

การพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรม เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา

Development of Collaborative Problem Solving Competency of 11th Grade Students Using STEM Learning Through Engineering Design Process in Geological Phenomena

ศุภชัย เจริญสุข (Supachai Charoensuk)^{1*} ดร.สกนธ์ชัย ชะนูนันท์ (Dr.Skonchai Chanunant)**

(Received: May 10, 2019; Revised: September 27, 2019; Accepted: September 31, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่พัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ และผลการจัดการเรียนรู้ที่มีต่อการพัฒนาสมรรถนะ เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา เป็นการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนจำนวน 3 วงจร เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบบันทึกสะท้อนผล แบบสังเกตพฤติกรรม และแบบทดสอบ ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้ต้องเน้นให้นักเรียนมีการอภิปรายและสะท้อนผลร่วมกันให้มากที่สุด ซึ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นค้นหาและระบุปัญหา 2) ขั้นสร้างแนวคิด 3) ขั้นวางแผน 4) ขั้นสร้างสรรค์ชิ้นงาน 5) ขั้นทดสอบ 6) ขั้นนำเสนอและอภิปราย และ 7) ขั้นสะท้อนผล นอกจากนี้พบว่า นักเรียนมีพัฒนาการในสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่มีสมรรถนะอยู่ในระดับสูง ซึ่งผู้เรียนจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาสมรรถนะอย่างต่อเนื่อง จึงจะทำให้มีสมรรถนะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

The purposes of this research are to study the STEM approach based on engineering design process to enhance the collaborative problem solving competencies (CPS) and study the effect of teaching approach to promote CPS in geological phenomena. The methodology of this research was classroom action research 3 cycles. The research instruments included lesson plans, reflective journal, CPS observation form and CPS test. Data analysis by content analysis. The research found that STEM approach should emphasized on the most discussion and reflection together and consists of 7 steps as 1) Find and identify problems 2) Creating concepts 3) Planning 4) Constructing model 5) Testing 6) Presentation and discussion and 7) Reflection. In addition, found that students are more developing in CPS and most students are at a high level of competencies. Students need to be continuously developed, that will increase more effectively.

คำสำคัญ: สะเต็มศึกษา กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ

Keywords: STEM Education, Engineering design process, Collaborative problem solving

¹Corresponding author: Supachai.4449@gmail.com

*นิสิต หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

บทนำ

ทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 ที่ทางองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD) ได้ให้ความสำคัญคือ สมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ โดยในปี 2015 การดำเนินการจัดโครงการประเมินผลผู้เรียนร่วมกับนานาชาติ (PISA) ได้มีการเปลี่ยนแปลงจากการประเมินสมรรถนะการแก้ปัญหาเป็นสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เพราะการแก้ปัญหาโดยการทำงานร่วมกันมีข้อดีมากกว่าการแก้ปัญหาโดยลำพังหลายประการ เช่น สามารถแบ่งงานกันทำในทีม สามารถนำความรู้ความสามารถด้านต่าง ๆ มาใช้แก้ปัญหา และสมาชิกในทีมสามารถกระตุ้นส่งเสริมใจให้กัน นำไปสู่การคิดริเริ่มและวิธีแก้ปัญหาที่ดีกว่า ดังนั้น ความสามารถในการทำงานร่วมกันจึงเป็นทักษะที่จำเป็นในยุคปัจจุบัน [1]

อย่างไรก็ตามผลการประเมินสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของ PISA 2015 ที่ผ่านมามีนักเรียนถึง 42 เปอร์เซ็นต์ ที่มีความสามารถเพียงระดับ 1 นั่นคือ นักเรียนสามารถปฏิบัติการกิจในระดับที่มีความยากไม่มาก และมีการทำงานร่วมกันเป็นทีมในระดับจำกัด ส่วนมากจะเน้นเฉพาะงานที่เป็นหน้าที่ของตน และได้รับความช่วยเหลือจากสมาชิกในทีม เมื่อต้องทำการแก้ปัญหาง่าย ๆ ก็สามารถหาวิธีแก้ปัญหาได้ ขณะที่เพียง 11 เปอร์เซ็นต์ ที่มีความสามารถทางการแก้ปัญหาแบบร่วมมือตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป [1] ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ผู้วิจัยได้สังเกตและทดสอบด้วยแบบทดสอบตามกรอบการประเมิน PISA 2015 [2] ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 ที่ผ่านมามีนักเรียนที่สามารถแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ แต่เมื่อสังเกตพฤติกรรมขณะทำกิจกรรมการแก้ปัญหาเป็นกลุ่ม พบว่า นักเรียนค่อนข้างแบ่งแยกกันทำงาน มีการสื่อสาร ติดตาม หรือมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนร่วมกลุ่มค่อนข้างน้อย ไม่ค่อยสร้างเป้าหมายและวางแผนก่อนการทำงาน และมักไม่แบ่งหน้าที่กันในการทำงานอย่างเป็นกิจจะลักษณะ ภาระงานจึงค่อนข้างหนักเฉพาะสมาชิกคนใดคนหนึ่งเท่านั้น

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์เนื้อหาในวิชาวิทยาศาสตร์ในส่วนของโลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ที่สามารถนำมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียนได้ จากการวิเคราะห์พบว่าเนื้อหาเรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นบนโลก โดยเริ่มตั้งแต่การอธิบายสาเหตุ กระบวนการเกิด และผลจากปรากฏการณ์เหล่านี้ อันได้แก่ แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด และสึนามิ รวมทั้งสืบค้นข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัย ออกแบบและนำเสนอแนวทาง การเฝ้าระวัง และการปฏิบัติตนให้ปลอดภัย [3] แม้ว่าประเทศไทยจะมีอันดับความเสี่ยงในการเกิดภัยพิบัติเป็นอันดับที่ 8 ในกลุ่มประเทศอาเซียน และอันดับ 91 ของโลก มีระดับความเสี่ยงปานกลาง [4] ซึ่งอาจมองว่าเป็นเรื่องที่ไกลตัวนักเรียน แต่ก็ปฏิเสธไม่ได้ว่าภัยพิบัติเหล่านี้เคยเกิดขึ้นมาแล้ว เช่น ดินถล่มที่บ้านน้ำก้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ คลื่นยักษ์สึนามิในภาคใต้ [5] แผ่นดินไหวจากประเทศลาวที่ส่งผลถึงอาคารบ้านเรือน ในจังหวัดเชียงราย [6] แต่สิ่งสำคัญที่ผู้วิจัยต้องการให้เกิดกับผู้เรียนคือ เรียนเพื่อรู้และเตรียมความพร้อมในการใช้ชีวิตเพื่อช่วยเหลือตนเองและครอบครัวให้ปลอดภัย ด้วยความตระหนักว่าภัยพิบัติไม่ใช่สิ่งที่อยู่ไกลตัว แต่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกขณะ ดังที่ ดร.ศรณ วิจิตรวรรณลักษณ์ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กล่าวว่า “ดาราศาสตร์เป็นพื้นฐานความรู้ความคิดทางวิทยาศาสตร์ในการเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น ทำให้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกบรรจุวิชาดาราศาสตร์ไว้ในสาระการเรียนรู้พื้นฐาน ซึ่งทุกคนที่อยู่ในสังคมต้องมีความรู้ทางด้านนี้พอสมควร ซึ่งอาจจะไม่จำเป็นต้องเก่งหรือนำไปประกอบอาชีพ แต่อย่างน้อยก็เข้าใจสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ นี่ก็มีความสำคัญข้อหนึ่งของการเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางธรรมชาติ อีกหนึ่งข้อที่สำคัญคือ เมื่อเกิดภัยพิบัติแล้วรู้ว่าต้องทำอะไร และทำอย่างไร” [7] เช่นเดียวกับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระชัย สิริพันธุ์วรารณ์ อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล กล่าวว่า “การเรียนรู้และเข้าใจในธรณีวิทยาจะช่วยให้นักเรียนสนใจในวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ

มากขึ้น เพราะนักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ที่เรียนจากฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยามาใช้ในทางปฏิบัติได้โดยตรง ส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้แบบบูรณาการ” [8]

จะเห็นได้ว่าการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ต้องใช้ความรู้ความเชื่อมโยงทางวิทยาศาสตร์ในหลายด้าน และใช้ความรู้ด้านเทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ในบทเรียนนี้จึงเหมาะสมที่จะจัดในรูปแบบที่เน้นการลงมือปฏิบัติ ให้ผู้เรียนได้ฝึกแก้สถานการณ์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติในชีวิตประจำวัน โดยทำงานร่วมกันเป็นทีมมากกว่าการจัดการเรียนรู้แบบบรรยาย เพื่อให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าและความสำคัญของการปฏิบัติตนเกี่ยวกับเหตุการณ์เหล่านี้ ตลอดจนนำความรู้และทักษะที่ได้ไปใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงได้ [9]

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเป็นการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมหรือโครงการที่บูรณาการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ผนวกกับแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยนักเรียนจะได้ทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจและฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และนำความรู้มาออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Neadratsamee [10] ที่พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สามารถส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือได้เป็นอย่างดี และเป็นกิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติงานร่วมกันเป็นกลุ่ม เช่นเดียวกับ Cholsin [11] ที่พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมืออยู่ในระดับกลาง สามารถแก้ปัญหาได้ดีเมื่ออยู่เป็นกลุ่ม อีกทั้งจำเป็นต้องมีขั้นตอนการสร้างองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ก่อนนำไปสู่การบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และต้องเน้นบทบาทของสมาชิกในกลุ่มให้มีโอกาสในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อย่างเท่าเทียมกัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของ Cholsin [11] พบว่ามีขั้นตอนมากถึง 10 ขั้นตอน เมื่อพิจารณาในแต่ละขั้นตอน ผู้วิจัยเห็นว่าเป็นขั้นตอนที่มีความซับซ้อนซึ่งไม่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายของผู้วิจัย เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายของการวิจัยดังกล่าวเป็นกลุ่มผู้เรียนที่มีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มเป้าหมายของผู้วิจัยที่เป็นกลุ่มผู้เรียนแผนการเรียนศิลป์ - ภาษา และมีผลการเรียนในระดับปานกลางไปจนถึงระดับต่ำ [12] จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ขั้นตอนที่ซับซ้อนจนเกินไป ผู้วิจัยจึงค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่า งานวิจัยของ Sampurno [13] ที่ศึกษาการบูรณาการสะเต็มศึกษากับภัยพิบัติทางธรรมชาติเพื่อสร้างการเรียนรู้เรื่องภัยพิบัติทางธรรมชาติของนักเรียน โดยใช้ขั้นตอนที่เรียกว่า STEM - D (Science, Technology, Engineering, Mathematics and Disaster) และพัฒนาขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ขึ้นมา 6 ขั้นตอน ที่ให้นักเรียนได้อภิปรายร่วมกันอย่างลึกซึ้ง สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่กล่าวว่า ต้องมีการเน้นบทบาทของสมาชิกในกลุ่มให้มีโอกาสแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันมากขึ้น [10] นอกจากนี้ในขั้นสุดท้ายยังมีการสะท้อนผล โดยให้นักเรียนสะท้อนหรือได้รับการยืนยันว่ามีความเข้าใจในเรื่องสะเต็มศึกษาและการรู้เรื่องภัยพิบัติจากธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างไปจากขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแบบอื่น ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเปรียบเทียบและสังเคราะห์ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของ EiE [14] กับขั้นตอนของ STEM - D เพื่อใช้ในการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของผู้เรียน ได้เป็น 7 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นค้นหาและระบุปัญหา 2) ขั้นสร้างแนวคิด 3) ขั้นวางแผน 4) ขั้นสร้างสรรค์ชิ้นงาน 5) ขั้นทดสอบและอภิปราย 6) ขั้นนำเสนอผลงาน และ 7) ขั้นสะท้อนผล เนื่องจากมีขั้นตอนที่เหมาะสม ครอบคลุมต่อการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ

จากสภาพปัญหาและแนวทางแก้ไขดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เนื่องจากต้องการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ โดยการ

จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา เพราะเห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ในเรื่องนี้ทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของวิทยาศาสตร์ ประเด็นทางสังคมที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวัน ที่สำคัญคือได้ตระหนักถึงการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และจากการสังเคราะห์ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวจะทำให้ผู้วิจัยได้ข้อค้นพบใหม่ ๆ จากวิธีการนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่พัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา
2. ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่พัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา

วิธีการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายในงานวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 ของโรงเรียนขนาดกลางแห่งหนึ่งในเขตอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร จำนวน 35 คน

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ตัวแปรอิสระ ได้แก่ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา ตัวแปรตาม ได้แก่ สมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

- 1) แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 แผน แผนละ 4 ชั่วโมง ได้แก่ เรื่องแผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด และสึนามิ โดยประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีผลการประเมินความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.74$)
- 2) แบบบันทึกสะท้อนผล เป็นแบบบันทึกที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้หลังจากจบแต่ละวงจรปฏิบัติการ เป็นการเขียนบรรยายตามหัวข้อที่กำหนด โดยสะท้อนจากผู้วิจัย และครูประจำการที่สังเกตการจัดการเรียนรู้เพื่อนำมาหาข้อสรุปร่วมกัน แล้วนำไปใช้ในการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการถัดไป
- 3) แบบสังเกตพฤติกรรมการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เป็นแบบสังเกตถึงโครงสร้าง ผู้วิจัยบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงถึงการมีสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน และใช้กับการสังเกตแบบมีส่วนร่วม โดยมีการสอบถามนักเรียนขณะทำกิจกรรม และจากการตอบคำถามในใบบันทึกกิจกรรม
- 4) แบบทดสอบสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ประกอบด้วย 2 สถานการณ์ปัญหา สถานการณ์ละ 6 ข้อ รวม 12 ข้อ เป็นข้อคำถามแบบสร้างคำตอบอิสระ โดยอิงตามกรอบการประเมินของ PISA 2015 [2] ครอบคลุมทั้ง 3 สมรรถนะ ได้แก่ การสร้างและเก็บรักษาความเข้าใจที่มีร่วมกัน การเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา และการสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม ผลการหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่า ข้อคำถามมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามวงจร PAOR ทั้งหมด 3 วงจร โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือก่อนการจัดการเรียนรู้ เพื่อศึกษาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียน จากนั้นนำคำตอบมาตรวจ ตีความ และจัดจำแนกคำตอบออกเป็นกลุ่มตามระดับสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง

2. ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนของการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 1 แผน ต่อ 1 วงจร ได้แก่ วงจรที่ 1 เรื่องแผ่นดินไหว วงจรที่ 2 เรื่องภูเขาไฟระเบิด และวงจรที่ 3 เรื่องสึนามิ โดยจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนที่สังเคราะห์ขึ้น ในแต่ละขั้นตอนจะสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียน แล้วประเมินลงในแบบสังเกตพฤติกรรม จากนั้นนำมาจัดกลุ่มพฤติกรรมตามเกณฑ์การประเมิน 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อศึกษาพัฒนาการของสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือและสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในวงจรนั้น ๆ และนำผลการสะท้อนที่ได้มาวางแผนเพื่อปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ในวงจรถัดไป

3. หลังจากจัดการเรียนรู้ทั้ง 3 วงจรแล้ว ให้นักเรียนทำแบบทดสอบสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ นำคำตอบมาตรวจ ตีความและจัดจำแนกคำตอบออกเป็นกลุ่มตามระดับสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของนักเรียนหลังเรียน

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์แนวทางการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แหล่งข้อมูลจากแบบบันทึกสะท้อนผล ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content analysis) ทำการจัดระเบียบข้อมูล กำหนดรหัสและตีความข้อมูล เพื่อสร้างข้อสรุปเกี่ยวกับการปรับปรุงชั้นการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้น ใช้วิธีการตรวจสอบข้อมูลแบบ Resource triangulation [15]

2. วิเคราะห์ผลการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ โดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 จากการสังเกตพฤติกรรม และใบบันทึกกิจกรรม ทำการจัดระเบียบข้อมูล กำหนดรหัสและตีความข้อมูลเพื่อคำนวณเป็นร้อยละเทียบกับเกณฑ์ [2] และส่วนที่ 2 จากแบบทดสอบ ทำการตรวจให้คะแนนในแต่ละสมรรถนะแล้วคำนวณเป็นร้อยละ นำผลจากทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาผลการพัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ใช้วิธีการตรวจสอบข้อมูลแบบ Method triangulation [15]

ผลการวิจัย

1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่พัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา มีการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นค้นหาและระบุปัญหา ผู้เรียนทำความเข้าใจสถานการณ์ปัญหา ต้องระบุว่าปัญหาคืออะไร มีสาเหตุจากอะไร รวมถึงมีวิธีการอย่างไรในการแก้ปัญหา 2) ขั้นสร้างแนวคิด ผู้เรียนหาวิธีการแก้ปัญหาโดยสืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูลออนไลน์ที่เชื่อถือได้ 3) ขั้นวางแผน ผู้เรียนออกแบบชิ้นงานผ่านการวาดภาพร่างชิ้นงาน ได้แก่ โครงสร้างอาคารหอศิลป์ รูปทรงภูเขาไฟ และแนวปรากฏการณ์ฟ้าผ่า 4) ขั้นสร้างสรรค์ชิ้นงาน ผู้เรียนสร้างชิ้นงานตามทีออกแบบ ได้แก่ อาคารหอศิลป์ ด้านถนนแผ่นดินไหว ภูเขาไฟที่กำลังปะทุ และแนวปรากฏการณ์ป้องกันสึนามิ 5) ขั้นทดสอบ ผู้เรียนนำชิ้นงานที่สร้างขึ้นมามาทดสอบประสิทธิภาพหรือความสามารถในการแก้ปัญหา 6) ขั้นนำเสนอและอภิปราย ผู้เรียนนำเสนอชิ้นงานและอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับผลสำเร็จของชิ้นงานหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยใช้รูปแบบเกมการแข่งขัน และ 7) ขั้นสะท้อนผล ผู้เรียนและครูผู้สอนร่วมกันสรุปและสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้

2. ผลการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือทั้ง 3 วงจร พบว่า ผู้เรียนมีพัฒนาการในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือเพิ่มขึ้นตามลำดับ และจากผลการทดสอบสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ผู้เรียนส่วนใหญ่มีระดับสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมืออยู่ในระดับสูง นั่นคือ สมรรถนะการสร้างและเก็บรักษาความเข้าใจที่มีร่วมกัน คิดเป็นร้อยละ 70.00 โดยมีการสื่อสารร่วมกันเพื่อระบุถึงปัญหา และการดำเนินงานภายในกลุ่มมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 77.14 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการพัฒนาสมรรถนะการสร้างและเก็บรักษาความเข้าใจที่มีร่วมกันในด้านการสื่อสารร่วมกันเพื่อระบุถึงปัญหา และการดำเนินงานภายในกลุ่ม

วงจรปฏิบัติการ	ระดับสมรรถนะ					
	สูง		กลาง		ต่ำ	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1: แผ่นดินไหว	5	14.29	30	85.71	0	0.00
2: ภูเขาไฟระเบิด	20	57.14	15	42.86	0	0.00
3: สึนามิ	25	71.43	10	28.57	0	0.00
post-test	27	77.14	8	22.86	0	0.00

ในสมรรถนะการสร้างและเก็บรักษาความเข้าใจที่มีร่วมกันนี้ พบว่า ผู้เรียนมีการแบ่งปันข้อมูล ระบุปัญหาที่กำหนด ระบุวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาและมีการสื่อสารเพื่อตรวจสอบความเข้าใจร่วมกันเมื่อเกิดความไม่เข้าใจภายในกลุ่ม ทั้งนี้ในด้านการค้นพบมุมมองและความสามารถของสมาชิกภายในกลุ่มยังคงพบว่าผู้เรียนยอมรับความสามารถเพิ่มเติม นอกเหนือจากที่ได้วางแผนไว้แต่เมื่อให้เปลี่ยนหน้าที่กัน ผู้เรียนยังคงยึดตามหน้าที่เดิมโดยไม่ได้คำนึงถึงเป้าหมายหรือความสำเร็จของกลุ่ม

ด้านสมรรถนะเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา คิดเป็นร้อยละ 82.86 โดยมีการร่วมมือกันระบุเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 91.43 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการพัฒนาสมรรถนะเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ในด้านการร่วมมือกันระบุเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา

วงจรปฏิบัติการ	ระดับสมรรถนะ					
	สูง		กลาง		ต่ำ	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1: แผ่นดินไหว	5	14.29	25	71.43	5	14.29
2: ภูเขาไฟระเบิด	15	42.86	20	57.14	0	0.00
3: สึนามิ	30	85.71	5	14.29	0	0.00
post-test	32	91.43	3	8.57	0	0.00

ในสมรรถนะนี้ผู้เรียนมีการอภิปรายเพื่อระบุหาแนวทางที่เหมาะสมที่ใช้ในการแก้ปัญหาร่วมกัน สามารถระบุและอธิบายขั้นตอนในการปฏิบัติงานได้ มีการสื่อสารพูดคุยเพื่อวางแผนและออกแบบชิ้นงาน มีการตรวจสอบผลการดำเนินงานว่ามีความสอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ รวมทั้งเมื่อมีข้อโต้แย้งเกิดขึ้นระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมก็สามารถอธิบายทำความเข้าใจได้อย่างมีเหตุผล และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ทั้งนี้ด้านที่ผู้เรียนพัฒนาได้น้อยที่สุดคือ การร่วมกันตรวจสอบผลการดำเนินงานและประเมินผลความสำเร็จของงาน ผู้เรียนสามารถให้คำแนะนำเพื่อให้ร่วมกันพิจารณาตรวจสอบขั้นตอนการดำเนินงานว่าสอดคล้องกับเป้าหมายหรือไม่ แต่เมื่อต้องให้ข้อมูลหรือเหตุผลเพิ่มเติมถึงข้อผิดพลาดนั้น ผู้เรียนยังไม่สามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องหรือชัดเจนได้

และสมรรถนะสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม คิดเป็นร้อยละ 79.29 โดยมีการให้ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นข้อปรับปรุงในการทำงานร่วมกันมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 88.57 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการพัฒนาสมรรถนะสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม ในด้านการให้ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นข้อปรับปรุงในการทำงานร่วมกัน

วงจรปฏิบัติการ	ระดับสมรรถนะ					
	สูง		กลาง		ต่ำ	
	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1: แผ่นดินไหว	5	14.29	15	42.86	15	42.86
2: ภูเขาไฟระเบิด	20	57.14	15	42.86	0	0.00
3: สึนามิ	30	85.71	5	14.29	0	0.00
post-test	31	88.57	4	11.43	0	0.00

ในสมรรถนะนี้ผู้เรียนสามารถแบ่งบทบาทหน้าที่ของทุกคนได้ตามความสามารถของแต่ละคน และระบุน้ำหนักของคนที่สมารถในกลุ่มได้ ผู้เรียนมีความรับผิดชอบ ปฏิบัติงานได้ตามที่ได้รับมอบหมายอย่างตั้งใจภายในเวลาที่วางแผนไว้ รวมทั้งสามารถรายงานปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้พบว่าสมรรถนะการอธิบายและประพจน์ตามกฎของกลุ่มที่ตั้งไว้ยังต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติม เนื่องจากผู้เรียนบางส่วนยังไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่าทำไมสมาชิกทุกคนปฏิบัติตามกฎของกลุ่มจะทำให้งานดำเนินการไปได้ดีอย่างไร และบางส่วนยังมีความเห็นว่าผู้นำหรือหัวหน้ากลุ่มเป็นผู้มีบทบาทสำคัญที่สุดในการทำงาน

จากการสังเกตพฤติกรรมพบว่า ผู้เรียนมีพัฒนาการในสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือเพิ่มขึ้นตามลำดับ ตั้งแต่ วงจรที่ 1 ผู้เรียนส่วนใหญ่มีระดับสมรรถนะอยู่ในระดับกลางและต่ำ มีเพียง 1 - 2 กลุ่มที่มีระดับสมรรถนะในระดับสูง กล่าวคือ ในช่วงแรกผู้เรียนไม่ค่อยมีการสื่อสารและทำงานร่วมกัน ที่สำคัญคือไม่มีการกำหนดหรือแบ่งบทบาทหน้าที่ในการทำงาน ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดและเกิดข้อขัดแย้งบ่อยครั้ง เมื่อถึงวงจรที่ 2 ผู้เรียนมีความคุ้นเคยกันมากขึ้นจึง ทำให้ปฏิบัติงานได้คล่องตัวขึ้น กล่าวที่จะพูดคุย แลกเปลี่ยนมุมมองและอภิปรายร่วมกัน ทิศทางการแก้ปัญหาจึงดำเนินไปในทิศทางเดียวกัน แต่ยังมีบางกลุ่มที่มีสมรรถนะในระดับต่ำ โดยเฉพาะในประเด็นของการปฏิบัติหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายจากกลุ่ม และการร่วมกันตรวจสอบผลการดำเนินงาน เมื่อถึงวงจรสุดท้าย ผู้เรียนมีสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือเพิ่มขึ้น ไม่พบผู้เรียนที่อยู่ในระดับต่ำ ผู้เรียนสามารถอภิปรายร่วมกันเพื่อระบุนอกความรู้ที่ใช้ในการแก้ปัญหา มีการวางแผนและสร้างชิ้นงานเพื่อนำไปแก้ปัญหาภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดได้

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่พัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา ควรมีการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

ขั้นค้นหาและระบุปัญหา

ผู้เรียนต้องวิเคราะห์และระบุปัญหาเป็นรายบุคคลก่อนที่จะนำไปอภิปรายร่วมกับสมาชิกภายในกลุ่ม สอดคล้องกับ Capraro [16] ที่ระบุว่า การระบุปัญหาในการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรม นักเรียนจะต้องเข้าใจปัญหา วิเคราะห์ข้อจำกัดและเงื่อนไขของปัญหาที่เผชิญผ่านการร่วมมือของกลุ่ม และร่วมกันกำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม โดยสมาชิกทุกคนในกลุ่มมีส่วนร่วมต่อการกำหนดและมีมุมมองต่อปัญหาในทิศทางเดียวกัน สถานการณ์ปัญหาที่ใช้ต้องมีความท้าทายในการแก้ปัญหา ควรเป็นปัญหาปัจจุบันซึ่งส่งผลกระทบต่อชีวิตจริง และไม่มีคำตอบที่ถูกต้อง [17] เช่น ออกแบบหมู่บ้านที่ได้รับผลกระทบจากสึนามิ โดยการสร้างแนวปราการบริเวณชายฝั่ง และออกแบบบ้านที่ได้รับผลกระทบจากคลื่น เป็นต้น เพราะการให้ผู้เรียนได้มีโอกาสเผชิญกับสถานการณ์ปัญหาทางวิศวกรรมที่ท้าทายจะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ร่วมกันวิเคราะห์ อภิปราย ซักถาม แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับสถานการณ์นั้น ๆ [18]

ขั้นสร้างแนวคิด

ผู้วิจัยเลือกใช้แหล่งสืบค้นข้อมูลออนไลน์ในการให้ผู้เรียนสืบค้นข้อมูล เพราะว่าเป็นแหล่งข้อมูลที่เปิดกว้างและสร้างความสนใจได้มากกว่าการสืบค้นข้อมูลจากหนังสือเรียน อีกทั้งยังมีความสะดวกและรวดเร็ว สอดคล้องกับ Kamenetz [19] ที่ระบุว่า ความพร้อมของแหล่งข้อมูลออนไลน์จะช่วยให้จัดการศึกษาได้มากขึ้น ซึ่งมีความรวดเร็ว ราคาถูก และมีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดการศึกษาในอดีต ผู้เรียนต้องสืบค้นว่ามีข้อมูลใดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา เคมีนิวเคลียร์ใดบ้าง มีข้อดีหรือข้อจำกัดอย่างไร ดังที่ Capraro [16] กล่าวว่า ในการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมจะต้องมีการสืบค้นหาข้อมูลภูมิหลังที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือศึกษาวิธีการแก้ปัญหาที่เคยมีมาในอดีตอย่างครอบคลุมและเข้าใจ

ลึกซึ้ง หลังจากนั้นผู้เรียนจะต้องนำวิธีการแก้ปัญหาที่สืบค้นมานำเสนอและแบ่งปันร่วมกันในกลุ่ม เพื่อหาข้อสรุปที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งสามารถประยุกต์วิธีการแก้ปัญหานั้นให้เป็นวิธีการของกลุ่มตนเองได้

ขั้นวางแผน

ผู้วิจัยใช้วิธีการให้ผู้เรียนวาดภาพร่างชิ้นงาน เพราะการวาดภาพถือว่าเป็นขั้นตอนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรูปแบบหนึ่งที่มีความสามารถในการแสดงความคิดหรือการออกแบบที่จะเกิดขึ้นจริงในอนาคต [20] สอดคล้องกับ Tytler [21] ที่ระบุว่า การวาดภาพถือเป็นจุดเน้นที่มีประสิทธิภาพสำหรับการให้เหตุผลและสร้างความหมายร่วมกัน ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนเจรจาต่อรองกันได้อย่างยืดหยุ่น นอกจากนี้ต้องระบุนรายละเอียดและจัดบันทึกด้วยว่าเลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ใด จำนวนเท่าใด ซึ่งหากกิจกรรมใดที่มีหลักการทางคณิตศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องผู้เรียนจะต้องแสดงการคำนวณประกอบด้วย เช่น การระบุความสูงของอาคารหอศิลป์ในกิจกรรมเรื่องแผ่นดินไหว เป็นต้น เพราะจะทำให้ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและคุ้มค่า

ขั้นสร้างสรรค์ชิ้นงาน

ผู้เรียนจะต้องสร้างชิ้นงานตามทีออกแบบไว้ สอดคล้องกับ Brophy [11] ที่ศึกษาการประยุกต์ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้การออกแบบเชิงวิศวกรรมพบว่า ในการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมโดยให้นักเรียนได้ออกแบบและสร้างชิ้นงานขึ้นมามีประโยชน์และข้อจำกัดที่กำหนด สามารถส่งเสริมทักษะในการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาขั้นสูงได้ ชิ้นงานจะทำให้การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมสามารถจับต้องและพิสูจน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม นักเรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติ สามารถออกแบบ วิเคราะห์ ตรวจสอบและประเมินการทำงานและผลงานที่ได้ออกแบบไว้ โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ที่เกี่ยวข้อง นำไปสู่การแก้ปัญหามีประสิทธิภาพ

ขั้นทดสอบ

ในขั้นนี้ผู้เรียนต้องนำชิ้นงานมาทดสอบความเป็นไปได้ ทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากข้อค้นพบและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับ Capraro [16] ที่กล่าวว่า การให้นักเรียนได้ตรวจสอบและประเมินการออกแบบชิ้นงานของตนเอง มีการซ่อมแซม ปรับปรุงหรือทำซ้ำ จะช่วยให้เข้าใจปัญหามากขึ้น และทราบถึงประสิทธิภาพของชิ้นงาน รวมถึงประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาว่าเป็นไปได้ตามที่วางแผนหรือไม่ หลังจากทดสอบชิ้นงานแล้วผู้เรียนจะอภิปรายร่วมกันถึงผลและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม เพื่อใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานให้ดีที่สุด หลังจากปรับปรุงชิ้นงานแล้วจะมีการแข่งขันภายในชั้นเรียน เพื่อช่วยสร้างความสนใจ เกิดความสนุกสนานและได้มีส่วนร่วมมากขึ้น ซึ่ง Good [22] ชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมในห้องเรียนที่มีการแข่งขันจะมีความเหมาะสมแก่นักเรียนทุกคนมีโอกาสชนะ และเมื่อใช้วิธีการประเมินแบบที่มากกว่าแบบรายบุคคล จะช่วยลดโอกาสที่จะมีนักเรียนเพียงคนเดียวเป็นผู้ชนะหรือแพ้ นอกจากนี้การแข่งขันระหว่างกลุ่มจะเพิ่มความร่วมมือภายในกลุ่มเมื่อสมาชิกมีเป้าหมายร่วมกัน

ขั้นนำเสนอและอภิปราย

ผู้เรียนนำเสนอชิ้นงานโดยมีตัวแทนในการนำเสนอเกี่ยวกับประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ รูปแบบของชิ้นงาน วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ และการปรับปรุงชิ้นงานในขั้นที่ผ่านมา จากนั้นจะอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับผลสำเร็จของชิ้นงานหรือข้อผิดพลาด ที่เกิดขึ้น เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนมุมมองเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหา สอดคล้องกับ NRC [23] ระบุว่า นักเรียนควรมีโอกาสที่จะมีส่วนร่วมในการอภิปรายและนำเสนอผลงานด้วยวาจาเกี่ยวกับผลลัพธ์และข้อสรุปของตนเอง รวมถึงการมีส่วนร่วมในการสนทนาที่เหมาะสมกับคนอื่น ๆ โดยการถามคำถามและอภิปรายประเด็นต่าง ๆ ในขั้นตอนการนำเสนอผู้วิจัยได้ผนวกรวมกับขั้นการอภิปรายในชั้นเรียนลงไปด้วย เนื่องจากในวงจรที่ 1 และ 2 พบว่ามีข้อจำกัดด้านเวลา ทำให้ผู้เรียนไม่ได้อภิปรายร่วมกันเท่าที่ควร ดังนั้นจึงเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้อภิปรายร่วมกันหลังจากที่

นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอชิ้นงาน เพื่อให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการโต้แย้งหรือตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปของแนวทางในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมมากขึ้น

ขั้นตอนผล

ในขั้นนี้ผู้สอนเป็นผู้นำการอภิปรายเกี่ยวกับแนวทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการแก้ปัญหา และให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการป้องกันภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น หากต้องอยู่ในสถานที่ที่เกิดแผ่นดินไหวจะมีวิธีการป้องกันภัยอย่างไร เป็นต้น เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตจริงได้ จากนั้นจะเป็นการสะท้อนผลสิ่งที่ได้เรียนรู้ ข้อเสนอแนะหรือข้อปรับปรุงของกิจกรรม นอกจากนี้จะสะท้อนผลเกี่ยวกับความรู้ทางสะเต็มศึกษาที่นำมาใช้ในกิจกรรม เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าผู้เรียนเกิดการเรียนรู้หรือไม่ เช่นเดียวกับ Brookfield [24] ที่กล่าวว่า การสะท้อนการจัดการเรียนรู้โดยผู้เรียนให้ข้อมูลย้อนกลับ จะช่วยให้ครูเข้าใจปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวในการจัดการเรียนรู้มากขึ้น เนื่องจากผู้เรียนเป็นกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้องโดยตรง การรับทราบและทำความเข้าใจความรู้สึก ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เรียนนับเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการสะท้อนการจัดการเรียนรู้เพื่อปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ของครู

2. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง ปรางค์กู่ทางธรณีวิทยา สามารถพัฒนาผู้เรียนส่วนใหญ่ให้มีระดับสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมืออยู่ในระดับสูง โดยผู้สอนจะต้องเน้นให้ผู้เรียนคำนึงถึงความสำเร็จของงานที่ได้มาจากการร่วมมือและศักยภาพของสมาชิกที่ได้รับการยอมรับและแสดงออกอย่างเต็มที่ ผู้สอนต้องมีส่วนช่วยในการสรุปและชี้แจงให้ผู้เรียนเห็นว่าเหตุผลของผู้เรียนถูกต้องตามเกณฑ์หรือไม่ ขาดตกบกพร่องอย่างไร และที่สำคัญคือผู้สอนต้องเน้นย้ำให้ผู้เรียนตระหนักกว่าการทำงานเป็นกลุ่มสมาชิกทุกคนย่อมมีความเท่าเทียมกันแม้ว่าจะปฏิบัติหน้าที่ต่างกัน อีกทั้งชี้ให้เห็นว่างานที่ประสบความสำเร็จไม่ได้ขึ้นอยู่กับสมาชิกคนใดคนหนึ่ง แต่ต้องขึ้นอยู่กับความร่วมมือกันของสมาชิกทุกคน

การที่ผู้เรียนมีพัฒนาการสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือที่สูงขึ้นตามลำดับ นั่นก็เพราะว่าขั้นตอนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ขึ้นในแต่ละขั้นส่งเสริมให้เกิดสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือครบทั้ง 3 สมรรถนะ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4 อีกทั้งผู้เรียนยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในทุกวงจรปฏิบัติการ เช่น สมรรถนะการสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่มจะถูกเน้นย้ำในทุก ๆ ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะในขั้นการนำเสนอและอภิปราย และขั้นสะท้อนผล จึงทำให้ผู้เรียนมีสมรรถนะเพิ่มมากขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4 แสดงรายการพฤติกรรมของผู้เรียนตามกรอบการประเมินสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือในแต่ละขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	สมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ
ขั้นที่ 1 ค้นหาและระบุปัญหา	การสร้างและเก็บรักษาความเข้าใจที่มีร่วมกัน การสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม
ขั้นที่ 2 สร้างแนวคิด	การเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา
ขั้นที่ 3 วางแผน	การสร้างและเก็บรักษาความเข้าใจที่มีร่วมกัน การเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา การสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม

ตารางที่ 4 แสดงรายการพฤติกรรมของผู้เรียนตามกรอบการประเมินสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือในแต่ละขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	สมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ
ขั้นที่ 4 สร้างสรรค์ชิ้นงาน	การเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา การสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม
ขั้นที่ 5 ทดสอบ	การสร้างและเก็บรักษาความเข้าใจที่มีร่วมกัน การเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา การสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม
ขั้นที่ 6 นำเสนอและอภิปราย	การสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม
ขั้นที่ 7 สะท้อนผล	การเลือกวิธีดำเนินการที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา การสร้างและรักษาระเบียบของกลุ่ม

จากผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่พัฒนาสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cholsin [11] ที่ศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ โดยบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมืออยู่ในระดับกลาง ทั้งนี้ควรส่งเสริมให้มีการนำเสนอข้อมูลเชิงหลักการสนับสนุนวิธีแก้ปัญหานักเรียนมากขึ้น และให้ความสำคัญกับบทบาทของสมาชิกกลุ่มแต่ละคนได้มีส่วนร่วมตลอดจนการสร้างความตระหนักถึงความสำคัญของสมาชิกและการยอมรับซึ่งกันและกันให้มากขึ้น สอดคล้องกับ Neadratsamee [10] ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ควรจะเน้นให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติงานร่วมกันเป็นกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนร่วมมือกันแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ และการจัดการเรียนรู้นี้สามารถส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับ Siew [25] ที่นำการบูรณาการสะเต็มศึกษากับวิธีการออกแบบทางวิศวกรรม (STEM - EDP) พบว่ากิจกรรมนี้สามารถสร้างความตระหนักแก่นักเรียนเกี่ยวกับศักยภาพของตนเองในฐานะนักแก้ปัญหา นักคิด ผู้สร้างและทำงานร่วมกัน แม้ว่าจะมีปัญหาในการจัดการกับความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของสะเต็มศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าแนวทาง STEM - EDP สามารถใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ทักษะการแก้ปัญหา และทักษะการคิดของนักเรียนได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในส่วนของการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์
2. ศึกษาเจตคติของผู้เรียนเกี่ยวกับการแก้ปัญหาแบบร่วมมือและการทำงานร่วมกัน

เอกสารอ้างอิง

1. PISA Thailand, ISPT. Collaborative problem solving executive summary. Bangkok: ISPT; 2018. Thai.
2. OECD. PISA 2015 Draft collaborative problem solving framework. Paris: OECD; 2013.

3. MOE Thailand. The basic education core curriculum A.D. 2008. Bangkok: The Agricultural cooperative federation of Thailand, 2008. Thai.
4. Bündnis Entwicklung Hilft. World risk report analysis and prospects 2017. Berlin: 4.Bündnis Entwicklung Hilft, 2018.
5. Boonkanpai N. What is a disaster? [Internet]. 2010 [Cited 2018 Nov 22]. Available from: <http://www.dmr.go.th/download/teacher/Phichit/Geohazards.pdf>. Thai.
6. Wiwekwin R, Kosuwan S. Earthquake 5.5.2014 Chiang Rai [Internet]. 2014 [Cited 2018 Nov 22]. Available from: http://library.dmr.go.th/Document/Proceedings-Yearbooks/M_1/2557/10400.pdf. Thai.
7. MGR Online. Need? Which children have to learn "astronomy" [Internet]. 2013 [Cited 2018 Nov 22]. Available from: <https://mgronline.com/qol/detail/9560000067158>. Thai.
8. MGR Online. Earthquake What can be taught to Thai children? [Internet]. 2007 [Cited 2018 Nov 22]. Available from: <https://mgronline.com/science/detail/9500000059303>. Thai.
9. Chaidech T. Development of collaborative problem solving competency using research-based learning according to STEM education in fossil fuels and products [MEd Thesis]. Naresuan University; 2016. Thai.
10. Neadratsamee C. Development of learning management based on STEM education through engineering design process for promoting collaborative problem solving in environmental chemistry for 10th grade students [MEd Thesis]. Naresuan University; 2017. Thai.
11. Cholsin J. The action research for developing learning management on stoichiometry based on STEM approach emphasized engineering design process to promote collaborative problem solving competency [MEd Thesis]. Naresuan University; 2016. Thai.
12. Wachiraprakarn Wittayakom School. Summary of results 1st semester. Kamphaeng Phet: Academic department; 2018. Thai.
13. Sampurno J, Sari A, Wijaya D. Integrating STEM (science, technology, engineering, mathematics) and disaster (STEM - D) education for building students' disaster literacy. [Internet]. 2015 [updated 2018 Nov 22; cited 2018 Nov 22]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/281775230>
14. Lora G. Engineering is elementary: identifying instances of collaboration during the engineering design process [PhD Thesis]. Syracuse University; 2018.
15. Kijkuakul S. Scientific learning management: The guide for teachers in 21st century. Petchaboon: Chunladit printing Press; 2014. Thai.
16. Capraro M, Capraro M, Morgan R. STEM project-based learning an integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach. (2nd ed.). Rotterdam: Sense publishers; 2013.
17. Householder L, Hailey E. Incorporating engineering design challenges into STEM courses. [Internet]. 2012 [cited 2019 Apr 10]. Available from: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED537386.pdf>
18. Srisangngam P. Developing 5E instructional model blended engineering design via STEM education approach for enhances critical thinking skills of grade 8 students. Veridian E-Journal Silpakorn University. 2018; 11(2): 2448-60. Thai.
19. Tucker J, Courts B. Utilizing the internet to facilitate classroom learning. Journal of college teaching & learning. 2010; 7(7): 37-44.



20. Martin-Erro A, Dominguez M, Espinosa M. The role of sketching in engineering design and its presence on engineering education. [Internet]. 2016 [cited 2019 Apr 10]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/298786612>
21. Tytler R. Drawing to learn in STEM. [Internet]. 2016 [cited 2019 Apr 10]. Available from: https://research.acer.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1286&context=research_conference
22. Good L, Brophy E. Looking in classrooms. (2nd ed.). New York: Harper & Row; 1978
23. NRC. A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, DC: The National Academies; 2012.
24. Faculty of Education, Phetchaburi Rajabhat University. Reflective teaching. [Internet]. n.d. [cited 2019 Apr 10]. Available from: <http://edu.pbru.ac.th/e-media/16.pdf>. Thai.
25. Nyet Moi Siew, Henry Goh and Fauziah Sulaiman. Integrating STEM in an engineering design process: the learning experience of rural secondary school students in an outreach challenge program. Journal of Baltic Science Education. 2016; 15(4): 477-493.