การพัฒนาชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21

A Development of STEAM Education Activity Package on Chemical Bonding for High School Students to Enhance 21st Century Skills

ถนอมขวัญ วิบูลย์ธนสาร[1*] และ ปิยรัตน์ ดรบัณฑิต[1]

Tanomkuan Wiboontanasarn[1*] and Piyarat Dornbundit[1]

[1]*ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย*

[1]*Department of Chemistry, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand*

**Corresponding author, E-mail: tanomkuanw@gmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1.1) เพื่อพัฒนาชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 1.2) หาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 65/65 และ 1.3) เพื่อศึกษาคะแนนพัฒนาการ (Gain score) ของนักเรียน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ กรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 20 คน ที่ได้มาจากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive selection) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1.1) ชุดกิจกรรมตามกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 1.2) แบบประเมินคุณภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี 1.3) แบบวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ได้ค่าความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค เท่ากับ 0.52 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐานโดยใช้สูตร IOC และ E1/E2 ผลการศึกษาพบว่า 1.1) ชุดกิจกรรมด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบ (IOC) ของชุดกิจกรรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 ด้านความสอดคล้องขององค์ประกอบ (IOC) ของชุดกิจกรรม มีค่าเท่ากับ 0.68 1.2) ชุดกิจกรรมสะตีมศึกษามีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 70.64/ 65.10 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 65/65 และ 1.3) นักเรียนมีค่าคะแนนพัฒนาการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 12.19

คำสำคัญ: *สะตีมศึกษา ชุดกิจกรรม พันธะเคมี*

Abstract

The objectives of this research were 1.1) to develop STEAM Education activity package on the topic of chemical bonding for high school students to promote 21st century skills 1.2) to find efficiency of STEAM Education activity package in order to have standard efficiency of 65/65 and 1.3) to study the average gain score of the students. The research sample was the twenty tenth - grade students in one classroom from extra-large secondary school in Bangkok in the first semester of the academic year 2018 by purposive selection. The research instruments consisted of 1.1) STEAM Education activity package 1.2) quality assessment form for activity package and 1.3) a test on learning and innovation skills in 21st century in term of creativity and innovation, in which the reliability of cronbach was 0.52. The statistics for data analysis were mean ($\bar{x}$), percentage (%), standard deviation (S.D.) and hypothesis testing by using IOC and E1/E2 formula. The research findings were as follows : 1.1) The mean of appropriation of elements in activity package was 4.13 and The mean of correlation of elements in activity package is 0.68. 1.2) The efficiency of STEAM Education activity package reported by E1/E2 was 70.64/65.10, which was over the criterion of 65/65. 1.3) The students' average gain score was 12.19.

Keywords: *Activity Package, STEAM Education, Chemical Bonding*

1. บทนำ

สภาเศรษฐกิจโลก (World Economic Forum) คาดว่าแนวโน้มของตลาดแรงงานทั่วโลกจะประสบปัญหาในการจ้างงานเป็นอย่างมาก จากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี เนื่องจากสังคมผู้สูงอายุเพิ่มขึ้น การขาดแคลนทรัพยากร รวมไปถึงการมีงานทำที่แปลกใหม่ไปจากเดิม ดังนั้นโลกของการจ้างงานและสังคมในยุคศตวรรษที่ 21 จะต้องการคนที่มีทักษะมากกว่ามีเพียงแค่ความรู้ โดยการเตรียมความพร้อมต่อการเปลี่ยนแปลงในการทำงาน จึงต้องมีทักษะที่จำเป็นประกอบด้วย การแก้ปัญหาที่ซับซ้อน (Complex problem solving) การคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Critical thinking) ความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) การบริหารบุคคล (People management) การร่วมมือกับผู้อื่น (Coordinating with others) ความฉลาดทางอารมณ์ (Emotional intelligence) การลงความเห็นและการตัดสินใจ (Judgement and Decision making) การใส่ใจความต้องการของลูกค้า (Service orientation) การต่อรอง (Negotiation) และความยืดหยุ่นทางปัญญา (Cognitive flexibility) (World Economic Forum. 2016)

ดังนั้น เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของการทำงานในอนาคต การจัดการเรียนรู้ของไทยจึงต้องมีการปรับเปลี่ยน จากการจัดการเรียนรู้แบบ Passive Learning โดยยึดเนื้อหา Content based ยึดครูเป็นศูนย์กลาง ให้เป็นการจัดการเรียนรู้แบบ Active Learning โดยมีนักเรียนเป็นศูนย์กลาง เพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง มีครูเป็นเพียงผู้อำนวยความสะดวก (วิไลลักษณ์ รัตนเพียรธัมมะ และปิยะนันท์ พริ้งน้อย, 2559) และจัดการเรียนการรู้ผ่านกิจกรรม การทดลอง ให้ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้และจัดกระทำข้อมูล โดยผ่านกระบวนการทำงานเป็นกลุ่มเพื่อให้ผู้เรียนได้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน เพื่อให้เกิดทักษะทางสังคม (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2558) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนมีทักษะที่หลากหลาย ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้เชิงบูรณาการ เช่น การจัดการเรียนรู้

แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา (Science Technology Engineering and Mathematics : STEM Education) ที่มีการบูรณาการระหว่างความรู้ 4 ศาสตร์วิชาเข้าด้วยกัน ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) กระบวนการวิศวกรรม (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) อันเป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้ที่คล้ายกับกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry-based learning) โดยผู้เรียนจะต้องสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (สนธิ พลชัยยา, 2557) เป็นการเรียนรู้แบบบูรณาการที่ใช้ทั้งความรู้และทักษะด้านต่าง ๆ ผ่านการทำกิจกรรม (activity based) หรือการทำโครงงาน (project based) การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้กระบวนการทางวิศวกรรมที่มีกระบวนการ 5 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุปัญหา (Identify a challenge) การค้นคว้าแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas) การวางแผนและการพัฒนา (Plan and develop) การทดสอบและการประเมินผล (Test and evaluate) และการนำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution) (สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) โดยใช้สถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง และสามารถเชื่อมโยงสถานการณ์ปัญหาให้เข้ากับชีวิตประจำวันได้ (สุพรรณี ชาญประเสริฐ, 2556) ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้แก่ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (critical thinking) ทักษะการทำงานเป็นทีม (collaboration skill) ทักษะการสื่อสาร (communication skill) และทักษะความคิดสร้างสรรค์ (creativity skill) (ศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ, 2557)

วิชาเคมี เป็นศาสตร์หนึ่งที่มีความยุ่งยากซับซ้อน และทำความเข้าใจในเนื้อหาวิชาได้ยาก ดังนั้น นักเรียนจำนวนมากจึงคิดว่าวิชาเคมียากเกินกว่าความสามารถของตนเอง และไม่สามารถนำมาเชื่อมโยงเข้ากับชีวิตประจำวัน (Chittleborough G., 2014) โดยเฉพาะเนื้อหาเรื่องพันธะเคมีซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นฐานของวิชาเคมี และหัวข้อเรื่องพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งถือว่าเป็นหัวใจหลักสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา (Kristy L., 2016) ที่มีเนื้อหาเป็นนามธรรม ต้องอาศัยจินตนาการ เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จากความเข้าใจดังกล่าวอาจทำให้นักเรียนเกิดแนวคิดที่คลาดเคลื่อน และไม่สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของเนื้อหาออกมาเป็นรูปธรรมได้ ดังนั้น จึงควรต้องมีการจัดกระบวนการเรียนการรู้ที่สามารถมองเห็นเป็นรูปธรรมและมีความน่าสนใจ ที่จะต้องนำมาเชื่อมโยงกับเนื้อหาให้มีความสอดคล้องกัน ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจในเนื้อหาได้ง่ายขึ้น จากการค้นคว้าเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ในเรื่องพันธะเคมี เช่น การพัฒนามโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ โดยกลวิธีจำลอง-สังเกต –สะท้อนกลับ-อธิบาย สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (พัศยา สันสน, และ กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา, 2558) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่มีการเพิ่มระดับการสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (ฑิฆัมพร โตสำลี, 2553) การจัดการเรียนรู้ในเรื่อง พันธะเคมีมีหลากหลายวิธีการ แต่ยังขาดการบูรณาการศาสตร์วิชาเข้าด้วยกัน และยังไม่สามารถเชื่อมโยงเนื้อหาเข้ากับสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวันได้

ซึ่งต่อมา แยคแมน (Yakman) ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะตีมศึกษา (STEAM Education) ซึ่งมีรากฐานมาจาก การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา (STEM Education) โดยเพิ่มวิชาศิลปะ (Arts) ซึ่งเป็นศาสตร์ที่สามารถเชื่อมโยงศาสตร์อื่น ๆ เข้าด้วยกันมากขึ้น (Yakman, 2008) ส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี (Michaud, 2014) และเป็นการพัฒนาผู้เรียนให้ครบถ้วนในสมองทั้งสองซีก (University of Florida. 2014) การจัดการเรียนรู้สะตีมศึกษาเป็นในการจัดการเรียนการสอนผ่านการจัดกิจกรรม เช่น มีนกาญจน์ แจ่มพงษ์ ได้ศึกษาการพัฒนาชุดฝึกทักษะแบบสะตีมศึกษาเพื่อการสร้างสรรค์ชิ้นงาน เรื่อง พลังงานรอบตัวเรา พบว่าการจัดการเรียนรู้สะตีมศึกษาจะส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้ควรเลือกสถานการณ์ปัญหาที่ใกล้ตัวนักเรียนให้มาก

ที่สุด เพื่อให้นักเรียนเห็นความสำคัญของปัญหา และมุ่งหาแนวทางในการแก้ปัญหา (มีนกาญจน์ แจ่มพงษ์, 2559) และจากงานวิจัยของ สมรัก อินทรวิมลศรี พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสะตีมศึกษาถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้รายวิชาวิทยาศาสตร์ เช่น ในเรื่องระบบย่อยอาหาร โดยให้ผู้เรียนออกแบบสร้างอุปกรณ์การส่องตรวจลำไส้ใหญ่เพื่อแก้ปัญหาความไม่พร้อมของอุปกรณ์ทางการแพทย์ (สมรัก อินทรวิมลศรี, 2560)

จากผลการศึกษางานวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้สะตีมศึกษาเป็นหนึ่งในแนวทางที่สามารถทำให้นักเรียนเกิดการพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 จากการบูรณาการวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ศิลปะ และคณิตศาสตร์โดยจัดกิจกรรม ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เชื่อมโยงเข้ากับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21

3. เพื่อศึกษาคะแนนพัฒนาการของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21

3. อุปกรณ์และวิธีการ / วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561

3.1.1.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ กรุงเทพมหานคร จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 20 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง

3.1.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

3.1.2.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21

3.1.2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 และคะแนนพัฒนาการของนักเรียน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

3.2.2 แบบวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การสร้างและการหาคุณภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี

3.3.1 ขั้นตอนการสร้างชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี

3.3.1.1 ศึกษาตัวชี้วัดของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ในสาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร เรื่อง พันธะเคมี จากหนังสือและเอกสารต่างๆ เพื่อกำหนดขอบเขตของเนื้อหาเรื่อง พันธะเคมี โดยเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยของรายวิชาเคมีเพิ่มเติม เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ ประกอบด้วยสาระดังนี้ การเกิดและชนิดของพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ เรโซแนนซ์ รูปร่างและสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และสารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย

3.3.1.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้สะตีมศึกษา ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการเนื้อหาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์

3.3.1.3 การสร้างชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี โดยกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ดำเนินตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้น 1 ระบุปัญหา โดยครูกำหนดสถานการณ์ที่เป็นปัญหาที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน ได้แก่ สถานการณ์ขยะล้นเมือง โดยเริ่มจากกิจกรรมที่ 1 ให้นักเรียนช่วยกันระดมความคิดขยะแต่ละประเภทที่พบเห็นภายในโรงเรียน กิจกรรมที่ 2 ให้นักเรียนยกตัวอย่างแนวทางในการจัดการขยะประเภทรีไซเคิลโดยใช้แนวคิด 3Rs กิจกรรมที่ 3 นักเรียนเรียนรู้ขยะรีไซเคิลแต่ละประเภท พร้อมทั้งให้นักเรียนเลือกรีไซเคิลขยะประเภทใดเป็นลำดับแรก โดยมีข้อจำกัดคือต้องรีไซเคิลได้ง่ายและปลอดภัย พร้อมทั้งระบุวิธีการเพิ่มมูลค่าของขยะรีไซเคิลที่เลือก กิจกรรมที่ 4 ให้นักเรียนระบุวิธีการแก้ปัญหากระดาษเหลือใช้ในโรงเรียน และของใช้ในชีวิตประจำวันที่มีกระดาษเป็นองค์ประกอบ

ขั้น 2 การค้นคว้าแนวคิดที่เกี่ยวข้อง นักเรียนค้นคว้าเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบกระดาษ โครงสร้างของกระดาษ และดำเนินการสอนโดยใช้กระดาษเป็นตัวแทนในการเรียนรู้เรื่อง พันธะเคมี พร้อมทั้งยกตัวอย่างการทดสอบการกำจัดหมึกออกจากกระดาษ โดยยกตัวอย่างประเภทกระดาษ และสารเคมี เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เรื่องการละลายของโมเลกุลโคเวเลนต์

ขั้น 3 การวางแผนและการพัฒนา นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบและผลิตชิ้นงานจากกระดาษรีไซเคิล โดยมีวัตถุประสงค์คือ สามารถใช้งานได้จริง และเพิ่มมูลค่าให้กับกระดาษ โดยเริ่มจากการให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันระดมความคิด นำเสนอชิ้นงานที่สนใจ เพื่อหาข้อสรุปร่วมกัน หลังจากนั้นออกแบบชิ้นงานพร้อมทั้งอธิบายวิธีการทำชิ้นงาน

ขั้น 4 การทดสอบและการประเมินผล นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสรุปรายละเอียดต่าง ๆ ของชิ้นงานที่ได้จากกระดาษรีไซเคิล ทดสอบความแข็งแรงความคงทนของชิ้นงาน พร้อมทั้งระบุจุดเด่น และข้อที่ควรปรับปรุง แล้วนำมาปรับปรุงชิ้นงานให้ดีขึ้น

ขั้น 5 การนำเสนอผลลัพธ์ นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวางแผนวิธีการนำเสนอชิ้นงาน ตามหัวข้อที่กำหนด

3.3.2 ขั้นตอนการหาคุณภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี โดยเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 1 ท่าน เพื่อทำการประเมินความเหมาะสม และความสอดคล้องขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ดังนี้

3.3.2.1 ด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรม โดยมีรายการประเมิน 15 รายการ พบว่า 1) ระดับความเหมาะสมมากที่สุด ประกอบด้วย 1.1) การบูรณาการตามรูปแบบสะตีมศึกษาครบทุกสาขาวิชา และ 1.2) การใช้สีสัน ขนาดตัวอักษร และภาพเหมาะสม 2) ระดับความเหมาะสมมาก ประกอบด้วย 2.1) ความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง 2.2) ความเหมาะสมต่อการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 2.3) ความถูกต้องของเนื้อหา 2.4) จุดประสงค์มีความชัดเจนและเป็นไปได้ 2.5) เนื้อหาครอบคลุมความรู้ที่ผู้เรียนควรได้รับ 2.6) กิจกรรมการเรียนรู้มีลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม 2.7) เนื้อหามีการเรียงลำดับที่เหมาะสม 2.8) ระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสม 2.9) รูปแบบของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษามีความเหมาะสม 2.10) ความถูกต้องของภาษา 2.11) ความเหมาะสมขององค์ประกอบชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา 2.12) การประเมินผลครอบคลุมสิ่งที่ต้องการประเมิน และ 3) ระดับความเหมาะสมปานกลาง ประกอบด้วย ความครอบคลุมของเนื้อหา และ พบว่า ค่าความเหมาะสมขององค์ประกอบของของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 อยู่ในเกณฑ์การประเมินช่วง 3.51- 4.50 ซึ่งหมายความว่า องค์ประกอบของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี มีความเหมาะสมมาก

3.3.2.2 ด้านความสอดคล้องขององค์ประกอบของชุดกิจกรรม โดยมีรายการประเมิน 5 ด้าน พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้องของแต่ละด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านจุดประสงค์ของกิจกรรม เท่ากับ 0.92 2) ด้านเนื้อหา เท่ากับ 0.67 3) ด้านการใช้ภาษา เท่ากับ 0.58 4) ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ เท่ากับ 0.83 และ 5) ด้านการประเมินผล เท่ากับ 0.42 และค่าดัชนีความสอดคล้องของของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 เนื่องจากด้านการประเมินผลมีการพิจารณาปรับปรุง จำนวนข้อคำถามในการวัดและประเมินผลมีจำนวนมากเกินไป และด้านเนื้อหามีการเสนอให้เพิ่มหัวข้อรูปร่างโมเลกุลและมุมพันธะ

จากนั้นผู้วิจัยนำข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุง หลังจากนั้นนำชุดกิจกรรมไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ทดลองกับนักเรียนกลุ่มเล็ก จำนวน 3 คน เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้และหาข้อบกพร่องของชุดกิจกรรม โดยนักเรียนระบุว่าชุดกิจกรรมมีสีสันสวยงาม มีรูปแบบน่าสนใจ ทำให้เกิดการกระตุ้นการอยากเรียนรู้ของนักเรียน แต่ต้องการให้ปรับภาษาให้เกิดความเข้าใจง่าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แก้ไขและปรับปรุงให้เข้าใจง่ายขึ้น หลังจากปรับปรุงแล้ว นำไปทดลองกับนักเรียนกลุ่มเล็ก จำนวน 9 คน เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้ และหาข้อบกพร่องของชุดกิจกรรมอีกครั้ง โดยการสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรม โดยนักเรียนระบุว่าข้อความในชุดกิจกรรมอ่านเข้าใจง่าย มีสีสันสวยงาม และกระตุ้นการอยากเรียนรู้ของนักเรียน จากนั้นนำไปทดลองกับนักเรียนกลุ่มใหญ่ จำนวน 20 คน เพื่อศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรม ให้เป็นตามไปตามเกณฑ์ E1/E2 ไม่น้อยกว่า 65/65

แบบวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เมื่อตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบวัด โดยใช้ค่าความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค เท่ากับ 0.52 มีค่าความยากง่าย (p) ของแบบวัด 0.23 – 0.57 และค่าอำนาจจำแนก (r) 0.24 ขึ้นไป

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 65/65 โดยใช้ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้สูตร IOC = $\Sigma R/N$

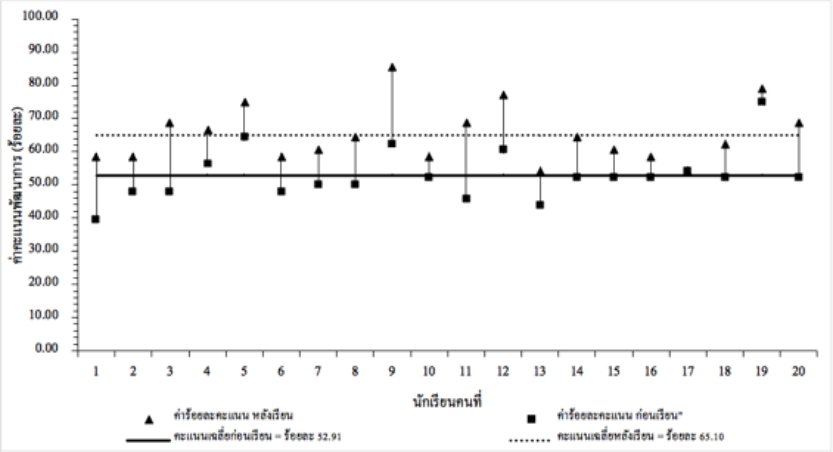
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาประสิทธิภาพระหว่างเรียน (E1) และหลังเรียน (E2) ของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนจำนวน 20 คน พบว่า คะแนนระหว่างเรียนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.82 คิดเป็นค่าร้อยละ 70.64 และคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.60 คิดเป็นค่าร้อยละ 65.10 ซึ่งคะแนนระหว่างเรียนมีค่ามากกว่าคะแนนหลังเรียน อาจเนื่องจากคะแนนระหว่างเรียนได้จากการทำแบบฝึกหัดในชุดกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนอยู่ในบรรยากาศที่ไม่กดดัน ดังนั้น ชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี มีประสิทธิภาพ 70.64/65.10 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 65/65 ที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยจากแบบฝึกหัดในชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และร้อยละคะแนนเฉลี่ยจากแบบวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	ค่าร้อยละ (E1)	ค่าร้อยละ (E2)
ระหว่างเรียน	20	4	2.82	1.31	70.64	-
หลังเรียน	20	4	2.60	1.11	-	65.10
การหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรม (E1/E2)					70.64/65.10	

4.2 ผลการศึกษาคะแนนพัฒนาการของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี โดยใช้คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน จากแบบวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม พบว่า นักเรียนมีคะแนนก่อนเรียนเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 52.91 และนักเรียนมีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 65.10 และเมื่อเปรียบเทียบคะแนนพัฒนาการของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า คะแนนพัฒนาการของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 12.19 สาเหตุขึ้นอยู่กับความสนใจและความถนัดของนักเรียนแต่ละบุคคล ทำให้พัฒนาการที่เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกัน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงค่าร้อยละคะแนนพัฒนาการของนักเรียนรายบุคคลที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21

5. การอภิปรายผล

5.1 จากผลการหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี พบว่า ชุดกิจกรรมสะตีมศึกษาเรื่องพันธะเคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น มีประสิทธิภาพเท่ากับ 70.64/65.10 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพ E1/E2 เนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

ประการที่ 1 ชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ได้พัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบ โดยมีการศึกษาข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ ให้มีความเหมาะสมกับเนื้อหา ภาษาที่ใช้ รูปแบบ และความน่าสนใจของชุดกิจกรรม และผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านสอนการวิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 1 ท่าน เพื่อศึกษาหาข้อบกพร่องของชุดกิจกรรมและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ เพิ่มภาพประกอบโครงสร้างทางเคมีให้ชัดเจน เพิ่มเนื้อหาในเรื่องรูปร่างโมเลกุล และมุมพันธะ และปรับจำนวนข้อคำถามในการวัดและประเมินผล ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแก้ไปตามคำแนะนำก่อนนำไปใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก จำนวน 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 จำนวน 3 คน และกลุ่มที่ 2 จำนวน 9 คน เพื่อศึกษาความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้ และหาข้อบกพร่องของชุดกิจกรรม ควบคู่กับการสัมภาษณ์และการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง หลังจากนั้นได้นำชุดกิจกรรมมาปรับปรุงก่อนนำไปใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างกลุ่มใหญ่ จำนวน 20 คน เพื่อศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้ และหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ให้เป็นไปตามเกณฑ์ E1/E2 ไม่น้อยกว่า 65/65 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ มีนกาญจน์ แจ่มพงษ์ ได้พัฒนาชุดฝึกทักษะแบบสะตีมศึกษาเพื่อการสร้างชิ้นงาน เรื่อง พลังงานรอบตัวเรา ตามรูปแบบที่วางแผนไว้ซึ่งมีประสิทธิภาพ 80.76/81.54 ซึ่งเป็นไปเกณฑ์ (มีนกาญจน์ แจ่มพงษ์, 2559) และ เพชรศิรินทร์ ตุ่นคำ ได้พัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล: โปรตีนและลิพิด และนำชุดกิจกรรมให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพและความสอดคล้องของชุดกิจกรรม และนำไปทดลองใช้กับนักเรียน พบว่าชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพ 87.14/71.79 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ (เพชรศิรินทร์ ตุ่นคำ, 2559) แสดงว่าเมื่อนำชุดกิจกรรมนี้ใช้ในการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพทั้งระหว่างเรียนและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับนักเรียน

ประการที่ 2 ชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ได้พัฒนากิจกรรมที่มีการบูรณาการ 5 สาขาวิชา ได้แก่ 1) วิทยาศาสตร์ ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับเรื่องของพันธะเคมี 2) เทคโนโลยี โดยการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้ 3) ศิลปะ การออกแบบและสร้างชิ้นงาน รวมถึงการออกแบบการนำเสนอชิ้นงาน และ 4) คณิตศาสตร์ โดยจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการเชิงวิศวกรรม โดยออกแบบและสร้างชิ้นงานจากสถานการณ์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ได้แก่ ปัญหาขยะล้นเมือง ให้สามารถใช้งานได้จริง มีความแข็งแรงทนทาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิภาวี ทะนานทอง ได้พัฒนาชุดกิจกรรม STEAM วิชาพื้นฐาน เคมี เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี โดยอธิบายลักษณะชุดกิจกรรมที่บูรณาการสะตีมศึกษา 5 สาขาวิชา เพื่อนำไปใช้กับสถานการณ์ปัญหาประดิษฐ์เรือของเล่นโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ โดยชุดกิจกรรมนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ดังนั้น การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการความรู้ระหว่างสาขาวิชาต่าง ๆ ร่วมกับใช้สถานการณ์ปัญหาที่สามารถพบเจอได้ในชีวิตประจำวัน จึงช่วยให้ชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (วิภาวี ทะนานทอง, 2561)

5.2 สำหรับการศึกษาคะแนนพัฒนาการของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี พบว่านักเรียนมีค่าคะแนนพัฒนาการทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 12.19 เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้สะตีมศึกษา เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการบูรณาการความรู้ผ่านการออกแบบด้วยกระบวนการเชิงวิศวกรรม โดยให้นักเรียนร่วมกันสร้างสรรค์ชิ้นงาน และแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และด้านการร่วมมือการทำงานและการสื่อสารให้กับนักเรียน สอดคล้องกับ ภัสสร ติดมา ที่กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาทำให้นักเรียนมีพัฒนาการด้านความคิดสร้างสรรค์สูงขึ้น เนื่องจากนักเรียนสามารถออกแบบและสร้างชิ้นงานได้อย่างสร้างสรรค์ เพื่อใช้แก้ปัญหา (ภัสสร ติดมา และคณะ, 2558) และ สมรัก อินทรวิมลศรี ที่ทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้สะตีมศึกษาในวิชา ชีววิทยา โดยจัดการเรียนรู้ผ่านสถานการณ์ปัญหาเพื่อให้นักเรียนได้ฝึกทักษะความคิดสร้างสรรค์ ผ่านการออกแบบวิธีการ และการสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหา เช่น ในเรื่องระบบย่อยอาหาร โดยให้ผู้เรียนออกแบบสร้างอุปกรณ์การส่องตรวจลำไส้ใหญ่เพื่อแก้ปัญหาความไม่พร้อมของอุปกรณ์ทางการแพทย์ เรื่อง การเจริญเติบโตของสัตว์ ให้ผู้เรียนออกแบบเครื่องฟักไข่ เพื่อแก้ปัญหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (สมรัก อินทรวิมลศรี, 2560)

6. บทสรุป

จากการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี พบว่า ด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบของชุดกิจกรรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 ซึ่งหมายถึงว่าแต่ละองค์ประกอบของชุดกิจกรรมมีความเหมาะสมมาก ด้านความสอดคล้องขององค์ประกอบของชุดกิจกรรมมีค่าเท่ากับ 0.68 และชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพ 70.64/65.10 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และนักเรียนมีคะแนนพัฒนาการของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี เพิ่มขึ้น เท่ากับ ร้อยละ 12.19

ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุง และข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป คือ ชุดกิจกรรมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ควรมีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ เชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวันได้อย่างเหมาะสม

การวัดและการประเมินผลการจัดการเรียนรู้ควรครอบคลุมกับสิ่งที่ต้องการประเมิน และควรมีการพัฒนาชุดกิจกรรมสะตีมศึกษา เพื่อนำไปพัฒนาตัวแปรอื่น ๆ เช่น ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ทักษะการแก้ปัญหา เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษาตามโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)

8. เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ สุธิรัตน์. (2558). *ศิลปะการสอนเพื่อผู้เรียนในศตวรรษที่ 21*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: บริษัท วีพริ้นท์ (1991) จำกัด.

ศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ. (2557). *คู่มือหลักสูตรอบรมครูสะเต็มศึกษา*. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

วิไลลักษณ์ รัตนเพียรธัมมะ และปิยะนันท์ พริ้งน้อย. (2559). นวัตกรรมการศึกษาในการพัฒนาทักษะเพื่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21. *วารสารร่มพฤกษ์*. 34(3), 55-78.

เพชรศิรินทร์ ตุ่นคำ. (2559). การพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล: โปรตีนและลิพิด เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ภัสสร ติดมา, มลิวรรณ นาคขุนทด และสิรินภา กิจเกื้อกูล. (2558). การจัดการเรียนรู้ตามแนวทาง STEM Education เรื่องระบบของร่างกายมนุษย์ เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารราชพฤกษ์*. *13*(3), 71-76.

มีนกาญจน์ แจ่มพงษ์. (2559). การพัฒนาชุดฝึกทักษะแบบสะตีมศึกษาเพื่อการสร้างสรรค์ชิ้นงาน เรื่อง พลังงานรอบตัวเรา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีและการสื่อสารการศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วิภาวี ทะนานทอง. (2561). พัฒนาชุดกิจกรรม STEAM วิชาพื้นฐาน เคมี เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). เอกสารการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สุพรรณี ชาญประเสริฐ. (2556). การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21. *นิตยสาร สสวท*. *42*(185), 10-13.

สนธิ พลชัยยา. (2557). สะเต็มศึกษากับการคิดขั้นสูง. *นิตยสาร สสวท*. *42*(189), 7-8.

สมรัก อินทรวิมลศรี. (2560). ผลของการใช้แนวคิดสะตีมศึกษาในวิชาชีววิทยาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Chittleborough, Gail. (2014). The Development of Theoretical Frameworks for Understanding the Learning of Chemistry**.**

Kristy, & Turner L. (2016). A Cost-Effective Physical Modeling Exercise To Develop Students' Understanding of Covalent Bonding. *J. Chem. Educ*. 93, 1073-1080

Kim, Y., & Park, N. (2012) . The Effect of STEAM Education on Elementary School Student's Creativity Improvement. *Springer.* 339, 115-121.

Phonchaiya, S., & Thananuwong, R. (2016). STEM Holiday Activity: Designing for Flood Crisis. *K-12 STEM Education.* 30, 2(4), 107-116.

Yakman, Georeette, G. (2008). STE@M Education: an overview of creating a model of integrative education. *Pupils Attitudes Towards Technology 2008 Annual Proceeding*. (pp. 335-358). Netherlands.

World Economic Forum. (2016). The Future of Jobs. *Global Challenge Insight Report*.