconsistent with the frequencies of SEPs because of their nature of science strands. The implications of this research, curriculum develops could design science curriculum which reflect scientists' performance and consider curriculum alignment and curriculum mapping in order to understand the holistic science curriculum. Science teachers would be able to design science activities which link to indicators and enhance students' SEPs. Further research could compare Thai science indicators to disciplinary core ideas, crosscutting concepts, and nature of science which are the foundation of STEM education. Moreover, it is interesting to investigate the curriculum implementation by assessing teachers' instruction and students' STEM literacy.

Keywords: STEM education, Science and Engineering Practices, Science curriculum

บทนำ

หลายประเทศทั่วโลกส่งเสริมสะเต็มศึกษา (STEM education) โดยการระบุดสะเต็มศึกษาในเอกสารหลักสูตรในระดับชาติ สะเต็มศึกษาเป็นแนวทางจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ ตั้งแต่ 2 ศาสตร์ขึ้นไปเข้าด้วยกัน เชื่อมโยงกับการปฏิบัติที่สอดคล้องกับบริบทจริงเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นแนวคิดหลักของการรู้สะเต็ม (STEM literacy) (Bybee, 2013; Kelly and Knowles, 2016; Rinke et al., 2016; STEM Education Thailand, 2014)

ประเทศไทยจัดการเรียนรู้โดยมีหลักสูตรเป็นแนวทางการดำเนินการ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ใช้ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา หลักสูตรดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อให้นักเรียนเข้าใจองค์ความรู้วิทยาศาสตร์ มีทักษะในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางเทคโนโลยี พัฒนาการคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยเป็นผู้มีจิตวิทยาศาสตร์ และค่านิยมในการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ (Ministry of Education, 2017) ตัวชี้วัดที่ระบุไว้นั้นเป็นผลการเรียนรู้ที่คาดหวังให้นักเรียนปฏิบัติได้ ช่วยให้ครูจัดกิจกรรมในห้องเรียนได้ตรงตามความต้องการของหลักสูตร ตัวชี้วัดนี้จึงสามารถเทียบกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (science and engineering practices: SEPs) ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ได้รับในมาตรฐานการ

เรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ (next generation science standards: NGSS) ของประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council [NRC], 2012)

มาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในมุมมองร่วมสมัย (Bybee, 2014; NRC, 2012) แบ่งระดับการศึกษาออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ อนุบาลถึงประถมศึกษาปีที่ 2 (K-2) ประถมศึกษาปีที่ 3-5 (Grades 3-5) ประถมศึกษาปีที่ 6 ถึงมัธยมศึกษาปีที่ 2 (Grades 6-8) และมัธยมศึกษาปีที่ 3 ถึง 6 (Grades 9-12) อีกทั้งยังได้ระบุการปฏิบัติที่คาดหวัง (performance expectations: PEs) 3 ด้าน ได้แก่ ด้านแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ด้านแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ (disciplinary core ideas, DCIs) และด้านแนวคิดเชื่อมโยงระหว่างสาขา (crosscutting concepts)

เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ประกอบด้วย 8 แนวปฏิบัติ (NGSS Lead States, 2013; NRC, 2012) ได้แก่ 1) การตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ และการนิยามปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ 2) การสร้างและการใช้แบบจำลอง 3) การวางแผนและการดำเนินการสำรวจตรวจสอบ 4) การวิเคราะห์ และการแปลความหมายข้อมูล 5) การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ 6) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ 7) การมีส่วนร่วมในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่ได้รับ และ 8) การสืบค้น การประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ องค์ประกอบข้างต้นเป็นลักษณะสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา กิจกรรมการเรียนรู้ควรมีลักษณะ

ที่คล้ายกับภาระงานการออกแบบทางวิศวกรรม-ศาสตร์ ซึ่งครอบคลุมแนวปฏิบัติ ไว้ในกิจกรรมการเรียนรู้ (Capobianco *et al.*, 2013; Hurd, 1998; Organization for Economic Cooperation and Development [OECD], 2013) นอกจากนี้แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์แต่ละช่วงชั้นจะแสดงรายละเอียดตัวอย่างของการปฏิบัติ และมีความลุ่มลึกมากขึ้นในระดับช่วงชั้นที่สูงขึ้น (NRC, 2012)

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ในมุมมองที่หลากหลาย ครอบคลุมทั้งการศึกษาแนวปฏิบัติ ข้อใดข้อหนึ่ง หรือศึกษาแนวปฏิบัติ ตั้งแต่ 2 ข้อร่วมกัน (Krajcik *et al.*, 2014; Nersessian, 2005) หรือได้ศึกษาแนวปฏิบัติ ข้อใดข้อหนึ่งเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะ (Duschl and Bybee, 2014) หรือได้ศึกษาแนวปฏิบัติ ที่พบในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ โดยไม่ได้จำแนกด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Lertdechapat and Faikhamta, 2018) อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาแนวปฏิบัติ ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของประเทศไทย ดังนั้นการเปรียบเทียบหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยกับมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของสหรัฐอเมริกา จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะทำให้นักวิจัยและนักพัฒนาหลักสูตรได้เรียนรู้ประเด็นบางประการ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเปรียบเทียบแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจากกรอบแนวคิดมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของสหรัฐอเมริกาและจากเอกสารงานวิจัยกับตัวชี้วัดระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่พบในตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับ

ปรับปรุง พ.ศ. 2560) ของประเทศไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเอกสาร (documentary research) ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) เพื่อศึกษารายละเอียดแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในเอกสารตัวชี้วัดฯ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยวิเคราะห์ข้อความตัวชี้วัดในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 จากนั้นดำเนินการแปลความหมายคำแสดงพฤติกรรมของตัวชี้วัดแต่ละข้อ และนำความหมายไปเทียบกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (ปรับปรุงจาก NRC, 2012)

แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (NRC, 2012) ประกอบด้วย 8 ข้อ วิเคราะห์พฤติกรรมบ่งชี้ด้านวิทยาศาสตร์และพฤติกรรมบ่งชี้ด้านวิศวกรรมศาสตร์จากนิยามของแนวปฏิบัติ แต่ละข้อ สามารถกำหนดพฤติกรรมบ่งชี้ทั้งหมด 36 พฤติกรรมบ่งชี้ แบ่งเป็นด้านวิทยาศาสตร์ 17 พฤติกรรมบ่งชี้ และด้านวิศวกรรมศาสตร์ 19 พฤติกรรมบ่งชี้ รายละเอียดดังพฤติกรรมบ่งชี้ที่แสดงในหัวข้อผลการวิจัย จากนั้นนำแนวปฏิบัติ และพฤติกรรมบ่งชี้ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 5 ท่านพิจารณาความเหมาะสมก่อนนำไปใช้วิเคราะห์ตัวชี้วัด และเมื่อดำเนินการวิเคราะห์ตัวชี้วัดแล้ว นำข้อมูลมาปรึกษาผู้เชี่ยวชาญแล้วปรับการวิเคราะห์ให้สอดคล้องตามคำแนะนำ

การวิเคราะห์ตัวชี้วัดแต่ละข้อ พิจารณาจากคำที่ใช้ว่ามีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติในข้อใด ทั้งนี้ตัวชี้วัดบางข้อพบพฤติกรรมที่พึงปฏิบัติมากกว่า 1 พฤติกรรม ดังนั้นตัวชี้วัด 1 ข้อ

จึงสามารถวิเคราะห์กับแนวปฏิบัติ ได้มากกว่า 1 พฤติกรรมบ่งชี้ นอกจากนี้ตัวอย่างการวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับตัวชี้วัดและการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์จะพบในผลการวิจัยด้านล่าง

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในตัวชี้วัดระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6

เมื่อพิจารณาแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์แยกกัน พบว่า ตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 จำนวน 111 ตัวชี้วัด สอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (ร้อยละ 96.10) มากกว่าแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ (ร้อยละ 0.49) และยังพบตัวชี้วัดที่ไม่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติ อีกด้วย (ร้อยละ 3.41) ตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มุ่งเน้นมีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติ มากที่สุด (ร้อยละ 23.91) ส่วนตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 สอดคล้องกับแนวปฏิบัติ น้อยที่สุด (ร้อยละ 9.76) ทั้งนี้จำนวนตัวชี้วัดที่ระบุในแต่ละชั้น และความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมที่ได้รับในตัวชี้วัดกับแนวปฏิบัติ แสดงดังตาราง 1

แนวปฏิบัติ ที่พบสูงสุดคือ แนวปฏิบัติที่ 6 การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ (ร้อยละ 38.54) และแนวปฏิบัติที่ 8 การสืบค้น การประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ (ร้อยละ 30.24) ส่วนแนวปฏิบัติที่พบน้อยที่สุดคือ แนวปฏิบัติที่ 1 การตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ และการนิยามปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ (ร้อยละ 0.49) นอกจากนี้ยังพบว่า

ตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 จำนวน 7 ตัวชี้วัด (ร้อยละ 3.41) ไม่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติที่ 5 การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ และแนวปฏิบัติที่ 7 การมีส่วนร่วมในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่ได้รับ

ตัวชี้วัดที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติที่ 6 การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ สามารถพิจารณาได้จากคำแสดงพฤติกรรมที่หลากหลาย เช่น อธิบาย บรรยาย ระบุ เขียน ดังตัวอย่างต่อไปนี้ “ว 1.1 ป.5/1 บรรยายโครงสร้าง และลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิต ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตในแต่ละแหล่งที่อยู่อาศัย” “ว 1.1 ป.5/2 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งมีชีวิต และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิต เพื่อประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต” และ “ว 1.1 ป.5/3 เขียนชื่ออาหารและระบุบทบาทหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตและผู้บริโภคในโซ่อาหาร”

ตัวชี้วัดที่ไม่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติ เนื่องจากเมื่อพิจารณาคำที่แสดงพฤติกรรมที่ระบุในตัวชี้วัด พบว่า คำว่า “ตระหนัก” ที่อยู่ในบริบทที่ไม่ได้แสดงถึงพฤติกรรมที่ไม่สามารถเชื่อมโยงกับพฤติกรรมบ่งชี้ของแนวปฏิบัติ เช่น “ว 1.2 ป.1/2 ตระหนักถึงความสำคัญของส่วนต่างๆ ของร่างกายตนเอง โดยการดูแลส่วนต่างๆ อย่างถูกต้อง ให้ปลอดภัย และรักษาความสะอาดอยู่เสมอ” ในทางตรงกันข้าม คำว่า “ตระหนัก” ที่อยู่ในบริบทที่แสดงพฤติกรรมที่มีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติ ก็จะจัดให้อยู่ในแนวปฏิบัติ ข้อ นั้น ๆ เช่น “ว 2.3 ป.2/2 ตระหนักในคุณค่าของความรู้ของการมองเห็น โดยเสนอแนะแนวทางการป้องกันอันตรายจากการมองวัตถุที่อยู่ใน

ตาราง 1 ความถี่ของแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในตัวชี้วัดชั้น ป.1-6

แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์	ความถี่ที่พบ* (ครั้ง)												รวม (ร้อยละ)
	ป.1		ป.2		ป.3		ป.4		ป.5		ป.6		
	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	
1. การตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ และการนิยามปัญหาทาง วิศวกรรมศาสตร์	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1 (0.49)
2. การสร้างและใช้แบบ จำลอง	-	-	1	-	2	-	2	-	3	-	7	-	15 (7.32)
3. การวางแผนและการดำเนินการสำรวจ ตรวจสอบ	-	-	-	-	-	-	2	1	6	-	5	-	14 (6.83)
4. การวิเคราะห์และการแปล ความหมายข้อมูล	1	-	4	-	4	-	8	-	6	-	4	-	27 (13.17)
5. การใช้คณิตศาสตร์และการ คิดคำนวณ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 (0.00)
6. การสร้างคำอธิบายทางวิทยา- ศาสตร์ และการออกแบบวิธี การแก้ปัญหาทางวิศวกรรม- ศาสตร์	12	-	8	-	15	-	7	-	17	-	20	-	79 (38.54)
7. การมีส่วนร่วมในการโต้แย้ง ทางวิทยาศาสตร์จากหลัก- ฐานที่ได้รับ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 (0.00)
8. การสืบค้น การประเมิน และ การสื่อสารทางด้านสารสนเทศ	6	-	8	-	16	-	10	-	10	-	12	-	62 (30.24)
ตัวชี้วัดที่ไม่สอดคล้องกับแนว ปฏิบัติ	1	-	2	-	2	-	0	-	1	-	1	-	7 (3.41)
รวมตัวชี้วัดทั้งหมด (ครั้ง)	20 (9.76)		23 (11.22)		39 (19.02)		30 (14.63)		44 (21.46)		49 (23.91)		205 (100.00)
- รวมตัวชี้วัดที่สอดคล้องกับ แนวปฏิบัติ (ครั้ง)	19		21		37		30		43		48		198 (96.59)
- รวมตัวชี้วัดที่ไม่สอดคล้อง กับแนวปฏิบัติ (ครั้ง)	1		2		2		0		1		1		7 (3.41)
จำนวนตัวชี้วัดทั้งหมด (ข้อ)	10		12		20		16		27		26		111

*S=แนวปฏิบัติด้านวิทยาศาสตร์, E=แนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมศาสตร์

บริเวณที่มีแสงสว่างไม่เหมาะสม” จัดอยู่ในแนวปฏิบัติที่ 8 การสืบค้น การประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ

เมื่อพิจารณาความถี่ของแนวปฏิบัติ พบว่า ตัวชี้วัดไม่ได้แสดงพฤติกรรมที่มี

ความซับซ้อนเพิ่มขึ้น แต่เปลี่ยนเฉพาะหัวข้อที่สัมพันธ์กับเนื้อหา ดังที่ใน NGSS แสดงไว้ เช่น แนวปฏิบัติที่ 2 การสร้างและใช้แบบจำลอง สามารถสรุปลักษณะของแนวปฏิบัติ ในละช่วงชั้นได้ดังในตาราง 2

ตาราง 2 เปรียบเทียบรายละเอียดของแนวปฏิบัติที่ 2 การสร้างและใช้แบบจำลอง

แหล่งอ้างอิง	Grades K-2	Grades 3-5	Grades 6-8
NGSS	สร้างแบบจำลองจากประสบการณ์เดิม โดยมีลักษณะเป็นแผนภาพ ภาพวาด storyboard ที่เสนอเหตุการณ์ที่เป็นรูปธรรม หรือออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	สร้างแบบจำลองโดยพัฒนาจากความสามารถใน Grades K-2 และปรับปรุงแบบจำลองอย่างง่าย และใช้แบบจำลองเพื่อแสดงเหตุการณ์และออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	สร้างแบบจำลองโดยพัฒนาจาก K-5 รวมถึงมีการพัฒนา ใช้และปรับปรุงแบบจำลองเพื่อบรรยาย ทดสอบ และทำนายปรากฏการณ์ที่เป็นนามธรรม และเพื่อออกแบบระบบ
ตัวชี้วัดของไทย	สร้างแบบจำลองเพื่อบรรยายปรากฏการณ์ เช่น วัฏจักรชีวิตของพืชดอก	สร้างแบบจำลองเพื่อบรรยายปรากฏการณ์ เช่น วัฏจักรชีวิตของสัตว์	สร้างแบบจำลองเพื่อบรรยายปรากฏการณ์ เช่น ระบบย่อยอาหาร

ตอนที่ 2 ความถี่แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในตัวชี้วัดชั้น ป.1-6 เฉพาะสาระที่ 1-3

เมื่อพิจารณาสาระวิทยาศาสตร์ที่แสดงในตัวชี้วัด พบว่า สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ มีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติฯ มากที่สุด (ร้อยละ 46.83) รองลงมาคือ สาระที่ 3 วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ (ร้อยละ 23.41) และสาระที่ 1 วิทยาศาสตร์

ศาสตร์ชีวภาพ (ร้อยละ 19.02) ตามลำดับ แม้ว่าสาระที่ 2 จะมีตัวชี้วัดแตกต่างจากสาระที่ 3 เพียง 1 ตัวชี้วัด แต่เมื่อพิจารณาตัวชี้วัดที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติ พบว่า ร้อยละของตัวชี้วัดที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติฯ แตกต่างกันถึงร้อยละ 23.42 แสดงให้เห็นว่า จำนวนข้อของตัวชี้วัดไม่ได้บ่งชี้ถึงระดับความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ดังในตาราง 3

ตาราง 3 แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในสาระที่ 1-3

ชั้น	ความถี่ที่พบ (ครั้ง)			รวม (ร้อยละ)
	สาระที่ 1	สาระที่ 2	สาระที่ 3	
แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์				
1. การตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ และการนิยามปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์	1(0.49)	0(0.00)	0(0.00)	1(0.49)
1.1 ตั้งคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	1	0	0	1
2. การสร้างและการใช้แบบจำลอง	3(1.46)	0(0.00)	12(5.85)	15(7.31)
2.1 สร้างและใช้แบบจำลองในลักษณะที่หลากหลาย เพื่อสร้างคำอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ	3	0	12	15
3. การวางแผนและการดำเนินการสำรวจตรวจสอบ	0(0.00)	12 (5.85)	1(0.49)	13(6.34)
3.1 กำหนดประเด็นการบันทึก	0	0	0	0
3.2 กำหนดและควบคุมตัวแปรทางวิทยาศาสตร์	0	1	0	1
3.3 ออกแบบการทดลอง	0	3	0	3
3.4 ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ	0	8	1	9

ตาราง 3 แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในสาระที่ 1-3 (ต่อ)

ชั้น	ความถี่ที่พบ (ครั้ง)			รวม (ร้อยละ)
	สาระที่ 1	สาระที่ 2	สาระที่ 3	
4. การวิเคราะห์และการแปลความหมายข้อมูล	5(2.44)	12(5.85)	10(4.88)	27(13.17)
4.1 ใช้เครื่องมือรูปแบบต่าง ๆ ในการระบุลักษณะสำคัญและรูปแบบของข้อมูลทางวิทยาศาสตร์	0	0	0	0
4.2 วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้การจัดกลุ่ม การจำแนก การเปรียบเทียบ การพยากรณ์ การคาดคะเน ฯลฯ	5	12	10	27
5. การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
5.1 ใช้การคิดทางคณิตศาสตร์และการคำนวณเป็นเครื่องมือนำเสนอและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	0	0	0	0
5.2 ใช้การคิดทางคณิตศาสตร์และการคำนวณในลักษณะต่าง ๆ เช่น การสร้างแบบจำลองเสมือนจริง การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ การแสดงความสัมพันธ์เชิงตัวเลข เป็นต้น	0	0	0	0
6. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์	21(10.24)	35(17.07)	23(11.22)	79(58.53)
6.1 สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างเป็นเหตุเป็นผล สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษาและหลักฐานที่ได้รับ	3	14	12	29
6.2 ระบุ บอก บรรยาย และยกตัวอย่าง ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์	18	21	11	50
7. การมีส่วนร่วมในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่ได้รับ	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
7.1 ให้เหตุผลหรือสร้างข้อโต้แย้งเกี่ยวกับคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้น	0	0	0	0
7.2 ประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากมุมมองของตนเองและผู้อื่น	0	0	0	0
7.3 ทำงานร่วมกับสมาชิกในกลุ่มเพื่อสร้างคำอธิบายที่ดีที่สุดในการอธิบายปรากฏการณ์ที่ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ	0	0	0	0
8. การสืบค้น การประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ	9(4.39)	36(17.56)	17(8.29)	62(30.24)
8.1 สื่อสารความคิดและผลจากการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ผ่านการอภิปรายร่วมกับผู้อื่น	1	7	4	12
8.2 รวบรวมข้อมูลวิทยาศาสตร์จากสื่อที่หลากหลาย เพื่อประเมินความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับ	8	29	13	50
ตัวชี้วัดที่ไม่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติฯ วิทยาศาสตร์ (ครั้ง)	6(2.92)	1(0.49)	0(0.00)	7(3.41)
แนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์				
1. การตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์ และการนิยามปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
1.1 ตั้งคำถามเพื่อกำหนดปัญหาทางวิศวกรรม กำหนดเกณฑ์ที่นำสู่วิธีการแก้ปัญหา และระบุข้อจำกัดในการปฏิบัติ	0	0	0	0

ตาราง 3 แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในสาระที่ 1-3 (ต่อ)

ชั้น	ความถี่ที่พบ (ครั้ง)			รวม (ร้อยละ)
	สาระที่ 1	สาระที่ 2	สาระที่ 3	
2. การสร้างและการใช้แบบจำลอง	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
2.1 ใช้แบบจำลอง และแบบจำลองเสมือนจริงในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของระบบที่มี และทดสอบวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้	0	0	0	0
2.2 ใช้แบบจำลองในการทดสอบระบบที่เสนอ	0	0	0	0
2.3 ตระหนักข้อดีและข้อจำกัดของการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	0	0	0	0
3. การวางแผนและการดำเนินการสำรวจตรวจสอบ	0(0.00)	1(0.49)	0(0.00)	1(0.49)
3.1 กำหนดและควบคุมตัวแปรทางวิศวกรรมศาสตร์	0	0	0	0
3.2 ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ และรวบรวมข้อมูลเพื่อนำสู่การวิเคราะห์ข้อมูล และทดสอบประสิทธิภาพของการออกแบบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด	0	1	0	1
4. การวิเคราะห์และการแปลความหมายข้อมูล	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
4.1 ใช้เครื่องมือรูปแบบต่างๆ ในการระบุลักษณะสำคัญและรูปแบบของข้อมูลทางวิศวกรรมศาสตร์	0	0	0	0
4.2 วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมและการบรรลุเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ	0	0	0	0
5. การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
5.1 ใช้การคิดทางคณิตศาสตร์และการคำนวณในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการออกแบบ	0	0	0	0
5.2 ใช้การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ในการวางแผนงบประมาณและค่าใช้จ่าย	0	0	0	0
6. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
6.1 แสดงกระบวนการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมบนพื้นฐานของความรู้และแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์	0	0	0	0
6.2 เสนอวิธีการแก้ปัญหาที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ต่าง ๆ ให้มีความสมดุลทั้งด้านการทำงาน ความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี ต้นทุน ความปลอดภัย ความพึงพอใจ และการปฏิบัติตามกฎหมาย	0	0	0	0
6.3 ตระหนักว่าไม่มีวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด แต่จะมีวิธีการแก้ปัญหาที่หลากหลายขึ้นกับเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน	0	0	0	0
7. การมีส่วนร่วมในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่ได้รับ	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
7.1 ให้เหตุผลหรือข้อโต้แย้งเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด	0	0	0	0

ตาราง 3 แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในสาระที่ 1-3 (ต่อ)

ชั้น	ความถี่ที่พบ (ครั้ง)			รวม (ร้อยละ)
	สาระที่ 1	สาระที่ 2	สาระที่ 3	
7.2 ออกแบบและเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม- ศาสตร์ ร่วมกับสมาชิกในกลุ่ม	0	0	0	0
7.3 สร้างข้อโต้แย้งเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด เพื่อนำสู่ การประเมินวิธีการแก้ปัญหาที่หลากหลาย และปรับการ ออกแบบให้บรรลุวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด	0	0	0	0
8. การสืบค้น การประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
8.1 สื่อสารความคิดและผลจากการสืบเสาะหาความรู้ทาง วิศวกรรมศาสตร์ ผ่านการอภิปรายร่วมกับผู้อื่น	0	0	0	0
8.2 รวบรวมและประเมินข้อมูลจากเพื่อน เพื่อนำไปใช้	0	0	0	0
8.3 ใช้เทคโนโลยีเป็นช่องทางในการสื่อสารการออกแบบการ แก้ปัญหา	0	0	0	0
รวมตัวชี้วัดทั้งหมด (ครั้ง)	45 (21.95)	97 (47.32)	63 (30.73)	205 (100.00)
- รวมตัวชี้วัดที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติ (ครั้ง)	39(19.02)	96(46.83)	48(23.41)	198(96.59)
- รวมตัวชี้วัดที่ไม่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติ (ครั้ง)	6(2.93)	1(0.49)	1(0.49)	7(3.41)
จำนวนตัวชี้วัดทั้งหมด (ข้อ)	16(23.19)	27(39.13)	26(37.68)	69(100.00)

*สาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ และสาระที่ 3 วิทยาศาสตร์โลก และอวกาศ

สรุปและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในตัวชี้วัดระดับชั้น ประถมศึกษาปีที่ 1-6

ตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 มีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์มากกว่าแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์แต่ไม่ได้ครอบคลุมแนวปฏิบัติ ครบทุกข้อ โดยตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 มีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ไม่พบความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติที่ 5 การใช้คณิตศาสตร์และการคิดคำนวณ และแนวปฏิบัติที่ 7 การมีส่วนร่วมในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่ได้รับ ตัวชี้วัดไม่แสดงความ

กลุ่มลึกของแนวปฏิบัติ แต่ระบุพฤติกรรมที่คาดหวังให้ปฏิบัติได้เมื่อจบแต่ละระดับชั้น ตัวชี้วัด 1 ข้อ สอดคล้องกับแนวปฏิบัติได้มากกว่า 1 พฤติกรรมบ่งชี้ ผลการวิจัยมีข้อสังเกตดังนี้

ประการที่หนึ่ง ตัวชี้วัดชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ไม่ได้ครอบคลุมแนวปฏิบัติ ครบทุกข้อ อาจเนื่องมาจากงานวิจัยนี้ใช้กรอบการวิเคราะห์ที่มุ่งเน้นที่แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งเป็นของสหรัฐอเมริกา แต่ก็ทำให้ได้ข้อความรู้บางอย่างที่เป็นทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์ตัวชี้วัด ของไทย การไม่พบแนวปฏิบัติ ในตัวชี้วัดจึงแสดงถึงความไม่สัมพันธ์ระหว่างแนวปฏิบัติ กับตัวชี้วัด แต่ไม่อาจสรุปได้ว่า ตัวชี้วัดไม่มุ่งเน้นการพัฒนาการรู้สละเต็มของนัก-

เรียน เนื่องจากแนวปฏิบัติ เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา อย่างไรก็ตาม มีลักษณะสำคัญของภาระงานเชิงวิศวกรรม (Capobianco *et al.*, 2013) ที่เป็นพื้นฐานของกิจกรรมสะเต็มศึกษา ที่สามารถนำมาใช้พิจารณา ร่วมกับแนวปฏิบัติ ได้ด้วย

ประการที่สอง พฤติกรรมที่คาดหวังจะให้นักเรียนสามารถปฏิบัติได้ตั้งปรากฏในตัวชี้วัดไม่สอดคล้องกับแนวมงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษาในปัจจุบัน โดยเฉพาะการพัฒนาให้นักเรียนให้มีทักษะการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ (Prompinit *et al.*, 2016; Jantarakantee, 2016; Suephatthima and Faikhamta, 2018) และการสร้างแบบจำลอง (Kiatphimon *et al.*, 2017; Khongton *et al.*, 2016) ซึ่งล้วนเป็นประเด็นที่สำคัญในกระบวนการที่เกิดขึ้นในระหว่างจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เมื่อตัวชี้วัด ไม่กำหนดให้ครูจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาทักษะการโต้แย้งและการสร้างแบบจำลอง อาจเป็นไปได้ว่า นักเรียนจะไม่ได้รับการพัฒนาทักษะดังกล่าว แม้ว่าจะเป็นทักษะที่สำคัญและจำเป็นในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ประการที่สาม การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (learning and innovation skills) ของนักเรียนได้ ทักษะดังกล่าวประกอบด้วย การคิดวิเคราะห์ การสื่อสาร การร่วมมือร่วมพลัง และการคิดสร้างสรรค์ (Partnership for 21st century skills, 2018) จากการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างตัวชี้วัด กับแนวปฏิบัติ พบว่า สามารถเชื่อมโยงกับทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมได้ โดยเฉพาะการคิดวิเคราะห์ การสื่อสาร และการร่วมมือร่วมพลัง จึงอาจกล่าวได้ว่า ตัวชี้วัด ได้มีแนวทางสำหรับส่งเสริมให้นักเรียน

มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมผ่านการปฏิบัติ กิจกรรมการเรียนรู้ตามตัวชี้วัด

ตอนที่ 2 ความถี่แนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่พบในตัวชี้วัดชั้น ป.1-6 เฉพาะสาระที่ 1-3

เมื่อพิจารณาสาระวิทยาศาสตร์ที่แสดงในตัวชี้วัด พบว่า จำนวนรวมของตัวชี้วัดไม่ได้บ่งชี้ถึงระดับความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ อาจเนื่องมาจากสาเหตุต่อไปนี้

ประการที่หนึ่ง ตัวชี้วัด 1 ข้อสามารถสอดคล้องกับแนวปฏิบัติ ที่เกี่ยวข้องได้มากกว่า 1 แนวปฏิบัติ เช่น “ว 1.2 ป.4/1 บรรยายหน้าที่ของราก ลำต้น ใบ และดอกของพืชดอก โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมได้” สอดคล้องกับ แนวปฏิบัติที่ 6 การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ และแนวปฏิบัติ ที่ 8 การสืบค้น การประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ อย่างไรก็ตาม การระบุตัวชี้วัดไม่จำเป็นต้องเป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้น จำนวนข้อของตัวชี้วัดจึงไม่สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการอธิบายแนวมความสอดคล้องระหว่างตัวชี้วัด กับแนวปฏิบัติ ได้ จึงไม่ได้หมายความว่า จำนวนข้อของตัวชี้วัดน้อยกว่า แล้วจะต้องมีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติ น้อยกว่าเสมอไป

ประการที่สอง ธรรมชาติของเนื้อหาวิทยาศาสตร์มีความจำเพาะกับการดำเนินการทางวิทยาศาสตร์ สาระหนึ่ง ๆ จึงไม่สามารถระบุแนวปฏิบัติ ได้ครบทุกประเด็น อย่างไรก็ตาม จำนวนของตัวชี้วัด ในสาระวิทยาศาสตร์กายภาพมีสัดส่วนมากกว่าสาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ อยู่มากกว่าครึ่งหนึ่ง อาจเนื่องมาจากการ

ปฏิบัติทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพทางด้านเคมีและด้านฟิสิกส์นั้น นักวิทยาศาสตร์ได้ข้อมูลผ่านการทดลองหรือการสำรวจตรวจสอบ การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์กายภาพจึงเลียนแบบการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ แต่ไม่ได้หมายความว่า การเรียนการสอนชีววิทยาไม่สามารถดำเนินการในลักษณะเช่นนี้ได้ เพียงแต่ไม่ได้แสดงลักษณะดังกล่าวได้อย่างเด่นชัดเมื่อเทียบกับวิทยาศาสตร์กายภาพ ลักษณะเช่นนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า แนวปฏิบัติที่สอดคล้องกับสาระวิทยาศาสตร์กายภาพมากที่สุด ได้แก่ การวางแผนและดำเนินการสำรวจตรวจสอบ และการสืบค้น การประเมิน และการสื่อสารทางด้านสารสนเทศ ส่วนแนวปฏิบัติที่พบมากที่สุดในวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ได้แก่ การสร้างและใช้แบบจำลอง ครูควรทำความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในห้องเรียน (Abell *et al.*, 2010; Faikhamta and Clarke, 2013)

ประการสุดท้าย ตัวชี้วัดฯ ยังไม่พบการบูรณาการระหว่างแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ กล่าวคือ ตัวชี้วัดฯ ปรากฏข้อความที่เกี่ยวข้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์แยกจากกัน ทำให้ครูไม่สามารถบูรณาการวิชาที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษาได้ ถ้าเทียบกับ NGSS ของสหรัฐอเมริกา พบว่า ให้ความสำคัญกับการบูรณาการระหว่างแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ อาทิ วิทยาศาสตร์ดำเนินการสำรวจตรวจสอบปรากฏการณ์ นำสู่การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีการให้เหตุผล การคิดสร้างสรรค์ และการ

ใช้แบบจำลอง แล้วนำแบบจำลองมาทดสอบวิธีการหรือสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาที่กำหนดไว้ (NRC, 2012)

ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าหลักสูตรของแต่ละประเทศมีเป้าหมายที่แตกต่างกัน ดังนั้นรายละเอียดของตัวชี้วัดจึงแตกต่างกัน แต่การเปรียบเทียบหลักสูตรของต่างประเทศกับประเทศไทยจะทำให้ได้แนวคิดและข้อความรู้บางประการเพื่อปรับใช้ในการปรับปรุงหลักสูตรของไทยได้ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ตัวชี้วัดฯ ของไทยยังไม่ครอบคลุมแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ที่เสนอโดยหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ดังนั้นจึงเสนอว่า นักพัฒนาหลักสูตรสามารถดำเนินการพิจารณาหลักสูตรให้สอดคล้องตลอดแนว (curriculum alignment) เพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงกับระหว่างเนื้อหาหลักสูตรและพิจารณาความเข้มข้นของการปฏิบัติ (curriculum mapping) ของตัวชี้วัดเมื่อเทียบกับแนวปฏิบัติ (Jefferson, 2016; Davis, 2017) เพื่อให้เข้าใจและเห็นภาพรวมของหลักสูตรวิทยาศาสตร์มากขึ้น นักพัฒนาหลักสูตรควรให้ความสำคัญกับแก่นของสะเต็มศึกษา นอกจากนั้นอาจพิจารณาลักษณะสำคัญของภาระงานเชิงวิศวกรรม (Capobianco *et al.*, 2013) มาเป็นแนวทางในการวางแผนออกแบบตัวชี้วัดเพื่อส่งเสริมแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ให้เกิดขึ้นในชั้นเรียน โดยเฉพาะการดำเนินการทางวิทยาศาสตร์ทั้งการโต้แย้งและการตั้งคำถาม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหลักสูตรที่สอดคล้องกับการพัฒนาให้นักเรียนเป็นผู้รู้สะเต็มศึกษา ครูสามารถนำ

งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยพิจารณาว่าความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาที่สอนกับแนวปฏิบัติ นำสู่การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้ให้นักเรียนพัฒนาตนเองตามแนวปฏิบัติดังกล่าว

งานวิจัยครั้งถัดไปสามารถวิเคราะห์ตัวชี้วัดของไทยโดยเทียบกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แนวคิดเชื่อมโยงระหว่างสาขา รวมทั้งธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นความรู้พื้นฐานในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา อีกทั้งยังสามารถศึกษาผลของการนำหลักสูตรไปใช้ โดยประเมินการจัดการเรียนรู้ของครูที่สะท้อนลักษณะของสะเต็มศึกษาและประเมินการรู้สะเต็มศึกษาของนักเรียน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนภายใต้ทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) รุ่นที่ 21 และขอบคุณสมาชิกในกลุ่ม SIG STEM KEE+ ที่ให้ข้อเสนอแนะ แรงบันดาลใจ และกำลังใจในการทำงานนี้

เอกสารอ้างอิง

- Abell, S. K., Appleton, K., and Hanuscin, D. L. (2010). **Designing and teaching the elementary science methods course**. New York: Routledge.
- Bybee, R. W. (2013). **The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities**. NSTA.
- Bybee, R. W. (2014). NGSS and the next gen-

eration of science teachers. **Journal of Science Teacher Education** 25(2): 211–221.

- Capobianco, B. Z., Nyquist C., and Tyree, N. (2013). Shedding light on engineering design. **Science and Children** 50(5): 58–64.
- Davis, V. L. (2017). **Curriculum Alignment and Science and Engineering Practices in the Classroom**. SMTC Plan B Papers. 59. http://repository.uwyo.edu/smtc_plan_b/59.
- Duschl, R. A., and Bybee, R. W. (2014). Planning and carrying out investigations: An entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. **International Journal of STEM Education** 1(12): 1–9.
- Faikhamta, C., and Clarke, A. (2013). A self-study of a Thai teacher educator developing a better understanding of PCK for teaching about teaching science. **Research in Science Education** 43: 955–979.
- Hurd, P. D. (1998). Scientific literacy: New minds for a changing world. **Science Education** 82(3): 407–416.
- Jantarakantee, E. (2016). Instruction for promoting argumentation skill in science classroom. **Journal of Yala Rajabhat University** 11(1): 217–232. (in Thai)
- Jefferson, A. (2016). **Aligning CityLab Biotechnology Curriculum with NGSS Standards and Practices**. In BSU Honors Pro-

- gram Theses and Projects. Item 153. Available at: http://vc.bridgew.edu/honors_proj/153.
- Kelley, T. R., and Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. **International Journal of STEM Education** 3(1): 1–11.
- Khongton, T., Sukhummek, B., and Faikhamta, C. (2016). Development of grade–11 students' conceptions about organic chemistry through model–based learning. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 7(1): 62–76. (in Thai)
- Kiatphimon, N., Chantraukrit, P., and Pollawatn, R. (2017). Effects of the using representation construction approach on the modeling ability and learning achievement in biology subject of upper secondary school students. **An Online Journal of Education** 12(1): 188–203. (in Thai)
- Krajcik, J., Codere, S., Dahsah, C., Bayer, R., and Mun, K. (2014). Planning instruction to meet the intent of the Next Generation Science Standards. **Journal of Science Teacher Education** 25(2): 157–175.
- Lertdechapat, K., and Faikhamta, C. (2018, May). **Science and Engineering Practices in a Revised Thai Science Curriculum**. Proceedings of the 6th International Conference for Science Educators and Teachers. Bangkok, Thailand.
- Ministry of Education. (2017). **Indicators and Content Areas in Science (Revised Curriculum A.D. 2017) According to Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)**. Bangkok, Thailand: The Agricultural Co–operative Federation of Thailand. (in Thai)
- National Research Council (NRC). (2012). **A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas**. USA: National Academies.
- Nersessian, N. J. (2005). Interpreting scientific and engineering practices: Integrating the cognitive, social, and cultural dimensions. In Gorman, M. E., Tweney, R. D., Gooding, D. C., and Kincannon, A. P. (Eds.), **Scientific and Technological Thinking** (pp. 17–56). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- NGSS Lead States. (2013). **Next Generation Science Standards: For States, by States**. Washington, DC: The National Academies.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). (2013). **Pisa 2015: Draft science framework**. Paris, France: OECD.
- Partnership for 21st century skills. (2018). **P21 framework definitions**. Retrieved from <http://www.p21.org/about-us/p21-framework>, January 21, 2018.
- Prompinit, A., Kaewtong, C., and Niamsa, N. (2016). Comparisons of effects of learn-

ing socioscientific issues using the mixed methods based on the problem-based learning and the 7E-learning cycle approach on argumentation and analytical thinking abilities of Mattayomsuksa 6 students with different physics learning outcomes. **Chophayom Journal** 27(2): 127–138. (in Thai)

Rinke, C. R., Gladston-Brown, W., and Kinlaw, C. R., and Cappiello, J. (2016). Characterizing STEM teacher education: Affordances and constraints of explicit STEM preparation for elementary teachers. **School Science and Mathematics** 116(6): 300–309.

STEM Education Thailand. (2014). **Why should be STEM education?** Retrieved from <http://www.stemedthailand.org/?stemnode=1253>, August 15, 2018.

Suephatthima, B., and Faikhamta, C. (2018). Developing students' argument skills using socioscientific issues in a learning unit on the fossil fuel industry and its products. **Science Education International** 29(3): 137–148.