

ความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในหัวข้อเรื่อง PM 2.5

The 12th Grade students' STEM understanding in the topic of PM 2.5

ทัศนวิวรรณ เลิศเจริญฤทธิ์* ปฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง** สุธาสินี กิตยาการ*** รติพร มั่นพรหม**** และทรงชัย อักษรคิด*****

* กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา

** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**** ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

***** สาขาวิชาการสอนคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Tassaneewon Lertcharoenrit* Pattamaporn Pimthong** Sutasinee Kityakarn*** Ratiporn Munprom****
and Songchai Ugsonkid*****

* Chemistry Teacher at Kasetsart University Laboratory School Center for Educational Research and Development.

** Division of Science Education, Faculty of Education, Kasetsart University

*** Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University

**** Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

***** Division of Teaching Mathematics, Faculty of Education, Kasetsart University

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในประเด็นเรื่อง PM 2.5 โดยการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาหลังจากที่นักเรียนผ่านการเรียนรู้สะเต็มโดยการเรียนรู้ด้วยการออกแบบโดยความร่วมมือทางสะเต็ม กลุ่มเป้าหมายคือนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 อายุระหว่าง 16 – 17 ปี จำนวน 88 คน ในโรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร เครื่องมือที่ใช้คือ แบบวัดความเข้าใจในสะเต็มหลังการเรียนรู้ โดยเป็นคำถามปลายเปิด ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบวัดโดยจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนที่มีความคล้ายกันไว้ในกลุ่มเดียวกันแล้วตีความจากคำตอบของนักเรียนเพื่อพิจารณาว่านักเรียนระบุถึงความรู้จากศาสตร์ใด ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนร้อยละ 55 ระบุถึงทักษะทางสะเต็มที่ใช้ในการทำงานให้สำเร็จ รองลงมาร้อยละ 39 ระบุถึงศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานให้สำเร็จเพียงสองศาสตร์ซึ่งส่วนมากคือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ส่วนนักเรียนร้อยละ 32 ระบุว่ามีการออกแบบเป็นกระบวนการหลักในการทำงาน ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยครั้งนี้คือผู้สอนควร

เตรียมสถานการณ์หรือประเด็นที่เกี่ยวข้องกับชีวิตจริงและเป็นที่สนใจของนักเรียน และให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียนว่านักเรียนมีการใช้หรือพัฒนาองค์ความรู้หรือทักษะอย่างไรบ้าง การศึกษานี้ยังพบว่าการให้ความสำคัญกับการพัฒนาทักษะทางสะเต็ม โดยเฉพาะการฉลาดรู้ในการเป็นผู้ประกอบการจะเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนต่อยอดเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของชิ้นงานของตนเชิงธุรกิจ

คำสำคัญ: ความเข้าใจในสะเต็ม สะเต็มศึกษา การเรียนรู้ด้วยการออกแบบ

Abstract

The purpose of this study was to examine the 12th Grade students' STEM understanding on the topic of PM 2.5 after the design-based STEM learning using STEM partnership. The participants were eighty-eight 12th-Grade students (age 16-18) of a large school in Bangkok. The STEM understanding post- survey with open-ended questions was implemented. The data was analyzed by

categorized into groups based on the similarity of what discipline each group used to identify their ideas. Results indicated that 55% of students mentioned STEM skills, and 39 % of students specified two disciplines which they had used to work 32% of students identified 'design' as the main process for working. The suggestion from this research is that teachers should prepare real-life situations or issues that students are interested in. Moreover, teachers should pay attention to students' STEM understanding in terms of how students apply or develop knowledge or skills. This study also revealed that the encouragement of STEM skills, especially entrepreneurship literacy, may promote value added to students' projects.

Keywords: STEM understanding, STEM education, design-based learning

ความสำคัญและที่มา

สะเต็ม (STEM) ถูกพูดถึงครั้งแรกในการประชุมทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา ณ The US National Science Foundation (NSF) โดยระบุถึงแนวทางในการเตรียมพลเมืองในศตวรรษที่ 21 ให้มีความพร้อมเพื่อรับมือกับความก้าวหน้าและความเปลี่ยนแปลงด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้ดำรงชีวิตและประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ที่หลากหลายและมีความซับซ้อน (National Science Foundation [NSF], 2007; Vasquez, Sneider, & Comer, 2013) นอกจากนี้หลายประเทศยังได้กำหนดนโยบายเกี่ยวกับสะเต็มในการพัฒนาพลเมืองทั้งในด้านของการส่งเสริมการใช้สะเต็มเพื่อการดำรงชีวิตและการส่งเสริมผู้ที่มีความเป็นเลิศในการเรียนหรือทำงานเกี่ยวกับสะเต็ม (Freeman, Marginson, & Tytler, 2015) ด้วยเหตุนี้แนวคิดเกี่ยวกับสะเต็มจึงเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เพราะเน้นการบูรณาการองค์ความรู้ กระบวนการและทักษะสำคัญจากศาสตร์หลักสี่ศาสตร์ ที่จำเป็นในการดำรงชีวิตและประกอบอาชีพในโลกยุคใหม่ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology)

วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) (English, 2017) โดยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญกับสะเต็มศึกษา (STEM Education) และมีการส่งเสริมให้ทุกระดับการศึกษาจัดการเรียนรู้ตามแนวทางนี้ สำหรับในประเทศไทย สะเต็มศึกษาเป็นแนวทางในการสร้างกำลังคนให้มีสมรรถนะตอบสนองต่อความต้องการของตลาดงานและการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ รองรับพลวัตของโลกและการแข่งขันในศตวรรษที่ 21 และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ (Announcement on the National Strategy (2017-2067), 2019) เพื่อให้ประเทศไทยสามารถยกระดับเพื่อเป็นเจ้าของเทคโนโลยีและนวัตกรรมก้าวทันโลก จากการต่อยอดการพัฒนานบนพื้นฐานนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ตามยุทธศาสตร์ชาติ (Office of the Education Council, 2020) เพื่อให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของโลกที่ปัญหาและสถานการณ์ต่าง ๆ จำเป็นต้องใช้ความรู้และทักษะมากกว่าหนึ่งศาสตร์ กระทรวงศึกษาธิการจึงได้มีการปรับปรุงมาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2560 โดยการบูรณาการเทคโนโลยีเข้าเป็นหนึ่งในสาระ ในกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ (Ministry of Education, 2017)

สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของโรงเรียนที่ผู้วิจัยที่ 1 สังกัด ในระดับ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2563 ได้มีการบูรณาการความรู้เคมีร่วมกับวิชาอื่น รวมทั้งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเน้นการคิดวิเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ เพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์หรือประเด็นที่สนใจ ซึ่งประเด็นเกี่ยวกับ PM 2.5 เป็นประเด็นที่นักเรียนสนใจ เนื่องจากพบว่าในปี พ.ศ. 2561 กรุงเทพมหานคร มีจำนวนวันที่ฝุ่นละออง PM 2.5 เกินค่ามาตรฐาน (50 มคก./ลบ.ม.) ติดต่อกันถึง 49 วัน (The Pollution Control Department, 2019) นักเรียนจึงมีความสนใจว่าเนื่องจาก PM 2.5 มีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ จะใช้อุปกรณ์หรือวิธีการใดเพื่อตรวจสอบ PM 2.5 ได้บ้างจากความสนใจของนักเรียนนี้ ผู้สอนจึงเห็นความสำคัญในการให้นักเรียนเข้าใจในปัญหาที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งหาทางแก้ไขปัญหานี้ โดยแนวทางการจัดการเรียนรู้

สะเต็มมีหลากหลายแนวทาง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากบริบทประเด็นที่ทำการศึกษาก็ได้แก่ การออกแบบอุปกรณ์หรือวิธีการเพื่อตรวจสอบฝุ่นละออง PM 2.5 ซึ่งเป็นการใช้ความรู้และทักษะในศาสตร์ที่หลากหลายเพื่อสร้างสรรค์อุปกรณ์หรือแนวทางในการแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการ ตามกระบวนการออกแบบ (design process) ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ (International Technology Education Association, 2007; Mehalik, Doppelt, & Schuun, 2008; Williams, 2000) โดยเป็นการเรียนรู้ด้วยการออกแบบ (Design based learning) ที่เน้นการจัดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างองค์ความรู้โดยการแก้ปัญหาผ่านทางกิจกรรมการออกแบบโดยใช้บริบท ในชีวิตจริง (Clavert & Paloposki, 2015; Fortus, Krajcik, Dersheimer, Marx, & Mamlok-Naaman, 2005; Vartiainen, Liljeström, & Enkenberg, 2012) โดยเน้นการบูรณาการศาสตร์หลักที่เกี่ยวข้องสี่ศาสตร์ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเรียนรู้ด้วยการออกแบบช่วยส่งเสริมความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ (Honey, 2012) ส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาแนวคิดทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (King & English, 2016) และส่งเสริมความรู้และทักษะในสะเต็ม (Won, Evans, Carey, & Schnittka, 2015)

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ในลักษณะความร่วมมือสะเต็ม (STEM partnership) เนื่องจากสะเต็มเน้นการบูรณาการศาสตร์หลักที่มีความแตกต่างกันสี่ศาสตร์ การอาศัยความร่วมมือจากบุคลากรในศาสตร์หลักทั้งสี่ศาสตร์มาร่วมกันจัดการเรียนรู้ในลักษณะความร่วมมือสะเต็ม จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ทำให้การจัดการเรียนรู้สะเต็มเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Bay, Vickers, Mora, Sloboda, & Morton, 2017; Olitsky, Becker, Jayo, Vinogradov, & Montcalmo, 2018; Ridgeway & Yerrick, 2018)

การจัดการเรียนรู้ครั้งนี้เน้นการเรียนรู้ด้วยการออกแบบ (Design-based learning) (Pimthong & Williams, 2018) โดยผู้วิจัยมุ่งศึกษาเกี่ยวกับแนวปฏิบัติใน

ความร่วมมือสะเต็ม ความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียน เจตคติต่อสะเต็มของนักเรียน และกระบวนการคิดเชิงออกแบบของนักเรียน ซึ่งในบทความนี้จะขอนำเสนอเฉพาะความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียนที่เกิดจากการเรียนรู้ด้วยการออกแบบ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบร่วมมือ (Collaborative action research) โดยเป็นการร่วมกันทำงานระหว่างผู้วิจัยที่ 1 ซึ่งเป็น ครูประจำการรับผิดชอบสอนรายวิชาเคมีสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 และนักวิชาการจากภายนอก ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ผู้วิจัยที่ 2 (นักวิทยาศาสตร์ศึกษา) ผู้วิจัยที่ 3 (นักวิทยาศาสตร์) ผู้วิจัยที่ 4 (วิศวกร) และ ผู้วิจัยที่ 5 (นักคณิตศาสตร์ศึกษา) การทำวิจัยในลักษณะนี้เป็นการร่วมมือกันศึกษาวิจัยเพื่อมุ่งศึกษา จัดทำ และหาแนวปฏิบัติที่ดีและเหมาะสมในการจัดการเรียนรู้สะเต็มที่เหมาะสมกับบริบทนักเรียนในโรงเรียนของผู้วิจัยที่ 1 โดยให้ความสำคัญกับการสื่อสารที่มีคุณภาพระหว่างผู้วิจัยและการเคารพในความเชี่ยวชาญและความแตกต่างของแต่ละคน (Raymond, 2004) ผู้วิจัยร่วมงานกันในลักษณะความร่วมมือสะเต็มโดยเป็นการใช้ความเชี่ยวชาญของแต่ละคนที่มาจากศาสตร์ที่แตกต่างกันโดยมีการประชุมเพื่อสร้างความเข้าใจตรงกันเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา วางแผนการจัดการเรียนรู้ และสอนร่วมกัน (รายละเอียดของลักษณะความร่วมมือสะเต็มไม่ได้กล่าวถึงในบทความวิจัยฉบับนี้)

1. กลุ่มที่ศึกษา

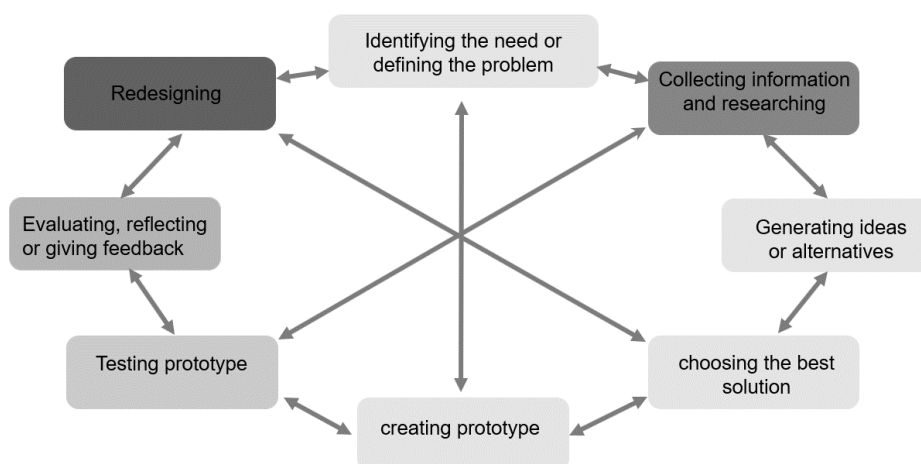
นักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 อายุระหว่าง 16 – 17 ปี จำนวน 88 คน ได้มาจากกลุ่มนักเรียนที่ผู้วิจัยที่ 1 รับผิดชอบสอนในภาคปลาย ปีการศึกษา 2562 นักเรียนส่วนมากมีผลการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในระดับปานกลางถึงดีมาก นักเรียนทุกคนยินดี

ในการเข้าร่วมการวิจัย และผู้ปกครองยินยอมให้นักเรียนเข้าร่วมการวิจัย

2. วิธีการจัดการเรียนรู้

เนื้อหาการเรียนรู้ คือเรื่อง อนุภาคฝุ่น PM 2.5 ประกอบด้วยแนวคิดหลักในศาสตร์หลักสี่ศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (มลพิษทางอากาศ) เทคโนโลยี (การตรวจจับฝุ่น แผ่นกรอง กล้องจุลทรรศน์ กระบวนการออกแบบ) วิศวกรรมศาสตร์ (เครื่องตรวจจับฝุ่น กระบวนการออกแบบ) และคณิตศาสตร์ (ความรู้สึกรู้สึกเชิงจำนวน กระบวนการวัดทางคณิตศาสตร์) โดยใช้การเรียนรู้ด้วยการออกแบบ (Design based learning) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่อาศัยกระบวนการออกแบบ (Design process) เพื่อส่งเสริมความเข้าใจในสาระสำคัญของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 15 ชั่วโมง โดยมีกระบวนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วยองค์ประกอบดังนี้ 1) ระบุความต้องการหรือปัญหา (Identifying the need or defining the problem) : เป็นการระบุความต้องการหรือให้คำจำกัดความปัญหาในบริบทหรือสถานการณ์ที่กำหนด 2) ค้นคว้า (Collecting information and researching) : เป็นการเก็บรวบรวมสารสนเทศและ

ค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับความต้องการหรือปัญหาที่ศึกษา 3) เสนอแนวทางสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่หลากหลาย (Generating ideas or alternatives) : เป็นการสร้างแนวทางที่หลากหลายในการตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหา 4) เลือกวิธีที่เหมาะสม (Choosing the best solution) : เป็นการสร้างหรือพัฒนาแนวทางที่คาดคะเนว่าดีที่สุด เพื่อนำไปสู่วิธีการตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหา 5) สร้างตัวต้นแบบ (Creating prototype) : เป็นการสร้างหรือรังสรรค์ตัวต้นแบบของสิ่งหรือวิธีการที่เลือก เพื่อใช้ในการตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหา 6) ทดสอบตัวต้นแบบ (Testing prototype) : เป็นการทดสอบว่าตัวต้นแบบของสิ่งหรือวิธีการที่เลือกนั้นสามารถตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาได้หรือไม่อย่างไร 7) ประเมินและสะท้อนผล (Evaluating, reflecting or giving feedback) : เป็นการประเมินผลสะท้อนผล หรือ ให้ข้อมูลย้อนกลับเกี่ยวกับการทดสอบตัวต้นแบบว่าสามารถตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาได้หรือไม่และเหมาะสมที่จะใช้ต่อไปหรือไม่ อย่างไร และ 8) ปรับปรุง (Redesigning) : เป็นการปรับปรุงหลังการนำไปใช้เพื่อให้ตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาได้มากที่สุด ดังภาพที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 กระบวนการออกแบบ

3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่

แบบวัดความเข้าใจในสาระหลังการเรียนรู้ ซึ่งเป็นแบบวัดปลายเปิด จำนวน 3 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1

เป็นคำถามเกี่ยวกับความเข้าใจในสาระ จำนวน 1 ข้อ ตอนที่ 2 เป็นคำถามเกี่ยวกับเจตคติต่อสาระ จำนวน 10 ข้อ และคำถามตอนที่ 3 เป็นคำถามเกี่ยวกับกระบวนการ

คิดเชิงออกแบบ จำนวน 5 ข้อ (คำตอบของนักเรียนในข้อที่ 2 และ 3 ไม่ได้นำเสนอในรายงานฉบับนี้) ข้อคำถามในแบบวัดนี้ผู้วิจัยสังเคราะห์มาจากการวิจัยเกี่ยวกับความเข้าใจใน สะเต็ม เจตคติต่อสะเต็ม และกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เมื่อออกแบบแบบวัดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญด้านสะเต็มศึกษาจำนวน 3 ท่านตรวจและให้ ข้อเสนอแนะ ซึ่งได้รับคำแนะนำว่า ในการสำรวจความ เข้าใจในสะเต็มควรให้นักเรียนอ้างอิงถึงชิ้นงานที่นักเรียนได้ ทำและปรับภาษาให้เข้าใจง่าย ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับคำถามในข้อ ที่ 1 โดยขอให้นักเรียนระบุว่าในโครงการที่นักเรียนทำนั้น นักเรียนได้ใช้ความรู้ใด และปรับ ภาษาให้เข้าใจง่ายและมีความกระชับมากขึ้น

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจในสะเต็มหลัง การเรียนรู้ โดยใช้เวลา 50 นาที ซึ่งมีนักเรียนทำแบบวัด จำนวน 75 คน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยอ่านคำตอบของ นักเรียนที่ตอบคำถามในแบบวัดอย่างละเอียด จากนั้น จัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนที่มีความคล้ายกันไว้ในกลุ่ม เดียวกัน (Andersson, 1990; Tytler & Peterson, 2000) จากนั้นผู้วิจัยตีความจากคำตอบของนักเรียนเพื่อพิจารณา ว่านักเรียนใช้ความรู้จากศาสตร์ใด หรือมีแนวคิดอย่างไรใน การทำโครงการ ดังนั้นคำตอบของนักเรียนอาจไม่ จำเป็นต้องระบุชื่อศาสตร์หลักทั้งสี่ศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ หรือในทางตรงข้าม นักเรียนที่ระบุชื่อศาสตร์หลักทั้งสี่ ศาสตร์อาจไม่ได้มีความเข้าใจในศาสตร์ดังกล่าวจึงต้อง พิจารณาจากคำตอบทั้งหมด นอกจากนั้นนักเรียนแต่ละ คนอาจถูกจัดอยู่มากกว่าหนึ่งกลุ่มก็เป็นได้ ในงานวิจัยนี้จึง ไม่ได้นำเสนอจำนวนรวมและร้อยละของนักเรียน หากแต่ นำเสนอจำนวนและร้อยละของคำตอบในแต่ละกลุ่มคำตอบ สำหรับคำตอบจากแบบวัดความเข้าใจในสะเต็มหลังการ เรียนรู้ของนักเรียนคนใดไม่ชัดเจน ไม่สื่อความ หรือมี ประเด็นน่าสนใจ ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็น ทางการเพิ่มเติมเพื่อความชัดเจน

นิยามศัพท์

วิทยาศาสตร์ หมายถึง ความรู้ความเข้าใจ ตลอดจน กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การสำรวจตรวจสอบ และ การวิเคราะห์อย่างมีเหตุผล เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ

เทคโนโลยี หมายถึง การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในทางปฏิบัติ โดย การพัฒนาสิ่งต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหา ตอบสนองความต้องการ หรือยกระดับความสามารถของมนุษย์ เทคโนโลยี มีทั้งที่ เป็นเครื่องมือ เป็นกระบวนการหรือความคิด หัวใจของ เทคโนโลยีคือกระบวนการออกแบบ ที่เรียกว่า กระบวนการ ออกแบบเชิงเทคโนโลยี (technological design process)

วิศวกรรมศาสตร์ หมายถึง การนำความรู้ทาง วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มาสร้างสรรค์ ออกแบบและ พัฒนาสิ่งประดิษฐ์ อุปกรณ์หรือกระบวนการ โดยพิจารณา ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ความปลอดภัยต่อชีวิตและ ทรัพย์สิน ความเหมาะสมโดยพิจารณาจากสถานการณ์และ บริบทที่กำหนดข้อจำกัด หัวใจของวิศวกรรมศาสตร์คือ กระบวนการออกแบบ ที่เรียกว่า กระบวนการออกแบบเชิง วิศวกรรม (engineering design process)

คณิตศาสตร์ หมายถึง ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับ การคำนวณ การสร้างข้อความคาดการณ์ และการอธิบาย สิ่งต่าง ๆ ด้วยโครงสร้างนามธรรมที่มีเหตุผลและใช้ ตรรกศาสตร์ สัญลักษณ์และสัญกรณ์คณิตศาสตร์ โดยใช้ ทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์

ความเข้าใจในสะเต็ม หมายถึง การอธิบายหรือระบุ แนวทางในการบูรณาการความรู้และทักษะทาง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ไปใช้เพื่อออกแบบสิ่งประดิษฐ์ หรือวิธีการวัดฝุ่นละออง ขนาดเล็ก ผ่านกระบวนการออกแบบ วัดโดยแบบวัดความ เข้าใจในสะเต็มหลังการจัดการเรียนรู้

สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล

เมื่อสิ้นสุดการเรียนรู้ นักเรียนทำแบบวัดความ เข้าใจในสะเต็ม โดยตอบคำถาม “นักเรียนทำโครงการอะไร ในโครงการนี้นักเรียนใช้ความรู้อะไรบ้าง” จากนั้นผู้วิจัยทำ การจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียน มีประเด็นหัวข้อ (theme) เกิดขึ้น 7 กลุ่ม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มประเด็นคำตอบของนักเรียน

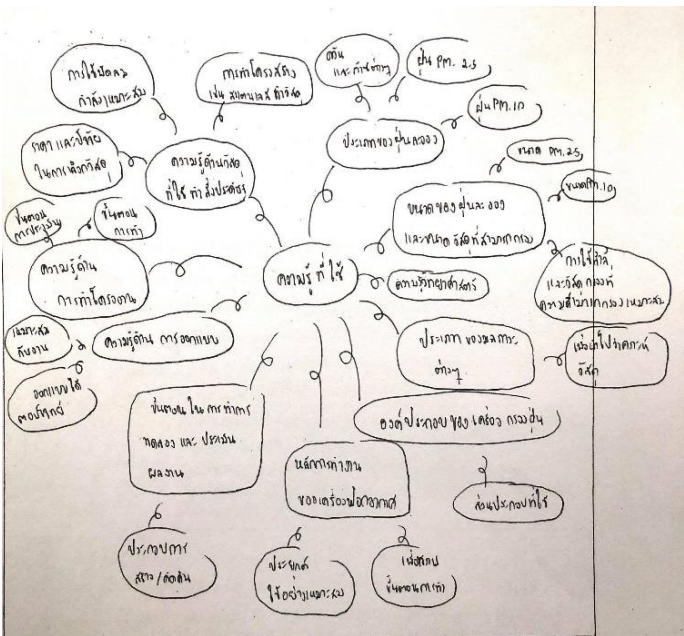
กลุ่ม	คำอธิบาย	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)
A	มีการระบุว่าการออกแบบเป็นขั้นตอนหลักในการทำงาน	24 (32%)
B	มีการระบุกระบวนการออกแบบเพื่อให้ได้มาซึ่งการแก้ปัญหาหรือ สิ่งที่ต้องการ	23 (31%)
C	มีการระบุถึงความรู้ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์	11 (15%)
D	มีการระบุถึงความรู้จากศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง 3 ศาสตร์ ส่วนมากได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี	17 (23%)
E	มีการระบุถึงความรู้จากศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง 2 ศาสตร์ ส่วนมากคือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	29 (39%)
F	มีการระบุถึงความรู้จากศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง 1 ศาสตร์ โดยส่วนมากคือวิทยาศาสตร์	22 (29.33%)
G	ทักษะทางสะเต็ม (STEM skills)	41 (55%)

รายละเอียดของกลุ่มคำตอบแต่ละกลุ่ม มีดังนี้

1. กลุ่ม A คือกลุ่มคำตอบที่มีการระบุว่าการ
ออกแบบ คือขั้นตอนหลักในการทำงานของนักเรียน

โดยนักเรียนที่มีคำตอบเช่นนี้มีถึง 32 % ซึ่งเป็นกลุ่มคำตอบที่มีจำนวนนักเรียนตอบมากเป็นอันดับ 3 รองจาก กลุ่ม G และ กลุ่ม E ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในกลุ่มนี้ เช่น S225

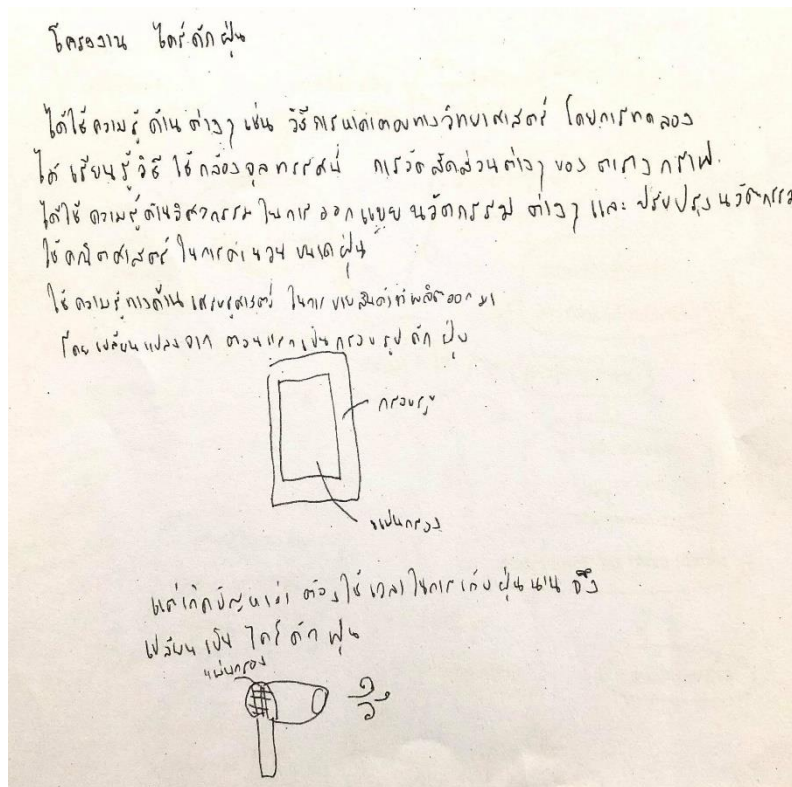
ดังภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน S225

จะเห็นว่า S225 ระบุถึง “ความรู้ด้านการออกแบบที่เหมาะสมกับงาน และออกแบบได้ตอบโจทย์” เป็นความรู้ที่นักเรียนใช้ในการทำโครงงาน

2. กลุ่ม B คือกลุ่มคำตอบที่มีการระบุถึงกระบวนการออกแบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งการแก้ปัญหา หรือสิ่งที่ต้องการ ซึ่งถือเป็นเป้าหมายของกระบวนการออกแบบ โดยนักเรียน 31% มีคำตอบอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น S413 ดังภาพประกอบที่ 3

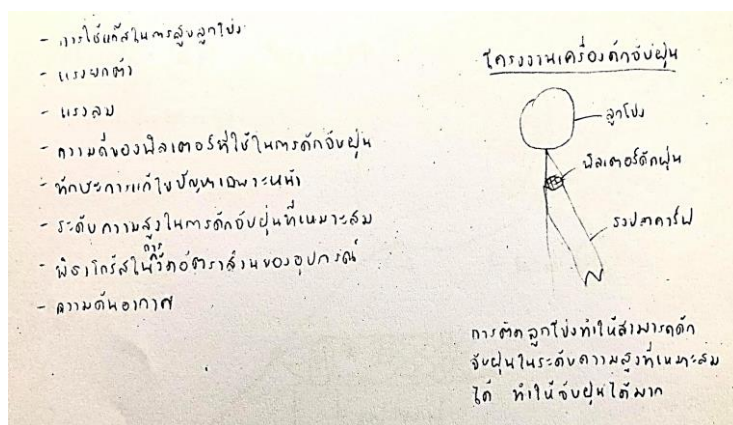


ภาพประกอบที่ 3 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน S413

จากภาพ S413 ได้กล่าวถึง “..... วิธีการหาคำตอบทางวิทยาศาสตร์ โดยการทดลอง.....ใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ในการออกแบบนวัตกรรมต่าง ๆ และปรับปรุงนวัตกรรม” ซึ่งแสดงให้เห็นว่า S413 ตระหนักว่าการได้มานวัตกรรมจะต้องผ่านกระบวนการทำงานซึ่งในที่นี้ S413 เรียกว่าเป็น “วิธีการหาคำตอบทางวิทยาศาสตร์โดยการทดลอง” โดยยังระบุอีกว่าการออกแบบ จะต้องมีการปรับปรุง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า S413 เล็งเห็นถึงประโยชน์ของขั้นตอนการปรับปรุงชิ้นงานในการพัฒนาและสร้างสรรค์ชิ้นงาน ซึ่ง S413 ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า จากเดิมที่ออกแบบเป็น กรอบรูปถักฝุ่น ซึ่งเป็นตัวต้นแบบที่

นักเรียนออกแบบเพื่อตอบสนองความต้องการที่จะถักฝุ่นเพื่อนำมาตรวจสอบ แต่พบปัญหาคือ “แต่เกิดปัญหาว่าต้องใช้เวลาในการถักฝุ่นนาน จึงเปลี่ยนมาเป็นโครงถักฝุ่น”

3. กลุ่ม C คือกลุ่มคำตอบที่มีนักเรียนตอบเพียง 15% โดยเป็นกลุ่มคำตอบที่ระบุถึงการใช้ความรู้ 4 ศาสตร์หลักในสะเต็ม ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ในการสร้างชิ้นงานแสดงให้เห็นว่ามีนักเรียนจำนวนน้อยที่สามารถเชื่อมโยงได้ว่าได้ใช้ความรู้ ในศาสตร์ใดบ้างในการสร้างชิ้นงาน ตัวอย่างของนักเรียนในกลุ่มนี้คือ S311 ดังภาพประกอบที่ 4

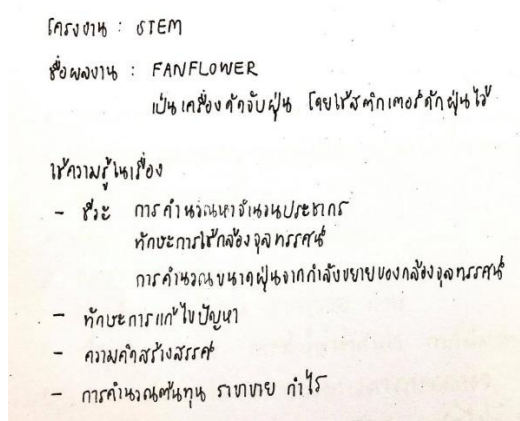


ภาพประกอบที่ 4 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน S311

จากภาพจะเห็นได้ว่า S311 ระบุถึงการใช้ความรู้และทักษะจากหลากหลายศาสตร์ในการทำโครงการ ได้แก่ “การใช้แก๊สในการสูบลูกโป่ง แรยงตัว แรยงลม ความดันอากาศ” ซึ่งจัดว่าเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ส่วน “ความถี่ของมอเตอร์ที่ใช้ในการพัดลม” แสดงให้เห็นว่า S311 มีความสามารถในการเลือกใช้เทคโนโลยีคือแผ่นกรองที่ใช้ในการพัดลม และมีแนวคิดในการที่จะทำให้แผ่นกรองมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยเลือกความถี่ของแผ่นกรองที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่านักเรียนใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมในการเลือกแผ่นกรองที่เหมาะสมกับงานได้ เช่นเดียวกับคำตอบของนักเรียนที่ว่า “การติดลูกโป่งทำให้สามารถพัดลมในระดับความเร็วที่เหมาะสมได้ ทำให้พัดลมได้มาก” แสดงว่านักเรียนมีความสามารถในการเลือกใช้ลูกโป่ง (เทคโนโลยี) มาช่วยในการตอบสนองความต้องการที่จะพัดลมได้มาก โดยจากการสัมภาษณ์เพิ่มเติมนักเรียนอธิบายว่า เวลาที่จะให้พัดลมอากาศค่อนข้างร้อนซึ่งความ

ร้อนจะพาให้อากาศลอยตัวขึ้นสู่ที่สูงจึงทำให้พัดลมละอองขนาดเล็กขึ้นไปด้วย จึงออกแบบให้เครื่องไปพัดลมที่ความสูงซึ่งนักเรียนจะต้องใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการเลือกระดับความเร็วที่เหมาะสม ส่วนความรู้ทางคณิตศาสตร์ นักเรียนระบุว่าได้ใช้ “การคำนวณขนาดพัดลมจากกำลังขยายของกล่องจุลทรรศน์” และ “พิกัดในการวัดอัตราส่วนของอุปกรณ์” ซึ่งแม้ว่านักเรียนระบุถึงพิกัดอัตราส่วนที่จะเป็นตรีโกณมิติที่ควรเป็นแนวคิดหลักที่ใช้ในโครงการนี้ แต่ก็แสดงให้เห็นว่านักเรียน มีความพยายามในการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการสร้างสรรค์ชิ้นงานได้

4. กลุ่ม D คือ กลุ่มคำตอบของนักเรียนที่มีการระบุถึงความรู้หรือทักษะจากศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง 3 ศาสตร์ ซึ่งส่วนมาก คือ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี นักเรียนที่มีคำตอบอยู่ในกลุ่มนี้มีอยู่ 23% ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในกลุ่ม D เช่น S302 ดังภาพประกอบที่ 5

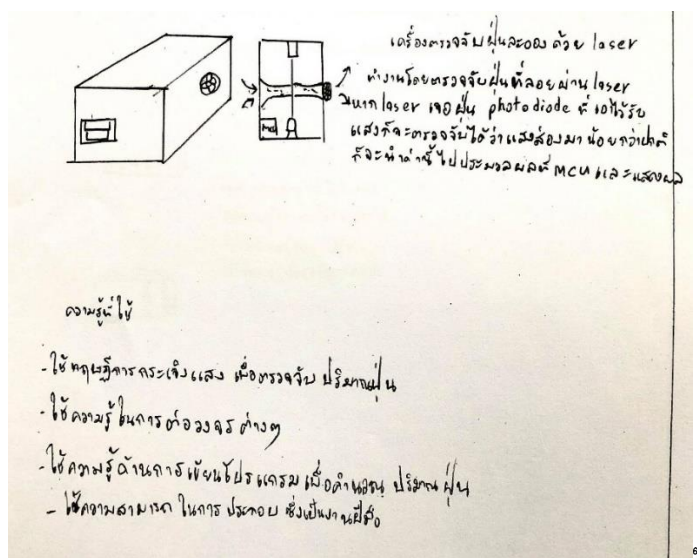


ภาพประกอบที่ 5 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน S302

S302 ระบุว่าความรู้ที่ใช้ในการทำโครงงานเครื่องดักจับฝุ่น คือ “ชีวะ การคำนวณหาจำนวนประชากร ทักษะ การใช้กล้องจุลทรรศน์ การคำนวณขนาดฝุ่นจากกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์” (วิทยาศาสตร์) “.... ใช้สติกเกอร์ดักฝุ่นไว้” (เทคโนโลยี) และ “การคำนวณขนาดฝุ่นจากกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์..... การคำนวณต้นทุน ราคาขาย กำไร” (คณิตศาสตร์) โดย S302 ระบุถึงความรู้ทางวิทยาศาสตร์เฉพาะส่วนของชีววิทยา เกี่ยวกับการคำนวณหาจำนวนประชากร และการใช้กล้องจุลทรรศน์ และถึงแม้ว่านักเรียนจะไม่ได้ระบุว่าได้ใช้ความรู้ใดทางคณิตศาสตร์ แต่ S302 ได้กล่าวถึงการคำนวณขนาดฝุ่นจากกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ และการคำนวณต้นทุน ราคาขาย กำไร จึงถือได้ว่า S302 ใช้คณิตศาสตร์ใน

การทำโครงงานนี้เช่นกัน นอกจากนั้นการที่ S302 ระบุว่าโครงงานของนักเรียน “เป็นเครื่องดักจับฝุ่นโดยใช้สติกเกอร์ดักฝุ่นไว้” แสดงให้เห็นว่านักเรียนเล็งเห็นว่าสติกเกอร์คือเครื่องมือที่จะช่วยให้ดักจับฝุ่นได้ตามที่ต้องการ ถือได้ว่านักเรียน มีความสามารถในการเลือกใช้เทคโนโลยี ซึ่งในที่นี้คือสติกเกอร์เพื่อตอบสนองความต้องการ

5. กลุ่ม E คือ กลุ่มคำตอบของนักเรียนที่มีการระบุถึงความรู้หรือทักษะจากศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง 2 ศาสตร์ ซึ่งส่วนมากคือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นักเรียนที่มีคำตอบอยู่ในกลุ่มนี้มีถึง 39% นับว่าเป็นนักเรียนส่วนมากของกลุ่มที่ศึกษา ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในกลุ่ม E เช่น S427 ดังภาพประกอบที่ 6

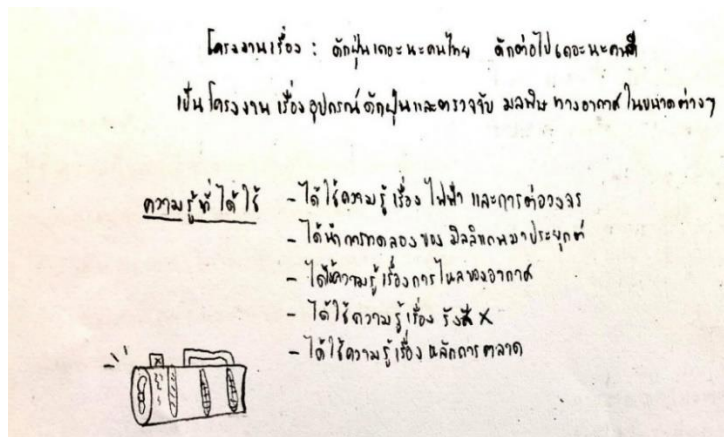


ภาพประกอบที่ 6 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน S427

S427 อยู่ในกลุ่มของนักเรียนที่มีแนวคิดในการสร้างเครื่องตรวจจับฝุ่นที่ลอยผ่านเลเซอร์ โดยมีหลักการว่า หากเลเซอร์ตรวจพบฝุ่น ส่วนที่รับแสงก็จะตรวจจับได้ว่าแสงส่องมาน้อยกว่าปกติ โดย S427 ระบุถึงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้คือ “ใช้ทฤษฎีการกระเจิงแสง เพื่อตรวจจับปริมาณฝุ่น ใช้ความรู้ในการต่อวงจรต่าง ๆ” และระบุว่า “ใช้ความรู้ด้านการเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณปริมาณฝุ่น” และ “ใช้ความสามารถในการประกอบซึ่ง

เป็นงานฝีมือ” ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนระบุถึงดิจิทัลเทคโนโลยี และการออกแบบและเทคโนโลยี ในการทำโครงงาน

6. กลุ่ม F เป็นกลุ่มคำตอบของนักเรียน (29.33%) ที่มีการระบุถึงความรู้จากศาสตร์ที่เกี่ยวข้องเพียง 1 ศาสตร์ ซึ่งโดยส่วนมากคือวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างของคำตอบในกลุ่มนี้คือ คำตอบของ S326 ดังภาพประกอบที่ 7

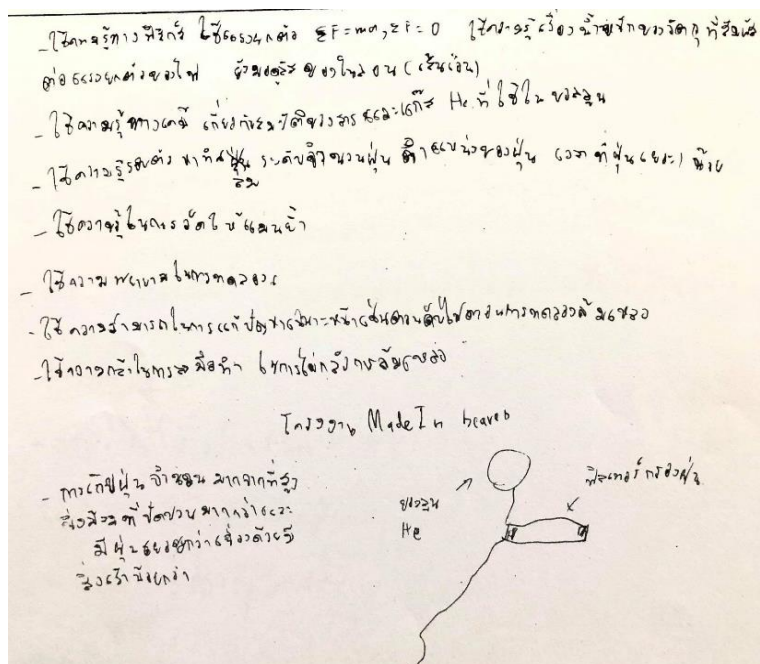


ภาพประกอบที่ 7 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน S326

จากภาพ S326 ระบุถึงความรู้ที่ได้ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ดักฝุ่นและดักน้ำจับมลพิษทางอากาศ คือ “ได้ใช้ความรู้เรื่องไฟฟ้าและการต่อวงจร” “ได้นำการทดลองของมิลลิแกนมาประยุกต์” “ได้ใช้ความรู้ เรื่องการไหลของอากาศ” และ “ได้ใช้ความรู้เรื่อง รังสี X” ซึ่งล้วนแต่เป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทั้งสิ้น

7. กลุ่ม G เป็นกลุ่มคำตอบที่นักเรียนส่วนมาก (55%) อยู่ในกลุ่มคำตอบนี้ โดยกลุ่มคำตอบ G มีความแตกต่างจากกลุ่มคำตอบอื่น ๆ นั้น คือ ไม่ได้ระบุถึงความรู้

ที่ใช้ แต่เป็นทักษะที่นักเรียนใช้ในการทำโครงการ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นทักษะทางสะเต็ม (STEM skills) โดยพบว่านักเรียนระบุถึงทักษะทางสะเต็มที่หลากหลาย โดยทักษะที่นักเรียนระบุถึงมากที่สุดคือ การขาย ต้นทุน การกำหนดราคา (19 คน) รองลงมาการสื่อสาร เช่น การนำเสนอ (7 คน) การแก้ปัญหา (5 คน) การทำงานร่วมกัน (2 คน) การคิด เช่น คิดสร้างสรรค์ (4 คน) กล้าทำ ไม่กลัวล้มเหลว (2 คน) และการวางแผน (1 คน) ตัวอย่างของนักเรียน ในกลุ่มนี้ เช่น S324 ดังภาพประกอบที่ 8



ภาพประกอบที่ 8 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียน S324

หากพิจารณาด้านความรู้จะพบว่า S324 จัดอยู่ในกลุ่ม E ด้วยเช่นกัน นั่นคือระบุว่าตนเองใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์คือฟิสิกส์ เกี่ยวกับแรงยกตัว และใช้ความรู้คณิตศาสตร์เกี่ยวกับการวัด ส่วนการที่ S324 ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม G ด้วยเช่นกันเนื่องจาก S324 ระบุว่า “ใช้ความสามารถในการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า เช่น การดับไฟตอนการทดลองล้มเหลว” “ใช้ความกล้าในการลงมือทำการไม่กลัวความล้มเหลว” ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมสะเต็มที่จัดขึ้นไม่เพียงแต่ส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาความรู้ แต่ยังส่งเสริมทักษะทางสะเต็มสำคัญ เป็นประโยชน์กับการทำงานได้แก่ ความสามารถในการแก้ปัญหา ความกล้าและไม่กลัวความล้มเหลว ซึ่งความกล้าและไม่กลัวความล้มเหลวนั้นนอกจากจะเป็นทักษะทางสะเต็มแล้ว ยังสอดคล้องกับสมรรถนะสำหรับการดำรงชีวิตและทำงาน (Transversal competencies) ในด้านของทักษะระหว่างบุคคล ที่เรียกว่า ความพยายาม ไม่กลัวล้มเหลว (UNESCO, 2016)

จากการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าหากพิจารณาความเข้าใจในสะเต็มว่าเป็นการแสดงออกหรือระบุถึงความรู้หรือทักษะทางสะเต็มที่บูรณาการระหว่างศาสตร์หลักสี่ศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ พบว่ากลุ่มที่ศึกษาส่วนมาก (55%) ระบุถึงทักษะทางสะเต็มเป็นทักษะสำคัญที่ทำให้สร้างชิ้นงานหรือทำงานได้ประสบความสำเร็จ กลุ่มที่ศึกษา 39% แสดงความเข้าใจในสะเต็มโดยระบุถึงความรู้จากศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง 2 ศาสตร์ ซึ่งส่วนมากคือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมีกลุ่มที่ศึกษาเพียง 15% ของกลุ่มที่ศึกษาทั้งหมดที่มีการระบุถึงความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการจัดการเรียนรู้ด้วยการออกแบบที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนบูรณาการความรู้และทักษะในศาสตร์หลักของสะเต็มเพื่อแก้ปัญหาหรือตอบสนองความต้องการในชีวิตจริง โดยผู้สอนจำเป็นต้องเตรียมสถานการณ์หรือประเด็นที่เกี่ยวข้องกับชีวิตจริงและเป็นที่สนใจของนักเรียน และผู้สอนจำเป็นต้อง

มีความสามารถในการวิเคราะห์ความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียนว่านักเรียนได้ใช้ หรือพัฒนาองค์ความรู้หรือทักษะใดบ้างจากกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการออกแบบ นอกจากนั้นหากผู้สอนเพิ่มประเด็น ที่เกี่ยวข้องกับการฉลาดรู้ในการเป็นผู้ประกอบการก็จะถือเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนต่อยอดโดยการเพิ่มมูลค่าของชิ้นงานของตนเชิงธุรกิจ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก

- คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระยะที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

References

- Andersson, B. (1990). Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18(1), 53-85.
- Announcement on the National Strategy (2017-2067). (2019). Government Gazette. Volume 135, chapter 82 A. page 4. [in Thai]
- Bay, J.L., Vickers, M.H., Mora, H.A., Sloboda, D.M., & Morton, S.M. (2017). *Adolescents as agents of healthful change through scientific literacy development: A school-university partnership program in New Zealand*. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 15. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0077-0>
- Clavert, M., & Paloposki, T. (2015). Implementing design-based learning in teaching of combustion and gasification technology. *International Journal Of Engineering Education*, 31(4), 1021-1032.

- English, L.D. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 15(1).
- Freeman, B., Marginson, S., & Tytler, R. (2015). Widening and deepening the STEM effect. In B. Freeman, S. Marginson, & R. Tytler (Eds.), *The age of STEM: Educational policy and practice across the world in Science, Technology, Engineering and Mathematics* (pp. 1–21). London: Routledge.
- Fortus, D., Krajcik, J., Dersheimer, R.C., Marx, R.W., & Mamlok-Naaman, R. (2005). Design-based science and real-world problem-solving. *International Journal of Science Education* 27(7), 855–879.
- Honey, M. (2012). *Design-Based Learning: A New Paradigm for STEM Education*. Retrieved from <https://www.ibm.com/blogs/citizen-ibm/2012/03/design-based-learning-a-new-paradigm-for-stem-education>.
- International Technology Education Association (2007). *Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology*. Virginia. The International Technology Education Association.
- King, D. & English, L. D. (2016). Engineering design in the primary school: Applying STEM concepts to build an optical instrument. *International Journal of Science Education*.
- Mehalik, M. M., Doppelt, Y., & Schuun, C. D. (2008). Middle-School Science Through Design-Based Learning versus Scripted Inquiry: Better Overall Science Concept Learning and Equity Gap Reduction. *Journal of Engineering Education* , 97(1), 71–85.
- Ministry of Education. (2017). *Learning standards and indicators Science Learning area (Revised version 2060) based on the basic education core curriculum, 2008*. Bangkok: The Agricultural Cooperative Association of Thailand Press. [in Thai]
- National Science Foundation [NSF]. (2007). *A National Action Plan for addressing the critical needs of the U.S. science, technology, engineering, and mathematics education system*. Virginia.
- Office of the Education Council. (2020). *National Education Plan 2017-2036*. Bangkok: Prik Wan Graphic Co., Ltd. [in Thai]
- Olitsky, S., Becker, E.A., Jayo, I., Vinogradov, P., & Montcalmo, J. (2018). Constructing “Authentic” Science: Results from a University/High School Collaboration Integrating Digital Storytelling and Social Networking. *Research in Science Education*, 50, 505–528.
- Pimthong, P., & Williams, P.J. (2018). *Conceptual Framework for STEM Teacher Education Course*. Perth.
- Raymond, A. (2004). *Collaborative action research in mathematics education: A tale of two teacher researchers*. Retrieved from <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPorta>.
- Ridgeway, M.L., & Yerrick, R.K. (2018). Whose banner are we waving? Exploring STEM partnerships for marginalized urban youth. *Cultural Studies of Science Education*, 13(1), 59–84.

- The Pollution Control Department. (2019). *Report about dust particles smaller than 2.5 microns (PM2.5) in Bangkok and metropolitan areas: The performance of the Pollution Control Department in 2019*. Retrieved from http://www.pcd.go.th/info_serv/air_pm25.html. [in Thai]
- Tytler, R. & Peterson, S. (2000). Deconstructing Learning in Science -Young Children's Responses to a Classroom Sequence on Evaporation. *Research in Science Education*. 30, 339-355.
- UNESCO. (2016). ERI-Net Asia-Pacific Regional Policy Series 2014 Regional Study on Transversal Competencies in Education Policy and Practice (Phase II): School and Teaching Practices for Twenty-first Century Challenges: Lessons from the Asia-Pacific Region. ISBN: 978-92-9223-540-6 (Electronic version)
- Vasquez, J.A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, HN: Heinemann. Retrieved from <http://www.amazon.com/STEM-Lesson-Essentials-Grades-3-8/dp/0325043582>
- Vartiainen, H., Anu, L. & Enkenberg, J. (2012). Design-Oriented Pedagogy for Technology-Enhanced Learning to Cross Over the Borders between Formal and Informal Environments. *Journal of Universal Computer Science* (pp.2097-2119). 18(15).
- Williams, P. J. (2000). Design: The only methodology of technology? *Journal of Technology Education*, 11(2), 48-60.
- Won, S.G.L, Evans, M.A., Carey, C., & Schnittka, C.G. (2015). Youth appropriation of social media for collaborative and facilitated design-based learning. *Computers in Human Behavior*. 50. 10.1016/j.chb.2015.04.017.