การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักศึกษาครูเคมีด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

กฤษณะ พวงระย้า[1] กุลธิดา นุกูลธรรม[2*] และทัศตริน วรรณเกตุศิริ[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา และ [2]ภาควิชาครุศึกษา คณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140
[*]E-mail: kulthida.n@ku.th

รับบทความ: 18 มีนาคม 2564 แก้ไขบทความ: 19 กรกฎาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 9 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักศึกษาครูเคมี โดยกำหนดจุดประสงค์การวิจัยดังนี้ 1) เพื่อออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และ 2) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหา ของนักศึกษาครูเคมี ก่อนและหลังการใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กลุ่มเป้าหมายเป็นนักศึกษาครูชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาเคมี จำนวน 15 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) กิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในรายวิชาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และ 2) แบบประเมินทักษะการแก้ปัญหาประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง แนวคิดในการแก้ปัญหา การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา และการทดสอบ ปรับปรุง และประเมินผล ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่านักศึกษาครูเคมีมีทักษะการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงขึ้น

คำสำคัญ: ทักษะการแก้ปัญหา กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กิจกรรมสะเต็มศึกษา

Development of Chemistry Teacher Students' Problem–Solving Skills through Inquiry–Based Learning Integrated with Engineering Design Process in STEM Activities

Kridsana Poungraya[1], Kulthida Nugultham[2*] and Tussatrin Wannagatesiri[2]

[1]Program of Science Education, and [2]Department of Teacher Education, Faculty of Education and Development Sciences, Kasetsart University, Kampangsean Campus, Nakhon pathom 73140, Thailand

[*]E-mail: kulthida.n@ku.th

Received: 18 March 2021 Revised: 19 July 2021 Accepted: 9 August 2021

Abstract

This research aims to promote problem–solving skills through Inquiry–based Learning integrated with engineering design process in STEM activities of chemistry teacher students. The research objectives were set as follows: 1) to design STEM activities on inquiry–based learning integrated of engineering design process, and 2) to compare problem–solving skills of chemistry teacher students before and after receiving STEM Activities through Inquiry–based learning integrated with engineering design process. The participants were 15 third–year teacher students in chemistry major. The research instruments included 1) science learning management courses by designing a STEM activity in inquiry–based integrated engineering design process, and 2) problem solving skills assessment consisted of 5 phases, named Problem identification, related Information search, problem–solving concept, solution design, as well as testing improvement and evaluation. The results of the study indicated that the chemistry teacher students had higher problem–solving skills after study.

Keywords: Problem–solving skills, Engineering design process, STEM activities

บทนำ

หลายประเทศให้ความสำคัญกับการปฏิรูปการศึกษาเพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศด้วยการพัฒนาทักษะของผู้เรียนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM education) โดยเริ่มต้นจากประเทศสหรัฐอเมริกานำมาใช้ในการจัดการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานที่มีคุณภาพในสายงานทางด้าน STEM (Science, Technology, Mathematics and Engineering) (Sanders, 2009) สะเต็มศึกษาเป็นการสอนที่บูรณาการเนื้อหาของวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ตั้งแต่

สองวิชาขึ้นไปโดยเชื่อมโยงเข้ากับสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวัน หรือสร้างรายวิชาใหม่ขึ้นมาจากการรวมความรู้จากรายวิชาต่าง ๆ ไว้ด้วย กันดังนั้นสะเต็มศึกษาจึงมักถูกเรียกว่าเป็นสหสาขาวิชา (Ceylan and Ozdilek, 2015; Kelley and Knowles, 2016) สะเต็มศึกษาเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหา รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือสร้างนวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตและการทำงาน การจัดการเรียนรู้เน้นการสร้างความเข้าใจโดยการปฏิบัติให้เห็นจริงผ่านกิจกรรมที่พัฒนาทักษะการคิด การตั้งคำถาม การแก้ปัญหา การหาข้อมูลและวิเคราะห์ข้อค้นพบใหม่ ๆ ให้ผู้เรียนสามารถสร้างสรรค์ชิ้นงาน มีทักษะการคิดหาวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้หลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม ใช้กระบวนการออกแบบ (design) และปรับปรุง (redesign) จากการประยุกต์ความรู้ในเนื้อหาวิชาของสะเต็ม เข้ากับการปฏิบัติกิจกรรมในชั้นเรียน (English and King, 2015; The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2014)

สำหรับการพัฒนากำลังคนทางด้านสะเต็มในระดับอุดมศึกษานั้นควรเริ่มจากให้นักศึกษาได้คุ้นเคยกับการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความเข้าใจดังเช่นในงานวิจัยของ Merisotis and Kee (2006) ที่พบว่าเนื้อหาในหลักสูตรที่มีการสร้างรายวิชาบูรณาการทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงระหว่างวิชาและเข้าใจแต่ละวิชามากขึ้น สำหรับประเทศไทยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาคนรุ่นใหม่ที่มีทักษะในการสร้างนวัตกรรมเพื่อรองรับการแข่งขันทางเศรษฐกิจโดยเพิ่มกำลังคนในสายงานด้านสะเต็มให้มากขึ้น (Chulavatnatol, 2013) ทั้งนี้ Tipparach *et al*. (2019) ได้วิเคราะห์ความต้องการในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาทักษะของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีและมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้แก่ ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะในการประดิษฐ์สร้างสรรค์ ทักษะในการช่วยเหลือตัวเองได้ ทักษะการคิดอย่างมีเหตุผล ทักษะการรู้ในเชิงเทคโนโลยี และทักษะทางสังคม พบว่า อาจารย์ที่เข้าร่วมการวิจัยจากมหาวิทยาลัยทั้งสองแห่ง จำนวน 6 คน มีความคิดเห็นว่านักศึกษามีความต้องการจำเป็นอย่างเร่งด่วนในการพัฒนาทักษะทั้ง 6 ด้าน และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยทั้งสองแห่ง จำนวน 200 คน มีความคิดเห็นว่า นักศึกษาสายวิทยาศาสตร์มีความต้องการจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนาทุกทักษะ

จุดเด่นของสะเต็มศึกษา คือ การผนวกกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี โดยในขณะที่ทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ และฝึกทักษะ ผู้เรียนต้องนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือกระบวนการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหา เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Klomim, 2016) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (engineering design process) เป็นขั้นตอนที่วิศวกรใช้ในการจัดระเบียบความคิดและคิดค้นแนวทางแก้ปัญหาที่มีความท้าทายทางด้านวิศวกรรม เป้าหมายหลักของวิศวกรรมคือการแก้ปัญหาที่เกิดจากความต้องการของมนุษย์ ซึ่งการแก้ปัญหา (solving–problem) คือกระบวนการใช้ความรู้ที่มีอยู่เดิมเพื่อค้นหาสิ่งที่ต้องการรู้ใหม่ เป็นการเอาชนะอุปสรรคโดยการสร้างสมมติฐาน ทดสอบสมมติฐาน และหาทางแก้ปัญหาที่

พึงพอใจ วิศวกรต้องเข้าใจในประเด็นปัญหาทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนข้อจำกัดหรือข้อกำหนดของโครงการ ซึ่งจะช่วยให้วิศวกรออกแบบการแก้ปัญหาที่มีประโยชน์และเหมาะสม ดังนั้นวิศวกรต้องอาศัยความรู้ทั้งด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ รวมทั้งความเข้าใจในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Teach Engineering, 2009; Teacher Vision, 2007)

ในกรอบมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้บูรณาการแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมเข้าด้วยกัน เรียกว่า science and engineering practices (NRC, 2012) ซึ่งประกอบด้วย 1) ตั้งคำถาม (วิทยาศาสตร์) และกำหนดปัญหา (วิศวกรรม) 2) พัฒนาและใช้แบบจำลอง 3) วางแผนและดำเนินการตรวจสอบ 4) วิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล 5) ใช้คณิตศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ 6) สร้างคำอธิบาย (วิทยาศาสตร์) และออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (วิศวกรรม) 7) มีส่วนร่วมในการโต้แย้งจากหลักฐานที่มี และ 8) รวบรวม ประเมิน และสื่อสารข้อมูล สำหรับประเทศไทยนั้นสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (IPST, 2016) ได้กำหนดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ระบุปัญหา 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในระดับอุดมศึกษาของไทยได้มีการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบของสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนานักศึกษาในด้านต่าง ๆ งานวิจัยของ Netwongse (2016) พัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักศึกษา โดยการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ประกอบด้วยกิจกรรม 7 ขั้น ได้แก่ ขั้นเตรียมการและสร้างความพร้อมของผู้เรียน ขั้นการพิจารณาเลือกประเด็นปัญหา ขั้นการรวบรวมประมวลข้อมูลองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ขั้นวางแผนโครงงานพัฒนานวัตกรรม หรือวิธีการแก้ปัญหา ขั้นการดำเนินการโครงงาน ขั้นสรุปประเมินผลลัพธ์ และขั้นออกแบบวิธีการนำเสนอและนำเสนอโครงงาน พบว่าผู้เรียนทุกคนมีพัฒนาการทางการเรียนในการแก้ปัญหาสูงขึ้น Jituafua (2020) ใช้แนวทางการพัฒนาการรู้สะเต็มของนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ผ่านการมีส่วนร่วมชุมชนในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่นจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า นักศึกษามีการรู้สะเต็มเพิ่มขึ้นซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจัดการศึกษาและใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาและพัฒนาไปสู่นวัตกรรมได้ดี

การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญด้วยการศึกษาค้นคว้าด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำความรู้ที่ค้นพบเชื่อมโยงไปสู่สถานการณ์ใหม่เป็นการขยายความรู้ให้กว้างขึ้น (BSCS Science Learning, 2006; Lesley University, 2020) ทั้งนี้ในขั้นตอนการขยายความรู้โดยทั่วไปเป็นเพียงการเชื่อมโยงเพื่อให้เกิดความรู้หรือความเข้าใจในสถานการณ์ใหม่ แต่ไม่มีการนำความรู้ที่ได้ไปใช้เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนากระบวนการเพื่อสร้างสรรค์ชิ้นงาน หรือ นวัตกรรม ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในกิจกรรมสะเต็มศึกษาเป็นกระบวนการที่ช่วยส่งเสริมทักษะดังกล่าวได้ โดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์สถานการณ์เพื่อกำหนดปัญหา รวบรวมและตีความหมายข้อมูล เพื่อนำไปออก-

แบบการแก้ปัญหา ซึ่งช่วยเสริมสร้างความสามารถในการแก้ปัญหาของผู้เรียน (IPST, 2016; NRC, 2012; Teach Engineering, 2009) อย่างไรก็ตามการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยังขาดรูปแบบที่ชัดเจน (Kemwimoottiwong, 2018; Ladachart *et al*., 2019) ดังนั้นในกระบวนการผลิตครูที่ผู้วิจัยมีส่วนร่วมอยู่ด้วยนั้นหากสามารถทำให้นักศึกษาครูเคมีมีความรู้และทักษะการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในรายวิชาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ จะเป็นการพัฒนาความรู้และทักษะที่สำคัญให้กับนักศึกษาและยังช่วยส่งเสริมการนำสะเต็มศึกษาไปออกแบบแผนจัดการเรียนรู้ซึ่งจะนำไปสู่การเรียนรู้สะเต็มศึกษาในโรงเรียน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

2. เปรียบเทียบทักษะการแก้ปัญหาของนักศึกษาครูเคมี ก่อนและหลังการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

วิธีการวิจัย

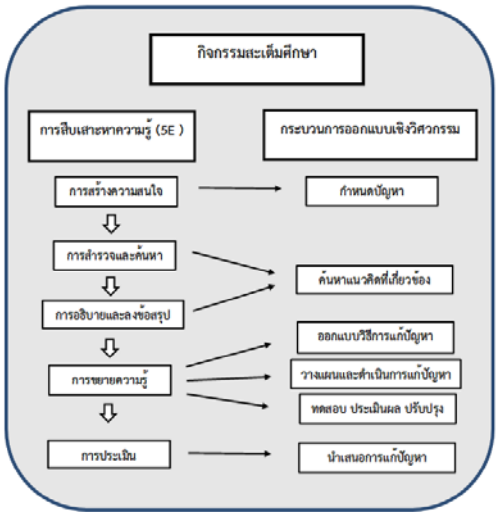
งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงผสมผสาน (mixed methods research) (Campbell and Fiske, 1959) เน้นการรวบรวมข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ เพื่อศึกษาการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นตัวแปรตามของงานวิจัย รวมถึงใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพเพื่อสะท้อนเหตุการณ์และการสะท้อนคิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมซึ่งเป็นตัวแปรต้นของงานวิจัย

กลุ่มเป้าหมาย: นักศึกษาชั้นปีที่ 3 หลักสูตรคุรุศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จำนวน 15 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง จากผู้ที่ลงทะเบียนในรายวิชาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ในปีการศึกษา 2561 และร่วมทำกิจกรรมครบทุกกิจกรรม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย:

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งรูปแบบการเรียนรู้นี้ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นโดยดัดแปลงจาก 1) รูปแบบการสอน 5E บูรณาการ STEM ของ Maryland State Department of Education (2011) 2) การจัดรูปแบบให้เข้ากันระหว่างขั้นตอนของวัฏจักรการเรียนรู้และแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมของ Pradeep (2015) และ 3) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (IPST, 2016) โดยมีแนวคิดการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี และส่งเสริมให้ผู้เรียนใช้ทักษะการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) โดยเริ่มต้นสร้างความสนใจด้วยการกระตุ้นให้ผู้เรียนวิเคราะห์ปัญหาและใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการเก็บรวบรวมข้อมูล ตี-

ความข้อมูล และสรุปแนวคิดจากข้อมูล เพื่อนำ ไปใช้ในการวางแผน การออกแบบวิธีการ และดำเนินการแก้ปัญหาในขั้นการขยายความรู้ รูปแบบการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังที่แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวคิดกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

กิจกรรมการเรียนรู้เป็นการกำหนดสถานการณ์ประเด็นปัญหาด้านเคมี ประกอบด้วย 3 กิจกรรมการเรียนรู้ ใช้เวลา 3 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 4 ชั่วโมง ประกอบด้วย กิจกรรมที่ 1 เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี กิจกรรมที่ 2 เรื่อง เคมีนิติวิทยาศาสตร์ และกิจกรรมที่ 3 เรื่อง แอลกอฮอล์แข็ง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้อธิบายขั้นตอนกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เคมีนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนจะได้ใช้ความรู้เกี่ยวกับโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง ในเนื้อหาวิชาเคมีระดับมหาวิทยาลัย โดยผู้วิจัยออกแบบกิจกรรมที่ท้าทายให้ผู้เรียนแก้ปัญหาโดยกำหนดสถานการณ์ที่ใกล้ตัวในฐานะที่ผู้เรียนเป็นนักศึกษาครูเคมีดังในตาราง 1

2. แบบประเมินทักษะการแก้ปัญหาก่อนเรียนและหลังเรียน เป็นแบบทดสอบคู่ขนาน โดยแต่ละชุดเป็นข้อสอบชนิดคำถามปลายเปิด จำนวน 2 สถานการณ์ สถานการณ์ละ 5 ข้อคำ-

ตาราง 1 ตัวอย่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่อง เคมีนิติวิทยาศาสตร์

ขั้นตอน	ตัวอย่างการจัดกิจกรรม
การสร้างความสนใจ	กำหนดสถานการณ์ ให้ผู้เรียนร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ โดยให้ระบุปัญหาและเป้าหมายหรือแนวทางแก้ปัญหา โดยกำหนดสถานการณ์ดังนี้ “ในช่วงที่ผู้เรียนทำแบบทดสอบ ผู้สอนเก็บกระดาษที่มีผู้เรียนแอบจดสูตรเข้ามาตกอยู่บนพื้นได้ 1 แผ่น ในฐานะที่พวกเราทุกคนเป็นครูวิชาเคมี ลองช่วยกันพิสูจน์ว่าใครเป็นเจ้าของกระดาษแผ่นนี้ด้วยวิธีการทำโครมาโตกราฟีแบบผิวบาง โดยหลักฐานที่มีประกอบด้วยกระดาษที่จดสูตรเข้ามา 1 แผ่น และปากกาของผู้ต้องสงสัย 4 คน ที่นั่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงจุดที่พบกระดาษตกอยู่”
การสำรวจและค้นหา	- ทำการทดลองเพื่อทดสอบหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำหมึกปากกา - ทำการทดลองเพื่อศึกษาชนิดของเฟสเคลื่อนที่ ที่เหมาะสม
การอธิบายและลงข้อสรุป	- วิเคราะห์ ตีความข้อมูล และร่วมกันอภิปรายสรุปเกี่ยวกับการเลือกใช้ตัวทำละลายโดยควรเลือกตัวทำละลายที่สกัดน้ำหมึกปากกาออกมาได้ดี เพื่อให้ได้ chromato-

ตาราง 1 ตัวอย่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่อง เคมีนิติวิทยาศาสตร์

ขั้นตอน	ตัวอย่างการจัดกิจกรรม
	gram ที่ดีที่สุดในการนำไปทำ TLC และใช้เฟสเคลื่อนที่ ที่สามารถแยกสารตัวอย่างได้ดีและชัดเจน
การขยายความรู้	- ร่วมกันวางแผน เขียนแผนผังการทดลองและลงมือแก้ปัญหาเพื่อเลือกตัวทำละลายสำหรับสกัดน้ำหมึกปากกาและเฟสเคลื่อนที่ - ประเมินผลการทดลอง โดยทดสอบการสกัดน้ำหมึกปากกา การแยกน้ำหมึกปากกา เปรียบเทียบค่า R_f และปรับปรุงการทำ TLC ให้มีประสิทธิภาพ
การประเมิน	นำเสนอให้เห็นแนวทางแก้ปัญหาที่ดำเนินการ และผลลัพธ์ของการแก้ปัญหา โดยการมีส่วนร่วมในการสะท้อนคิด แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในเนื้อหาและกระบวนการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการเชิงวิศวกรรม

ถาม รวมเป็น 30 คะแนน โดยมีตัวอย่างคำถามดังนี้ สถานการณ์ที่ 1 เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี

"*โลกปัจจุบันมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองโดยเฉพาะพลังงานที่ได้จากทรัพยากรธรรมชาติ สมมติผู้เรียนเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทน และสนใจที่จะสร้างนวัตกรรมใหม่ซึ่งใช้น้ำเป็นแหล่งพลังงาน โดยที่นวัตกรรมชิ้นนี้สามารถพกพาติดตัวไปสถานที่ต่าง ๆ ได้ และเมื่อใดที่ต้องการใช้ก็เพียงเติมน้ำหรือแช่ลงในน้ำก็จะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น*"

คำถาม

(1) ให้ระบุปัญหาที่ผู้เรียนต้องลงมือปฏิบัติเพื่อค้นหาคำตอบ และเป้าหมายที่ต้องการ

(2) มีข้อมูลอะไรบ้างที่จำเป็นต้องทราบเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

(3) อธิบายแนวคิดในการแก้ปัญหา

(4) ออกแบบและเขียนภาพวงจรต้นแบบ

(5) มีวิธีการทดสอบวงจรต้นแบบอย่างไร

เกณฑ์การให้คะแนนทักษะการแก้ปัญหา (problem solving rubric) ดัดแปลงจากเกณฑ์ประเมินการแก้ปัญหาของ Chusinkunawut *et al*. (2018) เพื่อประเมินระดับความสามารถในการแก้ปัญหา โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 1) แนวคิดถูกต้อง/แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง (sound understanding: SU/solved problem: SP) 2) แนวคิดถูกต้องบางส่วน/แก้ปัญหาได้บางส่วน (partial understanding: PU/partial solved problem: PSP) 3) แนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน/ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ (specific misunderstanding: SM/unsolved problem: USP) และ 4) ไม่มีแนวคิด (no understanding: NU) สามารถอธิบายแต่ละระดับโดยละเอียดได้ดังนี้

1) แนวความคิดถูกต้อง/แก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง (SU/SP) หมายถึง คำตอบมีแนวความคิดสอดคล้องกับแนวความคิดการแก้ปัญหา โดยเกณฑ์ที่ใช้จำแนกคือ ตอบได้อย่างถูกต้องทั้งหมด อยู่ในขอบเขตของข้อเท็จจริงจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ อย่างครอบคลุมและนำไปใช้ได้จริง

2) แนวความคิดถูกต้องบางส่วน/แก้ปัญหาได้บางส่วน (PU/PSP) หมายถึง คำตอบมีแนวความคิดสอดคล้องกับแนวความคิดการแก้

ปัญหา แต่ยังไม่สมบูรณ์ตามแนวความคิดการแก้ปัญหา โดยเกณฑ์ที่ใช้จำแนกคือตอบได้อย่างถูกต้องอยู่ในขอบเขตของข้อเท็จจริงจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ และนำไปใช้ได้จริง แต่ยังไม่ครอบคลุมสถานการณ์ปัญหาทั้งหมด

3) แนวความคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน/ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ (SM/USP) หมายถึง คำตอบมีแนวความคิดสอดคล้องกับแนวความคิดการแก้ปัญหา อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ และมีแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวความคิดการแก้ปัญหาด้วย โดยเกณฑ์ที่ใช้จำแนกคือ คำตอบถูกต้องอยู่ในขอบเขตของข้อเท็จจริงจากสถานการณ์ที่กำหนดให้บางส่วนและยังมีบางส่วนที่ไม่สอดคล้องกับปัญหาและไม่สามารถแก้ปัญหาได้

4) ไม่มีแนวคิด (NU) หมายถึง ไม่ตอบคำถามใด ๆ หรือตอบในลักษณะทวนคำถาม หรือตอบไม่ตรงประเด็น โดยเกณฑ์ที่ใช้จำแนกคือ ไม่มีคำตอบ หรือ คำตอบไม่ถูกต้องและไม่อยู่ในขอบเขตของข้อเท็จจริงจากสถานการณ์ที่กำหนด

โดยแต่ละระดับแสดงให้เห็นความสามารถในการแก้ปัญหาตามตัวชี้วัดทักษะการแก้ปัญหา 5 ทักษะ ประกอบด้วย 1) การระบุปัญหา 2) การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) แนวคิดในการแก้ปัญหา 4) การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา และ 5) การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง

นำแบบประเมินทักษะการแก้ปัญหาที่สร้างขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความสอดคล้องของประเด็นในการวัด มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 มีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's α) เท่ากับ 0.773

3. การสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง ประเด็นคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ มีดังนี้

ภาพรวมของกิจกรรมสะเต็มทั้ง 3 กิจกรรม ได้แก่ 1) ถูกใจกิจกรรมใดมากที่สุด 2) กิจกรรมครอบคลุมเนื้อหาวิชาที่เคยเรียนมาแล้วหรือไม่ 3) เหมาะสมในการจัดการเรียนการสอนในระดับมัธยม และระดับมหาวิทยาลัยหรือไม่ 4) การเรียงลำดับของกิจกรรมย่อย ๆ มีความเหมาะสมหรือไม่ 5) ได้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นหรือไม่ 6) ถ้าไม่มีกิจกรรมย่อย ๆ ก่อนแต่ให้ลงมือแก้ปัญหาเลย คิดว่าจะแก้ปัญหาได้หรือไม่ และ 7) ปัญหาที่พบ

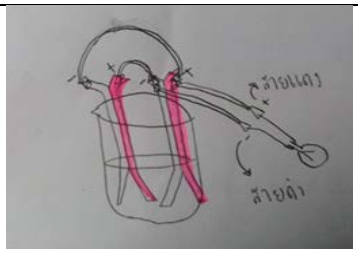
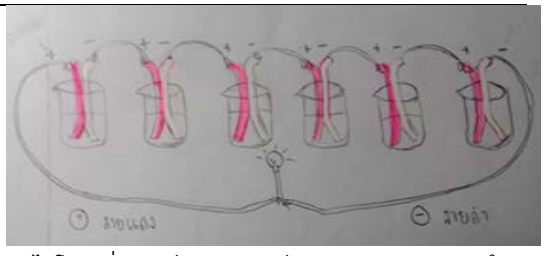
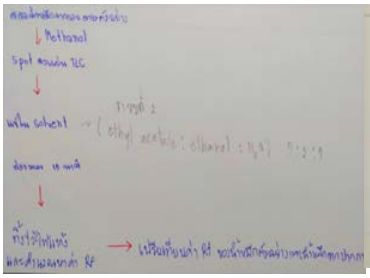
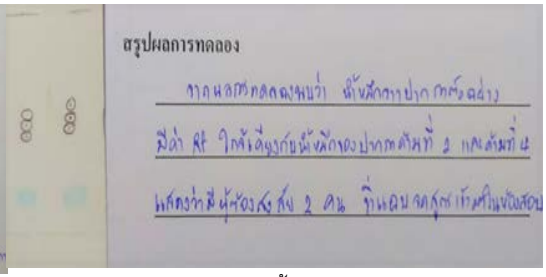
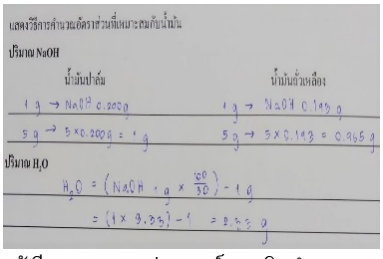
ผลการวิจัย

1. ผลการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในรายวิชาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5E) บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เน้นการลงมือปฏิบัติให้ผู้เรียนสามารถออกแบบแนวทางแก้ปัญหา หรือสร้างชิ้นงาน โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการแก้ปัญหาสถานการณ์ที่กำหนด ประกอบด้วยกระบวนการแก้ปัญหา 5 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุปัญหา การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา และการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง พบว่าทักษะการแก้ปัญหาที่ทุกกลุ่มมีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือ ขั้นดำเนินการแก้ปัญหา รองลงมาคือขั้นการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง การกำหนดปัญหา และคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดคือ ขั้นการออกแบบวิธีแก้ปัญหา ผู้วิจัยขอเสนอกระบวนการแก้ปัญหาขั้นการออกแบบวิธีแก้ปัญหา

และผลการแก้ปัญหาระหว่างดำเนินกิจกรรมในสถานการณ์ต่าง ๆ ดังในตาราง 2

2. การประเมินทักษะการแก้ปัญหาก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ เพื่อประเมินทักษะย่อย 5 ทักษะ โดยใช้แบบทดสอบชนิดคำถามปลายเปิด แบบคู่ขนาน 2 สถานการณ์ สถานการณ์ละ 5 ข้อ ผลการประเมินแสดงให้เห็นระดับความสามารถแก้ปัญหาของผู้เรียน 4 ระดับ แสดงดังตาราง 3

ตาราง 2 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในรายวิชาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

กิจกรรม	การออกแบบ	ผลการแก้ปัญหา
เซลล์ไฟฟ้าเคมี		
ข้อสังเกต	วงจรประกอบด้วย 2 เซลล์ จุ่มอยู่ในบีกเกอร์เดียวกัน ทำให้เกิดการลัดวงจร และไม่มีกระแสเคลื่อนผ่านวงจร	แก้ไขโดยเพิ่มเซลล์เป็น 6 เซลล์ ต่อกันแบบอนุกรม ทำให้มีกระแสเพิ่มขึ้น และหลอด LED สว่าง
เคมีนิติวิทยาศาสตร์		
ข้อสังเกต	ผู้เรียนเลือกชนิดตัวทำละลายสำหรับสกัดน้ำหมึกปากกาและใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ได้	สามารถแยกองค์ประกอบของน้ำหมึกปากกา และคำนวณค่า R_f เปรียบเทียบกับน้ำหมึกที่สกัดจากกระดาษตัวอย่างได้
แอลกอฮอล์แข็ง		
ข้อสังเกต	ผู้เรียนสามารถประยุกต์แนวคิดคำนวณส่วนผสมแอลกอฮอล์แข็งได้	ก้อนแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติตามต้องการ คือแข็งตัวได้เร็ว และให้ความร้อนได้ดี

ตาราง 3 ร้อยละของนักศึกษาที่ตอบคำถามในแต่ละสถานการณ์ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (N = 15 คน)

ทักษะการแก้ปัญหา	ร้อยละของนักศึกษาที่ตอบคำถาม			
	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2
1. การระบุปัญหา				
SP	0	0	0	2 (13.33)
PSP	0	3 (20)	14 (93.33)	9 (60)
USP	5 (33.33)	2 (13.33)	0	4 (26.67)
NU	10 (66.67)	10 (66.67)	1 (6.67)	0
2. การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง				
SU	0	0	2 (13.33)	2 (13.33)
PU	10 (66.67)	8 (53.33)	12 (80)	13 (86.67)
SM	0	5 (33.33)	1 (6.67)	0
NU	5 (33.33)	2 (13.33)	0	0
3. แนวคิดในการแก้ปัญหา				
SU	0	0	1 (6.67)	2 (13.33)
PU	0	4 (26.67)	10 (66.67)	9 (60)
SM	0	0	4 (26.67)	2 (13.33)
NU	15 (100)	11 (73.33)	0	2 (13.33)
4. การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา				
SP	0	0	0	0
PSP	0	0	13 (86.67)	13 (86.67)
USP	0	3 (20)	2 (13.33)	1(6.67)
NU	15 (100)	12 (80)	0	1(6.67)
5. การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง				
SP	0	0	1 (6.67)	1 (6.67)
PSP	0	0	11 (73.33)	11 (73.33)
USP	0	0	1 (6.67)	1 (6.67)
NU	15 (100)	15 (100)	2 (13.33)	2 (13.33)

ตาราง 3 แสดงคะแนนทักษะการแก้ปัญหาก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยแบ่งเกณฑ์การคิดคะแนนเป็น 4 ระดับ คือ แนวคิดถูกต้อง/แก้ปัญหาได้ (3 คะแนน) แนวคิดถูกต้องบางส่วน/แก้ปัญหาได้บางส่วน (2 คะแนน) แนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน/ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ (1 คะแนน) และไม่มีแนวคิด (0 คะแนน) รวม 30 คะแนน จากผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหาก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่มีทักษะการแก้ปัญหาทุกด้านอยู่ในระดับ “ไม่มีแนวคิด” โดยส่วนใหญ่ทำคะแนนได้ดีที่สุดใน ขั้นการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยว-

ข้อง รองลงมา คือ ขั้นการกำหนดปัญหา แนวคิดในการแก้ปัญหา การออกแบบวิธีแก้ปัญหา และขั้นการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง ตามลำดับ ผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหาหลังจัดการเรียนรู้ พบว่า ทักษะการแก้ปัญหาที่นักศึกษามีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด คือ ขั้นการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง รองลงมาคือขั้นการกำหนดปัญหาขั้นแนวคิดในการแก้ปัญหา ขั้นการออกแบบวิธีแก้ปัญหา และการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง ตามลำดับ การเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียน–หลังเรียน พบว่าทักษะการแก้ปัญหาก่อนเรียนของนักศึกษาครูเคมีที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สูงกว่าก่อนเรียน โดยมีคะแนนก่อนเรียนเฉลี่ย 4.33 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 14.43 และคะแนนหลังเรียนเฉลี่ย 18.47 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 61.56

สรุปและอภิปรายผล

บทความนี้ได้รายงานเกี่ยวกับความสำเร็จของการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในรายวิชาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และการประเมินทักษะการแก้ปัญหา ซึ่งดำเนินการกับนักศึกษาครู สาขาเคมี เป็นการจำแนกและประเมินระดับทักษะการแก้ปัญหาจากการให้คำตอบของนักศึกษาจากแบบทดสอบทักษะการแก้ปัญหา โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน 4 ระดับ

กิจกรรมสะเต็มศึกษาเป็นการกำหนดสถานการณ์ประเด็นปัญหาด้านเคมีเป็นเนื้อหาหลัก และบูรณาการกิจกรรมด้านเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนวิเคราะห์ปัญหา เก็บข้อมูล ตีความข้อมูล และสรุปแนวคิดจากการทดลอง นำไปวางแผนออกแบบวิธีแก้ปัญหาในขั้นการขยายความรู้ โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการดำเนินการแก้ปัญหา ซึ่งจากการสังเกตชั้นเรียนและการสนทนากับผู้เรียนด้วยการสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างทำให้ได้ข้อมูลว่า รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทำให้ผู้เรียนได้ค้นหาความรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติ สามารถสร้างความรู้ให้กับผู้เรียนได้ โดยผู้เรียนมีความเห็นว่าการได้ศึกษาด้วยตนเองดีกว่าการยัดเยียดความรู้และทำให้เข้าใจได้มากกว่า สอดคล้องกับ Pedaste *et al*. (2015) ที่กล่าวว่าการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เป็นกลยุทธ์ทางการศึกษาที่ผู้เรียนปฏิบัติตามวิธีการและแนวปฏิบัติที่คล้ายคลึงกับนักวิทยาศาสตร์มืออาชีพเพื่อสร้างความรู้ ในด้านความคิดเห็นของผู้เรียนเกี่ยวกับทักษะการแก้ปัญหา ผู้เรียนมีความเห็นว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาทำให้ได้รู้จักการระบุปัญหา ได้ออกแบบ วางแผนกระบวนการแก้ปัญหา การกำหนดตัวแปร ช่วยให้ผู้เรียนมีแนวคิด สามารถนำความรู้เดิมที่เคยเรียนมาแล้วไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมช่วยส่งเสริมทักษะแก้ปัญหาของผู้เรียน ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเรียนรู้อย่างสนุกสนาน มีความกระตือรือร้นในการเรียน เนื่องจากทำให้ผู้เรียนมองเห็นความเกี่ยวข้อง และเชื่อมโยงกับชีวิตในโลกความจริง ผู้เรียนได้สร้างความรู้ของตนเองด้วยความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับสาขาวิชาในสะเต็ม สร้างความรู้สึกผูกพันและรู้สึกมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ (Han

et al., 2015) โดยผู้วิจัยออกแบบกิจกรรมสะเต็มโดยกำหนดสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตในโลกความเป็นจริงให้ผู้เรียนได้ค้นหาวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดตามจุดประสงค์และข้อจำกัดที่มี ทำให้ผู้เรียนได้คิดวิเคราะห์บูรณาการหลายสาขาวิชา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Altan *et al*. (2018) และ Roikrong and Bongkotphe (2019) ที่พบว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาเน้นให้ผู้เรียนได้คิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ บูรณาการความรู้ ทำงานเป็นทีม และลงมือปฏิบัติจริง และสามารถบูรณาการความรู้ต่าง ๆ ได้ และสอดคล้องกับ Chamrat (2018) และ Silachot *et al*. (2020) ที่กล่าวว่า ควรใช้สถานการณ์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน และควรเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงในห้องเรียน ซึ่งการที่ผู้เรียนได้เผชิญกับโลกความเป็นจริงทำให้ผู้เรียนตระหนักถึงวิธีการมองโลกที่แตกต่างกันมากขึ้นและสามารถตัดสินใจที่จะทำหรือคิดได้มากขึ้น (Dekker, 2020)

ผลการประเมินทักษะการแก้ปัญหา พบว่าก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้นักศึกษาส่วนใหญ่ทำคะแนนได้ดีที่สุดใน ขั้นการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง และนักศึกษาทุกคน มีทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง อยู่ในระดับ “ไม่มีแนวคิด” จากผลการวิจัยอธิบายได้ว่าเนื่องจากผู้เรียนเป็นนักศึกษาครู สาขาเคมี จึงมีความรู้เดิมด้านเคมีที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ปัญหาอยู่ก่อนบ้างแล้ว ดังนั้นผู้เรียนส่วนใหญ่จึงพอมีแนวคิดอยู่บ้างว่ามีความรู้ด้านใดบ้างที่ผู้เรียนจะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาได้ เนื่องจากกระบวนการแก้ปัญหาเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความรู้เดิมที่มีเพื่อค้นหาสิ่งที่ต้องการรู้ หรือต้องการแก้ปัญหา (Csapó and Funke, 2017; Teacher Vision, 2007) ดังนั้นผู้เรียนส่วนใหญ่จึงมีคะแนนทักษะการแก้ปัญหาด้านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ดีกว่าทักษะการแก้ปัญหาด้านอื่น ๆ แต่ภายหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทักษะทุกด้านของนักศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่สูงขึ้น จากผลการวิจัยอธิบายได้ว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบสืบเสาะหาความรู้ ในขั้นสำรวจและค้นหาผู้วิจัยออกแบบกิจกรรมให้ผู้เรียนได้ค้นหาแนวคิดโดยเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะที่เกี่ยวข้องกับการลงมือแก้ปัญหา (Lesley University, 2020) เช่น ทักษะการทดลอง การกำหนดและควบคุมตัวแปร การจัดกระทำข้อมูล การลงความเห็นข้อมูล การคำนวณ ซึ่งเป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (NARST, n.d.) ที่ผู้เรียนจำเป็นต้องนำไปใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในขั้นการดำเนินการแก้ปัญหา และขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุง จึงทำให้พบว่าระดับคะแนนเฉลี่ยในทักษะการแก้ปัญหาในขั้นการดำเนินการแก้ปัญหา และขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงมีคะแนนเฉลี่ยสูงขึ้น เนื่องจากผู้เรียนได้ผ่านการฝึกฝนทักษะมาแล้วในขั้นสำรวจและค้นหา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aka *et al.* (2010) ที่พบว่ากระบวนการแก้ปัญหาทำให้ผู้เรียนได้รับทักษะบางอย่าง เช่น การค้นคว้า การคิดเชิงวิทยาศาสตร์ การรวบรวมข้อมูล การดำเนินการแก้ปัญหา การวิเคราะห์ข้อมูล การคาดการณ์ผล และทักษะการทดลอง ชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาการเรียนรู้ต้องจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและคิดวิเคราะห์ ให้สามารถค้นพบความรู้ได้ด้วยตนเอง สอดคล้องกับ Khemmani (2008) ที่กล่าวว่า การจัดกิจกรรมที่สะท้อนความเป็นจริงให้ผู้เรียนได้ใช้ความรู้และทักษะต่าง ๆ ได้ร่วมกันคิดแก้ปัญหาจะช่วยพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ช่วยส่งเสริม

ความเข้าใจแนวคิดและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน (Gao and Lloyd, 2020; Simsek and Kabapinar, 2010) และการที่ผู้เรียนได้ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นลำดับขั้นตอนทำให้สามารถแก้ปัญหาได้มีประสิทธิภาพ (Apriyani *et.al*., 2019; Strimel, 2014) เนื่องจากระดับความสอดคล้องหรือครอบคลุมปัญหาของแนวคิดตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการแก้ปัญหาจะมีผลต่อแนวคิดในขั้นตอนต่อ ๆ ไปที่จะแก้ปัญหาได้สำเร็จในระดับใด

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมผู้สอนควรออกแบบกิจกรรมในขั้นการค้นหาแนวคิดโดยเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะที่เกี่ยวข้องกับบทเรียน เช่น ทักษะการทดลอง การกำหนดและควบคุมตัวแปร การจัดกระทำข้อมูล การลงความเห็นข้อมูล การคำนวณ การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้เรียนจำเป็นต้องนำไปใช้ในกระบวนการแก้ปัญหา

2. ในการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาควรศึกษาทดลองหรือสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง เพื่อสามารถวางข้อกำหนด เงื่อนไข และกิจกรรมในขั้นตอนต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม และควรกำหนดสถานการณ์ที่สอดคล้องกับสิ่งที่ผู้เรียนได้พบในชีวิตจริง เพื่อสร้างความสนใจต่อผู้เรียน

การขอจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการขอการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หมายเลขใบรับรอง KUREC–SS63/252

เอกสารอ้างอิง

Aka, E. G., Guven, E., and Aydogdu, M. (2010). Effect of problem solving method on science process skills and academic achievement. **Journal of Turkish Science Education** 7(4): 13–25.

Altan, E. B., Ozturk, N., and Turkoglu, A. Y. (2018). Socio–scientific issues as a context for STEM education: A case study research with pre–service science teachers. **European Journal of Educational Research** 7(4): 805–812.

Apriyani, R., Ramalis, T. R., and Suwarma, I. R. (2019). Analyzing student's problem solving abilities of direct current electricity in STEM–based learning. **Journal of Science Learning** 2(3): 85–91.

BSCS Science Learning. (2006). **BSCS 5E Instructional Model.** Retrieved from https://bscs.org/bscs–5e–instructional–model/, March 28, 2021.

Campbell, D. T., and Fiske, D. W. (1959). Convergent and discriminant validation by the multitrait–multimethod matrix. **Psychological Bulletin,** 56, 81–105.

Ceylan, S., and Ozdilek Z. (2015). Improving a sample lesson plan for secondary science courses with in the STEM education. **Procedia–Social and Behavioral Sciences** 177: 223–228.

Chamrat, S. (2018). The definition of STEM and key features of STEM education learning activity. **STOU Education Journal** 10(2): 13–34. (in Thai)

Chulavatnatol, M. (2013). STEM education Thailand and STEM ambassadors. **IPST Magazine** 42(185): 14–18. (in Thai)

Chusinkunawut K., Nugultham K., Wannagatesiri T., and Fakcharoenphol W. (2018). Problem solving ability assessment based on design for secondary school students. **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education** 26(3): 1–20.

Csapó, B., and Funke, J. (2017). **The Nature of Problem Solving: Using Research to Inspire 21st Century Learning.** Retrieved from http://dx.doi.org/10.1787/9789264273955–en, February 15, 2021.

Dekker, T. J. (2020). Teaching critical thinking through engagement with multiplicity. **Thinking Skills and Creativity** 37: 1–9.

English, L, D., and King, D, T. (2015). STEM learning through engineering design: Fourth–grade students' investigations in aerospace. **International Journal of STEM Education** 2(14): 1–18.

Gao, R., and Lloyd, J. (2020). Precision and accuracy: knowledge transformation through conceptual learning and inquiry–based practices in introductory and advanced chemistry laboratories. **Journal of Chemical Education** 97: 368–373.

Han, S., Yalvac, B., Capraro, M. M., and Capraro, M. R. (2015). In–service teachers' implementation and understanding of STEM project based learning. **EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education** 11(1): 63–76.

Jituafua, A. (2020). The development of science student teachers' STEM literacy through the community participation combined with local resource stem education camp in Surat Thani. **Journal of Education, Naresuan University** 22(2): 302–316. (in Thai)

Kelley, T, R., and Knowles, J, G. (2016). **A Conceptual Framework for Integrated STEM.** Retrieved from https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z, February 15, 2021.

Kemwimoottiwong, C. (2018). Action research: Student development for activities planning design of stem education with active learning. **Ganesha Journal** 13(2): 109–127. (in Thai)

Khemmani, T. (2008). **Science of Teaching: Knowledge for Effective Learning Management.** 7th ed. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Klomim, K. (2016). Learning management based on stem education for student teachers. **Journal of Education Naresuan University** 18(4): 334–348. (in Thai)

Ladachart, L., Phothong, W., Rittikoop, W., and Ladachart, L. (2019). Teachers' understandings and views about STEM education and engineering design. **Silpakorn University Journal** 39(3): 133–149. (in Thai)

Lesley University. (2020). **Empowering Students: The 5E Model Explained** Retrieved from https:Lesley.edu/article/empowerring–students–the-5e–model–explained. March 28, 2021.

Maryland State Department of Education. (2011). **5E Model for Integrated STEM Instruction.** Retrieved from http://mdk12.msde.maryland.gov, August 12, 2018.

Merisotis, J. P., and Kee A. M. (2006). A model of success: The model institutions for Excellence Program's Decade of Leadership in STEM education. **Journal of Hispanic Higher Education** 5(3): 288–308.

NARST. (n.d.). **The Science Process Skills.** Retrieved from narst.org/research–matters/science–process–skills, March 30, 2021.

Netwongse, T. (2016). Development of problem solving skills by integration learning following STEM education. **Research Journal–Rajamangala University of Technology Thanyaburi** 15(2): 1–6. (in Thai)

NRC. (2012). **A Framework for K–12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas**. Washington DC; National Academies.

Pedaste, M., Maeots, M, Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., and Tsourlidak, E. (2015). Phases of inquiry–based learning: Definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review** 14: 47–61.

Pradeep, M. D. (2015). Teaching STEM effectively with the learning cycle approach. **K–12 STEM Education** 1(1): 5–12.

Roikrong, W., and Bongkotphe, T. (2019). STEM Problem–based learning on exploration and production of petroleum topic to enhance of scientific literacy of the 9th grade students. **Social Sciences Research and Academic Journal** 14(3): 135–148. (in Thai)

Sanders, M. (2009). **Integrative STEM Education: Primer. The Technology Teacher.** Retrieved from https://www.iteea.org/File.aspx?id=56320, February 15, 2021.

Silachot, S., Kijkuakul, S., and Chuachuad, C. W. (2020). Development of collaborative problem solving competency on 11th grade students by using problem based stem learning management in the topic of electrochemistry. **Journal of Education Naresuan University** 22(3): 248–261. (in Thai)

Simsek, P., and Kabapinar, F. (2010). The effects of inquiry–based learning on elementary students' conceptual understanding of matter, scientific process skills and science attitudes. **Procedia Social and Behavioral Sciences** 2: 1190–1194.

Strimel, G. J. (2014). **Engineering Design: A**

Cognitive Process Approach. Doctoral dissertation. Norfolk, Virginia: Old Dominion University.

Teach Engineering. (2009). **Hands–on Activity: Design Step 1: Identify the Need**. Retrieved from https://www.teachengineering.org/activities/view/cub_creative_activity1, February 27, 2021.

Teacher Vision. (2007). Problem–solving. Retrieved from https://www.teachervision.com/problem–solving/problem–solving, February,16, 2021.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2014). **Know STEM**. Retrieved from http:// http://www.stemedthailand.org/?page_id=23, February 3, 2021. (in Thai)

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2016). **STEM Education and Engineering Design**. Retrieved from http://www.stemedthailand.org/?knowstem, February 3, 2021. (in Thai)

Tipparach, J., Ruaysap, M., Chanthawara, K., Kookiattikoon, S., Tipparach, U., and Boonchom, W. (2019). A needs analysis in developing STEM based instruction for higher education. **Udon Thani Rajabhat University Journal of Humanities and Social Sciences** 9(1): 167–180. (in Thai)