

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สมดุลกล

ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

**STEM Education Based on Engineering Design Process on Mechanical
Equilibrium to Enhance of Creativity and Innovation
of the 10th Grade Students**

วรรณิภา เวทการ และ ธิติยา บงกชเพชร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

Wannipa Wethakan and Thitiya Bongkotphet

Naresuan University, Thailand

Corresponding Author, E-mail: wannipa0110@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และศึกษาผลการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สมดุลกล เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม รูปแบบการวิจัยเป็นวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน จำนวน 3 วงจรปฏิบัติการ กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดชัยนาท ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 24 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ใบกิจกรรม แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และแบบประเมินชิ้นงาน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแนวการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีลักษณะดังนี้ คือ ครูควรสร้างความตระหนัก ความสำคัญของสถานการณ์ ที่สำคัญสถานการณ์ต้องมีเงื่อนไขสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน นักเรียนได้วิเคราะห์บริบทของสถานการณ์ผ่านการระดมสมอง ออกแบบชิ้นงานหลากหลาย วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ เลือกวิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสม ทำการประเมินผลชิ้นงาน ปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น นำเสนอชิ้นงาน และแก้ไขชิ้นงานของตนเอง ส่วนผลการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังจากการจัดการเรียนรู้ นักเรียนพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม

* วันที่รับบทความ: 6 สิงหาคม 2565; วันแก้ไขบทความ 11 สิงหาคม 2565; วันตอบรับบทความ: 13 สิงหาคม 2565

Received: August 6, 2022; Revised: August 11, 2022; Accepted: August 13, 2022

พฤติกรรมการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์เป็นพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกได้มากที่สุดตลอดการจัดการเรียนรู้ และพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกมาได้น้อยที่สุดคือ การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม; ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม; สมดุลกล

Abstracts

This research aimed to study the learning processes of STEM Education Based on Engineering Design Process and production of Mechanical Equilibrium topic to enhance of Creativity and Innovation of the 10th Grade Students. The research methodology was classroom action research consisting of 3 cycles. The participants were 24 students in the 10th Grade in a Chainat province school, in the second semester, 2021. They were selected by purposive sampling. The research instruments included STEM Education Based on Engineering Design Process lesson plans, student artifact, reflection form, evaluation form of creativity and innovation, evaluation form of student artifact. The data analysis consisted of content analysis and statistics. The results showed that the learning processes of STEM Education Based on Engineering Design Process have the processes of the following: the teacher should realise the significant situation which it should be the conditions for the students. Students must analyse the disadvantages of the situation through brainstorming. Students will have to design various projects. Students have to plan projects. Students have to choose the appropriate project and present the project by themselves. The result of learning process of STEM showed that students develop the project continuously and students also have better scores. Nevertheless, the working creatively with others should be showed all through the learning process and the behavior that the students showed the least was Openness and courage to explore.

Keywords: STEM Education Based on Engineering Design Process; Creativity and Innovation; Mechanical Equilibrium

บทนำ

ความคิดสร้างสรรค์เป็นหนึ่งในทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่หลายๆประเทศให้ความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากศตวรรษที่ 21 นั้นเป็นยุคแห่งความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ผู้คนในยุคนี้จึงตกอยู่ในสถานะที่ต้องแข่งขันกันตลอดเวลา ผู้คนรุ่นใหม่จึงจำเป็นต้องมีความรู้ ความสามารถและทักษะในการประยุกต์และสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดคนยุคใหม่จึงต้องฝึกความคิดสร้างสรรค์ เพราะโลกกำลังเปลี่ยนยุค จากยุคความรู้สู่ยุคนวัตกรรม การฝึกความคิดสร้างสรรค์จึงสำคัญยิ่ง วิจารณ์ พานิช (2556 : 57)

ปัญหาการขาดความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่สะท้อนมาจากผลการจัดอันดับจากสถาบันที่ได้รับการยอมรับในระดับโลก เรื่อง ความสามารถในการแข่งขัน คือ IMD (International Institute for Management Development) ซึ่งเป็นการประเมินศักยภาพและความพร้อมทางเศรษฐกิจต่อการเติบโตในอนาคตของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งผลการจัดอันดับขีดความสามารถในการแข่งขันของโลกประจำปี ค.ศ. 2021 ประเทศไทยอยู่ในลำดับที่ 28 จากทั้งหมด 64 ประเทศและเขตเศรษฐกิจทั่วโลกที่เข้ารับการประเมิน ในรายงาน IMD ได้สรุปปัจจัยที่กระทบต่อการประเมินในปี ค.ศ.2021 พบว่า นวัตกรรม ถือเป็นหัวใจสำคัญของการขับเคลื่อนกิจกรรมทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน การสร้างนวัตกรรมก็ยังจำเป็นต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานทางการศึกษา ซึ่งระบบโครงสร้างพื้นฐานด้านการศึกษาของประเทศไทยได้รับคะแนนค่อนข้างต่ำ อยู่ลำดับที่ 56 จาก 64 ประเทศทั่วโลก (IMD World Competitiveness Ranking 2021) โดยนวัตกรรมยังมีความสัมพันธ์กับความคิดสร้างสรรค์ และเป็นตัวบ่งชี้ถึงความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และคุณภาพในการจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย

นอกจากปัญหาดังกล่าวข้างต้นแล้วผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาฟิสิกส์ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่างๆ โดยใช้เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบประเมินชิ้นงาน และแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม จากการบันทึกหลังสอนของครู เมื่อสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนขณะทำกิจกรรมในเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ที่กำหนดสถานการณ์ให้นักเรียนสร้างเครื่องยิงวัตถุ พบว่า นักเรียนขาดความคิดริเริ่มในการออกแบบหรือร่างภาพชิ้นงาน ไม่สามารถเสนอวิธีการทดลองและออกแบบการทดลองหรือสร้างชิ้นงานด้วยตนเอง ต้องดูต้นแบบจากการสืบค้นและได้รับคำแนะนำจากครูผู้สอนจึงจะสามารถสร้างชิ้นงานออกมาได้ และใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน อีกทั้งชิ้นงานที่นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบมานั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกัน นักเรียนไม่สามารถเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงานได้ และยังไม่คำนึงถึงประเด็นหลักในด้านของความคิดสร้างสรรค์และเงื่อนไขสถานการณ์ที่ครูกำหนดแสดงให้เห็นว่านักเรียนยังขาดความคิดริเริ่ม หรือความคิดแปลกใหม่ในการสร้างสรรค์นวัตกรรม

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ควรเน้นให้ผู้เรียนมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือรูปแบบการจัดการเรียนรู้ในลักษณะบูรณาการมากขึ้น โดยเฉพาะวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นต้น หรือกระบวนการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันที่สุดคล้องต่อบริบทในชีวิตจริง โดยรูปแบบของการแก้ปัญหานั้น ควรมีการส่งเสริมให้นักเรียนได้แสดงออกทักษะการคิดในหลายๆแง่มุม มีกระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นระบบเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างนวัตกรรมที่มีคุณค่าและแปลกใหม่ ซึ่งการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ามาใช้ร่วมในการจัดการเรียนรู้นั้น จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริงเพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่ประสมอย่างเป็นขั้นเป็นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนจะเป็นการฝึกฝนผู้เรียนให้

เกิดความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ด้วยเหตุผลนี้การจัดการเรียนรู้จัดการเรียนรู้อตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงเป็นการจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรมของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของปัญหา และมีความสนใจที่จะศึกษาแนว การจัดการเรียนรู้อตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ส่งเสริมความคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สมดุลกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้อตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิง วิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สมดุลกล
2. เพื่อศึกษาผลการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สมดุลกล เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้อตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis & McTaggart (1988 : 11) ประกอบด้วยกิจกรรมการวิจัยที่สำคัญ 4 ขั้นตอนหลัก คือ 1) วางแผน (planning) 2) ปฏิบัติ (action) 3) สังเกต (observation) 4) สะท้อนผล (reflection) กระบวนการ และผลการเปลี่ยนแปลงที่ เกิดขึ้น และปรับปรุงแผนปฏิบัติ (re-planning) โดยดำเนินการจนครบ 3 วงจรปฏิบัติการโดยรายละเอียด ระเบียบวิธีวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัด ชัยนาท ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวนนักเรียน 24 คน ซึ่งได้จากการคัดเลือก แบบเจาะจง โดยผู้วิจัยได้ทำการแบ่งกลุ่มนักเรียนคละความสามารถ แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 6 คนโดยดู จากผลการเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ 1 ในภาคเรียนที่ผ่านมาของกลุ่มเป้าหมาย

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่

- 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้อตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม จำนวน 3 แผน แผนละ 4 ชั่วโมง โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 เรื่อง ได้แก่ 1) สมดุลกล 2) สมดุลต่อการหมุน 3) เสถียรภาพของวัตถุ รวมทั้งหมด 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยแต่ละแผนมี ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้อจำนวน 6 ขั้น ดังนี้ 1) ขั้นระบุปัญหา 2) ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับ

ปัญหา 3) ขั้นตอนแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) ขั้นตอนวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ขั้นตอนทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน 6) ขั้นตอนเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผู้วิจัยกำหนดสถานการณ์ที่ 1 สมมติให้นักเรียนรับบทบาทเป็นวิศวกรในบริษัทแห่งหนึ่ง ลูกค้าต้องการสร้างเขื่อนสำหรับกักเก็บน้ำ และใช้เป็นถนนหรือเส้นทางคมนาคมสำหรับรถยนต์ทั่วไป และรถบรรทุกขนาดใหญ่ได้ ชิ้นงานที่มอบหมาย คือ แบบจำลองโครงสร้างเขื่อน สถานการณ์ที่ 2 สมมติให้นักเรียนรับบทบาทเป็นช่างรับทำอุปกรณ์จับปลา โดยมีชาวบ้านมาว่าจ้างทำยอยกปลาที่ใช้แรงในการยกน้อยลง แต่สามารถยกปลาที่มีน้ำหนักมากได้ ราคาประหยัด และทนทานต่อการใช้งาน ชิ้นงานที่มอบหมาย คือ สร้างยอยกปลาผ่อนแรง สถานการณ์ที่ 3 สมมติให้นักเรียนเป็นช่างในร้านขายของเล่นสำหรับเด็กแห่งหนึ่ง มีลูกค้ามาสั่งทำตุ๊กตาดารุมะ (Daruma) เพื่อมอบเป็นของขวัญให้กับลูกชาย โดยระบุเงื่อนไขต่างๆ ชิ้นงานที่มอบหมายคือ ตุ๊กตาดารุมะสำหรับเด็ก ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้มีการบูรณาการเนื้อหาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมดผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1) ใบกิจกรรม ผู้วิจัยสร้างใบกิจกรรมเพื่อเก็บข้อมูลความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในแผนการจัดการเรียนรู้ ออกแบบให้นักเรียนทำงานเป็นรายกลุ่ม มีจุดประสงค์เพื่อใช้ประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยผู้วิจัยจะกำหนดสถานการณ์ที่ท้าทายความสามารถให้ไว้ในแต่ละใบกิจกรรม ซึ่งแต่ละแผนจะแตกต่างกันไป โดยนักเรียนจะต้องวิเคราะห์สถานการณ์และระบุความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อจำกัด เงื่อนไขต่างๆ มีการบันทึกการระดมสมองของสมาชิกในกลุ่ม ออกแบบภาพร่างชิ้นงานจำนวน 3 แบบไม่ซ้ำกัน ทำการทดสอบชิ้นงาน ประเมินผลชิ้นงาน แก้ไขปรับปรุงชิ้นงาน และนำเสนอผลงาน พร้อมแนวทางในการปรับปรุงชิ้นงาน โดยมีข้อคำถามและกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนแสดงออกถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เมื่อสร้างเสร็จนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านตรวจสอบความครอบคลุม ความเหมาะสมของข้อคำถาม ให้คำแนะนำ และนำมาปรับปรุง แก้ไข จัดพิมพ์ใบกิจกรรมฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมายต่อไป โดยใบกิจกรรมผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

2) แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครู และผู้เชี่ยวชาญ (ผู้เชี่ยวชาญเป็นครูชำนาญการพิเศษที่มีประสบการณ์การสอนในรายวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี) ผู้วิจัยได้กำหนดข้อคำถาม ได้แก่ จุดเด่น จุดด้อย อุปสรรค/ ปัญหาที่พบ และแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหา เพื่อใช้สอนในครั้งต่อไป และนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อคำถาม เมื่อผ่านการพิจารณาแล้ว นำมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และจัดพิมพ์ฉบับสมบูรณ์

เพื่อนำไปใช้จริงในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

3) แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ผู้วิจัยกำหนดรูปแบบการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนตามกรอบของ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018 : Online) โดยนักเรียนจะต้องแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้งหมด 6 พฤติกรรม ดังนี้ การสร้างความคิด การออกแบบและปรับแต่งความคิด การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ และการควบคุมและการสะท้อนตนเอง จากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับเกณฑ์การประเมิน เมื่อผ่านการพิจารณาแล้ว นำมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และจัดพิมพ์ฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้จริงในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

4) แบบประเมินชิ้นงาน ผู้วิจัยกำหนดรูปแบบการประเมินชิ้นงานโดยปรับปรุงรูปแบบจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับพฤติกรรมของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยประเมินความสามารถในการสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากชิ้นงาน ต้นแบบที่ให้นักเรียนร่วมกันสร้างขึ้น โดยประเมินตามเกณฑ์ Rubric score แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีมาก ดี พอใช้ และปรับปรุง จากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับเกณฑ์การประเมิน เมื่อผ่านการพิจารณาแล้ว นำมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และจัดพิมพ์ฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้จริงในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบบชิ้นงานผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ อยู่ในระดับดี

เครื่องมือวิจัยทั้งหมดผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนสะเต็มศึกษา และวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 1 ท่าน อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนเรื่องสมดุลกล จำนวน 1 ท่าน และครูชำนาญการพิเศษที่มีประสบการณ์การสอนในรายวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี จำนวน 1 ท่าน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นที่ 1 วางแผน ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัญหาของห้องเรียนและข้อมูลของนักเรียน โดยสังเกตพฤติกรรมการแสดงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล ซึ่งมีเนื้อหาทั้งหมด 3 เรื่อง ได้แก่ สมดุลกล สมดุลต่อการหมุน และเสถียรภาพของวัตถุ

ขั้นที่ 2 ปฏิบัติการ และขั้นที่ 3 สังเกตการณ์ ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามที่ได้วางแผนไว้ ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยใช้ใบกิจกรรม ผู้วิจัยใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และแบบประเมินชิ้นงานในการประเมินความคิดสร้างสรรค์ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วย

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยระหว่างการจัดการเรียนรู้ผู้เชี่ยวชาญจะเข้าร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัย และหลังจากการจัดการเรียนรู้ ครูและผู้เชี่ยวชาญจะต้องเขียนสิ่งที่ตนสังเกตได้ลงในแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ขั้นที่ 4 สะท้อนผลการปฏิบัติ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากใบกิจกรรม แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ และ นวัตกรรม แบบประเมินชิ้นงาน และแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาวิเคราะห์ สะท้อนผลและปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป จนครบ 3 วงจรปฏิบัติการ

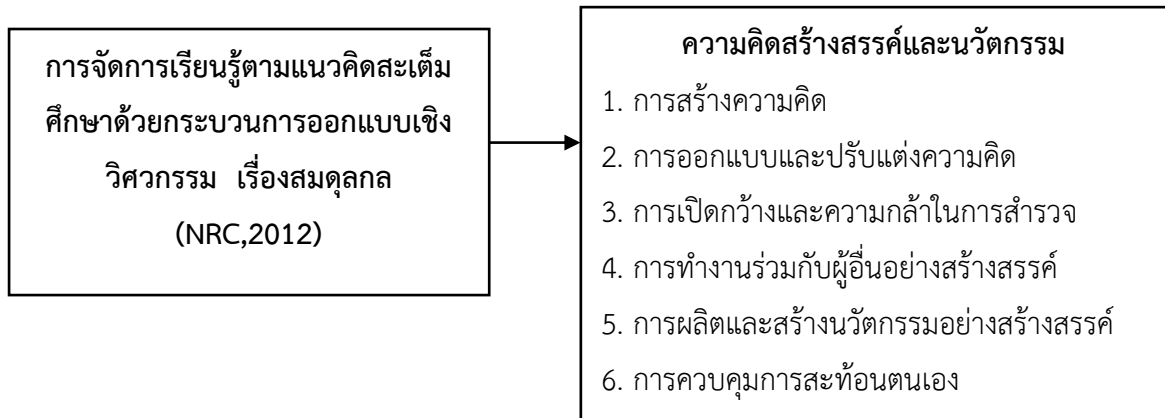
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง สมดุลกล โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครูและผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา โดยอ่านเนื้อหาจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ จัดกลุ่มข้อความตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 6 ขั้น และวิเคราะห์แยกข้อความในแต่ละขั้นออกเป็นจุดเด่น จุดด้อย อุปสรรค/ ปัญหาที่พบ แนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหา และพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก จากนั้นจับประเด็นสำคัญของประโยค โดยใช้วลีสั้นๆ เพื่อความเข้าใจง่ายและตรงกันสำหรับผู้อ่าน และทำการลงข้อสรุปเพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ทั้งหมดโดยเขียนเป็นความเรียง

2) การวิเคราะห์ผลการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สมดุลกล โดยใช้ข้อมูลจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม แบบประเมินชิ้นงาน และใบกิจกรรม ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากการใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลตามลักษณะพฤติกรรมที่กำหนดไว้ในเกณฑ์การประเมิน 6 พฤติกรรมหลัก 20 พฤติกรรมย่อย ที่นักเรียนแสดงออกระหว่างการจัดการเรียนรู้ในทุกขั้นตอนรวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรม ด้วยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาเพื่อดูพฤติกรรมที่กำหนดไว้ในเกณฑ์ และนำคะแนนจากการประเมินมาหาค่าเฉลี่ย และค่าร้อยละของนักเรียนที่แสดงในแต่ละพฤติกรรมหลัก

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษาเรื่อง การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สมดุลกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สมดุลกล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการมาวิเคราะห์เนื้อหาเพื่อสะท้อนการจัดการเรียนรู้ พบว่า แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมควรมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

1) ชั้นระบุปัญหา ครูควรเลือกใช้สถานการณ์ที่มีบริบทใกล้ตัวนักเรียน อาจเป็นบริบทในระดับท้องถิ่นที่นักเรียนอาศัยอยู่ ต้องสร้างความตระหนัก ความสำคัญของปัญหา ที่สำคัญสถานการณ์ต้องมีเงื่อนไขสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน ในการกำหนดสถานการณ์ ต้องใช้คำที่มีความสั้น กระชับ เข้าใจง่าย นักเรียนทุกคนสามารถอ่านแล้วแปลความหมายได้ตรงกัน ต้องระบุความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนดและข้อจำกัดต่างๆของสถานการณ์ได้

2) ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ในขั้นนี้ครูผู้สอนควรให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด เงื่อนไขและข้อจำกัด จากบริบทของสถานการณ์ เพื่อรวบรวมแนวคิดพื้นฐานที่จะใช้ในการออกแบบว่าอยู่บนพื้นฐานของการใช้วิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์อย่างไร มีเทคโนโลยี

อะไรที่ใช้ประโยชน์ในการสร้างชิ้นงานนี้ ครูจะต้องมีการตรวจสอบความรู้ที่นักเรียนได้รับจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อดูว่าเพียงพอที่จะไปใช้ในการออกแบบ และสร้างชิ้นงานให้บรรลุตามเกณฑ์ได้หรือไม่

3) ขั้นตอนออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ในขั้นนี้ครูผู้สอนควรมีการตรวจสอบความรู้เดิมเกี่ยวกับการเขียนแบบของนักเรียนในรายวิชางานช่าง อธิบายการเขียนแบบภาพร่าง 2 มิติ และ 3 มิติ พร้อมแสดงภาพตัวอย่างการเขียนแบบให้นักเรียนดู และเน้นย้ำถึงองค์ประกอบที่สำคัญในการเขียนแบบภาพร่าง คือ ต้องมีการระบุขนาดของชิ้นงาน และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ควรกระตุ้นให้สมาชิกภายในกลุ่มร่วมกันสืบค้น และช่วยกันออกแบบภาพร่างชิ้นงานโดยคำนึงถึงความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ให้มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร มีการคำนวณต้นทุนการผลิต ความคงทนแข็งแรง และร่วมกันวิเคราะห์ถึงข้อดี-ข้อเสียของแบบร่างเพื่อร่วมกันตัดสินใจเลือกแบบภาพร่างที่ดีที่สุดในการนำมาสร้างชิ้นงาน

4) ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ครูผู้สอนให้นักเรียนในกลุ่มร่วมกันวางแผนและกำหนดลำดับขั้นตอนในการทำงาน โดยเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการของตนเองอย่างละเอียดโดยอาจให้นักเรียนเขียนภาพประกอบตามลำดับขั้นตอนการสร้างชิ้นงานเพื่อสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจมากยิ่งขึ้น และสามารถปฏิบัติได้จริงตามขั้นตอน จากนั้นนำมาให้ครูตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ก่อนที่จะสร้างชิ้นงานจริง นอกจากนี้ครูผู้สอนต้องติดตามดูแลเป็นระยะๆ หากไม่บรรลุเป้าหมายในการสร้างชิ้นงานจึงคอยให้คำแนะนำเพื่อให้นักเรียนปรับปรุงแก้ไขให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด หากชิ้นงานของนักเรียนมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน ครูผู้สอนควรควรให้นักเรียนตกแต่งชิ้นงานเพิ่มเติม หรือเพิ่มความซับซ้อนของชิ้นงานให้มีจุดเด่นที่แตกต่างจากเพื่อน

5) ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ครูควรอธิบายขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน และชี้แจงรายละเอียดการประเมินชิ้นงานให้ชัดเจน และต้องคอยควบคุมในเรื่องความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ทุกคนยอมรับ และให้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการสะท้อนผลและประเมินผลชิ้นงานของตนเอง เพื่อตัดสินผลงานของตนเอง อภิปรายจุดแข็ง และจุดอ่อนในชิ้นงานของตนเอง และเสนอแนะแนวทางแก้ไขในการปรับปรุงชิ้นงานให้บรรลุตามเกณฑ์เงื่อนไขสถานการณ์ที่กำหนด

6) ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในขั้นนี้ให้นักเรียนนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยควรระบุประเด็นในการนำเสนอตั้งแต่สถานการณ์ปัญหาความต้องการเงื่อนไข การรวบรวมข้อมูล การวางแผนการปฏิบัติงานเพื่อแก้ปัญหา การทดสอบ และการประเมินผลเพื่อปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน และให้นักเรียนอธิบายว่าการออกแบบชิ้นงานอยู่บนพื้นฐานของการใช้ความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์อย่างไร มีเทคโนโลยีอะไรที่ใช้ประโยชน์ในการสร้างชิ้นงานนี้ ในระหว่างการทำงานเกิดปัญหาอุปสรรคระหว่างการสร้างชิ้นงานอย่างไร มีการปรับแก้อย่างไร และผลลัพธ์สุดท้ายเป็นไปตามเป้าหมายและความต้องการหรือไม่

2. ผลการศึกษาการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สมดุลกล เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

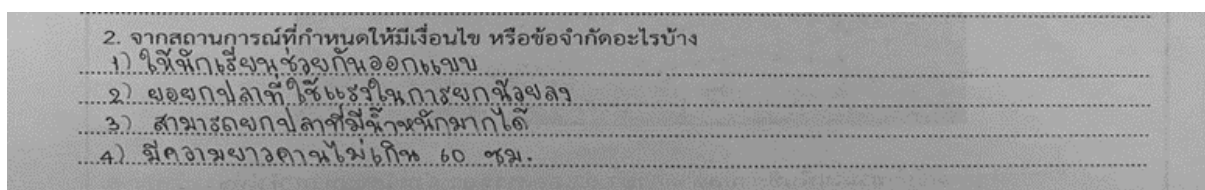
ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม แบบประเมินชิ้นงาน และใบกิจกรรม โดยผู้วิจัยนำเสนอผลการศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 3 วงจรปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ระหว่างจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3

พฤติกรรม	วงจรปฏิบัติการที่ 1		วงจรปฏิบัติการที่ 2		วงจรปฏิบัติการที่ 3	
	คะแนนเฉลี่ย	คิดเป็นร้อยละ	คะแนนเฉลี่ย	คิดเป็นร้อยละ	คะแนนเฉลี่ย	คิดเป็นร้อยละ
1. การสร้างความคิด (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)	2.00	66.67	2.25	75.00	2.50	83.33
2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด (คะแนนเต็ม 2 คะแนน)	1.00	50.00	1.25	62.50	1.50	75.00
3. การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ (คะแนนเต็ม 2 คะแนน)	0.75	37.50	1.00	50.00	1.25	62.50
4. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)	2.25	75.00	2.50	83.33	2.75	91.67
5. การผลิตงานและนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)	3.75	53.57	4.75	67.85	5.00	71.42
6. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)	1.75	58.33	2.00	66.67	2.25	75.00

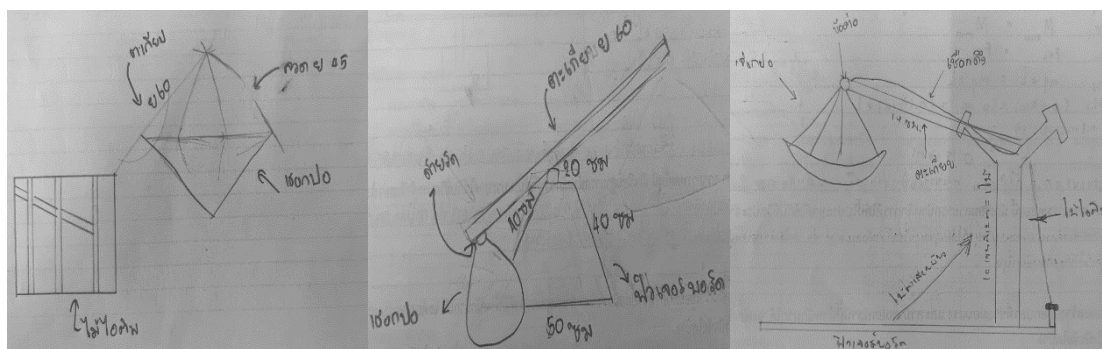
จากตารางที่ 1 พบว่า ในแต่ละวงจรปฏิบัติการมีคะแนนพฤติกรรมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพิ่มขึ้นตามวงจรปฏิบัติการ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งมีความสอดคล้องกับคะแนนความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม จากการประเมินในใบกิจกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ด้านพฤติกรรมการสร้างความคิด นักเรียนมีการระบุนโยบาย ความต้องการของกลุ่มเป้าหมายจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ ได้ถูกต้องครบถ้วน ตัวอย่างคำตอบดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้านการสร้างความคิดของนักเรียน

ด้านพฤติกรรมการออกแบบและการปรับแต่งความคิด การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ และการผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ โดยทั้ง 3 พฤติกรรมนี้ นักเรียนสามารถทำการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกันจำนวน 3 แบบ และมีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงานโดยระบุขนาด วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ตัวอย่างคำตอบดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้านการออกแบบและการปรับแต่ง

ด้านพฤติกรรมการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนแต่ละกลุ่มมีการสรุปความคิดของสมาชิกภายในกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดเห็นของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างกันของสมาชิก เพื่อหาข้อสรุปแนวทางในการออกแบบและสร้างชิ้นงาน โดยนักเรียนมีการบันทึกการระดมสมองของสมาชิกทุกคนภายในกระดาษโดยแสดงตัวอย่างการระดมสมองของนักเรียนกลุ่มที่ 3 ดังนี้

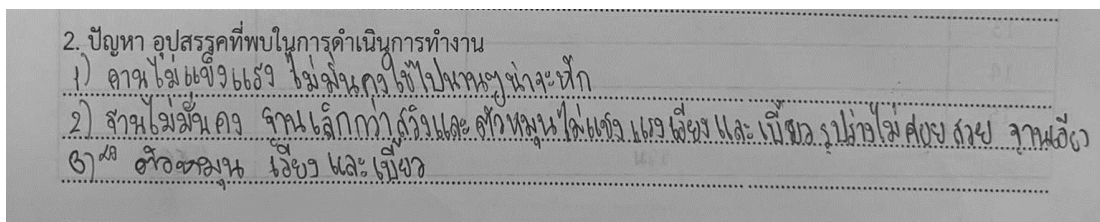
นักเรียนคนที่ 1 : เราใช้ฟิวเจอร์บอร์ดทำเป็นฐานล่างสุดเอาไว้ตั้งคานดีไหม

นักเรียนคนที่ 2 : ก็ได้เนาะ จะได้วางบนพื้นเรียบได้เวลาทดสอบ แต่ว่าฐานก็ต้องทำให้มันหนักนะ ถ้าฐานเบาเวลาใส่ปลาแล้วออกแรงกดคาน ฐานมันจะลอยได้ อาจจะต้องหาอะไรมายึดติดหรือทำให้ฐานมันหนัก อาจจะใช้ไม้ไอติมก่อกำแพงบนฟิวเจอร์บอร์ดอีกที

นักเรียนคนที่ 3 : แล้วคานจะออกแบบยังไง เอาแบบนี้ไหม แกเคยเห็นง่ามยิงหนังสติ๊กปะ เราว่าน่าจะทำเป็นคานได้นะ

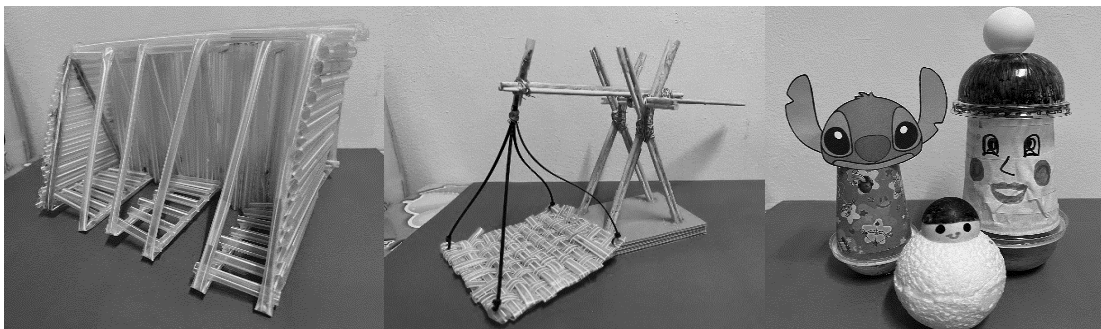
นักเรียนคนที่ 2 : มันก็พอได้อยู่ แต่ว่าถ้ามันมีแค่ง่ามเดียวมันจะรับแรงได้มากป่าว อีกอย่างน่าจะออกแบบคานให้ฐานมันกว้าง

ด้านพฤติกรรมกรรมการควบคุมและการสะท้อนตนเอง มีการระบุปัญหาอุปสรรคที่พบในระหว่างการทำชิ้นงานสร้างชิ้นงานของกลุ่ม พร้อมบอกแนวทางในการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงชิ้นงาน มีการประเมินความสำเร็จของตนเองในการสร้างและทดสอบชิ้นงานตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้านการควบคุมและการสะท้อนตนเอง

ด้านพฤติกรรมการผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนมีการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมาย มีการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเชิงลึก มีการนำวัสดุอุปกรณ์รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดเป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนด มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนดได้สำเร็จ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ

อภิปรายผลการวิจัย

1. นักเรียนมีพัฒนาการด้านความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด สะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยเพิ่มทักษะต่างๆ ที่ส่งเสริมให้นักเรียนแสดงออกถึงพฤติกรรมด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในระหว่างการทำกิจกรรม โดยผู้เรียนมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือกระบวนการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยในแต่ละขั้นตอนจะเป็นการฝึกฝนผู้เรียนให้เกิดความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมผ่านการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ ศึกษาค้นคว้า และทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มีการระดมสมองออกแบบชิ้นงานให้มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร และสามารถใช้ประโยชน์หรือแก้ปัญหาได้ มีการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ตรวจสอบชิ้นงาน นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน โดยความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเกิดจากการที่ผู้เรียนได้ฝึกเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ปัญหา สังเคราะห์จนนำไปสู่การพัฒนาเป็นนวัตกรรมของผู้เรียนได้ ซึ่งสอดคล้องกับ นัตยา หัสมิตร (2563 : 151) กล่าวว่า การจัดการเรียนตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่มีการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ามาใช้ร่วมในการจัดการเรียนรู้นั้นจะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริงเพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่ประสบอย่างเป็นขั้นเป็นตอน

2. ผลการวิเคราะห์คะแนน พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ตรวจจากการบันทึกในใบกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3 ผู้เรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นทุกพฤติกรรมที่กำหนด โดยมีพฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุดและน้อยที่สุด ดังต่อไปนี้ พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด คือ การทำงานกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ในทุกวงจรปฏิบัติการ เนื่องจากในการจัดการเรียนรู้นั้นมีขั้นตอนหลายขั้นตอนที่ต้องอาศัยการทำงานเป็นทีม มีการระดมสมอง เพื่อแสดงความคิดเห็น ของสมาชิกกลุ่ม และนำมาสังเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปร่วมกัน กิจกรรมเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นทุกคนอย่างเท่าเทียมกัน ช่วยกันเติมเต็มในส่วนที่สมาชิกขาด และนักเรียนทุกกลุ่มก็แสดงพฤติกรรมย่อยออกมาชัดเจน มีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก นอกจากนี้นักเรียนได้ทำการฝึกการระดมสมองในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และวงจรปฏิบัติการที่ 2 ทำให้เข้าใจในวิธีการทำงานมากขึ้นอีกด้วยสอดคล้องกับ ดารารัตน์ ชัยพิลา (2559 : 98-109) ที่กล่าวว่า STEM Education เป็นแนวทางการจัดการศึกษาเพื่อปลูกฝังให้เกิดทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยทักษะที่พึงเกิดขึ้นนั้นได้แก่

การทำงานเป็นทีม ทักษะการสื่อสาร ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล และทักษะการแก้ปัญหา

พฤติกรรมที่มีคะแนนน้อยที่สุด คือ การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ เนื่องจากพฤติกรรมที่นักเรียนต้องแสดงออกมา ต้องแสดงให้เห็นถึงการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของนักเรียน

ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยยังฝึกนักเรียนไม่เพียงพอที่จะให้นักเรียนแสดงออกถึงพฤติกรรมดังกล่าวได้อย่างเต็มที่ อันเนื่องมาจากระยะเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ภายใน 3 วงจรปฏิบัติการนั้นไม่เพียงพอ สอดคล้องกับ วิจารณ์ พานิช (2556 : 57) ที่กล่าวว่า การจะเกิดทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ ต้องใช้เทคนิคสร้างมุมมอง หลากหลายเทคนิค เช่น การระดมความคิด สร้างมุมมองแปลกใหม่ ทั้งที่เป็นการปรับปรุงเล็กน้อยจากของเดิม หรือเป็นหลักการที่แหวกแนวโดยสิ้นเชิง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. สถานการณ์ปัญหาเกี่ยวกับสมดุกลที่นำมาเป็นจุดเริ่มต้นเพื่อกระตุ้นความสนใจต้องมีความท้าทาย และต้องเหมาะสมกับระดับของนักเรียน สถานการณ์มีการระบุเงื่อนไข ความต้องการ ข้อจำกัดอย่างชัดเจนและนักเรียนเข้าใจได้ตรงกันทุกคน
2. เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมค่อนข้างใช้เวลามาก เวลาในคาบเรียน 4 ชั่วโมง อาจไม่เพียงพอต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมนอกเวลาเรียนในชั้นการสร้าง และการนำเสนอชิ้นงาน โดยครูต้องทำหน้าที่คอยติดตาม และประเมินผลการทำงานของนักเรียนระหว่างการทำกิจกรรมนอกเวลาเรียนด้วย

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมควรเชิญวิทยากรที่มีความรู้หรือความเชี่ยวชาญในเรื่องนั้นๆ มาให้ความรู้กับนักเรียนโดยเฉพาะขั้นรวบรวมข้อมูล และขั้นการออกแบบและวางแผน เพราะเป็นหัวใจสำคัญในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักเรียนจะสามารถเข้าใจได้อย่างลึกซึ้งว่าการออกแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปใช้ได้จริงต้องทำอย่างไร
2. ในการทำวิจัยครั้งต่อไปสามารถใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมนี้ เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดขั้นสูง ที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ได้ เช่น การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การคิดวิเคราะห์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- ดรรรัตน์ ชัยพิลา. (2559). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคิด STEM Education เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปฏิบัติการเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 27 (2), 98-109.
- นัตยา หัสมินทร์. (2563). การศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วิจารณ์ พานิช. (2556). การสร้างการเรียนรู้ที่ศตวรรษที่ 21 .กรุงเทพมหานคร: 8. เจริญการพิมพ์.
- Catalina Foothills School District (2018). *Creativity and Innovation Rubric Grades 9-12 Online*. Retrieved october 11, 2021 from : https://www.cfsd16.org/application/files/4715/2989/2859/K12_CREATIVITY-INNOVATION_2018.pdf .
- Kermis, S. and McTaggart, R. (1988). *The action research planer (3rded.)*. Victoria: Deakin University.