

บทความวิจัย (Research Article)

การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ เรื่อง กรด-เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

AN ACTION RESEARCH ON DEVELOPING LEARNING MANAGEMENT IN THE TOPIC OF ACID BASE USING ENGINEERING DESIGN PROCESS FOLLOWING STEM EDUCATION TO ENHANCE GRADE 11 STUDENTS' CREATIVITY AND INNOVATION SKILL

Received: February 14, 2019

Revised: June 10, 2019

Accepted: June 19, 2019

ศรายุทธ รูปโฉม^{1*} สกนชัย ชะนูนันท์² อนุสรณ์ วรสิงห์³ และสิรินภา กิจเกื้อกุล⁴
Sarayoot Roopchom^{1*} Skonchai Chanunan² Anusorn Warasing³ and Sirinapa Kijkuakul⁴

^{1,2,3,4}มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

^{1,2,3,4}Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: rsarayoot1990@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่อง กรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน ผู้เข้าร่วมวิจัย คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 49 คน ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์แห่งหนึ่งในเขตภาคเหนือตอนล่าง ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนจำนวน 3 วงจรปฏิบัติการ โดยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 15 ชั่วโมง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่อง กรด-เบส จำนวน 3 แผนการจัดการเรียนรู้ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ แบบประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากใบบันทึกกิจกรรมและจากชิ้นงานของนักเรียน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า ผลการวิจัย พบว่า แนวทางการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมนั้น ควรมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 8 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนต้นความสนใจ 2) ขั้นระบุปัญหา 3) ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 4) ขั้นตอนออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 5) ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 6) ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน 7) ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา

ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 8) ขั้นสรุปและประเมินผล โดยมีประเด็นที่ควรเน้น ได้แก่ การทบทวนความรู้พื้นฐานที่จำเป็นให้แก่นักเรียนสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นงานและแก้ปัญหา การเลือกใช้สถานการณ์ปัญหาควรเป็นสถานการณ์ในชีวิตจริงที่ใกล้ตัวนักเรียน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนแสดงออกของทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงการกระตุ้นนักเรียนให้ทำกิจกรรมร่วมกันอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาระดับทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม พบว่า หลังกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ นักเรียนมากกว่าร้อยละ 90 มีระดับทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

Abstract

This qualitative research aimed to study way to use the learning approach through engineering design process following stem education in learning the topic of acid base to enhance 11th grade students' creativity and innovation skill. The research participants were 49 students in 11th grade of regional science high school in the lower northern zone. The research methodology was the classroom action research comprising of three action spiral loops and took totally 15 hours in this study. The instruments used in the research were 1) three lesson plans based on engineering design process in the topic of acid base, 2) activity/work sheets, 3) reflective learning journals, 4) work evaluation form, and 5) work sheet evaluation form. Data were analyzed by using content analysis technique and data credibility checked by triangulation method. The results revealed that 1) the way to use the learning approach through engineering design process following stem education in learning the topic of acid base composed of eight steps as follow: 1) engaging, 2) problem identification, 3) related information search, 4) solution design 5) planning and development, 6) testing, evaluation and design improvement, 7) presentation, and 8) summary and evaluation. Furthermore, the teacher should emphasize on review students' fundamental knowledge required for designing work piece and solving problems, selecting problem situation in real life that lead students to apply various designing work piece, and encouraging students to regularly do activities. And 2) Most of students were at high level of creativity and innovation skill. For subscale of creativity and innovation skill, most of students were at high level in fluency and elaboration. While students were in moderate level in flexibility and originality.

Keywords: Engineering Design Process Following Stem Education, Creativity and Innovation Skill, Classroom Action Research

บทนำ

ในศตวรรษที่ 21 เป็นยุคแห่งความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ผู้คนในยุคนี้จึงตกอยู่ในสภาวะที่ต้องแข่งขันกันตลอดเวลา ผู้คนรุ่นใหม่จึงจำเป็นต้องมีความรู้ ความสามารถและทักษะในการประยุกต์และสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ จากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด (Kamkarunyakul, 2013) โดยหนึ่งทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ คือ ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม เนื่องจากความสร้างสรรค์เป็นความสามารถที่สำคัญอย่างหนึ่งของมนุษย์ ซึ่งมีคุณภาพมากกว่าความสามารถด้านอื่นๆ และเป็นปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งในการส่งเสริมความเจริญก้าวหน้าของประเทศชาติ ประเทศใดก็ตามที่สามารถแสวงหาพัฒนา และนำเอาศักยภาพเชิงสร้างสรรค์ของประเทศชาติออกมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากเท่าใด ก็ยิ่งมีโอกาสพัฒนาและเจริญก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ในประเทศต่างๆ ที่ประชาชนมีความคิดสร้างสรรค์ จะก่อให้เกิดจินตนาการจนสามารถสร้างนวัตกรรมที่แปลกใหม่เป็นประโยชน์ เอื้ออำนวยความสะดวกแก่มวลมนุษยชาติ โดยความคิดสร้างสรรค์นี้เป็นคุณลักษณะที่มีอยู่ในตัวทุกคน และสามารถส่งเสริมคุณลักษณะนี้ให้พัฒนาสูงขึ้นได้ (Phanmanee, 2014)

สำหรับการจัดการเรียนการสอนของสังคมไทยนั้นเป็นการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการบรรยายและท่องจำ ส่งผลให้ผู้เรียนไม่ได้ฝึกฝนการใช้ทักษะในการค้นคว้าข้อมูล การเรียนรู้ด้วยตนเอง ตลอดจนขาดความสามารถในการคิดเชิงสร้างสรรค์ ไม่สามารถนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์ที่แตกต่างได้ ขาดการบูรณาการความรู้ในการแก้ปัญหาและคิดค้นนวัตกรรมใหม่ๆ (Pomrungsroj, 2003) ด้วยปัญหาที่กล่าวมานั้นจึงทำให้ผลการประเมินภายนอกรอบสอง (ปี 2549 - 2552) ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน มาตรฐานที่ 4 ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ มีวิจารณญาณ มีความคิดสร้างสรรค์ คิดไตร่ตรองและมีวิสัยทัศน์ของระดับมัธยมศึกษามีค่าเฉลี่ยเพียง 2.71 ซึ่งถูกจัดอยู่ในระดับพอใช้ นั้นหมายความว่าผู้เรียนร้อยละ 75 ของสถานศึกษายังมีคุณลักษณะไม่เป็นไปตามแผนการปฏิรูปการศึกษา

ในบริบทของโรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ที่เน้นการพัฒนานักเรียนให้มีความรู้ มีสมรรถนะสำคัญด้านความคิด ทั้งการคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ การคิดอย่างสร้างสรรค์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการคิดเป็นระบบ เพื่อนำไปสู่การสร้างสรรค์ความรู้หรือสารสนเทศ เพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับตนเองและสังคมได้อย่างเหมาะสม แต่ผลจากการติดตามการประเมินคุณภาพภายนอกรอบสาม ปี 2554 - 2558 ที่ดำเนินการโดยสำนักรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษานั้น พบว่า ในภาพรวมของโรงเรียนนักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับพอใช้ซึ่งยังไม่เป็นไปตามกรอบเป้าหมายของโรงเรียน ประกอบกับผู้วิจัยได้ทำการศึกษานำร่องเพื่อหาข้อมูล โดยปรับใช้แบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ของ Dittacharuen (2014) กับผู้เข้าร่วมวิจัยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 49 คน เพื่อวัดระดับความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน ในด้านความคล่องแคล่ว ความคิดริเริ่ม ความคิดยืดหยุ่น ความคิดละเอียดลออ ผลที่ได้คือ ความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนอยู่ในระดับพอใช้ อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ครูผู้สอนที่มีประสบการณ์สอนรายวิชาเคมีกว่า 10 ปี ผลจากการสัมภาษณ์ พบว่า ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้นั้นครูจะเน้นการสอนแบบบรรยายเป็นหลัก อันเนื่องมาจากกิจกรรมของโรงเรียนในแต่ละปีค่อนข้างเยอะทำให้เวลาเรียนนั้นถูกลดทอนลงไป ดังนั้น ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จึงไม่ได้แทรกเสริมกิจกรรมอื่นๆ ที่ส่งเสริมการเรียนรู้เข้าไปเท่าที่ควร นักเรียนจึงขาดโอกาสในการที่จะแสดงออกถึงทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยเห็นว่าควรจะมีกิจกรรมหรือรูปแบบการจัดการเรียนรู้ในลักษณะบูรณาการมากขึ้น เนื่องจากการแก้ปัญหาในชีวิตจริงนั้นจำเป็นต้องใช้ความรู้และทักษะในสาขาวิชาที่หลากหลาย โดยเฉพาะวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นต้น ควรจะต้องส่งเสริมให้นักเรียนได้บูรณาการความรู้และทักษะที่มีมาใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ที่สอดคล้องต่อบริบทในชีวิตจริง โดยรูปแบบของการแก้ปัญหานั้นควรมีการส่งเสริมให้นักเรียนได้แสดงออกทักษะการคิดในหลายๆ แง่มุม มีกระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นระบบเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างนวัตกรรมที่มีคุณค่าและแปลกใหม่ อีกทั้งเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนมีทักษะในการทำงานตลอดจนเป็นนักแก้ปัญหาที่ดีทั้งในปัจจุบันและอนาคต

สะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการข้ามกลุ่มสาขาวิชาระหว่างศาสตร์สาขาต่างๆ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ เพื่อให้ให้นักเรียนนำความรู้ทุกแขนงมาใช้ในการแก้ปัญหาค้นคว้า และมุ่งเน้นให้นักเรียนสร้างและพัฒนานวัตกรรมหรือชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ เพราะในการทำงานจริงหรือในชีวิตประจำวันนั้นต้องใช้ความรู้หลายด้านในการทำงานทั้งสิ้น ไม่ได้แยกความรู้เป็นส่วนๆ (Siripatrachai, 2013) ทั้งนี้ ก็มีวิธีการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องต่อการส่งเสริมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาอยู่หลายวิธี กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมถือเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งเรียกว่า การจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการทั้ง 4 ศาสตร์เข้าด้วยกันซึ่งอยู่บนฐานการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Kijkuakul, 2015)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งที่จะพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนใช้ความคิดริเริ่ม ความคิดยืดหยุ่น ความคิดคล่องแคล่ว และความคิดละเอียดลออมาใช้ในการออกแบบและสร้างนวัตกรรม โดยจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งจะช่วยพัฒนาให้นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในลักษณะของการบูรณาการเพื่อสร้างนวัตกรรมในการแก้ปัญหาได้อย่างสร้างสรรค์และสามารถเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตจริงได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ผู้เข้าร่วมวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้องเรียน ซึ่งเรียนสายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 49 คน ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์ขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก
2. รูปแบบการวิจัย งานวิจัยนี้ได้ใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) ตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart (2000) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) วางแผน (Plan) 2) ปฏิบัติการ (Act) 3) สังเกต (Observe) และ 4) สะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect)

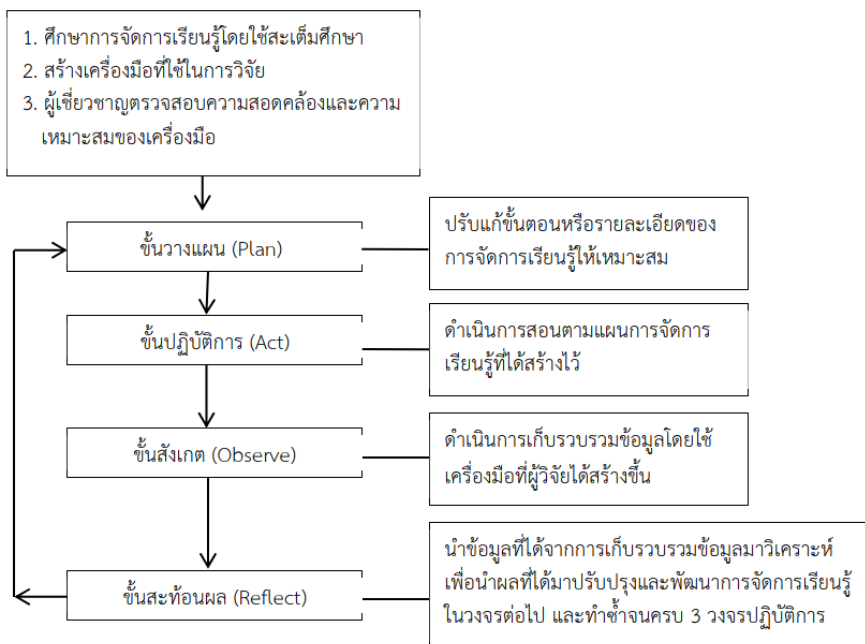
3. เครื่องมือวิจัย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็ม ดังรายละเอียดแสดงในตาราง 1 โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้และให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนรู้ ความสอดคล้องของเนื้อหาและขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ และนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไข

ตาราง 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหา แผนการจัดการเรียนรู้ และเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรม

แผนที่	เนื้อหา	ชื่อแผนการจัดการเรียนรู้ (ปัญหาการออกแบบ)	จำนวน (ชม.)
1	pH ของสารละลาย	นวัตกรรมบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment)	5
2	การไทเทรตกรด-เบส	การวิเคราะห์ยาลดกรด (Antacids Analysis)	5
3	สารละลายบัฟเฟอร์	ของเหลวจากดาวอังคาร (Mars's liquid)	5
รวม			15

เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผู้วิจัยได้นำมาใช้กับผู้เข้าร่วมวิจัยโดยทำการจัดการเรียนรู้ 7 ขั้นตอน โดยปรับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้มาจากคณะกรรมการพัฒนาหลักสูตรการจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาในสถานศึกษา เพื่อเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ก่อนนำไปดำเนินการในวงจรที่ 1 ดังภาพ 1 โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ดังตาราง 2



ภาพ 1 แผนภาพวงจรปฏิบัติการในแต่ละวงจร

ตาราง 2 บทบาทของครูและนักเรียนในแต่ละขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
1. ขั้นกระตุ้นความสนใจ	แบ่งกลุ่มนักเรียนแบบคละความสามารถ จากนั้นจัดกิจกรรมกระตุ้นความสนใจ โดยใช้สื่อวีดิทัศน์หรือการเล่นเกม เพื่อทบทวนความรู้เดิม	เป็นผู้เข้าร่วมกิจกรรม
2. ขั้นระบุปัญหา	นำเสนอสถานการณ์ปัญหา ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริง	ทำการวิเคราะห์และระบุปัญหาเป็นรายบุคคล จากนั้นร่วมกันลงข้อสรุปปัญหาในมุมมองของกลุ่ม
3. ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	อำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำและตรวจสอบความรู้ที่นักเรียนสืบค้น	ร่วมกันสืบค้นข้อมูล เพื่อให้ได้ความรู้ที่จำเป็นสำหรับการนำไปใช้แก้ปัญหา และสร้างนวัตกรรม
4. ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	เป็นผู้สังเกตการณ์และอำนวยความสะดวกให้กับนักเรียน	ใช้ความคิดริเริ่ม ความคิดยืดหยุ่น ความคิดคล่องแคล่วในการวาดภาพออกแบบชิ้นงาน
5. ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	เป็นผู้สังเกตการณ์และอำนวยความสะดวกให้กับนักเรียน	ร่วมกันสร้างนวัตกรรมสำหรับแก้ปัญหาตามที่ได้ออกแบบไว้
6. ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	เป็นผู้สังเกตการณ์และอำนวยความสะดวกให้กับนักเรียน	ทดสอบนวัตกรรมว่าสามารถใช้แก้ปัญหาได้จริงหรือไม่ พร้อมทั้งทำการแก้ไขให้ดีขึ้น
7. ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	ครูอำนวยความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์สำหรับการนำเสนอหน้าชั้นเรียน	แต่ละกลุ่มนำเสนอผลการแก้ปัญหาของกลุ่มตนเองโดยนำเสนอจุดเด่น จุดด้อยและแนวทางในการแก้ปัญหา

3.2 แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ทำการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้โดยผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้ (Resource Triangulation) ซึ่งเป็นครูประจำการที่มีประสบการณ์ในด้านการสอนรายวิชาเคมีมากกว่า 10 ปี

3.3 แบบประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนที่ผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญ แบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่

3.3.1 แบบประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากใบบันทึกกิจกรรม เป็นการประเมินใบบันทึกกิจกรรมที่ให้นักเรียนเขียนบันทึกทุกครั้งที่มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ตามเกณฑ์ Rubric Score ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีมาก ดี พอใช้ และปรับปรุง

3.3.2 แบบประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากชิ้นงาน เป็นการประเมินชิ้นงานที่ให้นักเรียนร่วมกันสร้างขึ้นครั้งที่มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ตามเกณฑ์ Rubric Score

ความหมายและกรอบการประเมินของทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม หมายถึง ความสามารถอันเกิดจากการคิดสร้างสรรค์ ซึ่งเป็นความสามารถทางสมองในการแสดงของความคิดหลายแง่หลายมุม และหลายทิศทางคิดได้กว้างไกล ละเอียดรอบคอบ อันจะนำไปสู่การประดิษฐ์ชิ้นงานหรือนวัตกรรมใหม่ๆ ไม่ซ้ำผู้อื่นและสามารถแก้ปัญหาได้ ซึ่งมีองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดังนี้

1. ความคิดริเริ่ม (Originality) หมายถึง ความสามารถของนักเรียนในการคิดออกแบบชิ้นงานที่มีลักษณะแปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับผู้อื่น
2. ความคิดคล่องแคล่ว (Fluency) หมายถึง ความสามารถของนักเรียนในการออกแบบชิ้นงานได้อย่างคล่องแคล่ว รวดเร็ว และมีคำตอบในปริมาณที่มากในเวลาจำกัด
3. ความคิดยืดหยุ่น (Flexibility) หมายถึง ความสามารถของนักเรียนในการคิดหาคำตอบได้หลายประเภทและหลายทิศทาง นำเสนอเรื่องราวเดียวกันในรูปแบบต่างๆ ที่ไม่ตายตัว
4. ความคิดละเอียดลออ (Elaboration) หมายถึง ความสามารถของนักเรียนในการกำหนดรายละเอียดของความคิดเพื่อบ่งบอกถึงวิธีสร้างและการนำไปใช้อย่างมีขั้นตอน สามารถอธิบายให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจน

4. วิธีการรวบรวมข้อมูล การวิจัยครั้งนี้ดำเนินเป็นวงจรต่อเนื่องกัน ดังตัวอย่างภาพ 1 ซึ่งจะดำเนินการต่อเนื่องกันไปจนครบ 3 วงจรปฏิบัติการ รวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นทั้งจากแบบสะท้อนผล การจัดการเรียนรู้ ที่ทำการสะท้อนผลโดยผู้วิจัยและผู้ร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นครูประจำการ โดยบันทึกประเด็นปัญหา อุปสรรค ข้อเสนอแนะในแต่ละขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยในวงจรปฏิบัติการถัดไป และข้อมูลจากนักเรียนนั้นจะได้จากชิ้นงานที่นักเรียนร่วมกันสร้างและจากการเขียนบันทึกต่างๆ ของนักเรียนลงในใบบันทึกกิจกรรม

5. การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ แบบประเมินชิ้นงานและใบกิจกรรม มาทำการวิเคราะห์เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้ครบ 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.1 ผู้วิจัยนำข้อมูลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) โดยทำการให้รหัสนักเรียนเป็นรายกลุ่มและรายบุคคล เช่น G0105 หมายถึง นักเรียนกลุ่มที่ 1 คนที่ 5 จากนั้นหาความถี่ของข้อค้นพบ แยกประเภทออกเป็นหมวดหมู่ แล้วจึงลงข้อสรุปเพื่อให้ทราบถึงผลการดำเนินการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป ซึ่งผู้วิจัยตรวจสอบข้อมูลเชิงคุณภาพแบบสามเส้า ในด้านการใช้แหล่งข้อมูลมากกว่า 1 แหล่ง (Resource Triangulation) นำข้อมูลมาวิเคราะห์และพิจารณาถึงผลการดำเนินการว่าให้ข้อมูลในประเด็นที่สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่

5.2 ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลจากใบบันทึกกิจกรรม มาทำการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาในการจัดกลุ่มคำตอบ โดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์รายด้านของการประเมินทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมให้คะแนนเป็น 4 ระดับ คือ ดีมาก ดี พอใช้ และปรับปรุง นอกจากนี้ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลจากชิ้นงานเพื่อตรวจสอบข้อมูลเชิงคุณภาพแบบสามเส้าด้านวิธีการรวบรวมข้อมูล (Method Triangulation)

ผลการวิจัย

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

วงจรปฏิบัติการที่ 1 วงจรปฏิบัติการนี้ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง นวัตกรรมบำบัดน้ำเสีย เป็นการจัดการเรียนรู้ในลักษณะที่นักเรียนไม่มีความคุ้นเคย มีประเด็นที่น่าสนใจ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในกิจกรรมแต่ละขั้นนั้นไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ เนื่องจากนักเรียนไม่ได้วางแผนสืบค้นข้อมูล ประการต่อมา คือ วิดีทัศน์ที่ใช้ยังขาดความเหมาะสมในด้านการเชื่อมโยงเนื้อหาเข้ากับสถานการณ์ จึงส่งผลกระทบต่อภาระปัญหาของนักเรียน นักเรียนเกิดความสับสนในการระบุปัญหาเนื่องจากเป็นสถานการณ์ปัญหาปลายเปิดมีหลายปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหาในสถานการณ์ อีกทั้งสถานการณ์ที่ใช้ในวงจรปฏิบัติการแรกนี้เป็นสถานการณ์ที่นักเรียนเคยพบเจอในชีวิตจริง ส่งผลให้การหาแนวทางในการแก้ปัญหาหรือออกแบบต่างๆ จึงเป็นวิธีการที่ไม่แปลกใหม่และไม่หลากหลาย โดยภาพรวมแล้วแต่ละขั้นตอนสำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นี้ยังไม่สามารถส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนได้ดีเท่าที่ควร

วงจรปฏิบัติการที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การวิเคราะห์ยาลดกรด พบว่า การใช้เวลาสำหรับกิจกรรมในแต่ละขั้นตอนนั้นมีความเหมาะสมมาก การสืบค้นข้อมูลของนักเรียนสามารถทำได้ดีขึ้นโดยการระบุหัวข้อย่อยสำหรับการสืบค้นทำให้นักเรียนค้นหาข้อมูลได้ตรงประเด็น ปัญหาหลักที่พบคือ แม้ว่าจะทำการปรับสถานการณ์ปัญหาให้เป็นสถานการณ์ที่นักเรียนไม่คุ้นเคย แต่แนวทางในการแก้ปัญหานั้นค่อนข้างเป็นวิธีที่ตายตัวส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยวิธีการแปลกใหม่หรือหลากหลาย และในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นี้ได้มีการเพิ่มขั้นสรุปและประเมินผล (จากเดิม 7 ขั้นตอน) เพื่อเป็นการสรุปภาพรวมของกิจกรรมการจัดการเรียนการสอนโดยผู้วิจัยร่วมกับนักเรียนเพื่อให้นักเรียนมีมโนทัศน์ขององค์ความรู้ในกิจกรรมการเรียนการสอนที่ถูกต้อง อีกทั้งเป็นการตรวจสอบสิ่งที่นักเรียนได้รับหลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้แล้ว

วงจรปฏิบัติการที่ 3 สำหรับวงจรปฏิบัติการสุดท้ายนี้ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ของเหลวจากดาวอังคาร เป็นการใช้สถานการณ์ปัญหาที่ใกล้ตัวนักเรียนและไม่คุ้นเคย เพื่อมุ่งเน้นให้นักเรียนแสดงออกของทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้อย่างเต็มความสามารถ ซึ่งในวงจรปฏิบัติการนี้การดำเนินกิจกรรมในแต่ละขั้นสามารถทำได้เหมาะสมทั้งในด้านของวิทัศน์ประกอบกิจกรรมในขั้นกระตุ้นความสนใจ เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นเป็นไปตามกรอบเวลาที่กำหนดไว้ และที่สำคัญนักเรียนสามารถแสดงออกของทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้เป็นอย่างดี นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลายวิธีและสร้างนวัตกรรมในการแก้ปัญหาได้แปลกใหม่และใช้งานได้จริง



ภาพ 2 แสดงตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียนและบรรยากาศการจัดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

2. ผลของการจัดการเรียนรู้แสดงดังตาราง 3 ซึ่งเป็นผลการจัดระดับทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากใบบันทึกกิจกรรมระหว่างเรียนเทียบตามเกณฑ์ Rubric score

ตาราง 3 ผลการจัดระดับทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากใบบันทึกกิจกรรม

องค์ประกอบของทักษะ สร้างสรรค์และนวัตกรรม	จำนวน กลุ่ม	การทดสอบ	จำนวนกลุ่ม (ร้อยละ)			
			ระดับ			
			ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง
ความคิดคดลองแล้ว	7	วจรที่ 1	3 (42.86)	2 (28.57)	2 (28.57)	0 (0.00)
		วจรที่ 2	2 (28.57)	3 (42.86)	2 (28.57)	0 (0.00)
		วจรที่ 3	6 (85.71)	1 (14.29)	0 (0.00)	0 (0.00)
ความคิดยืดหยุ่น	7	วจรที่ 1	2 (28.57)	3 (42.86)	1 (14.29)	1 (14.29)
		วจรที่ 2	1 (14.29)	3 (42.86)	3 (42.86)	0 (0.00)
		วจรที่ 3	4 (57.14)	3 (42.86)	0 (0.00)	0 (0.00)
ความคิดริเริ่ม	7	วจรที่ 1	3 (42.86)	1 (14.29)	3 (42.86)	0 (0.00)
		วจรที่ 2	0 (0.00)	3 (42.86)	4 (57.14)	0 (0.00)
		วจรที่ 3	5 (71.43)	0 (0.00)	2 (28.57)	0 (0.00)
ความคิดละเอียดลออ	7	วจรที่ 1	4 (57.14)	2 (28.57)	0 (0.00)	1 (14.29)
		วจรที่ 2	4 (57.14)	1 (14.29)	2 (28.57)	0 (0.00)
		วจรที่ 3	5 (71.43)	2 (28.57)	0 (0.00)	0 (0.00)
ทักษะการสร้างสรรค์และ นวัตกรรม	7	วจรที่ 1	2 (28.57)	5 (71.43)	0 (0.00)	0 (0.00)
		วจรที่ 2	1 (14.28)	6 (85.71)	0 (0.00)	0 (0.00)
		วจรที่ 3	7 (100.0)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)

จากตาราง 3 พบว่า เมื่อผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการแล้วนักเรียนมากกว่าร้อยละ 90 มีระดับทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีมาก องค์ประกอบย่อยของทักษะสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่มีการพัฒนาชัดเจนที่สุด คือ ความคิดคล่องแคล่วและความคิดละเอียดลออ

การสรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยครั้งนี้ พบว่า ขั้นตอนที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง กรต-เบส ควรมีการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ การดึงความรู้เดิมให้เชื่อมโยงกับความรู้ใหม่ในบทเรียนนั้นๆ โดยมีครูเป็นผู้อำนวยความสะดวก และใช้คำถามกระตุ้นการเชื่อมโยงความรู้ของนักเรียน การนำความรู้ที่เป็นวิทยาศาสตร์เข้ามาผสมผสานกับการใช้ทักษะทางวิทยาศาสตร์ในการทำกิจกรรม เมื่อนักเรียนทุกคนดำเนินกิจกรรมด้วยตนเอง นักเรียนจึงเกิดการคิด สังเกต และวิเคราะห์สิ่งที่ตนได้พบจากการทำกิจกรรมพร้อมกับเชื่อมโยงความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ด้วยตนเอง ดังที่ พิมพันธ์ Dechakup and Yindeesuk (2015, p. 45) กล่าวว่า สิ่งที่นักเรียนได้รับในการทำกิจกรรมกระตุ้นความสนใจ คือ นักเรียนได้เกิดการทลายกำแพงความคิดตนและกล้าที่จะแสดงความคิดเห็นพร้อมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกับครูและเพื่อนร่วมชั้นเรียน

ขั้นที่ 2 ระบุปัญหา ขั้นระบุปัญหานี้ควรให้นักเรียนได้ทำการวิเคราะห์และระบุปัญหาเป็นรายบุคคลก่อนว่า ปัญหาคืออะไร มีสาเหตุมาจากอะไร เพื่อให้เกิดความเข้าใจและมีมุมมองต่อปัญหาที่เผชิญเป็นของตนเอง จากนั้นจึงนำมุมมองและความเข้าใจต่อปัญหาที่เผชิญไปแบ่งปันร่วมกับสมาชิกในกลุ่ม แล้วให้กลุ่มร่วมกันวิเคราะห์และสรุปเป็นปัญหาในมุมมองของกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับ Morgan et al. (2013) ซึ่งพบว่า ในการแก้ปัญหา การระบุปัญหาเป็นสิ่งสำคัญ การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมนักเรียนจะต้องเข้าใจปัญหา วิเคราะห์ข้อจำกัดและเงื่อนไขของปัญหาที่เผชิญผ่านการร่วมมือของกลุ่มและร่วมกันกำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม โดยสมาชิกทุกคนในกลุ่มมีส่วนร่วมต่อการกำหนดปัญหาและมีมุมมองต่อปัญหาในทิศทางเดียวกัน

ขั้นที่ 3 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา การที่นักเรียนได้ลงมือค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองโดยมีครูเป็นผู้ที่คอยให้คำปรึกษานั้น ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้ที่จะทำการวิเคราะห์ความรู้ ตรวจสอบ และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับการค้นคว้าด้วยตนเอง ซึ่งช่วยเพิ่มความคงทนและความเข้าใจในความรู้ที่ศึกษาให้กับนักเรียนได้ดังที่ Khammani (2014, pp. 142-143) กล่าวว่า การจัดการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการคิดและแก้ปัญหาจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการขยายความคิดอย่างต่อเนื่อง จากความคิดเดิมที่มีอยู่ในลักษณะหนึ่งให้มีความคิดที่ละเอียด กว้างขวาง ลึกซึ้ง ถูกต้อง มีเหตุผล และน่าเชื่อถือมากขึ้นกว่าเดิม ทั้งนี้ นักเรียนสามารถบันทึกความรู้ในรูปแบบที่ตนเข้าใจได้ดีกว่าการที่ให้ครูเป็นผู้บ่อนความรู้ให้กับนักเรียนดังเช่นการจัดการเรียนรู้โดยทั่วไป

ขั้นที่ 4 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษานั้นควรให้นักเรียนคำนึงถึงการวาดภาพร่างที่ถูกต้อง และอธิบายวิธีการสร้างได้ครบตามองค์ประกอบนั้นๆ เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ในขั้นนี้ นักเรียนแต่ละกลุ่มระดมความคิดในการหาวิธีแก้ไขปัญหาจาก

สถานการณ์ในแนวทางที่แปลกไปจากวิธีแก้ปัญหามีอยู่ในรูปแบบเดิม ซึ่งไม่ได้มีการตัดสินความถูกต้องของวิธีที่ระบุ โดยเป็นการใช้ความคิดอย่างอิสระ สอดคล้องกับ Chomphupart (2011, pp. 43-47) ที่กล่าวว่าการค้นหาวิธีการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์นั้นต้องไร้ซึ่งการควบคุม หรือตัดสินความถูกต้องของวิธีการ

ขั้นที่ 5 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนแต่ละกลุ่มนำกระบวนการทางเทคโนโลยี กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการสร้างต้นแบบชิ้นงานเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหภายใต้อำนาจจำกัดและเงื่อนไขที่มี สมาชิกในกลุ่มปฏิบัติหน้าที่ตนเองได้รับมอบหมายเพื่อให้การดำเนินการแก้ปัญหาประสบความสำเร็จ สอดคล้องกับ Brophy et al. (2008) ที่ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ฐานการออกแบบเชิงวิศวกรรมในชั้นเรียน ซึ่งพบว่า ในการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมโดยการให้นักเรียนได้ออกแบบและสร้างโมเดลหรือชิ้นงานขึ้นมาภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด สามารถส่งเสริมทักษะการคิดและการแก้ปัญหาขั้นสูงของนักเรียนได้ ชิ้นงานจะทำให้การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมสามารถจับต้องและพิสูจน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

ขั้นที่ 6 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน สำหรับการแก้ปัญหาโดยมีการทดลองเพื่อทดสอบวิธีการที่เลือกใช้แก้ในการแก้ปัญหา เป็นวิธีที่สนับสนุนให้นักเรียนได้ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างเหมาะสมและเกิดการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง สอดคล้องกับ Householder and Hailey (2012); Morgan et al. (2013) ได้กล่าวว่า การให้นักเรียนได้ทำการตรวจสอบและประเมินการออกแบบและชิ้นงานของตนเอง จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจปัญหามากขึ้นและทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของชิ้นงานที่สร้างขึ้นรวมถึงประสิทธิภาพของวิธีแก้ปัญหาว่าเป็นไปได้ตามที่วางแผนไว้หรือไม่

ขั้นที่ 7 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในขั้นตอนนี้ควรเน้นย้ำให้นักเรียนใช้ความเป็นเหตุเป็นผลในการโต้แย้งในกระบวนการที่เพื่อนแต่ละกลุ่มเลือกใช้แก้ปัญหามาจากสถานการณ์ และการโต้แย้งนี้จะส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในวงกว้าง นักเรียนได้ข้อเสนอแนะจากกลุ่มอื่นๆ ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนาวิธีแก้ปัญหามีความสมบูรณ์และเหมาะสมมากขึ้น (Householder & Hailey, 2012; Morgan et al., 2013)

ขั้นที่ 8 สรุปและประเมินผล การสะท้อนผลจากกิจกรรมการเรียนรู้โดยครูร่วมกับนักเรียน เพื่อให้นักเรียนมีมโนทัศน์ขององค์ความรู้ที่ได้รับอย่างถูกต้องไปในทิศทางเดียวกัน อีกทั้งเป็นการให้ผู้วิจัยได้ตรวจสอบสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้จากการทำกิจกรรมและยังเป็นผลสะท้อนเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป (Ministry of Education, 2008) ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้ผู้สอนสามารถนำไปวิเคราะห์การเกิดทักษะด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนได้ดังที่ Johnson and Johnson (as cited in Mincharat, 2015, p. 75) กล่าวว่า การเรียนรู้ร่วมกันจะต้องมีผลงานหรือผลสัมฤทธิ์ทั้งรายบุคคลหรือรายกลุ่มที่สามารถตรวจสอบ วัดและประเมินผลได้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1 ในขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้น ครูควรกำหนดหัวข้อให้กับนักเรียน เพื่อให้นักเรียนได้ข้อมูลสำคัญที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาและสร้างชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งจะช่วยให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นนี้ใช้เวลาไม่มากจนเกินไป

1.2 ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีการสร้างชิ้นงานนั้น ครูควรกำหนดเกณฑ์ในการประเมินชิ้นงานเชิงลึกที่ส่งเสริมต่อการสร้างนวัตกรรมของนักเรียน

1.3 สำหรับสถานการณ์ที่ใช้ควรเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงและนักเรียนไม่คุ้นเคย เพื่อให้ส่งเสริมให้นักเรียนได้แสดงทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้อย่างอิสระ

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในครั้งต่อไปควรจะศึกษาการพัฒนาทักษะในด้านอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น การแก้ปัญหาแบบร่วมมือ การรู้วิทยาศาสตร์ เป็นต้น

References

- Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rodgers, C. (2008). Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369–387.
doi:10.1002/j.2168-9830.2008.tb00985.x
- Chomphupart, S. (2011). *A development of instructional behavior for the creative problem solving of teachers and students at the science gifted students promotion school using Emancipatory action research* (Doctoral dissertation). Bangkok: Srinakharinwirot University. [in Thai]
- Dechakup, P., & Yindeesuk, P. (2015). *Teaching in the 21st century* (2nd ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]
- Dittacharuen, C. (2014). Developing the creative thinking and learning achievement of grade 12 students using project learning base on Constructionism theory of an apply robot subject. *Panyapiwat Journal*, 5(2), 205-216. [in Thai]
- Householder, D. L., & Hailey, C. E. (2012). *Incorporating engineering design challenges into STEM courses*. Retrieved April 28, 2017, from http://digitalcommons.usu.edu/ncete_publication
- Kamkarunyakul, H. (2013). *The development of sketching design book based on Constructivism to enhance creative thinking of Mathayomsuksa four students* (Master thesis). Bangkok: Silpakorn University. [in Thai]
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (2000). Participatory action research. In N. Denzin & Y. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Kijkuakul, S. (2015). STEM education (Part II): How to integrate stem education in classroom teaching. *Journal of Education Naresuan University*, 17(3), 154-160. [in Thai]
- Khammani, T. (2014). *Teaching: Knowledge for organizing processes effective learning* (18th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]

Ministry of Education. (2008). *The Basic Education Core Curriculum B.E. 2551*. Bangkok: Agricultural Cooperatives of Thailand. [in Thai]

Mincharat, P. (2015). *The effects of problem-based learning with STAD to promote collaborative problem solving competency in Chemical Bonding* (Independent study). Phitsanulok: Naresuan University. [in Thai]

Morgan, J. R., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2013). *STEM project-based learning: An integrated science, technology, engineering, and mathematics (STEM) approach*. Rotterdam: Sense.

Phanmanee, A. (2014). *Creative thinking training* (2nd ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]

Pomrungroj, C. (2003). *Creative thinking*. Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]

Siripattrachai, P. (2013). STEM education and 21st century skills development. *Executive journal Bangkok University*, 33(2), 49-56. [in Thai]