

ผลของสะเต็มศึกษาที่มีต่อทักษะการแก้ปัญหา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

The Effects of STEAM Education on Problem Solving Skills in Elements and Compounds of Matthayom Suksa 4 Students

ศิริสุน สัจจันติก*¹ มิ่งขวัญ ภาคสัญไชย² กรวลัย พันธุ์แพ³
Sirintorn Seejantuek*¹ Mingkhuan Phaksunchai² Kornvalai Panpae³

Sirintorn.nam@mail.kmutt.ac.th*

ส่งบทความ 5 กรกฎาคม 2565 แก้ไข 2 สิงหาคม 2565 ต้อนรับ 9 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหา ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ 2) ศึกษาความก้าวหน้าทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ และ 3) เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาหลังการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 33 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้ซึ่งมีความเหมาะสมในภาพรวมในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.54-4.71$) และแบบทดสอบทักษะการแก้ปัญหาซึ่งมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20-0.80 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20-1.00 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.78

ผลการวิจัยพบว่า

- 1) ทักษะการแก้ปัญหของนักเรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยคะแนนทักษะการแก้ปัญหทุกกระบวนการแก้ปัญห หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
 - 2) ความก้าวหน้าโดยความก้าวหน้าของทักษะการแก้ปัญหอยู่ในระดับปานกลาง ($<g> = 0.52$)
 - 3) คะแนนทักษะการแก้ปัญหหลังเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
- นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในสถานการณ์โควิด-19 รูปแบบออนไลน์ยังช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้ และช่วยพัฒนาทักษะการแก้ปัญหของผู้เรียนให้สูงขึ้น

คำสำคัญ: ทักษะการแก้ปัญหา, ธาตุและสารประกอบ, สะเต็มศึกษา

¹ นิสิตปริญญาโทบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

¹ Student in Master of Chemistry Education Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Thonburi

² Assistant Professor in Department of Chemistry Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Thonburi

³ Associate Professor in Department of Chemistry Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Thonburi

Abstract

The purposes of this research were 1) to compare problem solving skills between before learning and after learning through using STEAM Education on the topic of Elements and Compounds 2) to study the progress problem solving skills through using STEAM Education on the topic of Elements and Compounds and 3) to compare problem solving skills after learning STEAM Education on the topic of Elements and Compounds with 70% criteria. The sample group used in this research was consisted of 33 Matthayom Suksa 4 students by cluster sampling method. The instruments for the study included lesson plans having the quality of the overall highest level ($\bar{x} = 4.54-4.71$) and problem solving skills test having the difficulty between 0.20 -0.80, the discrimination between 0.20–1.00 and the reliability of 0.78.

The results of the study revealed that

1) the students' problem solving skills through using STEAM Education on the topic of Elements and Compounds after learning higher those before learning with a statistical significance at the .05 level. The score of problem solving skills for all processes after learning was higher than before learning with a statistical significance at the .05 level.

2) The progression of problem solving skills was in the medium gain ($\langle g \rangle = 0.52$).

3) The score of problem solving skills after learning was lower than criterion which 70 percent insignificantly at the .05 level. In addition teaching by STEAM Education in the situation of Covid-19 the online-formed also encourages students to learn and help develop student's problem solving skills to a higher level.

Keywords: Elements and Compounds, Problem Solving Skills, STEAM Education

บทนำ

การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 เน้นให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง เน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง โดยการผสมองค์ความรู้ ทักษะในด้านต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เน้นกระบวนการเรียนรู้ เปลี่ยนจากการรู้วิชาจากตำราไปสู่การใช้ทักษะวิชาในด้านการทำงานและการดำรงชีวิต (วีรพงษ์ จุลสอน, 2563) ทักษะการแก้ปัญหาเป็นหนึ่งในทักษะในศตวรรษที่ 21 ซึ่งเป็นความสามารถในการใช้กระบวนการทางความคิดเป็นการนำความรู้หรือ ประสบการณ์เดิม และทักษะต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน เพื่อแก้ไขปัญหาหรือตอบสนองความต้องการให้ลดลงหรือหมดไป โดยการเลือกวิธีในการแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม กระบวนการแก้ปัญหาประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ (1) การเข้าใจปัญหา (2) การวางแผนแก้ไขปัญหา (3) การปฏิบัติตามแผน (4) การประเมินผลลัพธ์ (Yuriev et. al, 2017) กระบวนการคิดแก้ปัญหานำไปใช้ในการสร้างสรรค์ผลงานที่เป็นรูปธรรมและสร้างนวัตกรรมที่มีประโยชน์ได้มากมาย ทักษะการแก้ปัญหาจึงเป็นทักษะที่สำคัญที่ต้องได้รับการพัฒนาเนื่องจากเป็นทักษะที่จำเป็นในการดำเนินชีวิตประจำวันเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์มาปรับใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ การแก้ปัญหานั้นมีวิธีการหรือกระบวนการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ซึ่งความสำเร็จนั้นได้มาจากการเลือกใช้วิธีการหรือกระบวนการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ความสำเร็จในการแก้ปัญหาของผู้เรียนนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของผู้เรียน ระดับสติปัญญา ความรู้ อารมณ์ และประสบการณ์ (ทิพวรรณ เมืองพิน, 2562) ครูผู้สอนจึงมีความจำเป็นต้องจัดกระบวนการเรียนรู้ในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของผู้เรียน โดยการให้สถานการณ์ปัญหาที่มีความท้าทายกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ค้นหาคำตอบ และมีวิธีการแก้ปัญหาได้หลากหลายวิธี ผู้สอนควรจัดบรรยากาศการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้คิดอย่างอิสระ พร้อมทั้งจัดเตรียมเนื้อหา แหล่งเรียนรู้ และอุปกรณ์ให้แก่ผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้รวบรวมข้อมูล หรือทดสอบเพื่อหาคำตอบในการแก้ปัญหา และให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยงความรู้จากบทเรียนนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน

การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะในการค้นคว้า และสร้างองค์ความรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นเส้นทางการคิด

ของนักวิทยาศาสตร์ ที่ผู้เรียนไม่ใช่แค่เรียนเพียงจำข้อเท็จจริงเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ แต่ผู้เรียนจะได้เรียนรู้ผ่านการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนได้มีการตั้งคำถาม ได้แบ่งปันวิธีการแก้ปัญหาร่วมกับผู้อื่น และได้รวบรวมข้อสรุปที่ถูกต้องจากการลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งกิจกรรมการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติจริงนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการคิดอย่างสร้างสรรค์ สนับสนุนให้ผู้เรียนได้คิดริเริ่มสิ่งใหม่ ๆ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้อภิปรายร่วมกับผู้อื่น นอกจากนี้การเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริงจะทำให้ผู้เรียนได้สนุกกับการเรียนมากขึ้นสามารถจดจำสิ่งที่เรียนรู้ได้มากขึ้น (Thuneberg et. al, 2018) ครูผู้สอนจึงต้องจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ส่งเสริมการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริงผ่านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ เสริมสร้างประสบการณ์ใหม่ ๆ ให้แก่ผู้เรียน และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้รู้วิธีแก้ปัญหาที่หลากหลาย เพื่อให้ผู้เรียนนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวันและการประกอบอาชีพ

การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีซึ่งมีเนื้อหาที่มีความซับซ้อน โดยความเข้าใจในการเรียนรายวิชาเคมีมีอยู่ 3 ระดับ คือ (1) ระดับมหภาค (Macroscopic) เป็นสิ่งที่มองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น การทดลองในห้องปฏิบัติการ (2) ระดับจุลภาค (Submicroscopic) เช่น อะตอม โมเลกุล และ (3) สัญลักษณ์ (Symbolic) เช่น สูตรเคมี การเขียนโครงสร้าง สมการเคมี (Davenport et. al, 2018) ทำให้การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีใช้รูปแบบการบรรยายควบคู่กับการลงมือปฏิบัติ เนื่องจากหลักของเคมีในระดับจุลภาคเป็นสิ่งที่นักเรียนไม่สามารถสังเกตได้จึงต้องใช้รูปแบบการเรียนเป็นแบบบรรยายที่ผู้เรียนเป็นฝ่ายรับรู้ฝ่ายเดียว (passive learning) ผู้สอนจะเป็นผู้ใส่ความรู้ลงในสมองผู้เรียน เน้นการท่องจำ ผู้เรียนเป็นฝ่ายรับความรู้ที่ผู้สอนถ่ายทอดอย่างเดียว (กมล โพธิเย็น, 2564) ส่งผลให้ผู้เรียนบรรลุวัตถุประสงค์น้อยมาก ผู้เรียนส่วนใหญ่รู้สึกว่าการสอนแต่เหมือนกับไม่ได้เรียน นั่งฟังแบบไม่ได้อินและไม่ได้สร้างความรู้ใด ๆ (พรทิพย์ วงศ์ไพบุลย์, 2560) มีผลให้ผู้เรียนมีความสนใจในการเรียนน้อย และอาจทำให้ผู้เรียนขาดความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหาจนก่อให้เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน สำหรับการเรียนรู้ในระดับมหภาคเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติผู้เรียนจะได้ทำการทดลองตามขั้นตอนที่อยู่ในแบบเรียนหรือเอกสารประกอบการเรียนรู้ที่ครูจัดเตรียมไว้ เมื่อผู้เรียนทำตามขั้นตอนทำให้ผู้เรียนสามารถ

สร้างความรู้และจดจำเนื้อหาในบทเรียนได้ด้วยตนเอง แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ไปยังชีวิตประจำวันได้ การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาจึงเป็นรูปแบบการศึกษาที่ตอบโจทย์ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ช่วยเพิ่มความสนใจของผู้เรียน พร้อมทั้งส่งเสริมความสามารถแก้ปัญหาในโลกความเป็นจริง

สะเต็มศึกษา (STEAM Education) เป็นแนวคิดที่พัฒนามาจากสะเต็มศึกษา ที่มีการบูรณาการ 5 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ศิลปะ (Arts) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) เน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง มีการประยุกต์ใช้ความรู้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์กับบริบท เน้นให้ผู้เรียนได้คิดหาคำตอบที่ดีที่สุดมาใช้ในการแก้ไขปัญหา การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาได้นำกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม มาใช้ในการออกแบบสร้างผลงานหรือความรู้ใหม่ ทำให้ผู้เรียนได้เลือกใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ นำมาช่วยในการแก้ปัญหา ทำให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยงความรู้ ทักษะ กระบวนการคิดที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังส่งเสริมทักษะความเป็นผู้นำ และทักษะการสื่อสารและการทำงานร่วมกันกับผู้อื่นด้วย (สุภัค โอฬารพิริยกุล, 2562)

การจัดการเรียนรู้รายวิชาเคมีที่ผ่านมา พบว่าผู้เรียนยังขาดทักษะการแก้ปัญหา เช่น การระบุปัญหา การวางแผนการแก้ปัญหา ผู้เรียนไม่สามารถวางแผนแก้ปัญหาได้ด้วยตนเองต้องได้รับคำชี้แนะจากครูผู้สอน ผู้เรียนไม่สามารถออกแบบการทดลองได้ด้วยตนเอง โดยผู้เรียนมักจะถามถึงขั้นตอนในการหาคำตอบหรือวิธีการแก้ปัญหาจากครูผู้สอนเสมอ ผู้เรียนมีความเคยชินกับการปฏิบัติตามครูผู้สอน หากมีการปรับเปลี่ยนสถานการณ์ผู้เรียนจึงไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของผู้เรียน เนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 เป็นเหตุให้สถานศึกษาต้องมีการปรับรูปแบบการเรียนการสอนเป็นการเรียนรูปแบบออนไลน์โดยใช้สื่อและเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ การเรียนออนไลน์ไม่ใช่เพียงแค่ให้ผู้เรียนมาฟังการบรรยายอย่างเดียวเท่านั้น แต่ผู้สอนต้องออกแบบกระบวนการสอนให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมและมีปฏิสัมพันธ์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ด้วย เพราะการที่ผู้เรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้นั้นก็ต้องอาศัยการลงมือทำหรือการลงมือปฏิบัติ (สุวิมล มธูรส, 2564)

ซึ่งการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาถือเป็นการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ ที่ช่วยเพิ่มผู้เรียนมีความรู้ พร้อมทั้งส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะที่จำเป็นในการเป็นพลเมืองในศตวรรษที่ 21

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหา ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ
2. เพื่อศึกษาความก้าวหน้าทักษะการแก้ปัญหา ของนักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ
3. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาหลังการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ กับเกณฑ์ร้อยละ 70

ขอบเขตในการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
 - 1.1 ประชากรที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนวิสุทธิกษัตริ์ จังหวัดสมุทรปราการ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 4 ห้อง รวมนักเรียน 125 คน
 - 1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/2 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนวิสุทธิกษัตริ์ จังหวัดสมุทรปราการ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 จำนวน 33 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster sampling)
2. ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้
 - 2.1 ตัวแปรต้น คือ การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา
 - 2.2 ตัวแปรตาม คือ ทักษะการแก้ปัญหา
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ดำเนินการทดลองในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 ระยะเวลา 12 คาบ คาบละ 55 นาที
4. เนื้อหาที่ใช้ในการสอนครั้งนี้เป็นเนื้อหา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ มีทั้งหมด 4 เนื้อหา คือ สมบัติของธาตุตามหมู่ สมบัติของสารประกอบตามหมู่ สมบัติของธาตุโลหะทรานซิชัน และการสังเคราะห์คอปเปอร์ซัลเฟต
5. นิยามศัพท์
 - 5.1 ทักษะการแก้ปัญหา หมายถึง ความสามารถในการใช้กระบวนการทางความคิด เป็นการนำความรู้หรือประสบการณ์เดิมและทักษะต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน เพื่อแก้ไขปัญหาหรือตอบสนองความต้องการให้ลดลงหรือหมดไป

โดยการเลือกวิธีการแก้ไขปัญหในสถานการณ์ เรื่อง ธาตุและสารประกอบได้อย่างเหมาะสม โดยทักษะการแก้ปัญหาวัดได้จากแบบทดสอบทักษะการแก้ปัญหที่เป็นการกำหนดสถานการณ์ เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ชนิดอิตันย ซึ่งข้อคำถามวัดตามกระบวนการแก้ปัญหาคือ

1. การระบุปัญหา เป็นขั้นตอนทำความเข้าใจกับปัญหา ว่าปัญหาคืออะไร และมีข้อมูลใดบ้าง

2. การวิเคราะห์สาเหตุ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากอะไร

3. การวางแผนการแก้ปัญหเป็นการเลือกแนวทางการแก้ปัญหที่เป็นไปได้ และเหมาะสมในการแก้ปัญห

4. การตรวจสอบการแก้ปัญห เป็นการประเมินวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหที่ดีที่สุด บอกประโยชน์ที่ได้รับจากการแก้ปัญห พร้อมทั้งการนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์อื่น

5.2 สะเต็มศึกษา หมายถึง แนวคิดทางการศึกษาที่บูรณาการรายวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้โดยการสืบเสาะหาความรู้ ออกแบบแนวทางการแก้ปัญห เลือกวิธีการได้อย่างเหมาะสมเพื่อสร้างสรรค์ผลงาน การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มี 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา เป็นการนำเสนอปัญหาหรือสถานการณ์เพื่อกระตุ้นความสนใจให้ผู้เรียนคิดทำความเข้าใจกับปัญหา หรือสถานการณ์ รวมถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดในแก้ปัญห

ขั้นที่ 2 วางแผนการแก้ปัญห เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องนำมาใช้ในออกแบบวิธีการแก้ปัญห โดยคำนึงถึงเงื่อนไข ข้อจำกัดตามสถานการณ์ที่กำหนด พร้อมทั้งกำหนดลำดับขั้นตอนของวิธีการแก้ปัญห

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญห เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนดำเนินงานตามแผนที่วางไว้ เพื่อสร้างชิ้นงานหรือวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญห

ขั้นที่ 4 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงชิ้นงานหรือวิธีการ เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการว่านำไปใช้ในการแก้ปัญหได้จริงหรือไม่ และนำผลการทดสอบไปปรับปรุง แก้ไข หรือพัฒนาให้ชิ้นงานหรือวิธีการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ขั้นที่ 5 นำเสนอและประเมินชิ้นงาน เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการให้ผู้อื่นเข้าใจ และประเมินชิ้นงานของตัวเองและงานของเพื่อนในชั้นเรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัยเป็นรูปแบบการวิจัยทดลองเบื้องต้นแบบแผนการวิจัย One Group Pretest-Posttest Design ซึ่งเป็นการทดลองที่มีการวัดก่อนการทดลอง 1 ครั้ง หลังการทดลอง 1 ครั้ง

2. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 4 แผนรวม 12 ชั่วโมง ได้แก่ (1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สมบัติของธาตุตามหมู่ (2) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สมบัติของสารประกอบตามหมู่ (3) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สมบัติของธาตุแทรนซิชัน และ (4) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสังเคราะห์คอปเปอร์ซัลเฟต โดยผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 4 แผนในภาพรวมมีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.54 - 4.71)

2.2 แบบทดสอบทักษะการแก้ปัญห เรื่อง ธาตุและสารประกอบ เป็นแบบทดสอบชนิดอิตันย โดยมีการกำหนดสถานการณ์ 4 สถานการณ์ แต่ละสถานการณ์มีข้อคำถามอย่างละ 4 ข้อ รวมข้อคำถามทั้งหมดมีจำนวน 16 ข้อ ซึ่งข้อคำถามวัดตามกระบวนการแก้ปัญหาคือ (1) ขั้นระบุปัญหา (2) ขั้นวิเคราะห์สาเหตุ (3) ขั้นการวางแผนการแก้ปัญห (4) ขั้นตรวจสอบการแก้ปัญห โดยผลการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบทักษะการแก้ปัญห เรื่อง ธาตุและสารประกอบ จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (IOC) มีค่าระหว่าง 0.60-1.00 มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20-0.80 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20-1.00 ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.78

3. การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 สุ่มกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม แล้วชี้แจงให้กลุ่มตัวอย่างทราบถึงการเรียนการสอนวิชาเคมี แนะนำวิธีการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเพื่อให้นักเรียนได้รับทราบถึงจุดประสงค์ และปฏิบัติตนได้อย่างถูกต้องในขณะที่เข้าร่วมกิจกรรม

3.2 ทำการทดสอบก่อนเรียน (pretest) กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบทดสอบทักษะการแก้ปัญห

3.3 ดำเนินการสอนโดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ตามแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 4 แผน ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 12 คาบ

คาบละ 55 นาที ก่อนการสอนนักเรียนต้องรับอุปกรณ์บางส่วนเพื่อนำไปใช้ทำกิจกรรมในการเรียนการสอน และขณะเรียนนักเรียนจะต้องสื่อสารกับผู้สอนโดยใช้ google meet เพื่อให้ผู้สอนได้สังเกตและคอยให้คำแนะนำขณะดำเนินการทดลอง เมื่อทำกิจกรรมเสร็จแล้วนักเรียนต้องส่งรูปผลการทำกิจกรรมลงใน google classroom

3.4 เมื่อสิ้นสุดการจัดกิจกรรมตามแผนจัดการเรียนรู้ ทำการทดสอบหลังเรียน (posttest) โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะการแก้ปัญหา

3.5 นำคะแนนที่รวบรวมได้ ไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหา ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้สถิติทดสอบ Dependent sample t-test

5.2 พิจารณาความก้าวหน้าในด้านทักษะการแก้ปัญหานักเรียนเป็นรายบุคคลและทั้งห้องเรียน ด้วยวิธี Normalized gain โดยค่า <g> ที่ได้จะอยู่ในช่วง 0.0 -1.0 แบ่งออกเป็น 3 ระดับดังนี้

High gain เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า <g> > 0.7

Medium gain เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า <g> 0.3-0.7

Low gain เป็นชั้นเรียนที่ได้ค่า <g> 0.0-0.29

5.3 เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาลงหลังการจัดการเรียนรู้กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติทดสอบ One sample t-test

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทักษะการแก้ปัญหาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ

1. การเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ

การทดสอบ	n	$\bar{x}$	S.D.	d_f	t	sig
ก่อนเรียน	33	6.73	1.64	32	14.19*	0.000
หลังเรียน	33	15.73	3.79	32		

*p < .05

จากตารางที่ 1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการแก้ปัญหาลงหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. การเปรียบเทียบคะแนนทักษะการแก้ปัญหาลงตามกระบวนการแก้ปัญหา ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหา ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

(n=33)

กระบวนการแก้ปัญหา	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน		t	sig
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
การระบุปัญหา	4	2.33	0.69	3.18	0.64	6.13*	0.000
การวิเคราะห์สาเหตุ	4	1.15	0.78	2.27	0.81	7.85*	0.000
การวางแผนการแก้ปัญหา	8	1.36	0.78	4.54	1.58	10.09*	0.000
การตรวจสอบการแก้ไขปัญหา	8	1.88	0.32	5.73	0.09	11.80*	0.000

*p < .05

จากตารางที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหา ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการแก้ปัญหาทุกกระบวนการแก้ปัญหาลงเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

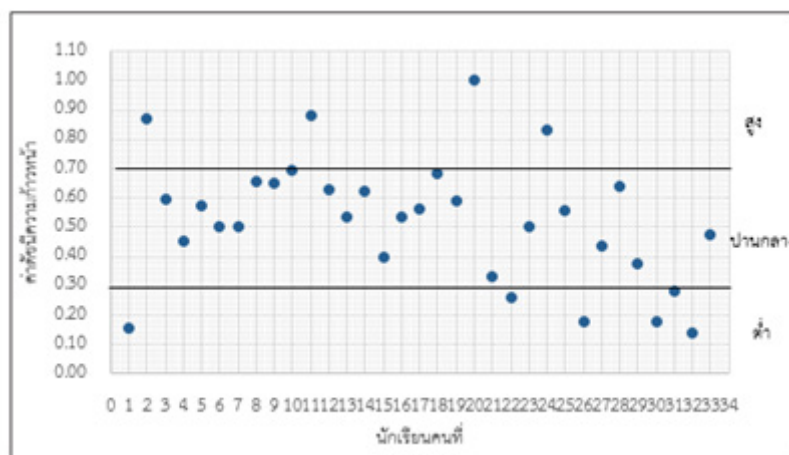
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความก้าวหน้าด้านทักษะการแก้ปัญหานักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความก้าวหน้าด้านทักษะการแก้ปัญหานักเรียน

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	$\bar{x}$ (%)	<g>	Gain
ก่อนเรียน	33	24	6.72	28.03	0.52	Medium
หลังเรียน			15.73	65.53		

จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์ค่าดัชนีความก้าวหน้าด้านทักษะด้านการแก้ปัญหานักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ พบว่า ระดับความก้าวหน้าของนักเรียนด้านทักษะการแก้ปัญหทั้งชั้นเรียนอยู่ในระดับปานกลาง (Normalized gain = 0.52)

การวิเคราะห์ค่าดัชนีความก้าวหน้าด้านทักษะการแก้ปัญหานักเรียน โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ในรายบุคคล พบว่า นักเรียนที่มีความก้าวหน้าด้านทักษะการแก้ปัญหอยู่ในระดับสูง จำนวน 4 คน คิดเป็นร้อยละ 12.12 (<g> = 0.83-1.00) นักเรียนที่มีความก้าวหน้าด้านทักษะการแก้ปัญหอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 69.70 (<g> = 0.33-0.69) และนักเรียนที่มีดัชนีความก้าวหน้าอยู่ในระดับต่ำ จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 18.18 (<g> = 0.14-0.26) แสดงดังภาพที่ 1



ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทักษะการแก้ปัญหาหลังการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ กับเกณฑ์ร้อยละ 70

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาหลังการจัดการเรียนรู้ กับเกณฑ์ร้อยละ 70

การทดสอบ	n	$\bar{x}$	S.D.	μ_0 (70%)	t	sig
หลังเรียน	33	15.73	3.79	16.8	-1.63	0.114

จากตารางที่ 4 การเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาหลังการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ กับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่า คะแนนทักษะการแก้ปัญหาหลังการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผล

1. ทักษะการแก้ปัญหา โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการแก้ปัญหาทุกกระบวนการแก้ปัญหา หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งในการออกแบบกิจกรรมเรียนรู้สะเต็มศึกษา เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีการบูรณาการรายวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ได้ออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งเลือกวิธีการได้อย่างเหมาะสมเพื่อสร้างสรรค์ผลงาน และมีการจัดการเรียนรู้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยเริ่มต้นจากขั้นระบุปัญหา ซึ่งเป็นการนำเสนอปัญหาหรือสถานการณ์เพื่อกระตุ้นความสนใจให้ผู้เรียนคิดทำความเข้าใจกับปัญหา

หรือสถานการณ์ รวมถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดในแก้ปัญหา โดยสถานการณ์ที่กำหนดให้เป็นสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน และเป็นสถานการณ์ที่กระตุ้นให้นักเรียนได้นำความรู้จากสิ่งที่ได้เรียนในบทเรียนไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบหรือแก้ไขปัญหา เมื่อผู้เรียนได้พิจารณาสถานการณ์ต้องระบุให้ได้ว่าปัญหาคืออะไร และวิเคราะห์ว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากอะไร เพื่อนำไปใช้ในขั้นวางแผนการแก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นขั้นที่ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่กำหนด หรือนำความรู้ที่ได้รับจากบทเรียนนำมาใช้ในออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา ทั้งนี้ผู้เรียนต้องคำนึงถึงเงื่อนไข ข้อจำกัดและทรัพยากรตามสถานการณ์ที่กำหนด พร้อมทั้งต้องกำหนดลำดับขั้นตอนของวิธีการแก้ไขปัญหา สำหรับขั้นตอนการแก้ไขปัญหา เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนดำเนินงานตามแผน

ที่วางไว้ เพื่อสร้างชิ้นงานหรือวิธีการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา เมื่อผู้เรียนดำเนินสร้างชิ้นงานหรือวิธีการแก้ไขปัญหาแล้ว ต้องมีการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงชิ้นงานหรือวิธีการ ซึ่งผู้เรียนจะมีการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการว่านำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาได้จริงหรือไม่ และนำผลการทดสอบไปปรับปรุง แก้ไข หรือพัฒนาให้ชิ้นงานหรือวิธีการให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น หลังจากที่ผู้เรียนมีการปรับปรุงหรือพัฒนาชิ้นงานผู้เรียนจะต้องนำเสนอและประเมินชิ้นงาน โดยนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ไขปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการให้ผู้อื่นเข้าใจ จากนั้นมีการประเมินชิ้นงานของตนเองและเพื่อนในชั้นเรียน การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาตามลำดับขั้นตอนเหล่านี้จึงสามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาในทุกกระบวนการของการแก้ปัญหาได้ เนื่องจากกระบวนการแก้ปัญหาประกอบด้วย ขั้นตอนปัญหา ขั้นวิเคราะห์สาเหตุ ขั้นการวางแผนการแก้ปัญหา และขั้นการตรวจสอบการแก้ปัญหา ได้แทรกอยู่ในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา นอกจากนี้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาได้กำหนดสถานการณ์ทั้งหมด 4 สถานการณ์ เพื่อให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติกิจกรรมตามลำดับขั้นตอนของสะเต็มศึกษาทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการแก้ปัญหา หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับ สุภักดิ์ โอพาพิริยกุล (2562) ได้กล่าวว่า สะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการลงมือทำส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสนใจใคร่รู้ แสวงหาคำตอบด้วยตนเอง โดยการจัดการเรียนรู้เริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาให้ผู้เรียนได้คิดค้นและค้นหาคำตอบ แสวงหาเหตุผลในการแก้ปัญหา และลงมือสร้างสรรค์ผลงานหรือปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือวิธีในการแก้ปัญหา การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาสามารถสร้างองค์ความรู้จนได้เป็นผลงานที่นำไปใช้ในการแก้ปัญหาได้จริง โดยผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้น และมีการบวนการคิดและการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สอดคล้องกับ Roberts and Schnepf (2020) ได้จัดค่ายที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาโดยใช้กิจกรรม STEAM ให้กับนักเรียนมัธยมปลายในสหรัฐอเมริกา ซึ่งเน้นการแก้ปัญหาผ่านงานศิลปะและหุ่นยนต์ โดยความสำเร็จของค่ายสะท้อนได้จากความสามารถในการใช้ทักษะใหม่

ที่ได้เรียนรู้ของนักเรียน นำไปใช้แก้ปัญหาให้สำเร็จได้

2. ค่าดัชนีความก้าวหน้าด้านทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ทั้งชั้นเรียนอยู่ในระดับปานกลาง (Normalized gain= 0.52) เนื่องจากการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่เน้นการลงมือปฏิบัติจริง โดยใช้สถานการณ์ปัญหาที่กระตุ้นกระบวนการคิดเพื่อวางแผนการแก้ปัญหา โดยในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 ส่งผลให้นักเรียนต้องเรียนในรูปแบบออนไลน์สลับการเรียนที่โรงเรียน และเมื่อสถานการณ์การแพร่ระบาดสูงขึ้น นักเรียนต้องเปลี่ยนรูปแบบการเรียนรู้เป็นการเรียนออนไลน์เป็นเหตุให้นักเรียนได้รับอุปกรณ์บางส่วนไปทำกิจกรรมอยู่ที่บ้าน ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบออนไลน์ทำให้ผู้เรียนต้องทำกิจกรรมด้วยตนเองในทุกขั้นตอน สำหรับการวางแผนการแก้ปัญหา เมื่อผู้เรียนพิจารณาสถานการณ์แล้วผู้เรียนต้องเลือกอุปกรณ์ที่มีอยู่ภายในบ้านไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการแก้ปัญหาเป็นเหตุให้ในการออกแบบการแก้ปัญหานั้น ต้องคำนึงทรัพยากรที่มีอยู่เป็นหลัก ซึ่งถือเป็นความท้าทายสำหรับผู้เรียน เมื่อออกแบบการแก้ปัญหาแล้วจะต้องกำหนดขั้นตอนการแก้ปัญหา และดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตนเอง รูปแบบหรือวิธีการแก้ปัญหาของผู้เรียนแต่ละคนจึงมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ในขั้นทดสอบชิ้นงาน ประเมินผล เพื่อปรับปรุงชิ้นงานสามารถทำได้นอกเวลาเรียนได้จนกว่าจะได้ผลงานที่ตนเองพึงพอใจก่อนนำเสนอและประเมินชิ้นงาน การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในรูปแบบออนไลน์จึงส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติจริง ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้เหล่านั้นมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา และสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ไขปัญหาหรือการหาคำตอบได้อย่างอิสระ ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย มีการเชื่อมโยงความรู้ไปใช้ในสถานการณ์อื่นหรือนำความรู้ที่ได้รับจากบทเรียนไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน การปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองเป็นการฝึกทักษะการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้อย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับมินตรา กระเป๋าทอง (2561) ได้กล่าวว่า กิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาที่มีการนำเอาศิลปะเข้ามาบูรณาการส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างที่ดียิ่งขึ้น เริ่มจากกระตุ้นความสนใจที่เกิดการคิดวิเคราะห์จากสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นที่มีข้อจำกัดและให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเพื่อค้นหาคำตอบ ซึ่งการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้ศึกษาด้วย

ตนเอง ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้นจะเป็นผู้ที่มีการใช้สมองทั้งซีกซ้ายและซีกขวา ได้เรียนรู้ทั้งทางศาสตร์และศิลป์ไปพร้อมกัน ทำให้เกิดความคิดแบบองค์รวมเกิดขึ้น ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาแบบออนไลน์ ได้เปิดโอกาสให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริงจากการเรียนรู้ภายในห้องเรียนไปสู่การเรียนรู้ที่บ้านถือได้ว่าเป็นสร้างเสริมประสบการณ์เรียนรู้ใหม่สำหรับผู้เรียน สอดคล้องกับ Pitre et al. (2021) ได้พัฒนาประสบการณ์ห้องปฏิบัติการเคมีที่บ้านเพื่อสำรวจความรู้เรื่อง เคมีอินทรีย์ของนักศึกษาชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยแห่งรัฐมิสซิสซิปปี ซึ่งผู้สอนจะติดตามความก้าวหน้าของผู้เรียนด้วยการให้ผู้เรียนอัปโหลดรูปการทดลอง ผู้สอนสามารถรับรู้ปัญหาของนักเรียนได้อย่างรวดเร็ว จากผลการสะท้อนความคิดเห็นของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีความภาคภูมิใจเมื่อการทดลองทำงานตามที่ออกแบบโดยมีหลักฐานภาพถ่ายเพื่อแสดงผลลัพธ์ ซึ่งอาจส่งผลให้นักเรียนรู้สึกมีส่วนร่วมมากขึ้น และผลการสำรวจความรู้สึกรวมที่มีต่อประสบการณ์ในห้องปฏิบัติการยังพบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความคิดเห็นว่าการช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาเคมีอินทรีย์ได้มากขึ้น สอดคล้องกับพิชมณู สีนประเสริฐรัตน์ และคณะ (2565) ได้กล่าวว่า การทดลองหรือการปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยเฉพาะวิชาเคมีเนื่องจากเป็นเนื้อหาที่มีความซับซ้อนการจัดกิจกรรมต้องมีการทดลองมาช่วยในการเรียนรู้ เมื่อนักเรียนได้ลงมือทดลองมีส่วนร่วมในการทดลองทั้งด้านการคิด การแก้ปัญหา การดำเนินการทดลองทุกขั้นตอน ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้นและสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง การเรียนที่เน้นการปฏิบัติจริงจึงสามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาให้สูงขึ้นได้

3. ทักษะการแก้ปัญหาหลังการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง ธาตุและสารประกอบ ต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แม้ทักษะการแก้ปัญหของนักเรียนหลังการจัดกิจกรรมเรียนรู้สะเต็มศึกษาสูงกว่าก่อนเรียนซึ่งพัฒนาไปในทางที่ดี แต่ค่าเฉลี่ยทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนพบว่าต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 เนื่องจากในการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์มีผู้เรียนบางคนเข้าร่วมกิจกรรมไม่ครบทั้ง 4 สถานการณ์ เมื่อพิจารณาร้อยละคะแนนทักษะการแก้ปัญหาหลังเรียนของผู้เรียนรายบุคคลจะพบว่านักเรียนที่มีร้อยละคะแนน

ทักษะการแก้ปัญหาค่ำ และมีความก้าวหน้าของทักษะการแก้ปัญหาค่ำจะเป็นกลุ่มของนักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมไม่ครบทั้ง 4 สถานการณ์ นักเรียนกลุ่มนี้อาจได้รับการฝึกปฏิบัติในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาที่ไม่ต่อเนื่อง การฝึกปฏิบัติอย่างต่อเนื่องจะทำให้ผู้เรียนได้พัฒนาทั้งความรู้และทักษะในการแก้ปัญหา สอดคล้องกับจิตติรัตน์ แสงเลิศอุทัย และคณะ (2563) กล่าวว่า การเรียนรู้จากการปฏิบัติจะส่งผลให้ผู้เรียนได้เรียนรู้อย่างต่อเนื่องและส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองก่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในสิ่งที่ได้เรียนรู้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้ผู้เรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมไม่ครบทักษะการแก้ปัญหาจึงพัฒนาขึ้นเพียงเล็กน้อย สำหรับการจัดการเรียนรู้รูปแบบออนไลน์มีข้อดีคือผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ทุกที่ทุกเวลา เวลาเรียนสามารถยืดหยุ่นได้ สามารถทำกิจกรรมในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพชิ้นงานนอกเวลาเรียนได้ แต่อย่างไรก็ตามการเรียนออนไลน์นั้นจะประสบผลสำเร็จมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความมีวินัยในตนเอง ความสนใจ ใฝ่เรียนรู้ ความรับผิดชอบของผู้เรียนด้วย ดังนั้นผู้เรียนบางคนที่มีวินัยในตนเอง มีความใฝ่เรียนรู้ จะประสบผลสำเร็จในการเรียนออนไลน์ ส่งผลให้มีความก้าวหน้าด้านทักษะการแก้ปัญหายอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง แต่หากผู้เรียนมีวินัยในตนเองน้อย มีความรับผิดชอบน้อย การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ก็จะประสบผลสำเร็จน้อยเช่นกัน สอดคล้องกับธีระญา ปราบปราม (2564) ได้กล่าวว่า การเรียนออนไลน์นั้นแสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อการเรียนรู้อย่างดี แม้นักเรียนจะเข้าเรียนตรงเวลา แต่ระหว่างนั้นนักเรียนอาจจะไม่ได้จดจ่อกับการเรียนจริง แม้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาแบบออนไลน์ส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการแก้ปัญหด้วยตนเองอย่างเป็นลำดับขั้นตอนทำให้ทักษะการแก้ปัญหพัฒนาขึ้นได้ แต่การเรียนรู้แบบออนไลน์นั้นไม่ได้ส่งเสริมให้นักเรียนได้ทำงานเป็นกลุ่ม ผู้เรียนต้องระบุปัญหา วางแผนการแก้ปัญหา ดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตนเองทั้งหมดโดยไม่มีการระดมความคิดเห็นจากผู้อื่นในการวางแผนเพื่อแก้ปัญหา มินตรา กระเป่าทอง (2561) กล่าวว่า การได้ระดมสมองช่วยกันภายในกลุ่มเพื่อหาวิธีและการออกแบบสร้างชิ้นงานที่ดีและเสร็จตามเวลาที่กำหนด เป็นการเอื้อต่อการสร้างองค์ความรู้และส่งเสริมกระบวนการคิดของแต่ละคนที่มีอยู่ในตัวบุคคล สอดคล้องกับทิพวรรณ เมืองพิน (2562) กล่าวว่า การใช้กระบวนการกลุ่มในการระดมสมองได้มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และยอมรับฟังความคิดของผู้อื่น ผู้เรียนจะเกิดการความคิดริเริ่มจากการเรียนรู้สภาพปัญหา

ที่เกิดขึ้นจริง มองเห็นสาเหตุของปัญหาและผลที่เกิดขึ้น โดยอาศัยความรู้และหลักการจากประสบการณ์เดิมของผู้เรียน แล้วนำมาคิดแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา หรือตัดสินใจเลือกวิธีการแก้ปัญหาอย่างสมเหตุสมผล ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการกลุ่มจึงถือว่ามีส่วนสำคัญในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาได้ เนื่องจากผู้เรียนจะได้ระดมความคิดในการระบุถึงปัญหา และวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ช่วยกันสืบค้นข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบการแก้ไขปัญหา ซึ่งวิธีการแก้ปัญหานั้นจะมีหลากหลายวิธี ผู้เรียนจะต้องมีการเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด สอดคล้องกับ ชนิการ์ พันธ์อ่อน (2562) กล่าวว่า เมื่อผู้เรียนมีการระบุปัญหาจากสถานการณ์ ผู้เรียน จะต้องทำความเข้าใจกับปัญหาเพื่อวางแผนดำเนินการแก้ปัญหากับเพื่อนภายในกลุ่ม ทำให้นักเรียนได้มีการศึกษาเนื้อหาด้วยตนเองแล้วนำมาแลกเปลี่ยนกับเพื่อนในกลุ่มเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาคือดีที่สุดของกลุ่ม เมื่อนักเรียนได้อภิปรายแลกเปลี่ยนกันทำให้นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการที่หลากหลาย ทำให้นักเรียนได้เข้าใจเนื้อหาได้อย่างลึกซึ้ง สอดคล้องกับ งานวิจัยของนราลักษณ์ ผ่องปัญญา (2562) พบว่า ความสามารถในการคิดแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้แนวคิดการแก้ปัญหาเป็นฐานกับกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้แนวคิดการแก้ปัญหาเป็นฐานผ่านกระบวนการกลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้แนวคิดการแก้ปัญหาเป็นฐานผ่านกระบวนการกลุ่มผู้เรียนได้มีโอกาสนำเสนอแนวคิดของตนเอง ยอมรับข้อผิดพลาดของตนเองร่วมกับผู้อื่น นักเรียนได้ช่วยกันคิดหาสาเหตุและหาวิธีการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่ได้รับเมื่อนักเรียนได้ทำงานด้วยกระบวนการกลุ่มจะทำให้ นักเรียนได้แนวคิดและวิธีคิดที่หลากหลายและได้แลกเปลี่ยนข้อมูลและความรู้ จากสมาชิกภายในกลุ่มพฤติกรรมการเรียนรู้แบบกระบวนการกลุ่มทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้น สนุก และเกิดความรู้สึกท้าทายในกระบวนการจัดการเรียนการสอนที่ได้รับ กระบวนการกลุ่มจึงถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาให้แก่ผู้เรียน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาเป็นบูรณาการรายวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้โดยการสืบเสาะหาความรู้ ออกแบบแนวทางการแก้ไขปัญหา เลือกวิธีการได้อย่างเหมาะสมเพื่อสร้างสรรค์ผลงาน เนื้อหาในการเรียนการสอนควรเป็นเนื้อหาที่ส่งเสริมการสืบเสาะหาความรู้ เพื่อให้ผู้เรียนนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้จริง จึงควรเลือกใช้สถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันและมีความสัมพันธ์กับเนื้อหาเป็นสถานการณ์ที่มีความท้าทายให้ผู้เรียนมุ่งหาคำตอบหรือวิธีการแก้ปัญหา ปัญหาควรมีความเหมาะสมกับผู้เรียน เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสนใจในการแก้ปัญหามากขึ้น และมีความกระตือรือร้นในการแก้ปัญหาจนสำเร็จ

1.2 การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาควรให้นักเรียนทำงานกลุ่ม เพื่อให้นักเรียนได้ระดมความคิดในการพิจารณาถึงข้อปัญหา สาเหตุของปัญหา พร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไข ปัญหาที่หลากหลายเพื่อให้นักเรียนได้อภิปรายหรือแลกเปลี่ยนข้อมูล ได้แสดงความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นกับเพื่อนในกลุ่ม จนนำไปสู่การเลือกวิธีการแก้ปัญหาคือดีที่สุด อีกทั้งการทำงานกลุ่มส่งเสริมให้นักเรียนได้มีการแบ่งหน้าที่รับผิดชอบ ได้ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน เพื่อดำเนินการแก้ปัญหาให้สำเร็จลุล่วง

1.3 การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาควรจัดเตรียมสื่อและแหล่งเรียนรู้ให้นักเรียนสืบค้นที่หลากหลายและเพียงพอ เพื่อให้ผู้เรียนได้สืบค้นข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนวิธีการแก้ปัญหา ครูผู้สอนจึงต้องแนะนำแหล่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ หรือจัดเตรียมเนื้อหาหรือวิดีโอที่เกี่ยวข้องที่ผู้เรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้

1.4 การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบออนไลน์เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 ควรออกแบบกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ภายในบ้าน หรืออุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเวลาในการเรียนควรยืดหยุ่นได้ และบางขั้นตอนของกระบวนการจัดการเรียนรู้สามารถทำกิจกรรมนอกเวลาเรียนได้ เช่น ขั้นตอนการ

ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงชิ้นงานหรือวิธีการ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและเป็นที่พึงพอใจที่สุดสำหรับผู้เรียน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป

2.1 การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในครั้งต่อไป ควรมีการรวมกับการจัดการเรียนรู้รูปแบบอื่น เช่น การเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (Flipped classroom) เพื่อปรับรูปแบบการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์และเพื่อพัฒนาทักษะต่าง ๆ ของผู้เรียนให้สูงขึ้น

2.2 การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในครั้งต่อไปสามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาให้สูงขึ้นได้ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับตัวแปรอื่น ๆ เช่น การคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การสร้างนวัตกรรม เป็นต้น

2.3 ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้ปัญหา โดยใช้การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)*. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กมล โพธิเย็น. (2564). Active Learning: การจัดการเรียนรู้ที่ตอบโจทย์การจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 19(1), <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/suedujournal/article/view/245317/168931>
- จิตติรัตน์ แสงเลิศอุทัย, ปัญญา ทองนิล, นภาเดช บุญเชิดชู, ชัยยุทธ มณีรัตน์, โยธิน ศรีโสภา และมูทิต ทาคำแสน. (2563). การเรียนรู้จากการปฏิบัติ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*, 10(3), <https://journal.pbru.ac.th/admin/upload/article/5729-2021-04-05.pdf>
- ชนิกานต์ ผ่องแผ้ว. (2562). *การจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหาเพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง สมดุลเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม]. <https://tdc.thailis.or.th/tdc/index.php>
- ทิพวรรณ เมืองพิน. (2562). *ทักษะการแก้ปัญหาตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่อง งานและพลังงาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม]. <https://tdc.thailis.or.th/tdc/index.php>
- ธีระญา ปราบปราม. (2564). ผลกระทบการเรียนรู้ในวิชาคณิตศาสตร์ จากกรณีการระบาดของไวรัสโคโรนา (โควิด-19) ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. *วารสารนิเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง*, 4(2), <https://so08.tci-thaijo.org/index.php/MFULJ/article/view/26/49>
- นารักษ์ ผ่องปัญญา. (2560). *ผลการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้แนวคิดการแก้ปัญหาเป็นฐาน ผ่านกระบวนการกลุ่มเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการคิดแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. <https://tdc.thailis.or.th/tdc/index.php>
- พรทิพย์ วงศ์ไพบูลย์. (2560). การเรียนรู้เชิงรุกและการมีส่วนร่วมของผู้เรียน (Active Learning). *วารสารสถาบันวิจัยญาณสังวร*, 8(2), <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/yri/article/view/178540/126898>
- พิชมณีย์ สีนประเสริฐรัตน์, เชษฐ ศิริสวัสดิ์ และภัทรภร ชัยประเสริฐ. (2565). การพัฒนาทบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แบบย่อส่วน เรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 24(1), https://so06.tci-thaijo.org/index.php/edujournal_nu/article/view/195398/170896
- วีรพงษ์ จุลสอน. (2563). *รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนระดับประถมศึกษา*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี]. <https://tdc.thailis.or.th/tdc/index.php>

- มินตรา กระเป่าทอง. (2561). การสร้างชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารการศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์]. <https://tdc.thailis.or.th/tdc/index.php>
- สุภัค โอฬารพิริยกุลม. (2562). STEAM EDUCATION: นวัตกรรมการศึกษาบูรณาการสู่การจัดการเรียนรู้. *วารสารวิจัยและพัฒนาหลักสูตร*, 9(1), <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jrcd/article/view/156426/138280>
- สุวิมล มธุรส. (2564). การจัดการศึกษาในระบบออนไลน์ในยุค NEW NORMAL COVID-19. *วารสารรัชต์ภาคย์*, 15(40), <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/RJPJ/article/view/250336/170299>
- Davenport, J. L., Rafferty A. N. & Yaron, J. D. (2018). Whether and How Authentic Contexts Using a Virtual Chemistry Lab Support Learning. *Journal of Chemical Education*, 95(8), 1250-1259, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00048>
- Pitre, D., Stokes S. & Mlsna D. (2020). Development of an at-Home Chemistry Lab Experience for Survey of Organic Chemistry Students. *Journal of Chemical Education*, 98(7), 2403-2410, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01262>
- Roberts, T. & Schnepf, J. (2020). Building problem-solving skills through STEAM. *technology and engineering teacher*, 79(8), <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=083e3cfc-879a-4563-b04f-19bb8af401bf%40redis>
- Thuneberg, H., Salmi, H. & Bognerb, K. (2018). How creativity, autonomy and visual reasoning contribute to cognitive learning in a STEAM hands-on inquiry-based math module. *ScienceDirect*, 29, 153-160, <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.07.003>
- Yuriev, E., Naidu, S., Schembri, L. S. & Short, J. L. (2017). Scaffolding the development of problem-solving skills in chemistry: guiding novice students out of dead ends and false starts. *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 486-504, <https://doi.org/10.1039/c7rp00009j>