



การออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน สำหรับนักเรียน
ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6

Designing STEM activities on making battery from household chemical substances
for grade 12 students

กนกวรรณ ศรีเดชา¹ ธนะวัฒน์ วรรณประภา² และ นภา ตั้งเตรียมจิตมั่น^{1*}

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

² ภาควิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

*E-mail: napa@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างกิจกรรม เรื่องแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน ผ่านการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และเพื่อศึกษากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและทักษะทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เข้าร่วมกิจกรรมนี้ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 41 คน ซึ่งถูกเลือกแบบเจาะจงผ่านกิจกรรมชุมนุมไฟฟ้าเคมี รูปแบบการวิจัยเป็นแบบ One Group Posttest Design เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 80 เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน โดยครูผู้สอน และแบบวัดทักษะทางวิทยาศาสตร์ 14 ทักษะ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้เข้าร่วมกิจกรรมนี้มีกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ดีมาก คิดเป็นร้อยละ 90.4 รวมทั้งมีทักษะทางวิทยาศาสตร์ที่ดีมาก คิดเป็นร้อยละ 83.4

คำสำคัญ: แบตเตอรี่ ไฟฟ้าเคมี สะเต็มศึกษา กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

Received: March 11, 2019

Revised: May 21, 2019

Accepted: June 09, 2019

Abstract

This research aimed to create a STEM activity on making battery from household chemical substances and to study the engineering design process and scientific skills of grade 12 students after attending this activity. The participants were selected from the second semester students in science program of 2018 academic year. They were 41 students who joined the electrochemistry science club. The research model was One Group Posttest Design, compared to 80 percent criteria. The research tools included a lesson plan, an evaluation form for instructors to evaluate engineering design process of students and the test questions for students to evaluate their fourteen scientific skills. The results showed that students gained a very good engineering design process with 90.4%. Scientific skills of students were also high as 83.4% after attending this activity.

Keywords: battery, electrochemistry, STEM education, engineering design process

1. บทนำ

การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ การอ่านออกเขียนได้ และการคำนวณเป็น รวมทั้งทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา การสื่อสาร การทำงานร่วมกับผู้อื่น ความคิดสร้างสรรค์ โดยครูผู้สอนเป็นหลักขับเคลื่อนสำคัญที่พัฒนาผู้เรียน เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพของตนเอง สามารถนำความรู้ไปใช้ในชีวิตจริง การจัดบรรยากาศการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทัศนคติ สร้างแรงจูงใจในการเรียน การกระตุ้นให้คิด ให้ใช้ข้อมูลข่าวสาร สื่อเทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยพัฒนาทักษะชีวิต และงานอาชีพให้แก่ผู้เรียน [1] จากที่กล่าวมาจึงเห็นได้ถึงความจำเป็นที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการเรียนการสอนให้สอดคล้องและเหมาะสมกับยุคสมัย

สะเต็มศึกษา เป็นแนวทางการจัดการศึกษาหนึ่งที่บูรณาการ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี

วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เข้าด้วยกัน มีเป้าหมายสำคัญเพื่อนำผู้เรียนไปสู่การคิดแก้ปัญหาและสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงบทเรียนในห้องเรียนเข้ากับการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้จริง การจัดการเรียนรู้ที่มีการบูรณาการหลักการสะเต็มศึกษาเข้าไปในหลักสูตรหรืออาจนำมาใช้เพียงบางส่วนของเนื้อหาวิชา ถือได้ว่ามีการผสมผสานการเรียนรู้แบบเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญเพราะผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการลงมือปฏิบัติ และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตลอดชีวิต [2] เพื่อเตรียมความพร้อมแก่ผู้เรียนให้มีทักษะ และสมรรถนะที่สอดคล้องกับความต้องการที่เปลี่ยนแปลง เพื่อศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น หรือเพื่อการประกอบอาชีพในศตวรรษที่ 21

การบูรณาการวิศวกรรมในสะเต็มศึกษา หมายถึง การใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในกิจกรรมสะเต็ม โดยเป็นกระบวนการที่ใช้องค์

ความรู้ทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มาแก้ปัญหาในการสร้างสรรค์ชิ้นงาน โดยมี ขั้นตอนตั้งแต่กำหนดปัญหา สืบค้น ออกแบบ วางแผน สร้างและทดสอบชิ้นงาน ปรับปรุงแก้ไข คิดค้นหาแนวทางที่หลากหลายเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ [3] กระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรมจะคล้ายกับกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ มีความต่างตรงที่กระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรมมีการเน้นการลงมือปฏิบัติ เพื่อสร้างชิ้นงาน จึงอาจกล่าวได้ว่าเมื่อใช้ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการจัดการ เรียนรู้จะสามารถทำให้เกิดทักษะทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีทั้งหมด 14 ทักษะ [4] ได้เช่นเดียวกับการใช้ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์

บริบทของโรงเรียนแห่งหนึ่งในภาค ตะวันออกเป็นโรงเรียนที่มีการจัดการเรียนการสอน รายวิชาเคมี เนื้อหาไฟฟ้าเคมี ในระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากผลการเรียนปีการศึกษา 2559 และ 2560 นักเรียนมีผลการเรียนระดับ 3 ขึ้นไป คิด เป็นร้อยละ 68.5 และ 71.8 ตามลำดับ ซึ่งไม่เป็นไป ตามเป้าหมายของโรงเรียน คือ ร้อยละ 75 สะท้อน ให้เห็นถึงปัญหาการสอนวิชาเคมี เนื้อหาไฟฟ้าเคมี ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ค่อนข้างยาก นักเรียนส่วนใหญ่ยัง ขาดความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหา จากการเรียนใน ห้องเรียนตามแบบหนังสือเรียนนั้นทำให้นักเรียน ไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้เรื่องไฟฟ้าเคมีที่ นำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ ผู้วิจัยจึงศึกษากิจกรรม เรื่องไฟฟ้าเคมีที่น่าสนใจ เพื่อนำมาประยุกต์ในการ จัดการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ เรื่องไฟฟ้าเคมี กิจกรรมการจัดการเรียนรู้เรื่องไฟฟ้า เคมีที่น่าสนใจที่ผู้วิจัยได้ศึกษา เช่น การสร้างเซลล์ กัลวานิกโดยใช้ผลไม้ [5] การสร้างชุดการทดลอง เซลล์กัลวานิกโดยใช้สะพานเกลือจากเส้นด้าย [6]

การทดลองแบบสาธิตการขับเคลื่อนมอเตอร์โดย เซลล์กัลวานิกอย่างง่าย โดยต่อเซลล์ Zn-Cu ทำให้ มอเตอร์ขนาดเล็กทำงาน [7] การสร้างเซลล์กัล วานิกจากมะนาว [8] เพื่อนำไปสร้างพลังงานไปใช้ ในเครื่องคิดเลข [9] หรือนำไปสร้างเป็นแบตเตอรี่ ใช้การขับเคลื่อนรถยนต์เล็ก [10] การสร้าง แบตเตอรี่จากพอลิเมอร์ [11] การสร้างแบตเตอรี่จาก การนำเซลล์กัลวานิกหลายเซลล์มาต่อกัน มีวิธีที่ หลากหลายดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ผู้วิจัยสนใจ ออกแบบกิจกรรมการสร้างแบตเตอรี่จากสารเคมีใน บ้านด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการสร้างแบตเตอรี่จากสารเคมี วัสดุ อุปกรณ์ ราคาถูก ที่หาได้จากในบ้าน ทำให้นักเรียนเกิดความ สนใจที่จะเรียนรู้เกี่ยวกับ สารเคมีที่ใช้ใน ชีวิตประจำวันภายในบ้าน ว่าเป็นสารเคมีชนิดใดมี สูตรเคมีอย่างไร มีสมบัติทางไฟฟ้าเคมีเป็นอย่างไร

ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาทักษะทาง วิทยาศาสตร์ และกระบวนการออกแบบเชิง วิศวกรรม ที่นักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จะ ได้รับจากการเข้าร่วมกิจกรรม เรื่อง แบตเตอรี่จาก สารเคมีในบ้าน ด้วยการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็ม ศึกษา ในกิจกรรมชุมนุมไฟฟ้าเคมี โดยทำการ ทดลองจากสถานการณ์ที่เกี่ยวกับเนื้อหาเรื่อง ไฟฟ้า เคมีที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้สร้าง แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบกิจกรรม

ผู้วิจัยสร้างเซลล์กัลวานิก โดยทำการทดลอง ทดสอบสารเคมีในบ้านที่สามารถนำมาทำเป็น สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และทำเป็นขั้วไฟฟ้าเพื่อ สร้างเซลล์กัลวานิก 1 เซลล์ วัดศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เพื่อทดสอบเบื้องต้นในการจัดเตรียม วัสดุและ

สารเคมีในบ้าน ที่ใช้ได้ในการกิจกรรม ซึ่งนักเรียนจะนำไปศึกษาเพื่อสร้างแบตเตอรี่

2.2 ผู้เข้าร่วมวิจัย

ได้มาจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 ที่เรียนกิจกรรมชุมนุมไฟฟ้าเคมี จำนวน 41 คน

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ และใบกิจกรรม เรื่อง แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน จำนวน 6 คาบ ซึ่งผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ ตามขอบเขตเนื้อหาสาระเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากนั้นปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำแล้วนำมาใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

2.3.2 แบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน เป็นการตรวจจากใบกิจกรรมที่นักเรียนเขียนตอบมา มีรายการที่ตรวจเช็ครายละเอียด เป็นจำนวน 10 ข้อ และระดับคะแนน 0-3 โดยประเมินตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แบบประเมินนี้ได้ถูกเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พิจารณาตรวจสอบความสอดคล้องแบบประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำแล้วนำมาใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

2.3.3 แบบวัดทักษะทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านเป็นแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยข้อคำถามเป็นคำถามเกี่ยวกับกิจกรรมไฟฟ้าเคมีที่ครอบคลุมทักษะทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด 14 ทักษะ โดยคำถามบางข้ออาจวัดทักษะได้มากกว่าหนึ่งทักษะขึ้นไป ซึ่งผู้วิจัยนำแบบวัดทักษะทางวิทยาศาสตร์เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบ จากนั้นนำกิจกรรมพร้อมทั้งเครื่องมือไปทดลอง (Try out) กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 30 คน ที่ไม่ได้เรียนกิจกรรมชุมนุมไฟฟ้าเคมี ผลจากการ Try out พบว่าแบบวัดทักษะทางวิทยาศาสตร์ มีค่าความยากง่าย (p) รายข้ออยู่ระหว่าง 0.2-0.8 มีค่าอำนาจการจำแนก (r) รายข้ออยู่ระหว่าง 0.2-1.0 มีค่าความเที่ยงมากกว่า 0.7 โดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder-Richardson [12] ซึ่งมีผลดีสามารถนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้

2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการจัดการเรียนรู้และเก็บรวบรวมข้อมูล ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 เวลาในการดำเนินครั้งละ 1 คาบ คาบละ 55 นาที จำนวน 6 ครั้ง โดยกำหนดการจัดกิจกรรมเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำหนดการจัดกิจกรรม เรื่องแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

คาบที่	กิจกรรม
1	<u>ระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด</u> - ระบุปัญหาจากสถานการณ์ หาวัสดุอุปกรณ์ สารเคมีในบ้านที่เป็นไปได้ที่สามารถนำมาสร้างแบตเตอรี่
1-2	<u>ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องในการสร้างแบตเตอรี่</u> - นำวัสดุอุปกรณ์ สารเคมีที่หาได้มาสืบค้นหาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุ กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ (E^0) เมื่อนำมาสร้างเซลล์กัลวานิก - สร้างเซลล์กัลวานิกจากวัสดุ และสารเคมีที่หาได้ ศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ในเซลล์กัลวานิก วัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ เลือกวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมีที่นำมาสร้างแบตเตอรี่
3-4	<u>วางแผนและพัฒนาสร้างแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน</u> - ออกแบบจำลองแบตเตอรี่ ภาพร่างอย่างง่าย - สร้างแบตเตอรี่
5	<u>ทดสอบและประเมินผลแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้น</u> - ทดสอบแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นกับหลอด LED 1 V หรือมอเตอร์ 3 V - แก้ไขข้อผิดพลาด ทดลองสร้างแบตเตอรี่ใหม่ และนำมาทดสอบใหม่
6	<u>นำเสนอผลลัพธ์แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านที่สร้างขึ้น</u> - นำเสนอแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้น - เขียนรายงานผลการดำเนินการ เชื่อมโยงความรู้จากกิจกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน

ผลการทดสอบสารเคมีในบ้านเพื่อสร้างเซลล์กัลวานิก ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการสำรวจ

สารเคมีที่ใช้ในบ้าน โดยแบ่งประเภทเป็นสารที่จะนำมาทำเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และนำมาทำขั้วไฟฟ้า พบว่ามีสารที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาสร้างเซลล์กัลวานิก รายละเอียดดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สารเคมีภายในบ้านที่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาสร้างเซลล์กัลวานิก

สารละลายอิเล็กโทรไลต์		
ชื่อสาร	ชื่อเคมี	สูตรเคมี
ยาลดกรดหรือผงฟู	โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต	NaHCO_3
ไฮเตอร์	โซเดียมไฮโปคลอไรท์	NaOCl
ผงขัดท่อตัน มีสเตอร์มัสเซล	โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH
ด่างทับทิม	โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	KMnO_4
กรดในแบตเตอรี่	ซัลฟิวริก แอซิด	H_2SO_4
น้ำเกลือแกง	โซเดียมคลอไรด์	NaCl
น้ำปูนใส	แคลเซียมไฮดรอกไซด์	Ca(OH)_2
น้ำส้มสายชู	แอซติก แอซิด	CH_3COOH
น้ำยาล้างแผล	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6%	H_2O_2
น้ำมะนาวสด	ซิตริก แอซิด	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$
โซดา	คาร์บอนิก แอซิด	H_2CO_3
ดีเกลือ	แมกนีเซียม ซัลเฟต	MgSO_4
ขั้วไฟฟ้า		
ชื่อสาร	ชื่อเคมี	สูตรเคมี
อลูมิเนียมฟอยล์ 3 cm x 1 cm	อลูมิเนียม	Al
สังกะสี 3 cm x 1 cm	ซิงค์	Zn
ตะปูเหล็ก 1.2 cm	ไอเอิร์น	Fe
เหรียญ 50 สตางค์	คอปเปอร์	Cu
ลือแม็ก	แมกนีเซียม	Mg
ไส้ดินสอ	คาร์บอน	C

วัสดุที่นำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้ามีหลักการเลือก คือสามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประเภทโลหะ และไส้ดินสอ ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีหลักการเลือก คือเมื่อละลายน้ำ จะต้องแตกตัวเป็นไอออน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปแล้วนำไฟฟ้าได้ [13] ซึ่งสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ส่วน

ใหญ่ เป็นสารละลายกรด สารละลายเบส และสารละลายเกลือ ผู้วิจัยได้เลือกวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี นำมาทดสอบโดยสร้างเซลล์กัลวานิก 1 เซลล์ซึ่งใช้โลหะเป็นขั้วแคโทดและแอโนดอย่างละ 1 ชิ้น แล้ววัดค่าศักย์ไฟฟ้า ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ของเซลล์กัลวานิกที่สร้างขึ้นจากสารเคมีในบ้าน

ขั้วโลหะ		สารละลายอิเล็กโทรไลต์						
(-)	(+)	NaCl	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	CH ₃ COOH	H ₂ O ₂ 6% + CH ₃ COOH 5%	C ₆ H ₈ O ₇	H ₂ CO ₃
		5%	5%	5%	5%			
Al	Zn	+0.05	+0.80	+0.15	+0.38	+0.15	+0.45	+0.19
Al	Fe	+0.32	+1.04	+0.29	+0.42	+0.72	+0.51	+0.30
Al	Cu	+0.67	+1.57	+0.49	+0.46	+0.22	+0.58	+0.30
Zn	Fe	+0.38	+1.10	+0.16	+0.52	+0.24	+0.62	+0.25
Zn	Cu	+0.66	+1.23	+0.48	+0.50	+0.43	+0.60	+0.58
Fe	Cu	+0.35	+0.53	+0.48	+0.55	+0.52	+0.52	+0.63
Mg	Cu	+1.31	+1.06	+0.28	+0.37	+1.91	+1.85	+0.18
Mg	Zn	+0.58	+0.06	+1.10	+1.56	+0.41	+1.35	+0.96
Mg	Al	+0.85	+0.50	+0.19	+0.39	+0.29	+0.27	+0.26

จากตารางที่ 3 พบว่า เซลล์ที่มีขั้วลบ (ขั้วแอโนด) เป็น Al หรือ Zn จะให้ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสุดเมื่อมีสารละลายเบส Ca(OH)₂ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อพิจารณาจากค่า E° ในตารางที่ 4 [14] จะพบว่าทั้ง Al และ Zn เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในสารละลายเบสได้ดีกว่าในสภาวะที่เป็นกลาง ส่วน Mg เกิดออกซิเดชันได้ดีพอๆกันทั้งในสภาวะที่เป็นเบสและเป็นกลาง แต่เมื่อพิจารณาจากศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ จะพบว่า Mg มีศักย์ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นกลางหรือเป็นกรด ส่วนในสารละลายเบสจะได้ศักย์ไฟฟารองลงมา สำหรับ Fe เมื่อพิจารณาจากค่า E° ขั้ว Fe น่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปเป็น Fe²⁺ มากกว่า Fe³⁺ เพราะมีค่า E° สูงกว่า (+0.44 V > +0.03 V)

โลหะที่ใช้เป็นขั้วบวก (ขั้วแคโทด) ของเซลล์ จัดเป็นขั้วไฟฟ้าเฉื่อย (Inert Electrode) หรือขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary electrode) เป็นขั้วที่ไม่เกิดปฏิกิริยาแต่ทำหน้าที่ เป็น Electron shunt คือมี

ความต้านทานน้อย และให้อิเล็กตรอนไหลผ่านให้ครบวงจร [9] สารที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันจะเป็นสารที่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ [8] ได้แก่ น้ำ แก๊ส ออกซิเจน กรด หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังจะเห็นได้จากค่า E° ในตารางที่ 5 [14]

ตารางที่ 4 ค่า E° ของโลหะที่ขั้วลบ

Reduction	E°/V
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1.66
$\text{Al}(\text{OH})_4^- + 4\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Al} + 4\text{OH}^-$	-2.33
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0.76
$\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn} + 2\text{OH}^-$	-1.25
$\text{Mg}^+ + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.70
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2.37
$\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Mg} + 2\text{OH}^-$	-2.69
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.44
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0.03

ตารางที่ 5 ค่า E° ของสารที่อาจเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วบวก

Reduction	E°/V
$2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	-0.83
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^-$	+0.40
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	+1.23
$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$	+0.00
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	+1.78

เซลล์ที่มีขั้วแอโนดเป็น Al และมีแก๊ส O_2 เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จะสอดคล้องกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ที่สร้างจาก Al ทำปฏิกิริยากับแก๊ส O_2 ใน อากาศ (Aluminum-air battery) ที่มีรายงานมาก่อนหน้านี้ [15]

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองสร้างเซลล์กัลวานิกโดยใช้ขั้วแอโนด เป็นลวดแมกเนเซียมจุ่มในสารละลายดีเกลือ กับขั้วแคโทด คือ ใส์ดินสอจุ่มในสารละลายด่างทับทิมและกรดในแบตเตอรี่ ($KMnO_4 + H_2SO_4$) พบว่าให้ค่าความต่างศักย์สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ +2.21 V แต่เมื่อคำนึงถึงความปลอดภัยในการจัดกิจกรรม กรด H_2SO_4 เป็นกรดแก่ และ $KMnO_4$ เป็นสารประกอบของโลหะหนัก และลวดแมกเนเซียมที่ร่อนง่าย (เนื่องจากไม่

สามารถหาซื้อแมกมาให้ได้) จึงไม่เหมาะในการนำไปสร้างแบตเตอรี่ ผู้วิจัยจึงเลือกสารที่เป็นอันตรายน้อย หาง่าย ราคาถูก มาใช้ในกิจกรรม โดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ถูกเลือก ได้แก่ น้ำปูนใส น้ำส้มสายชู น้ำยาล้างแผล น้ำเกลือแกง ขั้วไฟฟ้า ได้แก่ สังกะสี อลูมิเนียมฟอยล์หรือแผ่นอลูมิเนียมเหรียญ 50 สตางค์ ลวดทองแดง ตะปูเหล็ก จากนั้นให้นักเรียนทำการทดลองเลือกวัสดุและสารเคมีจากที่เตรียมให้นี้มาจัดทำแบตเตอรี่ โดยนักเรียนสามารถหาวัสดุหรือสารเคมีจากในบ้านมาเพิ่มเติมเพื่อทดสอบได้

กิจกรรมที่สร้างขึ้น มีเนื้อหาเพิ่มเติมศึกษารายละเอียดดังในตารางที่ 6 ผลประเมินความคิดเห็นโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อกิจกรรม พบว่ามีระดับความคิดเห็นเฉลี่ย เท่ากับ 4.60 โดยมีความคิดเห็นด้วยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 92 แสดงดังตารางที่ 7 โดยมีเกณฑ์ตัดสินคุณภาพเป็น 5 ระดับ ดังนี้

- 5 หมายถึง มีความคิดเห็นด้วยมากที่สุด
- 4 หมายถึง มีความคิดเห็นด้วยมาก
- 3 หมายถึง มีความคิดเห็นด้วยปานกลาง
- 2 หมายถึง มีความคิดเห็นด้วยน้อย
- 1 หมายถึง มีความคิดเห็นด้วยน้อยที่สุด

ตารางที่ 6 กรอบแนวคิด เรื่อง แบตเตอรี่จากสารเคมี ในบ้าน ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

วิทยาศาสตร์ (S)	เทคโนโลยี (T)	วิศวกรรมศาสตร์ (E)	คณิตศาสตร์ (M)
- ปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก	- การเลือกใช้วัสดุ	- ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	- เรขาคณิตเพื่อการออกแบบรูปทรงของแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้น
	- เทคโนโลยีเกี่ยวกับแบตเตอรี่	5 ชั้น ในการสร้างและปรับปรุง พัฒนาแบตเตอรี่จนใช้งานได้	- การคำนวณศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ค่าจากตารางค่า E° เพื่อหาความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิก

ตารางที่ 7 ผลประเมินความคิดเห็นโดยผู้เข้าร่วมที่มีต่อแผนการจัดการเรียนรู้ และ ใบกิจกรรม เรื่อง แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เกณฑ์ตัดสินคุณภาพเป็น 5 ระดับ

ข้อ	รายการ	Mean±sd	ร้อยละ
ด้านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษา			
1	กิจกรรมแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน บูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม	4.7±0.6	93.3
2	การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาได้นำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการทำกิจกรรม	4.7±0.6	93.3
ด้านกิจกรรมกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์			
3	การจัดกิจกรรมมีการฝึกทักษะทางวิทยาศาสตร์	4.7±0.6	93.3
4	ทักษะทางวิทยาศาสตร์แสดงถึงผลลัพธ์จากการทำกิจกรรม	4.3±0.6	86.7
5	กิจกรรมกับทักษะทางวิทยาศาสตร์เหมาะสมกับความสามารถและวัยของผู้เรียน	4.7±0.6	93.3
ด้านกิจกรรมกับกระบวนการเชิงวิศวกรรม			
6	กิจกรรมสอดคล้องกับกระบวนการเชิงวิศวกรรม	4.3±0.6	86.7
7	ขั้นตอนของกิจกรรมเป็นไปตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	5±0	100
8	กิจกรรมกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเหมาะสมกับความสามารถและวัยของผู้เรียน	5±0	100
ด้านการวัดและประเมินผล			
9	การวัดประเมินผลด้านทักษะทางวิทยาศาสตร์ด้วยการทดสอบด้วยแบบวัดครอบคลุมเนื้อหาในกิจกรรม	4±1	80.0
10	การวัดประเมินผลด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมครอบคลุมเนื้อหาในกิจกรรม	4.7±0.6	93.3
ค่าเฉลี่ย		4.6±0.5	92.0

3.2 ผลประเมินกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

นักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน เกิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม คิดเป็นร้อยละ 90.4 อยู่ในระดับดีมาก ดังในตารางที่ 8 โดยเป็นการประเมินจากใบกิจกรรม มีเกณฑ์การประเมิน 4 ระดับ ดังนี้

- 3 หมายถึง เขียนตอบถูกหมด
- 2 หมายถึง เขียนตอบถูกเพียงบางส่วน
- 1 หมายถึง เขียนตอบแต่ไม่ถูก
- 0 หมายถึง ไม่เขียนตอบ

ตารางที่ 8 ผลประเมินกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของผู้เรียน โดยครูผู้สอน

ข้อ	รายการ	mean±sd	ร้อยละ
ระบุปัญหา (Identify a Challenge)			
1	มีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	3.0±0.0	100
2	มีการระบุเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด	2.8±0.5	91.7
ค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore ideas)			
3	ศึกษาใบความรู้ และทำการทดลองเพื่อค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน	2.8±0.5	91.7
4	อภิปรายข้อมูลที่ได้จากการค้นหาและทดลองว่าจะนำมาใช้ในการสร้างแบตเตอรี่ได้ โดยเลือกวิธีการที่ดีที่สุดตามความเห็นของกลุ่ม	2.6±0.5	87.5
วางแผนและพัฒนา (Plan and Develop)			
5	ร่างแบบแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านพร้อมระบุวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	2.5±0.5	83.3
6	สร้างแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านตามที่ได้ออกแบบและวางแผน	2.8±0.5	91.7
ทดสอบและประเมินผล (Test and Evaluation)			
7	แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านที่สร้างสามารถนำไปใช้งานได้	2.3±0.5	75.0
8	ในกรณีที่แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านที่สร้างไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง นักเรียนมีการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพจนสามารถนำไปใช้งานได้	2.8±0.5	91.7
นำเสนอผลลัพธ์ (Present the Solution)			
9*	สาธิตการทำงานของแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านที่สร้างได้	2.8±0.5	91.7
10	รายงานผลการดำเนินการแก้ปัญหา นำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน	3.0±0.0	100
ค่าเฉลี่ย		2.7±0.4	90.4

*หมายเหตุ ประเมินจากการนำเสนอผลงาน

ผลประเมินกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมของผู้เรียนมีรายละเอียดจากการสังเกตของพฤติกรรมนักเรียนดังนี้

1. การระบุปัญหา (Identify a Challenge) สำหรับขั้นนี้ผู้วิจัยสร้างความสนใจของผู้เรียน และให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มอ่านสถานการณ์ พร้อมระบุปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร หลังจากนั้นจึงนำมา

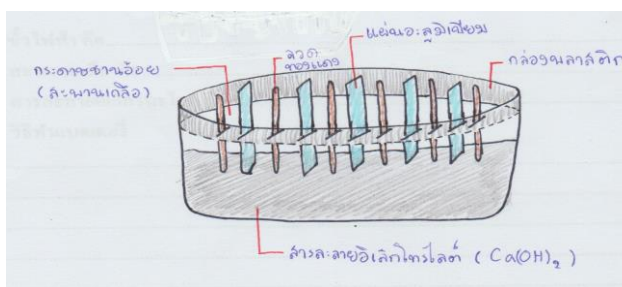
อภิปรายร่วมกันภายในกลุ่มว่าปัญหาใดเหมาะสมที่สุดกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ จากการสังเกตพฤติกรรมนักเรียน พบว่านักเรียนมีความสนใจเนื่องจากมีความรู้เดิมเรื่องเซลล์กัลวานิกนำมาแก้ปัญหาแต่มีเงื่อนไขที่ต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีในบ้าน และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สร้างไฟฟ้าได้

2. การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Explore Ideas) นักเรียนร่วมกันสืบค้นเพื่อหาแนวทางที่เป็นไปได้ ในด้านวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี ที่สามารถนำมาสร้างแบตเตอรี่ จากการสังเกตพฤติกรรมนักเรียน เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด พบว่านักเรียนสืบค้นในใบ

ความรู้ที่ผู้วิจัยเตรียมไว้ โดยสมาชิกกลุ่ม 2-3 คนมีความกระตือรือร้น ในการสืบค้น ช่วยกันสร้างเซลล์กัลวานิก วัดค่าศักย์ไฟฟ้า ดังในรูปที่ 1 ก มีการอภิปรายภายในกลุ่มในการจัดกระทำข้อมูลที่สืบค้นให้เป็นความคิดเห็นของสมาชิกของทุกคนในกลุ่มลงในใบกิจกรรม



ก)



ข)



ค)



ง)

รูปที่ 1 ภาพกิจกรรม เรื่องแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน ก) นักเรียนทดลองวัดความต่างศักย์ของเซลล์กัลวานิก ข) ภาพร่างของแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านของนักเรียน ค) แบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้านที่สร้างขึ้นจากภาพร่าง ง) ทดสอบแบตเตอรี่กับหลอด LED 1V

3. การวางแผนและพัฒนา (Plan and Develop) นักเรียนแต่ละคนได้นำข้อมูลที่สืบค้นมา รวมกันเพื่อดูว่ามีแนวทางใดที่สามารถนำมาแก้ปัญหาได้ จากนั้นทำการทดลองจากวัสดุอุปกรณ์ สารเคมีในบ้านที่ผู้วิจัยเตรียมไว้ โดยมีการคำนวณ

ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ จากตารางศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน จากวัสดุอุปกรณ์ที่นักเรียนเลือกจากข้อสรุปของกลุ่ม ได้แบตเตอรี่ของแต่ละกลุ่มดังรายละเอียดในตารางที่ 9 ส่วนตัวอย่างภาพร่างและแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 1ข และ 1ค ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ผลการออกแบบและพัฒนาแบตเตอรี่ของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่สร้างขึ้น

กลุ่มที่	ขั้วไฟฟ้า		สารละลาย	ความต่างศักย์ (V)	หลอด LED 1V	มอเตอร์ 3V
	(-)	(+)				
1	Al	Cu	Ca(OH) ₂	+1.72	ติด	ไม่ติด
2	Al	Fe	Ca(OH) ₂	+1.12	ติด	ไม่ติด
3	Zn	Cu	Ca(OH) ₂	+1.30	ติด	ไม่ติด
4	Al	Cu	Ca(OH) ₂	+1.92	ติด	ไม่ติด
5	Zn	Cu	Ca(OH) ₂	+1.24	ติด	ไม่ติด
6	Al	Cu	CH ₃ COOH	+0.61	ไม่ติด	ไม่ติด
7	Zn	Cu	CH ₃ COOH	+0.53	ไม่ติด	ไม่ติด
8	Al	Cu	Ca(OH) ₂	+1.67	ติด	ไม่ติด

4. การทดสอบและประเมินผล (Test and Evaluate) แบตเตอรี่ที่ทุกกลุ่มสร้างขึ้นนั้นใช้ขั้วโลหะแคโทด และแอโนดอย่างละจำนวน 5 ขั้วมาต่อแบบขนาน บางกลุ่มสามารถทดสอบกับหลอด LED ขนาด 1 V แล้วไฟติด ดังรูปที่ 1ง แต่พบว่าความต่างศักย์ที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากค่าความต่างศักย์ของขั้วโลหะแคโทด และแอโนดอย่างละ 1 ขั้ว (ตารางที่ 3) เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้มีบางกลุ่มที่ใช้ ขั้วไฟฟ้าและสารละลายชนิดเดียวกัน แต่ได้ศักย์ไฟฟ้าไม่เท่ากัน สาเหตุอาจเกิดขั้วไฟฟ้าที่ใช้แต่ละชนิดอาจเป็นโลหะผสม จึงทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้เป็นค่าจำเพาะเจาะจงของแต่ละเซลล์ที่สร้างขึ้น หรืออาจเกิดจากผิวโลหะที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าเกิดออกไซด์ ต้องใช้กระดาษทรายขัดก่อนนำไปประกอบเซลล์ หรือพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้ามีขนาดเล็กไป อาจต้องปรับขนาดให้ใหญ่ขึ้น รวมทั้งความต้านทานของอุปกรณ์ จึงทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่สร้างขึ้นวัดได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ไม่สามารถทำให้มอเตอร์ 3 V ทำงานได้ นักเรียนจึงได้

พัฒนาแบตเตอรี่ โดยหาข้อบกพร่อง ของวัสดุอุปกรณ์ ช่วยกันแก้ปัญหาภายในกลุ่ม เพื่อปรับปรุงและพัฒนาแบตเตอรี่ แต่ยังไม่เป็นดังเป้าหมายจึงทำให้คะแนนผลประเมิน ในตารางที่ 8 ข้อ 7 อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเพียง 2.3

5. การนำเสนอผลลัพธ์ (Present the Solution) นักเรียนนำเสนอแบตเตอรี่ที่สร้างขึ้น โดยเชื่อมโยง ความรู้ที่ได้ตามแนวทางสะเต็ม พบว่านักเรียนได้ความรู้เกี่ยวกับเซลล์กัลวานิกและการคำนวณพื้นที่ของวัสดุเพื่อใช้ในการสร้างแบตเตอรี่ สำหรับเกณฑ์การประเมิน จะพิจารณาว่าการนำเสนอมี ลำดับขั้นตอน มีการเชื่อมโยงสะเต็มศึกษากับการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน และการนำเสนอเป็นไปตามเวลาที่กำหนด

3.4 ผลประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์

ผู้เรียนมีทักษะทางวิทยาศาสตร์คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 83.4 ดังตารางที่ 10 สูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือร้อยละ 80 โดยมีผู้เรียนจำนวน 35 คนที่ได้คะแนนในระดับ 3 (ร้อยละ 70-74) จากจำนวนผู้เรียน

ทั้งหมด 41 คนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 85.4 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายของโรงเรียนคือร้อยละ 75

ตารางที่ 10 ผลประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

ทักษะทางวิทยาศาสตร์	จำนวน	ร้อยละ
ข้อ		
1. การสังเกต	2	82.9
2. การวัด	2	75.6
3. การจำแนกประเภท	2	86.6
4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติกับมิติ และมิติกับเวลา	1	85.4
5. การคำนวณ	3	81.3
6. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	1	92.7
7. การลงความเห็นจากข้อมูล	2	92.7
8. การพยากรณ์	2	89.0
9. การตั้งสมมติฐาน	1	78.0
10. การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	1	90.2
11. การกำหนดและควบคุมตัวแปร	2	75.7
12. การทดลอง	1	78.0
13. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1	80.5
14. การสร้างแบบจำลอง	1	82.9

4. สรุปผลการวิจัย

กิจกรรมสะเต็มเรื่องแบตเตอรี่จากสารเคมีในบ้าน โดยใช้วัสดุที่หาง่าย ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เป็นกิจกรรมต่อยอดจากเนื้อหาที่เรียน

ในห้องเรียน สามารถนำมาใช้เป็นกิจกรรมแนวทางสำหรับการจัดการเรียนการสอนสาระวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ซึ่งเมื่อมีการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาให้ผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้นักเรียนเกิดความรู้ที่คงทน มีพื้นฐานและทักษะ เหมาะกับการพัฒนานักเรียนไปสู่การใช้ชีวิตในศตวรรษที่ 21

5. ข้อเสนอแนะ

การสร้างแบบวัดทักษะทางวิทยาศาสตร์ควรแยกการวัดเป็นข้อละ 1 ทักษะ และทุกทักษะควรมีจำนวนข้อคำถามเท่ากัน เพื่อให้การประเมินผลแต่ละทักษะมีน้ำหนักเท่ากัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ในโครงการส่งเสริมการผลิตครูผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพรรณิ ชาญประเสริฐ. การออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษากับการพัฒนาทักษะศตวรรษที่ 21. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2558. 43(192): 14-17.
- [2] สนธิ พลชัยยา. สะเต็มกับทักษะการคิดขั้นสูง. *สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2557. 42(189): 7.
- [3] อภิสิทธิ์ ชงไชย. เทคโนโลยีและวิศวกรรมคืออะไร ในสะเต็มศึกษา. *สถาบันส่งเสริม*

- การสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2556. 42(185): 35-37.
- [4] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. คู่มือการใช้หลักสูตร วิทยาศาสตร์กายภาพ ธรรมชาติของสารและการเปลี่ยนแปลงของสาร ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กระทรวงศึกษาธิการ. กรุงเทพฯ. 2556.
- [5] รุ่งทิพย์ ศศิธร ศักดิ์ศรี สุภากร และชาญ อินทร์แต่้ม. การเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องไฟฟ้าเคมีด้วยการเรียนรู้แบบร่วมมือ ร่วมกับชุดการเรียนรู้แบบ 5E. *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตแห่งชาติ ครั้งที่ 23*. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัด นครราชสีมา. 23-24 ธันวาคม 2554: 723-728.
- [6] มวลัย สว่างภพ ปุริม จารุจรัส และมะลิ วรรณ อมตวงไชย. การสร้างเซลล์กัลวานี ก่ออย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย. *วารสารหน่วย การวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 2560. 8(2): 421-428.
- [7] Skinner J. F. Electrochemical Demonstration: Motor driven by a simple galvanic cell. *Journal of Chemical Education*. 1977. 54(10): 619.
- [8] Goodisman J. Observations on lemon cells. *Journal of Chemical Education*. 2001. 78(4): 156-158.
- [9] Swartling D.J. and Morgan C. Lemon cells revisited the lemon-powered calculator. *Journal of Chemical Education*. 1998. 75(2): 181-182.
- [10] Muske K.R., Nigh C.W. and Weinstein R.D. A lemon cell battery for high-power applications. *Journal of Chemical Education*. 2007. 84(4): 635-638.
- [11] Goto H., Yoneyama H., Togashi F., Ohta R., Tsujimoto A., Kita E., and Ichi K. Preparation of conducting polymers by electrochemical methods and demonstration of a polymer battery. *Journal of Chemical Education*. 2008. 85(8): 1067-1070.
- [12] ชานนท์ จันทรา. *การประเมินในชั้นเรียน คณิตศาสตร์ จากแนวคิดสู่การปฏิบัติ*. พิมพ์ ครั้งที่ 1. อาร์ แอนด์ เอ็น ปรีนท์, กรุงเทพฯ. 2555.
- [13] Chang R. *Chemistry*. 10th ed. McGraw-Hill Companies, Inc., New York. 2010.
- [14] Lide D.R. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 90th ed. CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton, FL. 2009-2010.
- [15] Tamez M. and Yu J.H. Aluminum-air battery. *Journal of Chemical Education*. 2007. 84(12): 1936A-1936B.