

**การพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม  
ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาวะสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4  
Developing Creativity and Innovation through Engineering Design Process based on  
STEM Education in Equilibrium topic for 10<sup>th</sup> Grade Students**

ไตรรงค์ เมธีผาติกุล<sup>1\*</sup> ธิติยา บงกชเพชร<sup>1</sup> และ คเชนทร์ แดงอุดม<sup>2</sup>  
Trairong Mathiphatikul<sup>1\*</sup> Thitiya Bongkotphet<sup>1</sup> Kachain Dangudom<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

<sup>2</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

<sup>1</sup>Educational Department, Faculty of Education, Naresuan University

<sup>2</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Naresuan University

\*Corresponding author, E-mail: trairongm59@nu.ac.th, โทร. 088-1751361

วันที่ส่งบทความ 5 มิถุนายน 2561 วันที่แก้ไขครั้งสุดท้าย 25 กรกฎาคม 2561

วันที่ตอบรับบทความ 31 กรกฎาคม 2561 วันที่เผยแพร่ออนไลน์ 1 กรกฎาคม 2562

### บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ช่วยพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในเรื่อง สภาวะสมดุล และเปรียบเทียบผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาวะสมดุล การวิจัยนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลกจำนวน 44 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาวะสมดุล จำนวน 3 แผนการจัดการเรียนรู้ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม ชิ้นงานของนักเรียน แบบนำเสนอผลงานของนักเรียน และแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา

ผลการวิจัยพบว่า วิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีลักษณะดังนี้ ผู้สอนควรเลือกสถานการณ์ที่ทำให้นักเรียนได้เกิดภาวะเฝ้าระวังของสถานการณ์และมีความเชื่อมโยงกับตัวนักเรียน ผู้สอนควรกระตุ้นให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ และทำการวางแผนร่วมกันและสร้างชิ้นงานขึ้นมาตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นจึงให้นักเรียนนำชิ้นงานไปทดสอบเพื่อหาปัญหาและทำการปรับปรุงพัฒนาชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และทำการนำเสนอผลการทำกิจกรรมพร้อมทั้งแลกเปลี่ยนแนวทางการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาชิ้นงานร่วมกันกับผู้อื่น นอกจากนี้ผลการเปรียบเทียบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้พบว่า จำนวนของนักเรียนที่แสดงพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่ม

สร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรมมีจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือในด้านการทำงานร่วมกับผู้อื่น  
อย่างสร้างสรรค์ และด้านการคิดอย่างสร้างสรรค์ ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา, ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, สภาพ  
สมดุล

## Abstract

The purpose of this research were to study how to use engineering design process based on STEM education to promoted creativity and innovation in equilibrium topic and to compare the students' creativity and innovation development through engineering design process based on STEM education in equilibrium topic. Research methodology was classroom action research. The participants in this research were forty-four 10<sup>th</sup> grade students during the second semester of 2017 academic years of school in Phitsanulok province. Research instruments consisted of engineering design process based on STEM education lesson plans, reflections form, students' worksheets, student's model, posters and creativity and innovation observation forms. Content analysis was used to analyze data in this study. For the results of research, learning management through engineering design process based on STEM education described as follow: teacher should select situations in activities that required students to analyse the situation and relate to students' daily life. Teacher must motivate students to discuss about how to solve problem of situations and cooperate for planning and creating the prototype. Then students test their prototype and improved or developed their prototype to reach its maximum performance. Finally, students should present their activity result and participate in classroom discussion to find suggestions with others. The result of the research was also shown that students' creativity and innovation have developed in all three competencies. The competencies that the students developed from the most to the least including implement innovations, work creatively with others, and think creatively.

**Keywords:** Learning management through engineering design process based on STEM education, Creative thinking, Equilibrium

## บทนำ

ในศตวรรษที่ 21 สังคมได้เข้าสู่ยุคของโลกาภิวัตน์ เป็นสังคมที่มีข้อมูลข่าวสาร มีการขยายตัวทางเทคโนโลยี  
อุตสาหกรรมบริการ มีการแข่งขันในด้านเศรษฐกิจและมีความต้องการแรงงานที่สามารถคิดแก้ปัญหา สร้างสรรค์สิ่งใหม่  
และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ การพัฒนาประชากรให้มีความสามารถและดำรงอยู่ในสังคมปัจจุบันได้นั้นจะต้องให้  
ความสำคัญแก่ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้รวมเป็นส่วนหนึ่งใน  
ชีวิตประจำวันของเราทุกคน โดยถูกนำมาใช้ในการเพิ่มศักยภาพในการแก้ปัญหา ทำให้เข้าใจผู้อื่นมากขึ้นและยังส่งเสริม

ให้ความสัมพันธ์ในสังคมให้ดีขึ้น (Gordon, 1961) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อการศึกษา เพราะวิทยาศาสตร์ ศิลปะ และความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นสิ่งที่ขาดกันไม่ได้ เนื่องจากความรู้และสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ ที่นักวิทยาศาสตร์ คิดค้นขึ้นมาล้วนมีรากฐานมาจากความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Marzano et al., 1988)

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการที่จะเร่งพัฒนานวัตกรรมและนำมาใช้ในการเพิ่มมูลค่าผลผลิตเพื่อเป็นอาวุธ สำคัญในการต่อสู้ในสนามแข่งขันโลก เป็นผลให้เกิดนโยบาย “Thailand 4.0” ที่ต้องการให้ประเทศไทยได้มีโอกาส กลายเป็นกลุ่มประเทศที่มีรายได้สูง จากการขับเคลื่อนประเทศด้วยการใช้เทคโนโลยี ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยมุ่งเน้นให้มีการนำความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมาทำให้เกิดสิ่งใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มในทางเศรษฐกิจ มุ่งเน้นการ พัฒนาระบบฐานภูมิปัญญาที่เกิดจากการใช้ความรู้และทักษะ การใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัยและการพัฒนา นวัตกรรม โดยคำนึงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับกรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (สำนักงาน คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2559) แต่จากการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และ นวัตกรรมแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยงานวิจัยของ Kim (2011) และ Bronson and Merryman (2010) แสดงระดับความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ของชาวอเมริกันในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมาลดลง โดยผู้คนส่วนใหญ่ไม่ยอมที่จะเปิดรับประสบการณ์ ความคิด หรือมุมมองใหม่จากผู้อื่น ซึ่งผลการวิจัยบอกว่าเหตุการณ์นี้ เกิดขึ้นกับคนทุกช่วงวัย โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กที่ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมีการลดลงโดยเด็กเหล่านั้นขาด จินตนาการและการแสดงออกทางการพูด ขาดการวิเคราะห์ข้อมูลและแรงกระตุ้นในการประเมินความคิดและเนื้อหา นอกจากนี้นักเรียนไทยเองก็ยังมีประสบปัญหาขาดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเช่นกันซึ่งเห็นได้จากงานวิจัยของ นิลาวรรณ สิงห์งาม (2559) ที่ได้จัดการเรียนรู้โดยให้นักเรียนสร้างสรรค์เว็บเพจออกมา โดยผลปรากฏว่า จากการ ประเมินชิ้นงานที่นักเรียนสร้างขึ้นมายังขาดความสวยงามและความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีนักเรียนบางคนที่ทำการคัดลอก ผลงานหรือรูปแบบจากเพื่อนมาส่งโดยไม่ได้ออกแบบขึ้นเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของอรพรรณ แก้วกันหา, จุฑามาศ ศรี จ้างง, และ จุรีรัตน์ ประवालัญญกร (2560) ที่พบว่านักเรียนขาดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยมีสาเหตุมาจาก นักเรียนเบื่อที่จะเรียน ไม่อยากคิด ไม่กล้าแสดงออก ไม่มีความสนใจและพยายามหาคำตอบด้วยตนเอง ขาดความ กระตือรือร้นในการทำกิจกรรม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของภัตสร ติตมา (2558) ที่พบว่านักเรียนไทยมักจะท่องจำเนื้อหา ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนที่กำลังศึกษาอยู่และเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากจบบทเรียนนั้นแล้วนักเรียนก็จะไปท่องจำ เนื้อหาในบทเรียนถัดไปและลืมเนื้อหาในบทเรียนก่อนหน้าที่ได้เรียนผ่านมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ผู้วิจัย ได้ทำการสอนในวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การวัดและความคลาดเคลื่อน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 โดยการสังเกต พฤติกรรมของนักเรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้ โดยกิจกรรมของการเรียนรู้ในชั่วโมงนี้คือให้นักเรียนได้ทำการทดลอง โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์และไมโครมิเตอร์ในการวัดขนาดของวัตถุที่กำหนดให้ในรูปแบบต่างๆ ผลปรากฏว่า เมื่อ นักเรียนได้รับมอบหมายงานจะมีตัวแทนของกลุ่มเพียง 1 หรือ 2 คนเท่านั้นที่ทำการออกแบบการทดลองและเริ่มต้น ดำเนินการทดลอง นักเรียนคนอื่นภายในกลุ่มจะไม่ได้มีส่วนร่วมในการคิด วางแผน ออกแบบการทำกิจกรรม เนื่องจาก นักเรียนเหล่านั้นไม่ยกนำเสนอความคิดเห็นและขอมีส่วนร่วมกับการทำกิจกรรมเพียงแค่การจดบันทึกข้อมูลลงในใบ กิจกรรมเท่านั้น แสดงให้เห็นว่านักเรียนกลุ่มนี้ยังขาดพฤติกรรมที่แสดงถึงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการ ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และเมื่อผลการทดลองมีปัญหา นักเรียนเหล่านี้ก็จะให้นักเรียนที่เป็นผู้ทำการทดลอง ดำเนินการแก้ปัญหาได้เลยโดยไม่ช่วยออกความคิดเห็นแต่อย่างใด ซึ่งก็แสดงให้เห็นอีกว่าพฤติกรรมด้านการคิดอย่าง สร้างสรรค์ของนักเรียนยังไม่ปรากฏ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการสุ่มประเมินผลนักเรียนเป็นรายบุคคลหน้าชั้นเรียนหลัง

การทำกิจกรรม พบว่า มีนักเรียนบางส่วนที่ยังไม่สามารถใช้เครื่องมือในการวัดได้ และไม่สามารถอ่านค่าการวัดได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจึงสรุปได้ว่านักเรียนยังขาดพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการออกแบบ (Design) วางแผน (Plan) และการแก้ปัญหา (Problem solving) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะต้องใช้องค์ความรู้จากหลายสาขาวิชาเพื่อนำมาพัฒนาและสร้างสรรค์ชิ้นงานภายใต้ข้อจำกัด หรือเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เนื่องจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะช่วยให้เด็กนักเรียนฝึกทักษะการวางแผนในการทำงาน การแก้ปัญหา และวิธีการทำงานอย่างเป็นระบบ (อภิสิทธิ์ ธงไชย, 2556) นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนได้ เนื่องจากการจัดการเรียนการสอนรูปแบบนี้จะต้องอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งนักเรียนจะได้เรียนรู้กระบวนการต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานหรือความรู้ใหม่ที่ทั้งนักเรียนและครูไม่เคยพบมาก่อน (พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ และเพยาว์ ยินดีสุข, 2557) อีกทั้งยังฝึกให้นักเรียนได้ทำงานเป็นทีมแบบวิศวกร ได้มีการฝึกการค้นหาคำตอบ และเอาความรู้มาประยุกต์ใช้และเชื่อมโยงเข้ากับชีวิตจริง (วิจารณ์ พาณิช, 2555) และมีการบูรณาการความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาเข้าด้วยกันเพื่อให้นักเรียนได้นำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหา ค้นคว้า และพัฒนาสิ่งต่างๆ ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ในปัจจุบัน โดยจะมีส่วนเข้ามาช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนได้ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้นักเรียนเห็นถึงความสัมพันธ์ของแต่ละศาสตร์ที่บูรณาการและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดนี้นักเรียนจะสามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ความสามารถในการประดิษฐ์ ความเชื่อมั่นในตนเอง ความคิดอย่างมีเหตุผล และความรู้ทางเทคโนโลยี (Breiner, Johnson, Harkness, & Koehler, 2012)

จากความสำคัญและสภาพปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเรื่อง สภาพสมมูล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อให้เกิดการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่พัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมมูล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
2. เพื่อศึกษาผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมมูล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

## นิยามศัพท์เฉพาะ

### วิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

วิธีการจัดการเรียนรู้นี้เป็นกระบวนการที่นักเรียนต้องประยุกต์ใช้ความรู้จากหลายวิชา ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนอย่างเป็นระบบ ปัญหาทางวิศวกรรมนั้นเกี่ยวข้องกับโลกความเป็นจริง และมีความเกี่ยวข้องกับตัวนักเรียนและสังคม มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา** นักเรียนจะทำความเข้าใจปัญหา วิเคราะห์เงื่อนไข หรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหา

**ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา** เป็นขั้นตอนที่นักเรียนจะทำการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด

**ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา** นักเรียนจะประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง เพื่อการออกแบบชิ้นงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดไว้

**ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา** ขั้นตอนนี้ นักเรียนจะทำการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงาน หรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

**ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน** นักเรียนจะทำการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม

**ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน** เป็นขั้นตอนในการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอน การแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงาน หรือการพัฒนาวิธีการของนักเรียนให้แก่ผู้อื่นได้เข้าใจและได้ให้ข้อเสนอแนะ เพื่อการพัฒนาต่อไป

#### **ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม**

ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เป็นความสามารถในการสร้างสรรค์ที่หลากหลาย มีลักษณะที่แปลกใหม่ ซึ่งอาจเกิดจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงจากความคิดเดิม ให้เกิดสิ่งแปลกใหม่และแตกต่างไปจากเดิม หรือเป็นการคิดเพื่อประดิษฐ์ผลงานขึ้นมาใหม่หรือเป็นการจินตนาการเพื่อสร้างสิ่งใหม่และแก้ปัญหาเดิมที่เกิดขึ้น อยู่บนรากฐานของหลักเหตุและผล ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 องค์ประกอบ ดังนี้

#### **1. การคิดสร้างสรรค์** โดยนักเรียนมีการแสดงออกถึงพฤติกรรมต่างๆ ดังนี้

- 1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด
- 1.2 สร้างสรรค์แนวคิดที่ใหม่และมีคุณค่าทั้งจากแนวความคิดเดิมหรือแนวความคิดใหม่
- 1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน

#### **2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์** โดยนักเรียนมีการแสดงออกถึงพฤติกรรมต่างๆ ดังนี้

- 2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ
- 2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน
- 2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่

2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความคิดสร้างสรรค์และการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ

**3. สร้างสรรค์นวัตกรรม** โดยนักเรียนจะได้นำแนวคิดที่มีมาสร้างชิ้นเป็นนวัตกรรมที่ใช้งานได้จริงซึ่งตรงตามเงื่อนไขของสถานการณ์ และสามารถชี้แจงความแตกต่างจากชิ้นงานของผู้อื่นได้

## วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบของการวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน ทำการวิจัยภายในห้องเรียนของผู้วิจัยเอง โดยดำเนินการวิจัยทั้งสิ้นเป็นจำนวน 3 วงจรปฏิบัติการ โดยในแต่ละวงจรปฏิบัติการนักเรียนจะได้ทำกิจกรรมดังรายละเอียดต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เนื้อหาเรื่องสมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางถ่วง นักเรียนจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างของอาคารจากหลอดดูดน้ำจำนวน 20 หลอดและดินน้ำมันจำนวน 1 ก้อน โดยให้มีการแข่งขันสร้างแบบจำลองอาคารให้มีความสูงมากที่สุดโดยอาคารนั้นจะต้องสามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลงเป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เนื้อหาเรื่องสมดุลต่อการหมุน สถานการณ์จะกำหนดให้นักเรียนสร้างสะพานจากหลอดดูดน้ำและเทปกาวภายใต้งบประมาณที่จำกัด โดยวางพาดบนโต๊ะ 2 ตัวที่อยู่ห่างกันเป็นระยะ 50 เซนติเมตร โดยมีการแข่งขันให้สะพานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกให้ได้มากที่สุดโดยไม่หักและพังลงมา

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เนื้อหาเรื่องการประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน สถานการณ์จะกำหนดให้นักเรียนสร้างอุปกรณ์ในการขนย้ายลูกบอลจากแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด 1 แผ่น และเชือก 1 เส้นที่มีความยาว 5 เมตร โดยแข่งขันทำการขนย้ายลูกบอลเป็นระยะทาง 5 เมตร ให้ได้จำนวนมากที่สุดภายในระยะเวลา 2 นาที ซึ่งผู้ขนย้ายจะไม่สามารถสัมผัสกับลูกบอลและเครื่องมือขนย้ายในระหว่างทำการขนย้ายได้ จะต้องใช้เชือกในการจับยึดอุปกรณ์เท่านั้น

โดยมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

### กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายของการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 ห้องเรียนแผนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จำนวน 44 คนซึ่งเป็นนักเรียนหญิงทั้งหมด คัดเลือกโดยการเลือกแบบเจาะจง ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่จะคุ้นเคยกับการสอนแบบบรรยายและการทดลองสาธิตตัวอย่าง ภายในห้องเรียนมีสื่ออำนวยความสะดวก ได้แก่ เครื่องฉายภาพ (projector) อินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) พัดลม และโต๊ะสำหรับทำงานร่วมกัน เป็นกลุ่มที่สามารถเคลื่อนย้ายให้เหมาะสมกับการทำงานได้

### ขอบเขตการวิจัย

#### 1. ด้านเนื้อหา

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เนื้อหาในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล โดยมีการบูรณาการกับสาขาวิชาอื่นตามหลักแนวคิดสะเต็มศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

**วิทยาศาสตร์** ความรู้ในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล ได้แก่ 1) สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางถ่วง 2) สมดุลต่อการหมุน และ 3) การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน และการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างชิ้นงานหรือแบบจำลอง

**เทคโนโลยี** เป็นกระบวนการทางเทคโนโลยีในการเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ให้เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นงาน หรือวิธีการแก้ปัญหาเรื่อง สภาพสมดุล ประกอบด้วย การบันทึกวิดีโอเพื่อบันทึกผลการทำกิจกรรม การสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต และการนำเสนอโดยใช้สื่อต่าง ๆ

**วิศวกรรม** เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวางแผนและออกแบบชิ้นงาน เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา รวมถึงการทดสอบและปรับปรุงพัฒนาชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

**คณิตศาสตร์** ทักษะและความรู้ที่ใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ได้อย่างเหมาะสม ได้แก่ การวัด การคำนวณต่าง ๆ การบวกลบเวกเตอร์ และตรีโกณมิติ รวมไปถึงการใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ

## 2. ด้านระยะเวลา

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการวิจัยในห้องเรียนรายวิชาฟิสิกส์ โดยใช้ระยะเวลาจำนวน 3 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 3 วงจรปฏิบัติการ วงจรปฏิบัติการละ 1 สัปดาห์ มี 4 คาบเรียนต่อสัปดาห์ แบ่งออกเป็น 2 ครั้ง ครั้งละ 2 คาบเรียน คาบเรียนละ 1 ชั่วโมง รวมระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย แผนจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม ชิ้นงานนักเรียน โปสเตอร์ และแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นและนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คนได้ทำการตรวจสอบคุณภาพ ประกอบไปด้วย อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา จากคณะศึกษาศาสตร์ จำนวน 1 คน อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ จากคณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 1 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้ซึ่งเป็นครูผู้ที่มีประสบการณ์สอนในโรงเรียนมากกว่า 10 ปี จำนวน 1 คน โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือดังต่อไปนี้

#### 1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ในการวิจัยนี้ใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งมีขั้นตอน 6 ขั้นตอนที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามแต่ละวงจรปฏิบัติการวงจรละ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งสิ้น 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ใช้เวลาแผนละ 4 ชั่วโมง โดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้จะมีส่วนสถานการณ์และกิจกรรมที่แตกต่างกับขึ้นอยู่กับเนื้อหาในการจัดการเรียนรู้ของวงจรปฏิบัติการนั้นๆ โดยมีรายละเอียดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามที่ได้แสดงไปข้างต้น

#### 2. แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้

มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สะท้อนผลการจัดการเรียนรู้และประสบการณ์ที่ได้รับหลังจากการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน เพื่อที่ผู้วิจัยจะได้นำไปใช้ในการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ ซึ่งมีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิดให้เขียนแสดงความคิดเห็น สภาพปัญหา ข้อดี ข้อด้อย สิ่งที่ยากให้คงไว้และสิ่งที่ควรแก้ไขของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้น โดยการสังเกตพฤติกรรมดำเนินการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยในแต่ละครั้งจากตัวผู้วิจัยเอง ครูผู้ที่มีประสบการณ์สอนภายในโรงเรียน และการเข้าสังเกตการสอนจากอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาและอาจารย์จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ โดยผู้เชี่ยวชาญเสนอให้มีการพัฒนาเครื่องมือคือ ให้เพิ่มเติมคำอธิบายสำหรับแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้ว่าแต่ละขั้นนั้นมีแนวทางในการจัดการเรียนรู้อย่างไร และให้เพิ่มหัวข้อการบันทึกในส่วนของข้อดีที่ควรคงไว้ในปฏิบัติการครั้งต่อไป

#### 3. ใบกิจกรรมของนักเรียน

มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้บันทึกการทำกิจกรรมของนักเรียนในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละวงจรปฏิบัติการ เพื่อที่ผู้วิจัยจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยรายละเอียดของใบกิจกรรมที่นักเรียนจะต้องทำการบันทึกมีดังต่อไปนี้ ปัญหาหรือเงื่อนไขของสถานการณ์ ความรู้ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาครั้งนี้ แนวทางการแก้ปัญหาหรือสร้างชิ้นงาน รูปแบบจำลองของชิ้นงาน ผลการทดสอบชิ้นงานและวิธีการปรับปรุง ผลการดำเนินกิจกรรม และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

#### 4. ชื่นงานนักเรียนและโปสเตอร์

มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการตรวจสอบนักเรียนว่ามีการนำความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเข้ามาใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานหรือไม่ นักเรียนสามารถนำแนวคิดมาสร้างสรรค์เป็นนวัตกรรมและมีขั้นตอนการสร้างอย่างไร โดยชิ้นงานของนักเรียนในแต่ละวงจรปฏิบัติการประกอบไปด้วย 1. แบบจำลองโครงสร้างอาคาร 2. แบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน และ 3. อุปกรณ์สำหรับขนย้ายลูกบอลพลาสติก นอกจากนี้จะมีการนำเสนอผลการทำกิจกรรมในรูปแบบของโปสเตอร์ โดยมีหัวข้อการนำเสนอ ดังนี้ ปัญหาของสถานการณ์ แนวคิดที่นำมาใช้สร้างชิ้นงาน แบบจำลองชิ้นงาน ปัญหาที่พบ วิธีการแก้ไขและพัฒนาชิ้นงาน แนวทางการพัฒนาต่อไป

#### 5. แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้บันทึกพฤติกรรมที่แสดงออกของนักเรียนในขณะที่มีการจัดการเรียนการสอน เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมที่บ่งบอกได้ว่านักเรียนเกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมขึ้นในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยมีลักษณะเป็นตารางบันทึกข้อมูลสำหรับนักเรียนแต่ละกลุ่มว่ามีพฤติกรรมใดเกิดขึ้นบ้างในแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้ตามองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ได้แก่ การคิดอย่างสร้างสรรค์ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และการนำความรู้มาสร้างเป็นนวัตกรรม

##### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการสอนและดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในรายวิชา ฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมมูล ในแต่ละวงจรของวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน วงจรละ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ ทั้งหมด 3 วงจรดังที่แสดงในข้างต้น โดยมีรายละเอียดการดำเนินการตามวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนดังนี้

##### ขั้นที่ 1 ขั้นการวางแผน

ผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเนื้อหา เรื่อง สภาพสมมูล จากนั้นทำการศึกษาหลักสูตรสถานศึกษาและคำอธิบายรายวิชา ว30202 ฟิสิกส์เพิ่มเติม 2 จากนั้นนำข้อมูลที่ศึกษามาเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ ตามขั้นตอนการสร้างและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

##### ขั้นที่ 2 ขั้นการปฏิบัติ

ผู้วิจัยได้ทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา จำนวน 1 แผน ใช้เวลาจำนวน 4 ชั่วโมง โดยให้นักเรียนทำใบกิจกรรม และสร้างชิ้นงาน พร้อมทั้งทำโปสเตอร์สำหรับนำเสนอ

##### ขั้นที่ 3 การสังเกต

ผู้วิจัยได้สังเกตผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยการเก็บข้อมูลจากใบกิจกรรม ชิ้นงานนักเรียน โปสเตอร์ และสังเกตพฤติกรรมโดยจดบันทึกลงในแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม พร้อมทั้งบันทึกผลการจัดการเรียนรู้ลงในแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้

##### ขั้นที่ 4 ขั้นสะท้อนผล

ผู้วิจัยจะร่วมทำการสะท้อนผลกับผู้เชี่ยวชาญ ทั้งผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยใช้แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม ชิ้นงานของนักเรียน รวมไปถึงการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงออกมาในระหว่างการจัดการเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยจะรวบรวมผลการพูดคุยอภิปรายร่วมกับผู้เชี่ยวชาญมาทำการวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ พร้อมทั้งหาวิธีการแก้ไขปัญหานั้น



เกิดขึ้น แล้วนำข้อมูลที่วิเคราะห์ที่ได้ไปตอบคำถามวิจัย และใช้ในการปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนรู้ในวงรอบปฏิบัติการครั้งต่อไป

ผู้วิจัยได้ปฏิบัติตามขั้นตอนข้างต้นทั้ง 4 ขั้นตอนที่ทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ในลักษณะทำซ้ำเป็นวงจรจนครบทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ

### **การวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์ผลโดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ

ตอนที่ 1 วิธีการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่พัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมมูล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ จากทั้งของผู้วิจัยเองและผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนที่เข้าร่วมสังเกตการณ์สอน มาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา เพื่อค้นหาอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดการเรียนรู้แล้วนำไปพัฒนาเพื่อสรุปวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมโดยวิเคราะห์ตั้งแต่และแผนว่าควรมีวิธีการจัดการเรียนรู้อย่างไร ในการจัดการเรียนรู้ครั้งต่อไปควรปรับปรุงในส่วนไหน แล้วผลที่เกิดขึ้นเมื่อทำการปรับปรุงเป็นอย่างไร แล้วนำมาเขียนสรุปเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในเรื่องสภาพสมมูล ที่เหมาะสมกับนักเรียนมากที่สุด

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมมูล โดยผู้วิจัยได้นำไปกิจกรรมของนักเรียน ชิ้นงานที่นักเรียนสร้าง โปสเตอร์ และแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยดูพฤติกรรมที่บ่งชี้ของนักเรียนและเนื้อหาในชิ้นงานของนักเรียนที่สะท้อนให้เห็นถึงการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในชั้นต่างๆ ของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาข้อสรุปว่านักเรียนเกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมอย่างไรบ้าง

### **ผลการศึกษา**

ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ แนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเรื่อง สภาพสมมูล และผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

#### **ตอนที่ 1 วิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเรื่อง สภาพสมมูล**

ผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอนโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### **ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา**

ในขั้นนี้ นักเรียนจะได้ร่วมกันศึกษาสถานการณ์เพื่อระบุปัญหาหรือเงื่อนไขร่วมกัน โดยผู้วิจัยแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มละ 4 ถึง 5 คน ให้แต่ละความสามารถของแต่ละคน จากนั้นก่อนการทำกิจกรรมผู้วิจัยได้แนะนำกิจกรรมให้นักเรียนได้เข้าใจว่าจะต้องศึกษาสถานการณ์และทำการระบุเงื่อนไขและปัญหาของสถานการณ์ที่กำหนดมาให้ลงในใบกิจกรรม ซึ่งนักเรียนก็สามารถที่จะระบุเงื่อนไขของสถานการณ์ได้ เช่น ต้องทำการสร้างแบบจำลองอาคารให้มีความสูงมากที่สุดโดยแบบจำลองจะต้องสามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลงมาเป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที หรือในระหว่างทำการขนย้าย

ลูกบอลห้ามมีการสัมผัสกับลูกบอลและแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด เป็นต้น โดยผู้วิจัยได้ทำการกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละคนเขียนบรรยายเงื่อนไขของสถานการณ์ให้ได้มากที่สุด จากนั้นจึงนำมาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับสมาชิกภายในกลุ่ม ซึ่งก็ได้พบปัญหาว่า นักเรียนยังมีความสับสนต่อการระบุปัญหาหรือเงื่อนไขของสถานการณ์ โดยนักเรียนเกิดข้อคำถามว่า การระบุเงื่อนไขของสถานการณ์ต้องทำอะไรบ้าง แล้วจำนวนอุปกรณ์กับเวลาที่ใช้ทำกิจกรรม ถือว่าเป็นเงื่อนไขของสถานการณ์หรือไม่ ผู้วิจัยจึงได้อธิบายร่วมกับนักเรียนว่าเงื่อนไขที่นักเรียนต้องระบุจากสถานการณ์ก็คือข้อกำหนดทุกประเภทที่จำกัดการทำกิจกรรมของนักเรียนไว้ ซึ่งปัญหาในส่วนนี้จะนำไปสู่การรวบรวมข้อมูลในขั้นที่ 2 และนำไปสู่การออกแบบสร้างชิ้นงานต่อไป นอกจากนี้การเลือกใช้สถานการณ์ที่นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมโดยตรงจะช่วยให้ นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรมมากขึ้น

### **ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา**

ในขั้นนี้นักเรียนจะได้ทำการวิเคราะห์เงื่อนไขและปัญหาของสถานการณ์ที่ได้รวบรวมไว้แล้วเพื่อทำการทบทวนความรู้ที่เกี่ยวข้องและสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับการสร้างแนวคิดใหม่เพื่อนำไปออกแบบชิ้นงานตามที่เงื่อนไขกำหนด ผู้วิจัยอาจมีตัวอย่างของชิ้นงานให้นักเรียนหรือมีแหล่งข้อมูลเบื้องต้นให้นักเรียนได้ลองเข้าไปศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการสืบค้น จากนั้นจึงให้นักเรียนทำการนำเสนอผลการสืบค้นของตนเองให้สมาชิกในกลุ่มช่วยกันวิเคราะห์และคัดเลือกแนวคิดที่เกี่ยวข้องและใช้ประโยชน์ได้แล้วทำการบันทึกผลการสืบค้นลงในใบกิจกรรม ซึ่งก็มีนักเรียนบางคนที่เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนเล็กน้อยโดยนักเรียนระบุความรู้ที่เกี่ยวข้องในการแก้ไขปัญหาลงในใบกิจกรรมว่า “ศิลปะ เพราะจะต้องทำแบบจำลองอาคารออกมาให้มีความสวยงาม” นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ไม่ได้ระบุถึงเทคโนโลยีที่มีการใช้ในระหว่างการทำกิจกรรมหรือความรู้ทางคณิตศาสตร์ เช่น การคำนวณค่าใช้จ่าย เป็นต้น หน้าที่ของผู้วิจัยจึงเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการอภิปรายร่วมกันเพื่อสร้างกรอบในการสืบค้นข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่สืบค้นมาว่าข้อมูลใดบ้างที่มีความถูกต้องหรือมีความจำเป็นและมีประโยชน์ต่อการดำเนินกิจกรรมในครั้งนั้นบ้าง

### **ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา**

ในขั้นนี้นักเรียนจะได้นำความรู้ที่รวบรวมไว้มาใช้วางแผนในการสร้างชิ้นงานของกลุ่มตนเอง โดยพิจารณาจากความเป็นไปได้และความสามารถสูงสุดของชิ้นงานที่จะสร้างออกมาภายใต้เงื่อนไขของสถานการณ์ ซึ่งผู้วิจัยก็จะได้ทำการเดินตรวจสอบนักเรียนตามกลุ่มและสอบถามนักเรียนเกี่ยวกับแนวทางการสร้างชิ้นงานจากข้อมูลที่รวบรวมไว้ ซึ่งก็พบว่า มีนักเรียน 3 กลุ่มจาก 10 กลุ่ม ที่ทำการคัดเลือกรูปแบบของโครงสร้างจากอินเทอร์เน็ต ซึ่งผู้วิจัยก็ได้ทำการซักถามนักเรียนเพิ่มเติมว่ามีส่วนใดบ้างหรือไม่ที่นักเรียนทำการดัดแปลงหรือปรับเปลี่ยนมาจากตัวอย่างที่ทำการสืบค้นมา ซึ่งนักเรียนก็ได้ตอบว่า “นำแบบมาจากอินเทอร์เน็ตแต่ทำการเปลี่ยนรูปแบบของฐานอาคารเพราะคิดว่าไม่น่าจะรองรับน้ำหนักของอาคารไว้ได้หากอาคารมีความสูงที่เพิ่มมากขึ้น” จึงแสดงให้เห็นว่าควรมีการตรวจสอบให้ชัดเจนว่านักเรียนมีการสร้างแนวคิดใหม่ขึ้นมาหรือทำการปรับปรุงแนวคิดเดิมหรือไม่ จากนั้นนักเรียนก็จะบันทึกแนวทางการสร้างชิ้นงานพร้อมกับวาดรูปแบบจำลองของชิ้นงานลงในใบกิจกรรม

### **ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา**

ในขั้นนี้นักเรียนได้ลงมือทำชิ้นงานตามที่วางแผนไว้ โดยผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาสำหรับการสร้างชิ้นงานให้นักเรียนได้ทราบ และคอยแจ้งเตือนให้กับนักเรียนได้ทราบเป็นระยะเพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนทำงานให้เสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนได้ทำการต่อรองขอเพิ่มเวลาและไม่ยอมที่จะเลิกสร้างแบบจำลองทำให้ใช้เวลาในส่วนนี้มากเกินไปใช้เวลาจากส่วนอื่น ผู้สอนจึงจำเป็นต้องจัดการเวลาให้เป็นไปตามที่วางแผนไว้ เพื่อที่จะได้ไม่ไปกระทบกับเวลาสำหรับการจัดการเรียนรู้ขั้นต่อไป นอกจากนี้ผู้สอนควรเดินสำรวจนักเรียนแต่

ละกลุ่มและทำการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนอย่างใกล้ชิดเพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลร่วมกับใบกิจกรรมและโปสเตอร์ของนักเรียน และผู้วิจัยยังต้องสังเกตว่านักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการสร้างชิ้นงานให้ต่างออกไปจากที่วางแผนไว้หรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลง ควรกระตุ้นให้นักเรียนทำการบันทึกผลการดำเนินการลงไปในใบกิจกรรมด้วย เพื่อแสดงถึงการปรับปรุงพัฒนาชิ้นงาน

#### **ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**

ในขั้นนี้นักเรียนจะนำผลงานที่สร้างเสร็จแล้วมาทำการทดสอบชิ้นงานเพื่อตรวจสอบและประเมินชิ้นงานว่าบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ มีปัญหาอะไรบ้าง สามารถแก้ไขได้อย่างไร ซึ่งนักเรียนจะทำการบันทึกสิ่งที่ค้นพบลงในใบกิจกรรม แล้วจึงทำการพัฒนาชิ้นงานต่อเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ผลปรากฏว่า ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 เมื่อนักเรียนทำการทดสอบชิ้นงานของตนเอง มีนักเรียน 4 กลุ่มที่ไม่สามารถทำให้แบบจำลองอาคารนั้นตั้งอยู่ได้นานเกิน 1 นาที นักเรียนจึงนำชิ้นงานกลับไปพัฒนาและสุดท้ายพบว่า มีนักเรียน 1 กลุ่มที่สร้างแบบจำลองเสร็จไม่ทันภายในเวลาที่กำหนด และมีนักเรียน 2 กลุ่มที่ไม่ผ่านการประเมินโดยแบบจำลองของนักเรียนได้ล้มลงมาก่อนเวลาครบ 1 นาที ส่วนในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนได้ทำการทดสอบสะพานของตนเองโดยมีตัวอย่างของกลุ่มนักเรียนที่ทำการทดสอบครั้งแรกสะพานสามารถรับน้ำหนักได้ 480 กรัม นักเรียนจึงทำการพัฒนาชิ้นงานของตนเองและเมื่อทำการแข่งขันสะพานของนักเรียนกลุ่มดังกล่าวก็สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 860 กรัม ดังนั้นในขั้นนี้ผู้สอนจึงควรทำหน้าที่เป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนตรวจสอบปัญหาและทำการพัฒนาชิ้นงานตนเอง โดยบันทึกผลการดำเนินการพัฒนาชิ้นงานลงในใบกิจกรรม นอกจากนี้หากมีการแข่งขันและรางวัลเข้ามาเกี่ยวข้องจะเป็นการสร้างแรงผลักดันให้กับนักเรียนในการทำกิจกรรมมากยิ่งขึ้น

#### **ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**

ขั้นนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทำกิจกรรมของนักเรียน โดยนักเรียนจะนำเสนอแนวคิดในการสร้างชิ้นงานของตนเอง ปัญหาที่พบระหว่างการพัฒนาชิ้นงาน แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข ผลการดำเนินงาน สิ่งที่ได้เรียนรู้ ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามนักเรียนที่นำเสนอเพื่อตรวจสอบความเข้าใจจากนั้นจึงทำการกระตุ้นนักเรียนกลุ่มอื่นๆ ที่รับฟังการนำเสนอโดยการให้แสดงความคิดเห็นต่อการทำงานของกลุ่มที่นำเสนอทั้งกับแนวทางการสร้างชิ้นงาน ปัญหาที่พบ หรือการดำเนินการแก้ไขชิ้นงาน ว่าดีหรือไม่อย่างไร มีข้อเสนอแนะอะไรเพิ่มเติมอย่างไร ซึ่งปรากฏว่า มีนักเรียนเพียงไม่กี่คนที่เสนอแนะความคิดเห็น ผู้วิจัยจึงให้นักเรียนอภิปรายที่ละกลุ่มเพื่อทำให้เกิดแนวทางที่นำไปสู่แนวคิดใหม่ๆ จากมุมมองอื่นที่ไม่ใช่มุมมองของผู้สร้างชิ้นงานเพียงอย่างเดียว

**ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเรื่อง สภาพสมดุลง ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดการเรียนรู้ โดยมีรายละเอียดดังแสดงได้ดังต่อไปนี้**

#### **การคิดอย่างสร้างสรรค์**

ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนต้องวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์เพื่อทำการรวบรวมแนวคิดสำหรับการแก้ปัญหาของสถานการณ์ แต่นักเรียนบางส่วนยังสามารถรวบรวมข้อมูลได้ครบถ้วนสมบูรณ์ โดย 1 ใน 3 ของนักเรียนทั้งหมดสามารถเขียนอธิบายถึงปัญหาและระบุความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมได้ ส่วนนักเรียนที่เหลืออีก 2 ใน 3 สามารถเขียนอธิบายความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ได้แต่ในบางส่วนมีความคลาดเคลื่อนไปจากวัตถุประสงค์เล็กน้อย ส่วนในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนทำการค้นหาข้อมูลหรือระบุปัญหาของสถานการณ์ด้วยตนเองก่อนจากนั้นจึงนำข้อมูลของตนเองมาพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับสมาชิกภายในกลุ่ม แต่มีนักเรียน 4 จาก 10 กลุ่มที่สมาชิกภายในกลุ่มไม่ได้ให้ความร่วมมือในการแสดงความคิดเห็นและไม่มีบทบาทในการอภิปรายภายในกลุ่ม และในวงจร

ปฏิบัติการที่ 3 นักเรียนทุกคนให้ความร่วมมือในการเสนอแนวคิดสำหรับการแก้ไขปัญหาทำให้เกิดการใช้เทคนิควิธีการระดมสมอง ซึ่งนักเรียนทุกคนนำเสนอวิธีการพัฒนาชิ้นงานในรูปแบบมุมมองของตนเองและยังช่วยวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแนวคิดที่ผู้อื่นนำเสนอออกมาทำให้เกิดการพัฒนาทางความคิด

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยภาพรวมแล้วนั้นนักเรียนสามารถรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการแก้ไขปัญหาซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานได้โดยการใช้เทคนิควิธีการสร้างแนวคิด นอกจากนั้นนักเรียนยังมีการวิเคราะห์และประเมินแนวคิดที่มีการนำเสนอเพื่อให้ได้แนวคิดที่เหมาะสมที่สุด แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าในการสร้างแนวคิดใหม่ผ่านการร่วมมือกันภายในกลุ่ม

#### **การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์**

ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนยังไม่สามารถที่จะสร้างแนวคิดขึ้นมาและทำการนำเสนอให้แก่ผู้อื่นได้เข้าใจในความคิดของตนเอง ซึ่ง 8 ใน 10 กลุ่มของนักเรียนมักจะทำงานด้วยนักเรียนเพียง 1 หรือ 2 คนเท่านั้น การตัดสินใจในการทำงานต่างๆ จึงเป็นของผู้ที่ทำงานเพียงผู้เดียว ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนมีการพัฒนาในกลุ่มเกิดขึ้น สมาชิกทุกคนภายในกลุ่มทำการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในการวิเคราะห์แนวคิดที่มีการนำเสนอมา แต่ในการนำเสนอแนวความคิดนั้นยังไม่ได้มาจากนักเรียนทุกคนภายในกลุ่ม แต่เป็นแนวคิดของนักเรียนบางคนภายในกลุ่มเท่านั้น ส่วนในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่านักเรียนทุกคนมีการนำเสนอแนวคิดสำหรับการสร้างชิ้นงานและให้การตอบกลับกับแนวคิดอื่นๆ ที่มีผู้นำเสนอมาเพื่อที่จะได้หาวิธีการที่ดีที่สุดในการแก้ไขปัญหา โดยนักเรียนแต่ละคนสามารถอธิบายถึงประโยชน์ของแนวคิดที่ตนเองนำเสนอได้ ซึ่งในขั้นของการวางแผนและพัฒนาชิ้นงานนักเรียนได้ออกแบบโดยการสร้างแบบจำลองและมีการพูดคุยวิเคราะห์เกี่ยวกับการสร้างชิ้นงานอยู่เสมอ และเมื่อมีการทดสอบชิ้นงานและเกิดปัญหาขึ้น นักเรียนทุกคนในกลุ่มก็ช่วยกันวิเคราะห์และหาวิธีการแก้ไขชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการแล้วพบว่านักเรียนมีความเข้าใจและสามารถที่จะระบุเงื่อนไขของสถานการณ์ได้ สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการดำเนินกิจกรรม และยังมีพัฒนาการในการนำเสนอแนวคิดและให้ข้อเสนอแนะแก่แนวคิดของผู้อื่นเพื่อนำไปสู่การพัฒนาต่อไป อีกทั้งยังสามารถเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่พบเจอแล้วนำมาใช้ในการพัฒนาชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### **การสร้างสรรค่นวัตกรรม**

ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานและพัฒนาแบบจำลองของตนเองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่ก็มีนักเรียนบางกลุ่มที่ยังไม่สามารถสร้างชิ้นงานให้บรรลุตามเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากนักเรียนต้องการสร้างแบบจำลองอาคารให้มีความสูงที่สุด แต่ในระหว่างการทำต่อเติมแบบจำลองอาคารนั้นแบบจำลองก็ได้พังลงมา นอกจากนั้นยังมีนักเรียนอีกหนึ่งกลุ่มที่สามารถสร้างแบบจำลองอาคารออกมาได้สำเร็จภายในเวลาที่กำหนดและเมื่อทำการประเมินชิ้นงานแบบจำลองอาคารของนักเรียนจำนวน 2 กลุ่มได้ไค่น้ำหนักก่อนที่เวลาจะผ่านไปครบ 1 นาที ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนทุกกลุ่มสามารถสร้างชิ้นงานออกมาได้สำเร็จลุล่วงตามที่เงื่อนไขกำหนดได้โดยการสร้างสะพานจากหลอดน้ำที่ไม่เกิดการหักงอเมื่อทำการบรรจุทุกน้ำหนักลงไป การประเมินผลจะเป็นการให้นักเรียนแข่งขันกันว่าสะพานใดที่สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด ผลปรากฏว่านักเรียนกลุ่มที่ชนะเลิศสามารถสร้างสะพานที่สามารถรับน้ำหนักได้มากถึง 1,370 กรัม แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้ลำดับสุดท้ายก็ยังสามารถสร้างสะพานให้รับน้ำหนักได้มากถึง 650 กรัม ส่วนวงจรปฏิบัติการที่ 3 นักเรียนจะต้องนำความรู้ที่ได้เรียนผ่านไปแล้วเกี่ยวกับสภาพสมดุลมาประยุกต์ใช้ในการสร้างเครื่องมือในการขนย้ายลูกบอลให้ได้มากที่สุดภายในเวลา 2 นาที ในระหว่างการจัดสร้างชิ้นงานมีการอภิปรายร่วมกันตลอดเวลาถึงสิ่งที่ควรจะเป็นหรือสิ่งที่จะต้องทำเพิ่มเติมลงในแบบจำลองที่พวกเขาสร้าง เนื่องจากนักเรียน

ต้องการให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการแข่งขัน เมื่อถึงการประเมินผลผู้ที่ชนะการแข่งขันสามารถขนย้ายลูกบอลได้เป็นจำนวน 15 ลูกแต่ก็ยังไม่ใช่จำนวนสูงสุดที่ขนย้ายได้เพราะกลุ่มที่สามารถขนย้ายได้สูงที่สุดคือ 17 ลูกแต่ทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในระหว่างการเทลูกบอลลงในถังน้ำเพราะว่าลูกบอลจำนวน 3 ลูกที่ลงไปไม่ถึงน้ำนั้นกระเด็นออกมาด้านนอกหรือบางลูกก็ไม่ตกลงไปในถังทำให้มียอดรวมอยู่ที่ 14 ลูก ส่วนกลุ่มที่ขนย้ายได้น้อยที่สุดก็สามารถขนย้ายลูกบอลได้เป็นจำนวน 6 ลูกเนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดในระหว่างการขนย้ายเช่นทำลูกบอลหล่นระหว่างทางหรือเทลูกบอลไม่ถึงถังน้ำ

จากการศึกษาทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการแล้วสามารถให้ข้อสรุปได้ว่านักเรียนทุกคนมีพัฒนาการในการสร้างชิ้นงานออกมาเป็นรูปธรรมและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงทุกคนตั้งแต่ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และยังคงสามารถสร้างชิ้นงานที่ดีได้อย่างต่อเนื่องในวงจรปฏิบัติการที่ 3

### อภิปรายผลการศึกษา

ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในเนื้อหาสภาพสมดุลสามารถช่วยให้ นักเรียนสามารถนำความรู้เรื่องสภาพสมดุลมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาของสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ด้วยการสร้างแนวคิดใหม่ขึ้นมาโดยผ่านการวิเคราะห์ ทดสอบวิธีการแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ภายใต้ข้อจำกัด และพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละขั้น ได้แก่ ขั้นระบุปัญหา ผู้วิจัยเตรียมสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่ศึกษา ให้นักเรียนได้เกิดการวิเคราะห์และได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานการณ์จริง เช่น ในเรื่องสมดุลต่ออารมณ์ สถานการณ์ให้สร้างแบบจำลองสะพานให้แข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด ซึ่งนักเรียนจะคุ้นเคยกับการใช้สะพานในชีวิตประจำวันทั้งเดินข้าม หรือขับรถผ่าน แต่ยังไม่ทราบในประเด็นว่าสิ่งใดที่สามารถช่วยให้สะพานมีความคงทนแข็งแรงรับน้ำหนักได้มาก ควรมีการใช้คำถามกระตุ้นให้เป็นแนวทางตัวอย่างในการค้นหาเงื่อนไขของสถานการณ์ ขึ้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนจะได้ทบทวนความรู้และค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับสิ่งจำเป็นสำหรับการแก้ปัญหา อาจมีตัวอย่างของแหล่งการเรียนรู้เบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการสืบค้นแก่นักเรียน ขึ้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนได้ออกแบบและวางแผนการสร้างชิ้นงานตามเงื่อนไขของสถานการณ์ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ที่สถานการณ์กำหนด นักเรียนจะได้แสดงความคิดเห็นของตนเองให้ผู้อื่นได้รับฟัง และร่วมกันวิเคราะห์ความสำคัญของแนวคิดต่าง ๆ ขึ้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนจะได้เริ่มต้นสร้างชิ้นงานตามที่ได้วางแผนเอาไว้ โดยอาจมีการปรับเปลี่ยนแผนการสร้างชิ้นงานได้ในระหว่างการสร้าง ขึ้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนนำชิ้นงานที่สร้างเสร็จแล้วมาทำการทดสอบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้และบรรลุตามจุดประสงค์หรือไม่ นักเรียนจะได้เรียนรู้จากข้อผิดพลาดและนำชิ้นงานกลับมาพัฒนาใหม่เพื่อให้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม ขึ้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนจะได้นำเสนอสิ่งที่ค้นพบและอภิปรายร่วมกับเพื่อน นักเรียนกลุ่มอื่นโดยการวิจารณ์ สะท้อนผล และให้คำแนะนำเพื่อหาแนวทางใหม่สำหรับการสร้างชิ้นงานที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับนิลารวรรณ สิงห์งาม (2559) ที่กล่าวว่า หากนักเรียนมีแรงจูงใจ และมีกรแลกเปลี่ยนเรียนรู้ แบ่งปันความคิดจากผู้อื่น จะส่งผลให้มีการสร้างแนวคิดใหม่ๆเกิดขึ้น และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของวันเพ็ญ นันทศรี (2560) ที่พบว่า ปัจจัยที่มีส่วนให้ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนเพิ่มขึ้นคือการที่นักเรียนได้ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเอง และได้แสดงความคิดเห็นแลกเปลี่ยนความคิดกับเพื่อนภายในกลุ่มก่อให้เกิดการแตกแขนงทางความคิดขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยของอภินภัส จิตรกร (2560) ยังพบว่าหากนักเรียนมีการพัฒนาของความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

นักเรียนก็จะสามารถทำการพัฒนาคุณภาพของชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากนักเรียนจะสามารถสร้างแนวทางในการแก้ปัญหาได้หลากหลาย และเลือกนำมาใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา สามารถช่วยพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในเรื่อง สภาพสมมูล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้โดยองค์ประกอบที่มีการพัฒนามากที่สุดคือการสร้างสรรค์นวัตกรรม เพราะนักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานจากการสร้างแนวคิดของตนเองที่เกิดจากการวิเคราะห์สถานการณ์ เพื่อแก้ไขปัญหาให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ โดยเป็นไปตามเงื่อนไขและข้อจำกัดของสถานการณ์ที่กำหนดไว้ และมีความแตกต่างไปจากชิ้นงานที่นักเรียนคนอื่นสร้างขึ้นมา ซึ่งสอดคล้องกับสิรินภา กิจเกื้อกูล (2558) ที่กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนทุกคนมีพัฒนาการในด้านการออกแบบและสามารถสร้างสรรค์ชิ้นงานขึ้นมาได้ สามารถคิดหาวิธีการแก้ไขปัญหาตามสภาพจริงที่เกิดขึ้น โดยการลงมือปฏิบัติหรือทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และงานวิจัยของภัสสร ติตมา (2558) ที่พบว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะช่วยให้นักเรียนเกิดการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยนักเรียนจะต้องออกแบบชิ้นงานอย่างเหมาะสมกับสถานการณ์ ต้องวางแผนการทำงานและทำการปรับปรุงชิ้นงานให้สมบูรณ์มากขึ้นร่วมกับผู้อื่น ซึ่งในภาพรวมแล้วนี้นักเรียนมีพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพิ่มมากขึ้นตามวงจรปฏิบัติการเพราะในระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนได้ออกแบบแนวคิด แลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกัน และสร้างสรรค์ชิ้นงานออกมาตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสอดคล้องกับอภิรักษ์ จิตรกร (2560) ที่กล่าวว่า นักเรียนที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมสูงจะสามารถเชื่อมโยงความคิดเข้ากับสถานการณ์ที่ได้เรียนรู้มาใหม่ ชอบแก้ปัญหาและมองหาแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาอย่างหลากหลาย ทั้งนี้งานวิจัยของอรพรรณ แก้วกันหา และคณะ(2560) ที่กล่าวว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นทักษะขั้นสูงดังนั้นจึงต้องมีการฝึกฝนและใช้เวลาเพื่อให้เกิดการพัฒนาขึ้น

### ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า การเลือกสถานการณ์ที่น่าสนใจ มีความเกี่ยวข้องกับตัวนักเรียนหรือให้นักเรียนมีส่วนร่วมโดยตรงกับกิจกรรมเช่น การที่ให้นักเรียนเป็นผู้แข่งขันเอง จะเป็นสิ่งที่จะช่วยกระตุ้นให้นักเรียนมีพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ทั้งด้านการคิดที่นักเรียนร่วมมือกันนำเสนอแนวคิดใหม่ การทำงานร่วมกันที่นักเรียนทุกคนดำเนินกิจกรรมร่วมกัน จนเกิดเป็นชิ้นงานออกมา นอกจากนี้ในระหว่างการทำกิจกรรมผู้สอนควรให้คำแนะนำและเป็นผู้คอยกระตุ้นให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมที่สื่อถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมออกมา และควรให้นักเรียนได้ลงศึกษาด้วยตนเองก่อนที่จะให้คำตอบแก่นักเรียน

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เป็นการบูรณาการของ 4 สาขาวิชาความรู้ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการจัดการเรียนรู้ให้แสดงถึงความสำคัญและการบูรณาการความรู้ทั้ง 4 สาขาวิชา แต่ผลปรากฏว่านักเรียนยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับเนื้อหาทางด้านเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์เท่าที่ควร โดยนักเรียนไม่ได้กล่าวถึงบทบาทการใช้เทคโนโลยีของนักเรียนในระหว่างการทำกิจกรรม และในส่วนของวิชาคณิตศาสตร์ก็ถูกมองข้ามไปซึ่งมีนักเรียนเพียงบางกลุ่มเท่านั้นที่พูดถึงบทบาทของคณิตศาสตร์ในการดำเนินกิจกรรมแต่ก็พูดถึงในเชิงพื้นฐานอย่างการคำนวณบวกลบเท่านั้น ดังนั้นหากได้มีโอกาสในการดำเนินการวิจัยในครั้งถัดไป ควรจัดแนวทางการจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนตระหนักถึงบทบาทของเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ให้เท่าเทียมกับวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เนื่องจากทุกสาขาวิชาสัมพันธ์กันและความสำคัญต่อการเรียนรู้มากเท่า ๆ กัน

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาการศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมถึงข้อเสนอแนะเพื่อใช้พัฒนาการวิจัยในครั้งนี้

## บรรณานุกรม

- ณพัชร อ้วน, นฤมล ยุตาคม, และพจนารถ สุวรรณรุจิ. (2559). สภาพการจัดการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ เพื่อคุณภาพชีวิต หมวดยุทธศาสตร์ศึกษาทั่วไป. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 11(2), 97-109.
- นิลาวรรณ สิงห์งาม. (2559). การพัฒนาบทเรียนบทเว็บโดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับกระบวนการสอนแบบซินเน็คติคส์ ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *วารสารบัณฑิตศึกษา*, 13(60), 151-166
- พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์, และเพียว ยินดีสุข. (2557). *การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัสสร ติตมา. (2558). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง ระเบิดร่างกายมนุษย์ ด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วันเพ็ญ นันทะศรี. (2560). การพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักศึกษาด้วยการเขียนแผนที่ความคิด. *วารสารบัณฑิตศึกษา*, 14(64), 43-50
- วิจารณ์ พานิช. (2555). *วิธีการสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ ในศตวรรษที่ 21*. กรุงเทพฯ : มูลนิธิสดศรี-สฤษดิ์วงศ์.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557) *สะเต็มศึกษา (STEM Education)*. กรุงเทพฯ : กระทรวงศึกษาธิการ
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2559) *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 (2560-2564)*. กรุงเทพฯ : สำนักนายกรัฐมนตรี
- สิรินภา กิจเกื้อกูล. (2558). *สะเต็มศึกษา. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 17(2), 201-207
- อภิรักษ์ จิตรกร. (2560). การพัฒนาการเรียนการสอนแบบร่วมกันแบบผสมผสานที่ใช้เทคนิคการแก้ปัญหาอนาคต เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์. *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร*, 37(1), 23-42
- อภิสิทธิ์ ชงไชย. (2556). เทคโนโลยีและวิศวกรรมคืออะไรในสะเต็มศึกษา. *นิตยสาร สสวท*, 42 (185), 35-37.
- อรพรรณ แก้วกันหา, จุฑามาศ ศรีจำนง, และจรัสรัตน์ ประवालัญญกร. (2560). การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ รายวิชาคอมพิวเตอร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 19(2), 289-304
- อรุณี ศรีวงษ์ชัย. (2551) *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนความสามารถในการให้เหตุผลและเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ระบบสมการเชิงเส้น* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

- Breiner, J.M., Johnson, C.C., Harkness, S.S., & Koehler, C.M. (2012). What is STEM? A discussion about Conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics, 112*(1), 3-11. doi: 10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x
- Bronson, P., & Merryman, A. (2010). *The Creativity Crisis*. Retrieved February 12, 2018, from <http://www.newsweek.com/creativity-crisis-74665>
- Gordon, W.J. (1961). *The Development of Creative Capacity*. Boston: Synecticsworld.
- Kim, K.H. (2011). The Creativity Crisis: The Decrease in Creative Thinking Scores on the Torrance Tests of Creative Thinking. *Creativity Research Journal, 23*(4), 285-295.
- Marzano, R.J., Brandt, R.S., Hughes, C.S., Jones, B.F., Presseisen, B.Z., Rankin, S.C., & Suthor, C. (1988). *Dimensions of Thinking: A Framework for Curriculum and Instruction, Association for Supervision and Curriculum Development*. Alexandria, VA : Association for Supervision and Curriculum Development.

#### Translated Thai References

- Buachoon, N., Yutakom, N., & Suwanruji, P. (2016). The Study of the State Teaching and Learning of Science for Quality of Life in General Education. *VRU Research and Development Journal Humanities and Social Science, 11*(2), 97-109 [in Thai]
- Chittrakorn, A. (2017). A Development of Collaborative Blended Learning Using Future Problem Solving Techniques to Promote Creativity in Graphic Design on Instructional Media of Pre-service Teacher Students, Silpakorn University. *Silpakorn University Journal, 37*(1), 23-42. [in Thai]
- Dechakoop, P., Yindeesuk, P. (2014). *Learning management in 21<sup>st</sup> century*. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. [in Thai]
- Kaewkanha, O., Srichumnong, J., & Pawanlanchakron, J. (2017). Action Research on Creative Thinking Development of Computer Subject in Prathomsuksa 5 Student at Bannumque School under The Office of Loei Primary Educational Service Area Office 1. *Journal of Education Naresuan University, 19*(2), 289-304. [in Thai]
- Kijkuakul, S. (2015). STEM Education. *Journal of Education Naresuan University, 17*(2), 201-207. [in Thai]
- Nahthasri, W. (2017). The Development Creative Skills of Students with Writing Mind Map. *Graduate Studies Journal, 14*(64), 43-50. [in Thai]
- Office of the National Economic and social Development Board. (2016). *National Economic and Social Development Plan Vol.12 (2017-2021)*. Bangkok: The Prime Minister. [in Thai]
- Panich, V. (2012). *How to Create Students' Learning in 21<sup>th</sup> Century*. Bangkok: Sodsri-Saridwongso Foundation. [in Thai]



- Singngam, N. (2016). The Development of a Web-based The Project based on The Teaching of Synnextic Raptors to Promote Creative Thinking for Students in Mattayom 3. *Graduate Studies Journal*, 13(60), 151-166. [in Thai]
- Sriwongchai, A. (2008). *Comparisons of Learning Achievement, Mathematical Reasoning Abilities, and Attitudes Toward Mathematical Learning of Mathayomsuksa 3 Students Between Using Inquiry Learning Approach and the Conventional Learning Approach on the Linear Equation System Topic in Mathematics Strands* (Master's thesis). Mahasarakham: Mahasarakham University. [in Thai]
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2014). *STEM Education*. Bangkok: Ministry of Education. [in Thai]
- Tidma, P. (2015). *Development of Creative Thinking in Human Systems through Engineering Design Process following STEM Education for Grade 8 Level* (Master's thesis). Phitsanulok: Naresuan University. [in Thai]
- Tongchai, A. (2013). What is Technology and Engineering in STEM Education?. *IPST Magazine*, 42(185), 35-37. [in Thai]