

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

STEM APPROACH BASED ON ENGINEERING DESIGN PROCESS
ON SOUND FOR ENHANCE OF CREATIVITY AND INNOVATION OF
THE 11th GRADE STUDENTS

Received: May 8, 2019

Revised: June 10, 2019

Accepted: June 19, 2019

สุมินตรา จีนเมือง* ธิติยา บงกชเพชร**

Sumintra Chinmuaeng* Thitiya Bongkotphet**

Corresponding Author, E-mail: Mintsramintu@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยปฏิบัติการมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 2) เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 23 คน เครื่องมือวิจัยที่ใช้ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิเคราะห์เนื้อหาและสถิติบรรยายค่าเฉลี่ย ร้อยละ

ผลการวิจัยพบว่า 1) แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ ขั้นระบุปัญหา ครูสร้างความตระหนัก ความสำคัญของสถานการณ์ ที่สำคัญสถานการณ์ต้องมีเงื่อนไขสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนต้องได้วิเคราะห์ถึงบริบท ความต้องการเป้าหมาย ข้อจำกัดของสถานการณ์ผ่านการระดมสมอง สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนจะได้ออกแบบชิ้นงานหลากหลาย เพื่อเลือกชิ้นงานที่ดีที่สุดไปสู่การบรรลุเป้าหมายของสถานการณ์ ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนต้องได้วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ โดยครูผู้สอนต้องตรวจสอบ

* นิสิตปริญญาโท คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

การวางแผนการดำเนินงานที่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ ชั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนต้องเลือกวิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสม ทำการประเมินผลชิ้นงาน ปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น ชี้แนะเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนจะได้นำเสนอชิ้นงานและการแก้ไขชิ้นงานของตนเอง และ 2) นักเรียนพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้อย่างต่อเนื่อง นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นในหลายพฤติกรรม อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์เป็นพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกได้มากตลอดการจัดการเรียนรู้

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เสียง

Abstract

This research is the action research in the classroom which has the objectives to 1) study the learning processes of STEM Approach based on engineering design process. 2) study of the creativity and innovation of the 11th Grade Students. The participants were 23 students in the 11th Grade in Phitsanulok province school. It is in the second term, 2018. The tools used in the research were the lesson plan, the reflection form, evaluation form of creativity and innovation. Data analysis method were content analyzing and statistics, describing mean and percentage.

The results of the research founded that the guideline of STEM Approach based on engineering design process for enhance of Creativity and Innovation of the 11th Grade Students as follows: the problem definition step, the teacher should realise the significant situation which it should be the taxing conditions for the students. The approach collection step, students must analyse the data, requirements, goals, disadvantages of the situation through brainstorming and finding the related data. The problem solution designing step: students will have to design various projects to choose the best project to achieve the goal. The planning methodology step: students have to plan which teacher must check the plan if it is the scientific process and also included the testing step, assessment process and project development. Students have to choose the appropriate project and present the project by themselves. Students develop Creativity and Innovation continuously and students also have better scores. Nevertheless, Working Creatively with Others should be showed all through the learning process.

Keywords: STEM Approach based on Engineering Design Process, creativity and innovation, sound

บทนำ

ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นหนึ่งในทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่หลายๆ ประเทศให้ความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากศตวรรษที่ 21 นั้นเป็นยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงและเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้ทักษะที่จำเป็นสำหรับคนในยุคศตวรรษที่ 21 มีความแตกต่างไปจากยุคศตวรรษที่ 20 คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีได้ขยายขีดความสามารถจนสามารถทำงานแทนที่คนได้ คนยุคใหม่จึงต้องฝึกความคิดสร้างสรรค์ เพราะโลกกำลังเปลี่ยนยุคจากยุคความรู้สู่ยุคนวัตกรรม การฝึกความคิดสร้างสรรค์จึงสำคัญยิ่ง (วิจารณ์ พานิช, 2556)

ผลการประเมิน TIMSS 2015 ที่ประเมินวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์นานาชาติในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จาก 39 ประเทศที่เข้าร่วมการประเมินพบว่า ประเทศไทยถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในระดับต่ำทั้งวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558) และการประเมินตามโครงการ PISA ของนักเรียนไทยปี 2015 พบว่าคะแนนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ย OECD ต่ำกว่าระดับพื้นฐาน และเป็นหนึ่งในสองประเทศที่มีผลการประเมินจัดอยู่ในกลุ่มต่ำเมื่อเทียบกับคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนในประเทศภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ซึ่งการประเมินในโครงการ TIMSS นั้นจะเป็นการมุ่งเน้นการประเมิน เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ด้านการเรียนของนักเรียนในการเรียนคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยข้อสอบจะเน้นให้นักเรียนแสดงความรู้ที่เกิดจากความจำความเข้าใจในการแก้โจทย์ปัญหาซึ่งผลจากการประเมินนั้นก็แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังไม่สามารถนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์อื่นๆ ได้ ส่วนการประเมินนักเรียนในโครงการ PISA นั้น ลักษณะของข้อสอบจะมุ่งเน้นให้นักเรียนนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงซึ่งนักเรียนจะต้องใช้ทั้งความรู้ที่เกิดจากความจำความเข้าใจการประยุกต์ใช้ความรู้รวมถึงการใช้ความคิดขั้นสูง เพื่อแก้โจทย์ปัญหาในสถานการณ์ดังกล่าวและผลจากการประเมินในโครงการ PISA นี้ก็ชี้ให้เห็นว่านักเรียนขาดความสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ไปสู่ชีวิตจริงซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนไทยนั้นขาดความสามารถในการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลายวิธีไม่สามารถแสดงออกถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษ IEP (Intensive English Program) ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 รายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม จากบันทึกหลังสอนของครู ซึ่งผู้วิจัยเก็บข้อมูลระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มและให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบการทดลองจากอุปกรณ์ที่กำหนดให้จำนวน 2 การทดลอง การทดลองแรกมุ่งให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลางกับคาบการเหวี่ยง และการทดลองที่สองมุ่งให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกับคาบการเหวี่ยง ซึ่งในระหว่างดำเนินการทดลอง นักเรียนจะได้บันทึกผลการออกแบบและผลลัพธ์ลงในแบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม และจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนระหว่างที่ดำเนินการออกแบบการทดลองทั้งสองกิจกรรมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำผลการสังเกตและผลการทดลองของนักเรียนมาวิเคราะห์พบว่า นักเรียนทั้งหมดตั้งสมมติฐานไม่ได้ ต้องได้รับคำแนะนำจากครูผู้สอนจึงจะสามารถตั้งสมมติฐานได้อย่างถูกต้อง และนักเรียนร้อยละ 80 ไม่สามารถเสนอวิธีการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานด้วยตนเองได้ ทำให้ไม่สามารถเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดมาดำเนินการทดลองได้ นักเรียนร้อยละ 90 ไม่สามารถทำการออกแบบการทดลองด้วยตนเองทำการลอกมาจากอินเทอร์เน็ตในทุกรายละเอียด โดยไม่มีการนำมาปรับเปลี่ยน หรือเพิ่มเติมใดให้สอดคล้องกับบริบทของตนเอง นอกจากนี้นักเรียนร้อยละ 90

นำวิธีการที่เหมาะสมมาปฏิบัติจริงไม่ได้ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่า ถึงแม้ นักเรียนจะได้ทำการทดลองในการจัดการเรียนรู้ปัจจุบัน แต่นักเรียนไม่ได้ตั้งสมมติฐานและแก้ปัญหาด้วยตนเอง เพราะ นักเรียนมักจะทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในใบกิจกรรมทดลองที่ครูแจกให้ นักเรียนจึงไม่ได้ฝึกกระบวนการ คิดทำให้เกิดการตีกรอบทางความคิด เป็นผลให้นักเรียนไม่สามารถออกแบบการทดลองเองได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจ ที่จะปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

สะเต็มศึกษาเป็นนโยบายทางการศึกษาที่รองรับยุทธศาสตร์ชาติ เน้นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม (ลือชา ลดาชาติ, 2562) ซึ่งสะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ (สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558) โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต และการทำงาน ช่วยนักเรียนสร้างความเชื่อมโยงระหว่าง 4 สาขา กับชีวิตจริงและการทำงาน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) โดยนักเรียนจะได้เรียนรู้และประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างนวัตกรรม หรือเทคโนโลยีที่แก้ปัญหา หรือตอบสนองความต้องการของมนุษย์ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (สุธีระ ประเสริฐสรรพ์, 2559) การจัดการเรียนตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่มีการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ามา ใช้ร่วมในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญนั้นจะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง เพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่ประสบอย่างเป็นขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนนั้นจะเป็นการฝึกฝนผู้เรียนให้เกิดความคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรม ผ่านการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ ศึกษาค้นคว้า และทำการ รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มีการระดมสมอง ออกแบบชิ้นงานให้มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร และสามารถ ใช้ประโยชน์หรือแก้ปัญหาได้ มีการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ตรวจสอบชิ้นงาน นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเกิดจากการที่ผู้เรียนได้ฝึกเริ่มต้นจาก การวิเคราะห์ ปัญหา สังเคราะห์ จนสามารถนำไปสู่ การพัฒนาเป็นนวัตกรรมของผู้เรียนได้ (สุธิดา การ์มี, 2560)

เสียง เป็นเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ การทำให้เกิดเสียงสามารถ ทำได้หลากหลายวิธี ซึ่งคุณภาพเสียง ความถี่ ความดัง ระดับเสียงมีความแตกต่างกัน มีการใช้ความถี่ในการแบ่งเสียง ดนตรีทางวิทยาศาสตร์(วิทิต วรรณเลิศลักษณ์, 2560) นอกจากนั้นตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์กำหนดให้ ผู้เรียนต้องสามารถนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ประโยชน์ได้ สอดคล้องกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่ต้องการเนื้อหาที่สามารถนำมาสู่การออกแบบได้อย่างหลากหลายและสามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สำหรับผู้เรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยกำหนดสถานการณ์ที่ท้าทายเพื่อ กระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ โดยหวังว่าผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน และส่งผลต่อการ พัฒนาชุมชน สังคม และประเทศชาติต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

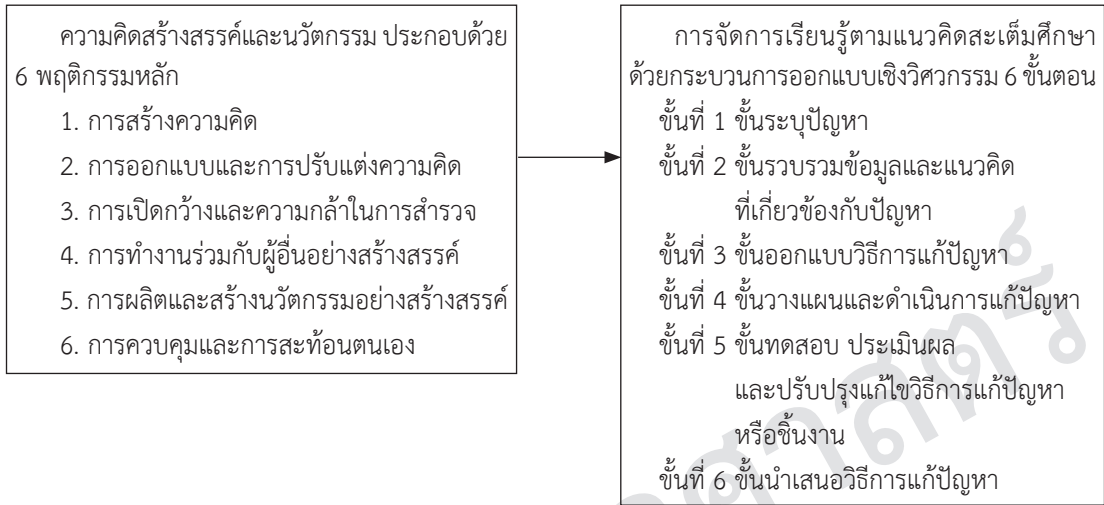
2. เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง

การทบทวนวรรณกรรมและแนวคิด

“สะเต็ม” (STEM) มาจากอักษรตัวแรกของ 4 สาขาวิชาที่เป็นพื้นฐานในการสร้างนวัตกรรม ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) (สุพรรณิ ชาญประเสริฐ, 2558) เป็นแนวทางการจัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) โดยนำจุดเด่นและธรรมชาติของแต่ละสาขาวิชามาสผสมผสานเข้าด้วยกันอย่างลงตัว (พรทิพย์ ศิริภัทราชัย, 2556) เป็นแนวคิดที่เกิดขึ้นจากการขาดแคลนแรงงานคุณภาพทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกา การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาจึงเน้นการส่งเสริมให้ผู้เรียนทุกคนสามารถสร้างสรรค์ชิ้นงาน และมีทักษะในการออกแบบและคิดหาวิธีการแก้ปัญหาได้ตามสภาพจริง ตามหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ (สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558) นำความรู้มาออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (สุธิตา การิณี, 2560) ลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษา คือ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้บูรณาการความรู้ และทักษะของวิชาที่เกี่ยวข้องในสะเต็มศึกษาในระหว่างการเรียนรู้ มีการท้าทายผู้เรียนให้ได้แก้ปัญหาหรือสถานการณ์ที่ผู้สอนกำหนด มีกิจกรรมกระตุ้นการเรียนรู้ ช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ผ่านการทำกิจกรรมหรือสถานการณ์ที่ผู้สอนกำหนดให้ และสถานการณ์หรือปัญหาที่ใช้ในกิจกรรมมีความเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวันของผู้เรียนหรือการประกอบอาชีพในอนาคต (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)

ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (creativity and innovation) เป็นหนึ่งในทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (21st Century skills) ซึ่งเป็นยุคแห่งเทคโนโลยีสารสนเทศ มีการติดต่อสื่อสารกันอย่างรวดเร็วมากขึ้น มีการแข่งขันกันสูงทั้งอาชีพ เศรษฐกิจ และการศึกษา ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่คนรุ่นใหม่จะต้องได้รับการพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เพื่อเป็นการเตรียมทรัพยากรทางด้านบุคคลให้พร้อมก้าวเข้าสู่การแข่งขันกับนานาชาติและสามารถดำรงชีวิตให้อยู่ในโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ (พรทิพย์ ศิริภัทราชัย, 2556) ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจัดอยู่ในทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Partnership for 21st Century Learning, 2015; วิชา เล่าเรียนดี และคณะ, 2560) โดยมีเป้าหมายให้เกิดทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ โดยใช้เทคนิคสร้างมุมมองหลากหลายเทคนิค เช่น การระดมความคิด (brainstorming) สร้างมุมมองแปลกใหม่ ทั้งที่เป็นการปรับปรุงเล็กน้อยจากของเดิม หรือเป็นหลักการที่แหวกแนวโดยสิ้นเชิง ชักชวนกันทำความเข้าใจ ปรับปรุง วิเคราะห์ และประเมิน มุมมองของตนเอง เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับการคิดอย่างสร้างสรรค์ การเกิดทักษะในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ พัฒนาลงมือปฏิบัติ และสื่อสารมุมมองใหม่กับผู้อื่นอยู่เสมอ เปิดใจรับและตอบสนองต่อมุมมองใหม่ๆ หากทางได้ข้อคิดเห็นจากกลุ่ม รวมทั้งการประเมินผลงานจากกลุ่มเพื่อนำไปปรับปรุง ทำงานด้วยแนวคิดหรือวิธีการใหม่ๆ และเข้าใจข้อจำกัดของโลกในการยอมรับมุมมองใหม่ ความล้มเหลวเป็นโอกาสเรียนรู้ เข้าใจว่าความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นเรื่องระยะยาว เข้าใจวัฏจักรของความสำเร็จเล็กๆ และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ่อยๆ จะนำไปสู่การสร้างสรรค์และนวัตกรรม การประยุกต์สู่นวัตกรรม ลงมือปฏิบัติตามความคิดสร้างสรรค์เพื่อนำไปสู่ผลสำเร็จที่เป็นรูปธรรม (วิจารณ์ พานิช, 2556)

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis & McTaggart (1988: 11) ประกอบด้วยกิจกรรมการวิจัยที่สำคัญ 4 ขั้นตอนหลัก คือ 1) วางแผน (planning) 2) ปฏิบัติ (action) 3) สังเกต (observation) 4) สะท้อนผล (reflection) กระบวนการ และผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และปรับปรุงแผนการปฏิบัติ (re - planning) โดยดำเนินการจนครบ 3 วงจรปฏิบัติการ

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษ IEP (Intensive English Program) โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวนนักเรียน 23 คน เป็นชาย 2 คน และหญิง 21 คน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแบ่งกลุ่มนักเรียนคละความสามารถ โดยดูจากผลการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ 4 (การเคลื่อนที่และแรงในธรรมชาติ) ในเทอมที่ผ่านมาของกลุ่มเป้าหมาย แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จำนวน 3 แผน แผนละ 4 ชั่วโมง โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 เรื่อง ได้แก่ 1) การเกิดคลื่นเสียง 2) คุณภาพเสียง 3) มลพิษทางเสียง รวมทั้งหมด 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 ชั่วโมง แต่ละแผนมีขั้นการจัดการเรียนรู้จำนวน 6 ขั้น ดังนี้ 1) ช้้นระบุปัญหา 2) ช้้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ช้้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) ช้้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ช้้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน 6) ช้้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผู้วิจัยกำหนดสถานการณ์ที่ 1 สมมติให้นักเรียนรับบทบาทเป็นช่างในร้านของเล่นสำหรับเด็กแห่งหนึ่ง มีลูกค้ามาสั่งทำของขวัญให้ลูกชาย โดยระบุเงื่อนไขต่างๆ ชิ้นงานที่มอบหมาย คือ เครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก สถานการณ์ที่ 2 สมมติให้นักเรียนรับบทบาทเป็นช่างในร้านเครื่องดนตรีแห่งหนึ่ง มีลูกค้ามาสั่งทำเครื่องดนตรีโดยระบุเงื่อนไขต่างๆ ชิ้นงานที่มอบหมาย คือ เครื่องดนตรี สถานการณ์ที่ 3 สมมติให้นักเรียนรับบทบาทเป็นวิศวกรในบริษัทแห่งหนึ่ง มีลูกค้าต้องการสร้างบ้านสุนัขเพื่อแก้ปัญหาเสียงสุนัขดังรบกวนเพื่อนบ้านโดยระบุเงื่อนไขต่างๆ ชิ้นงานที่มอบหมาย คือ แบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้มีการบูรณาการเนื้อหาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยเนื้อหาด้านเทคโนโลยีมีการนำแอปพลิเคชันเกี่ยวกับเสียงมาใช้ เนื้อหาด้านวิศวกรรมศาสตร์ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เนื้อหาด้านคณิตศาสตร์เป็นการคำนวณต้นทุนการผลิต แผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมดผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

2.1 ใบกิจกรรม ผู้วิจัยสร้างใบกิจกรรมเพื่อเก็บข้อมูลความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในแผนการจัดการเรียนรู้ ออกแบบให้นักเรียนทำงานเป็นรายกลุ่ม เป็นแบบบันทึกที่นักเรียนแต่ละกลุ่มต้องบันทึกในสิ่งที่นักเรียนได้ทำร่วมกัน มีจุดประสงค์เพื่อใช้ประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยผู้วิจัยจะกำหนดสถานการณ์ที่ทำให้ทายความสามารถให้ไว้ในแต่ละใบกิจกรรม ซึ่งแต่ละแผนจะแตกต่างกันไปตามเรื่อง แล้วนักเรียนจะต้องวิเคราะห์สถานการณ์และระบุความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อจำกัด เงื่อนไขต่างๆ ที่สถานการณ์กำหนด มีการบันทึกการระดมสมองของสมาชิกในกลุ่ม ออกแบบภาพร่างชิ้นงานจำนวน 3 แบบไม่ซ้ำกัน ทำการทดสอบชิ้นงาน ประเมินผลชิ้นงาน แก้ไขปรับปรุงชิ้นงาน และนำเสนอผลงานพร้อมการปรับปรุงชิ้นงาน โดยมีข้อคำถามและกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนแสดงออกถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เมื่อสร้างเสร็จนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความครอบคลุม ความเหมาะสมของข้อคำถาม ให้คำแนะนำ และนำมาปรับปรุงแก้ไข จัดพิมพ์ใบกิจกรรมฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมายต่อไป โดยใบกิจกรรมผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

2.2 แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของครู และผู้เชี่ยวชาญ (ผู้เชี่ยวชาญเป็นครูชำนาญการพิเศษที่มีประสบการณ์การสอนในรายวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี) ผู้วิจัยได้กำหนดข้อคำถาม ได้แก่ จุดเด่น จุดด้อย อุปสรรค/ ปัญหาที่พบ และแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหา เพื่อใช้สอนในครั้งต่อไป และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อคำถาม เมื่อผ่านการพิจารณาแล้วนำมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และจัดพิมพ์ฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้จริงในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

2.3 แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ผู้วิจัยกำหนดรูปแบบการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนตามกรอบของ Catalina Foothills School District; CFSD (2018) โดยนักเรียนจะต้องแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้งหมด 6 พฤติกรรม ดังนี้

2.3.1. การสร้างความคิด ได้แก่ มีการระบุเงื่อนไข มีการระดมสมองในประเด็นที่กำหนด มีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของความคิดว่าสามารถทำได้จริง

2.3.2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด ได้แก่ มีการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกัน มีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงาน

2.3.3. การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ ได้แก่ มีการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของตนเอง

2.3.4. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก

2.3.5. การผลิต และสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมาย มีการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเชิงลึก มีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด เป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนด มีการปรับปรุง/ เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนดได้สำเร็จ

2.3.6. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง ได้แก่ มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นตามข้อเสนอแนะจากเพื่อนและครู มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไข มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับเกณฑ์การประเมิน เมื่อผ่านการพิจารณาแล้ว นำมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และจัดพิมพ์ฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้จริงในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

เครื่องมือทั้งหมดผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนสะเต็มศึกษา และวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 1 ท่าน อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนเรื่องเสียง จำนวน 1 ท่าน และครูชำนาญการพิเศษที่มีประสบการณ์การสอนในรายวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี จำนวน 1 ท่าน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามรูปแบบวิจัยปฏิบัติการตามวงจร PAOR ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 วางแผน ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัญหาของห้องเรียนและข้อมูลของนักเรียน โดยสังเกตพฤติกรรมการแสดงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เสียง ซึ่งมีเนื้อหาทั้งหมด 3 เรื่อง ได้แก่ การเกิดคลื่นเสียง คุณภาพเสียง มลพิษทางเสียง

ขั้นที่ 2 ปฏิบัติการ และขั้นที่ 3 สังเกตการณ์ ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามที่ได้วางแผนไว้ ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยใช้ใบกิจกรรม ผู้วิจัยใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในการประเมินความคิดสร้างสรรค์ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดย

ระหว่างการจัดการเรียนรู้ผู้เชี่ยวชาญจะเข้าร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัย และหลังจากการจัดการเรียนรู้ครูและผู้เชี่ยวชาญจะต้องเขียนสิ่งที่ตนสังเกตได้ลงในแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ขั้นที่ 4 สะท้อนผลการปฏิบัติ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากใบกิจกรรมแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาวิเคราะห์ สะท้อนผลและปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป จนครบ 3 วงจรปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. การวิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่องเสียง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครูและผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา โดยอ่านเนื้อหาจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ จัดกลุ่มข้อความตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 6 ขั้น และวิเคราะห์แยกข้อความในแต่ละขั้นออกเป็นจุดเด่น จุดด้อย อุปสรรค/ ปัญหาที่พบแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหา และพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก จากนั้นจับประเด็นสำคัญของประโยค โดยใช้วลีสั้นๆ เพื่อให้ความเข้าใจง่ายและตรงกันสำหรับผู้อ่าน และทำการลงข้อสรุปเพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด โดยเขียนเป็นความเรียง

2. การวิเคราะห์ผลการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง เสียง โดยใช้ข้อมูลจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมและใบกิจกรรม ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากการใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลตามลักษณะพฤติกรรมที่กำหนดไว้ในเกณฑ์การประเมิน 6 พฤติกรรมหลัก 19 พฤติกรรมย่อย ที่นักเรียนแสดงออกระหว่างการจัดการเรียนรู้ในทุกขั้นตอนรวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรมด้วยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาเพื่อดูพฤติกรรมที่กำหนดไว้ในเกณฑ์ และนำคะแนนจากการประเมินมาหาค่าเฉลี่ยและค่าร้อยละของนักเรียนที่แสดงในแต่ละพฤติกรรมหลัก

ผลการวิจัย

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการมาวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ควรมีลักษณะดังต่อไปนี้

ขั้นระบุปัญหา ในขั้นนี้ก่อนนำเข้าสู่สถานการณ์ที่กำหนดให้ ครูต้องสร้างความตระหนัก แรงจูงใจ และทำให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของปัญหาหรือความต้องการที่นักเรียนกำลังจะพบเจอในสถานการณ์ ในการกำหนดสถานการณ์ ต้องใช้คำที่มีความสั้น กระชับ เข้าใจง่าย นักเรียนทุกคนสามารถอ่านแล้วแปลความหมายได้ตรงกัน มีการกำหนดเงื่อนไขชัดเจนเพื่อสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน โดยที่สถานการณ์ต้องมีความเหมาะสมกับนักเรียน

นักเรียนจะได้วิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ และต้องสามารถระบุความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด และข้อจำกัดต่างๆ ของสถานการณ์ได้

ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ในขั้นนี้นักเรียนจะได้วิเคราะห์ถึงบริบทของสถานการณ์ เช่น ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด ข้อจำกัด ผ่านการระดมสมอง โดยครูต้องกำหนดเป้าหมายให้ชัดเจน ว่าการระดมสมองต้องการให้นักเรียนทำอะไร และต้องทำอะไรบ้าง นักเรียนจะได้รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมาสู่การบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด โดยนักเรียนจะได้สืบค้นเกี่ยวกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ ครูต้องทำการตรวจสอบการรวบรวมข้อมูลและความเข้าใจต่อข้อมูลที่รวบรวมมาของนักเรียนว่าเพียงพอที่จะนำไปสร้างชิ้นงานต่อไปหรือไม่ อย่างไร

ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ในขั้นนี้นักเรียนได้ออกแบบชิ้นงานโดยพิจารณาจากความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด ข้อจำกัดของสถานการณ์เป็นหลัก นอกจากนั้นนักเรียนจะต้องระดมสมองถึงการออกแบบชิ้นงานที่จะบรรลุเป้าหมาย ความเป็นไปได้ในหลาย ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็น สามารถสร้างได้จริงหรือไม่ ระยะเวลา ราคา ต้นทุน ความแข็งแรง คงทน และมีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร โดยนักเรียนต้องสร้างทางเลือกที่จะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด

ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ในขั้นตอนนี้ นักเรียนได้วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ ว่าตนเองต้องทำอะไรก่อนหลังเพื่อเป็นแนวทางในการทำงานของนักเรียน เป็นการฝึกให้นักเรียนรู้จักการวางแผนปฏิบัติการโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การกำหนดตารางเวลาในการทำงานของกลุ่ม ระยะเวลาในการทำงาน ภาระหน้าที่ของแต่ละบุคคล ครูต้องให้นักเรียนรายงานความคืบหน้าของงานรวมทั้งปัญหา อุปสรรคที่นักเรียนพบ หากมีการปรับเปลี่ยนแผนในการสร้างชิ้นงานต้องแจ้งให้ครูทราบก่อนดำเนินการทุกครั้งโดยครูผู้สอนต้องตรวจสอบการวางแผนการดำเนินงานว่าใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์หรือไม่

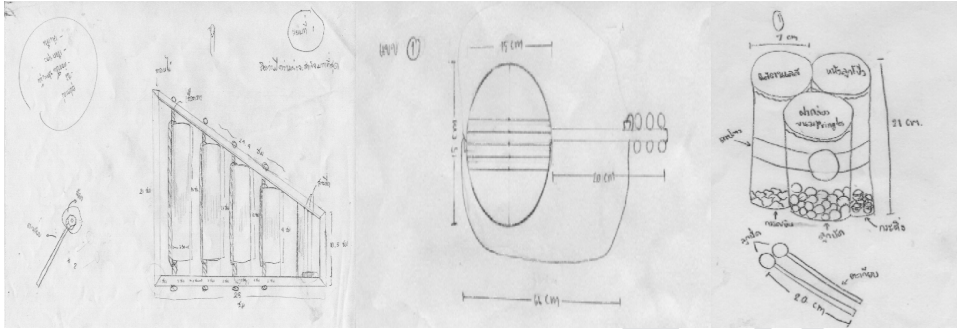
ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในขั้นตอนนี้ นักเรียนได้ทำการเลือกวิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด นักเรียนได้ทำการประเมินผลชิ้นงานของกลุ่มตนเองว่าบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนดหรือไม่ อย่างไร นักเรียนได้ทำการปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น การปรับปรุงอาจมาจากนำข้อเสนอแนะของครู เพื่อนกลุ่มอื่น หรือสมาชิกภายในกลุ่ม

ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในขั้นนี้นักเรียนจะได้นำเสนอชิ้นงานอย่างเป็นทางการเป็นขั้นตอน ตั้งแต่การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบ การวางแผนการปฏิบัติงานเพื่อแก้ปัญหา การทดสอบ ผลการประเมิน การปรับปรุง ปัญหาอุปสรรค และผลลัพธ์สุดท้ายเป็นไปตามเป้าหมายและความต้องการหรือไม่

2. ผลการศึกษาการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่อง เสี่ยง

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และใบกิจกรรม โดยผู้วิจัยนำเสนอผลการศึกษาคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 3 วงจรปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ด้านพฤติกรรมกรรมการออกแบบและการปรับแต่งความคิด พฤติกรรมการเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ และพฤติกรรมการผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ โดยทั้งหมด 3 พฤติกรรมนี้ นักเรียนต้องแสดงพฤติกรรม โดยทำการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกันจำนวน 3 แบบ ที่มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร และมีการเขียนอธิบาย รายละเอียดของชิ้นงานโดยระบุ ขนาด วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน แสดงได้ดังตัวอย่างคำตอบดังภาพ 3



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพการออกแบบชิ้นงานของนักเรียนจากใบกิจกรรมที่ 1

จากภาพ 3 แสดงตัวอย่างภาพการออกแบบชิ้นงานของนักเรียน นักเรียนทุกกลุ่มจะมีการออกแบบ 3 แบบ ตามที่กำหนด ในการเขียนแบบบางกลุ่มมีการระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้างอย่างชัดเจน บางกลุ่มมีการระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้างอย่างชัดเจนแต่ไม่ครบทุกแบบที่ได้ออกแบบไว้และ บางกลุ่มมีเพียงการระบุขนาดเพียงอย่างเดียวไม่ได้บอกวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1

ด้านพฤติกรรมการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนมีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก นักเรียนต้องบันทึกการระดมสมองของสมาชิกทุกคนในกลุ่มลงในกระดาษ โดยตัวอย่างการระดมสมองของนักเรียนกลุ่มที่ 1 ดังนี้

นักเรียนคนที่ 1 : เราทำเป็นชุดแบบที่มีปลอกแขน แล้วเวลาเขย่าจะมีเสียงดีไหม มันเป็นที่เขย่าแขนแล้วมีเสียง แบบใส่เมล็ดอะไรเข้าไป เหมือนของเล่นที่เป็นปลอกแขน เด็กจะได้ใส่แล้วเขย่า

นักเรียนคนที่ 2 : ของนักเรียนคนที่ 1 มันไม่ได้ใส่แล้วเล่นออกมาเป็นเพลงได้นะ เหมือนเป็นของเล่นแต่ไม่ใช่เครื่องดนตรี

นักเรียนคนที่ 3 : นั่นสิ ยากที่จะทำให้เสียงมันแตกต่างกัน

นักเรียนคนที่ 4 : ทำเป็นเครื่องสายดีไหม เพราะดูทำได้จริง และน่าจะเหมาะกับเด็กผู้ชายด้วย พวกกีตาร์อะไรแบบนี้ และเด็กผู้ชายน่าจะชอบพวกสีฟ้า สีน้ำเงิน

จากตัวอย่างการบันทึกการระดมสมองของนักเรียนกลุ่มที่ 1 พบว่านักเรียนมีการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าจากที่ระบุว่าเป็นเด็กผู้ชาย ควรเป็นของลักษณะใด มีการเพิ่มเติมต่อยอดความคิดของสมาชิกในกลุ่มให้ดียิ่งขึ้น และมีการให้เหตุผลเมื่อไม่เห็นด้วยกับสมาชิกคนอื่น

ด้านพฤติกรรมกรรมการควบคุมและการสะท้อนตนเอง นักเรียนต้องมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงาน เพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นตามข้อเสนอแนะจากเพื่อนและครู มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไข มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณา ตามเกณฑ์ที่กำหนด แสดงได้ดังตัวอย่างคำตอบดังภาพ 4

2. ปัญหา อุปสรรคที่พบในการดำเนินการทำงาน

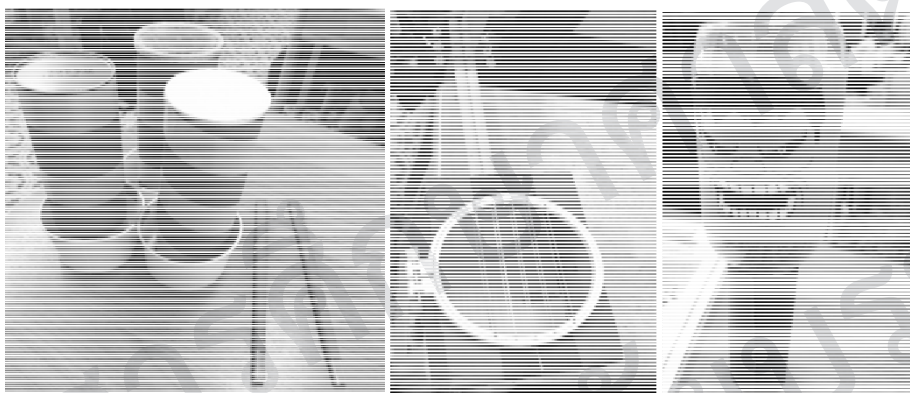
- มีการเปลี่ยนแปลงแผนกะทันหันเพราะหาอุปกรณ์ไม่ได้ในตอนแรก กังสาคะเต็ม

- มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม → ไม่มี จนสาม ก่อพิธี (5 คนแล้ว)

ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างการบันทึกการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานของนักเรียนจากใบกิจกรรมที่ 1

จากภาพ 4 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไขของกลุ่มตนเองในเรื่องการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ในตอนแรก

พฤติกรรมด้านการผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนจะต้องมีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ และชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมด แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียนประกอบด้วย กลองชุด กีตาร์ และ Shaker จากวงจรปฏิบัติการที่ 1

จากภาพ 5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียน นักเรียนแสดงพฤติกรรมด้านการผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ โดยการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ได้แก่ กระป๋องขนม กล้องกระดาษเหลือใช้ ขวดน้ำพลาสติกและสามารถสร้างชิ้นงานออกมาตามที่สถานการณ์กำหนดได้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ขั้นระบุปัญหา ครูต้องสร้างความตระหนัก แรงจูงใจ และทำให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของปัญหาหรือความต้องการที่นักเรียนกำลังจะพบเจอในสถานการณ์ มีการกำหนดเงื่อนไขชัดเจนเพื่อสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน นักเรียนจะได้วิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ ทำให้นักเรียนได้สร้างแนวคิดเพื่อนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายเป็นหนึ่งในพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดสอดคล้องกับ จรรยาพงษ์ ชลสินธุ์ (2561) ที่กล่าวว่า ในการระบุปัญหาต้องสร้างสถานการณ์ที่สอดคล้องกับชีวิตจริงของนักเรียนและสอดคล้องกับเนื้อหารายวิชา ซึ่งสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นนั้นจะส่งเสริมให้นักเรียนได้ร่วมกันวิเคราะห์ นำไปสู่การกำหนดเป้าหมายตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาพร้อมกัน

ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนต้องได้วิเคราะห์ถึงบริบทความต้องการ เป้าหมาย ข้อจำกัดของสถานการณ์ผ่านการระดมสมอง สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ สอดคล้องกับวิจารณ์ พานิช (2556) ที่กล่าวว่า การจะเกิดทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ ต้องใช้เทคนิคสร้างมุมมองหลากหลายเทคนิค เช่น การระดมความคิด (brainstorming) สร้างมุมมองแปลกใหม่ ทั้งที่เป็นการปรับปรุงเล็กน้อยจากของเดิมหรือเป็นหลักการที่แหวกแนวโดยสิ้นเชิง ชักชวนกันทำความเข้าใจ ปรับปรุง วิเคราะห์ และประเมินมุมมองของตนเอง เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับการคิดอย่างสร้างสรรค์

ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ในขั้นนี้นักเรียนจะได้ออกแบบชิ้นงานหลากหลาย เพื่อเลือกชิ้นงานที่ดีที่สุด ไปสู่การบรรลุเป้าหมายของสถานการณ์สอดคล้อง สิริรักษา กิจเกื้อกูล (2558) ที่กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นส่งเสริมให้ผู้เรียนทุกคนสามารถสร้างสรรค์ชิ้นงานและมีทักษะในการออกแบบ และคิดหาวิธีแก้ปัญหาได้ตามสภาพจริง

ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนต้องได้วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ โดยครูผู้สอนต้องตรวจสอบการวางแผนการดำเนินงานว่าใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ สอดคล้องกับสุจิตา การิมี่ (2560) ที่กล่าวว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เป็นกระบวนการทำงานที่จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน รู้จักการวางแผน การแก้ปัญหา เข้าใจถึงกระบวนการที่ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่ของวิศวกร ที่ต้องมีการวางแผนการทำงาน การปรับปรุงแก้ไขการคิดค้นแนวทางที่หลากหลายเพื่อทดสอบวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนต้องเลือกวิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสม ทำการประเมินผลชิ้นงาน ปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับ วิจารณ์ พานิช (2556) ที่กล่าวว่า การเปิดใจยอมรับและตอบสนองต่อมุมมองใหม่ๆ ทำได้โดยฟังข้อคิดเห็นจากกลุ่ม รวมทั้งการประเมินผลงานจากกลุ่มเพื่อนำไปปรับปรุง

ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในขั้นนี้นักเรียนจะได้นำเสนอชิ้นงาน และการแก้ไขชิ้นงานของตนเองสอดคล้องกับ ดารารัตน์ ชัยพิลา (2559) ที่กล่าวว่าขั้นนำเสนอวิธีแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนที่แต่ละกลุ่มทำการรายงานผลการดำเนินการแก้ปัญหา โดยมีการรายงานและอภิปรายถึงข้อดีข้อด้อยของชิ้นงาน ความสำเร็จของการดำเนินงาน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง

2. ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง เสี่ยง สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ผลการวิเคราะห์คะแนน พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ตรวจจากการบันทึกในใบกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3 ผู้เรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นทุกพฤติกรรมที่กำหนด โดยมีพฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุดและน้อยที่สุด ดังต่อไปนี้

พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุดคือ การทำงานกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ในทุกวงจรปฏิบัติการ เนื่องจากในการจัดการเรียนรู้นั้นมีขั้นตอนหลายขั้นตอนที่ต้องอาศัยการทำงานเป็นทีม มีการระดมสมอง เพื่อแสดงความคิดเห็นของสมาชิกกลุ่มและนำมาสังเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปร่วมกัน กิจกรรมเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นทุกคนอย่างเท่าเทียมกัน ช่วยกันเติมเต็มในส่วนที่สมาชิกขาด และนักเรียนทุกกลุ่มก็แสดงพฤติกรรมย่อยออกมาชัดเจนมีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์

จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก นอกจากนั้นนักเรียนได้ทำการฝึกการระดมสมองในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และวงจรปฏิบัติการที่ 2 ทำให้เข้าใจในวิธีการทำงานมากขึ้นอีกด้วยสอดคล้องกับดาร์เรตัน ซัยพิลา (2559) ที่กล่าวว่า STEM Education เป็นแนวทางการจัดการศึกษาเพื่อปลูกฝังให้เกิดทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยทักษะที่เพิ่งเกิดขึ้นนั้นได้แก่การทำงานเป็นทีม ทักษะการสื่อสาร ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล และทักษะการแก้ปัญหา

พฤติกรรมที่มีคะแนนน้อยที่สุดได้แก่ การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ เนื่องจากพฤติกรรมที่นักเรียนต้องแสดงออกมาต้องแสดงให้เห็นการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของนักเรียน ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยยังฝึกนักเรียนไม่เพียงพอที่จะให้นักเรียนแสดงพฤติกรรม สอดคล้องกับ วิจารณ์ พานิช (2556) ที่กล่าวว่า การจะเกิดทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ ต้องใช้เทคนิคสร้างมุมมองหลากหลายเทคนิค เช่น การระดมความคิด (brainstorming) สร้างมุมมองแปลกใหม่ ทั้งที่เป็นการปรับปรุงเล็กน้อยจากของเดิม หรือเป็นหลักการที่แหวกแนวโดยสิ้นเชิง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน

1. การนำเทคนิคการระดมสมองไปใช้ในการจัดกิจกรรม ผู้วิจัยควรให้นักเรียนได้รู้จักและคุ้นเคยกับการระดมสมองในกิจกรรมการเรียนการสอนในเรื่องอื่นๆ ก่อนเพื่อให้นักเรียนเข้าใจวิธีการ และนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องชี้แจงให้ชัดเจนว่าจุดประสงค์ของการระดมสมองเพื่อให้เกิดอะไร บทบาทที่นักเรียนต้องทำคืออะไร

2. การนำเทคโนโลยีเข้ามาบูรณาการครูต้องมีการทดลองใช้แอปพลิเคชันหลายๆ แอปพลิเคชันและให้นักเรียนทำการโหลดมาก่อนล่วงหน้า และข้อควรระวังในการใช้แอปพลิเคชันในการทดลอง ครูต้องทำการตรวจความถูกต้องของข้อมูลที่นักเรียนอ่านได้จากแอปพลิเคชันว่ามีความถูกต้อง นำเชื่อถือหรือไม่ก่อนให้นักเรียนไปทำการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปสามารถใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนี้ เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดขั้นสูงอื่นๆ ที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ได้ เช่น การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การคิดวิเคราะห์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- โครงการPISAประเทศไทย. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). *กรอบโครงสร้างการประเมินผลนักเรียนโครงการ PISA 2015*. กรุงเทพฯ: บริษัทซัคเซสพับลิเคชัน จำกัด.
- พรทิพย์ ศิริภักทราชัย. (2556). STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. *วารสารนักบริหาร*, 33(2), 49-56.
- ลือชา ลดาชาติ.(2562). สะเต็มศึกษาและการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามความเข้าใจและมุมมองของครู. *วารสารศึกษาศาสตร์*, 30(1), 89-101.

- วัชรรา เล่าเรียนดี และคณะ. (2560). กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้เชิงรุก เพื่อพัฒนาการคิดและยกระดับคุณภาพการศึกษา สำหรับศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ: เพชรเกษมพรี้นติ้ง กรุ๊ป.
- วิจารณ์ พานิช. (2556). การสร้างการเรียนรู้ศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ: ส. เจริญการพิมพ์.
- วิฑิต วรรณเลิศลักษณ์. (2560). *คลื่นเสียง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน 2562, จาก <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7247-2017-06-12-15-31-26>.
- จรรยาพงษ์ ชลสินธุ์ (2561). การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้เรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบสัมพันธ์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 20(2), 32-46.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *สะเต็มศึกษา*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2561. จาก <http://www.stemedthailand.org/wp-content/uploads/2015/03/newIntro-to-STEM.pdf.pdf>.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). *สรุปผลการวิจัยโครงการ TIMSS 2015*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2561. จาก <https://drive.google.com/file/d/0Bza8voFmdFsrRGLYbmdPa0pkXzg/view>.
- สิรินภา กิจเกื้อกุล. (2558). *สะเต็มศึกษา. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 17(2), 201-207.
- สุธิดา การิมี่. (2560). *การใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อเสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์และทักษะการแก้ปัญหา*. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2561 จาก <http://oho.ipst.ac.th/edp-creative-problem-solving1/>.
- สุพรรณิ ชาญประเสริฐ. (2558). การออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษากับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. *นิตยสาร สสวท.*, 43(192), 3-5.
- สุธีระ ประเสริฐสรรพ. (2559). *สะเต็มศึกษา: ปัญหาจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม*. สงขลา: นำศิลป์โฆษณา.
- ดาร์รัตน์ ชัยพิลา. (2559). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคิด STEM Education เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์เรื่อง ปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารศึกษาศาสตร์*, 27(2), 98-109.
- Catalina Foothills School District (2018). *Creativity and Innovation Rubric Grades 9-12* Retrieved from https://www.cfsd16.org/application/files/4715/2989/2859/K-12_CREATIVITY-INNOVATION_2018.pdf.
- Kemmis, S. and McTaggart, R. (1988). *The action research planer* (3rded.). Victoria: Deakin University Partnership for 21st Century Learning. (2015). P21 Framework Definitions. pp.1-9.