ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4

ภิญโญ วงษ์ทอง

สถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก 26120
E-mail: pinyowongthong@hotmail.com

รับบทความ: 30 กรกฎาคม 2561 แก้ไขบทความ: 24 กันยายน 2561 ยอมรับตีพิมพ์: 27 ตุลาคม 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ประกอบด้วยวิทยาศาสตร์ (S) เทคโนโลยี (T) วิศวกรรม-ศาสตร์ (E) ศิลปะ (A) และคณิตศาสตร์ (M) ผสานเข้าด้วยกัน โดยกลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 1 ห้องเรียน มีนักเรียนจำนวน 32 คน ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่ง ในจังหวัดนครนายก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยา-ศาสตร์ 3) แบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ 4) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{X}$) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ร้อยละ (%) และค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) ผลการวิจัยพบว่า (1) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยมีผลคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนร้อยละ 38.05 (SD =4.85) และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนร้อยละ 74.92 (SD = 4.71) มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ .60 และมีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 60 คิดเป็นร้อยละ 84.37 (2) นักเรียนมีทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยรวมอยู่ในระดับดี มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณคิดเป็นร้อยละ 68.56 และ (3) นักเรียนมีความพึงพอใจโดยรวมต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.66, SD = 0.26) นอกจากนี้ยังพบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education สามารถระบุประเด็นปัญหา รวบรวมข้อมูล เชื่อมโยงข้อมูล และสรุปผล ได้อย่างเป็นขั้นตอน แสดงว่าผู้เรียนมีกระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

คำสำคัญ: กิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ประถมศึกษา

Effect of Integrated Learning Activities Based on STEAM Education on Science Learning Achievement, Critical Thinking Skills and Students' Satisfaction of Grade 4 Students

Pinyo Wongthong

Educational Research Development and Demonstration Institute,
Srinakharinwirot University, Ongkharak, Nakhon Nayok 26120, Thailand
E-mail: pinyowongthong@hotmail.com

Received: 30 July 2018 Revised: 24 September 2018 Accepted: 27 October 2018

Abstract

The purpose of this research was to study the science learning achievement, critical thinking skills, and satisfaction of students who learned with integrated learning activities based on STEAM Education: Science (S), Technology (T), Engineering (E), Arts (A), and Mathematics (M) approach. The study group consisted of 32 fourth grade students in science subject from primary school in Nakhon Nayok Province. The research tools were STEAM Education lesson plans, science achievement test, critical thinking skills evaluation form, and students' satisfaction questionnaire. The statistical analysis were mean ($\overline{X}$), standard deviation (SD), percentage (%) and effectiveness index (E.I.). The results were revealed that: (1) the science posttest score was higher than pretest. The mean average of the pretest was 38.05% (SD = 4.85) and the posttest was 74.92% (SD = 4.71). The effectiveness index was .60 and the students who passed the posttest were 84.37%; (2) students had a good level of critical thinking skills by treating with integrated STEAM Education. The average score of critical thinking skills was 68.56%; (3) the overall students' satisfaction was at a very good level ($\overline{X}$ = 4.66, SD = 0.26). Furthermore, students who learned with integrated learning activities based on STEAM Education could identify problem, collect information, describe relation between data and information, and make conclusion, indicating that they had critical thinking process.

Keywords: Integrated STEAM Education, Science learning achievement, Critical thinking skills, Primary school

บทนำ

แนวคิดในการจัดการศึกษาในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลข่าวสารต่างๆ ทั่วโลกเข้าด้วยกัน องค์ความรู้และแหล่งเรียนรู้ต่างๆ จึงมิได้อยู่เพียงในห้องเรียนอีกต่อไป จะเห็นได้จากปัจจุบันผู้เรียนสามารถสืบค้นข้อมูล เรียนรู้ด้วยตนเองผ่านอุปกรณ์การสื่อสารที่หลากหลาย เช่น คอมพิวเตอร์พกพา สมาร์ทโฟน สามารถสืบค้นข้อมูลได้อย่างรวดเร็วผ่านอินเทอร์เน็ต ดังนั้นการสร้างเด็กยุคไทยแลนด์ 4.0 ควรให้เด็กมีทั้งความรู้และทักษะในการประยุกต์ให้เข้าถึงเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆ เน้นการเรียนรู้จากปัญหาจริงที่เกิดขึ้น (Phonakorn, 2017) และที่สำคัญครูต้องปรับวิธีเรียนหรือเปลี่ยนวิธีสอน โดยบทบาทของครูควรเปลี่ยนจากการสอน (teaching) มาเป็นการกระตุ้น ชี้แนะ (coaching) และเป็นผู้อำนวยความสะดวก (facilitator) ครูในยุคการศึกษา 4.0 ต้องจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สามารถออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้รู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทั้งด้านองค์ความรู้และทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิต โดยเฉพาะทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (critical thinking skills) ซึ่งเป็นกระบวนการคิดขั้นสูงที่ผ่านกระบวนการพิจารณาไตร่ตรองอย่างมีเหตุผล มีการตีความ การวิเคราะห์ การประเมินข้อโต้แย้ง การอธิบาย และการสรุป เพื่อให้เกิดผลของการคิดที่ละเอียด สมเหตุสมผล และช่วยตัดสินใจปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ ได้ถูกต้อง (Ennis, 1962; Runkham, 2001) จากการกำหนดนโยบายของรัฐตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และแก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 มาตรา 24(2) ที่เน้นกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยฝึกทักษะกระบวนการคิด การจัดการเผชิญสถานการณ์ และการประยุกต์ความรู้มาใช้เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหา เพื่อพัฒนาให้แต่ละบุคคลมีระเบียบในการคิด มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีการวางแผนในการทำงานอย่างเป็นระบบ สามารถวิเคราะห์ปัญหาสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและตัดสินใจได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ดังนั้นครูควรใช้วิธีการสอนและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะกระบวนการคิด เรียนรู้จากประสบการณ์จริง ทำได้คิดเป็น เกิดการใฝ่รู้อย่างต่อเนื่องและสามารถนำทักษะไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้

การจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวคิดหนึ่งที่สามารถตอบโจทย์การปรับเปลี่ยนกระบวนเรียนรู้ได้ โดยใช้หลักการบูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ ทั้งด้านวิทยาศาสตร์ (Science: S) เทคโนโลยี (Technology: T) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering: E) และคณิตศาสตร์ (Mathematics: M) เข้าด้วยกัน โดยนำจุดเด่นของธรรมชาติและวิธีการสอนของแต่ละสาขาวิชามาผสมผสานกัน เพื่อให้ผู้เรียนนำความรู้ทุกแขนงไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรู้และมีทักษะอย่างลุ่มลึก สามารถแก้ปัญหาและเป็นผู้ที่มีความสนใจเสาะแสวงหาความรู้ที่เท่าทันเหตุการณ์และทันต่อการเปลี่ยนแปลงในศตวรรษที่ 21 (Breiner et al., 2012; Carr et al., 2012; Dejarnette, 2012; Rapporteur, 2011; Siripatharachai, 2013; Thananuwong, 2013; Vasquez el al., 2013) มีนักวิชาการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีพหุปัญญา (multiple intelligence) กล่าว

ว่า ความเก่งหรือความสามารถพิเศษของมนุษย์นั้นแบ่งได้หลายด้าน เช่น เก่งภาษา เก่งตรรกะและคณิตศาสตร์ เก่งมิติสัมพันธ์ เก่งเคลื่อนไหว เก่งดนตรี เก่งมนุษยสัมพันธ์ เก่งเข้าใจตนเอง และเก่งเข้าใจธรรมชาติ (Gardner, 1993; Moonkam, 2015) จะเห็นได้ว่า สมองของมนุษย์สามารถสร้างสติปัญญาได้หลายด้าน แต่ละด้านจะทำงานเสริมกัน มีการทำงานด้านสติปัญญาของสมองร่วมกัน และในทุกกิจกรรมทางการคิดของมนุษย์ สมองซีกซ้ายกับสมองซีกขวาจะคิดสลับกันไปมา โดยบางกิจกรรมเน้นหนักที่ซีกใดซีกหนึ่งตามความถนัด (Hellige, 1990; Chareonwongsak, 2002) ดังนั้นการพัฒนาทักษะการคิดจำเป็นต้องพัฒนาทั้งในด้านของการใช้เหตุผลและการสร้างสรรค์ไปพร้อม ๆ กัน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าสะเต็มศึกษามีจุดเด่นในการพัฒนาสมองซีกซ้ายซึ่งเกี่ยวข้องกับทักษะด้านตัวเลข การใช้เหตุผล และทักษะด้านวิทยาศาสตร์ ดังนั้นจึงมีการบูรณาการศาสตร์อื่นที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของสมองซีกขวาซึ่งเกี่ยวข้องกับศิลปะ การจินตนาการ และทักษะด้านดนตรี (Arts: A) เข้าไปใน STEM เป็น STEAM Education เพื่อพัฒนาผู้เรียนอย่างเป็นองค์รวม ผู้เรียนมีโอกาสถ่ายทอดแนวคิดด้วยความคิดสร้างสรรค์และมีจินตนาการมากขึ้น สามารถสื่อสารความคิดของตนเองในรูปแบบของดนตรี การเคลื่อนไหว การสื่อสารด้วยภาษา ท่าทาง หรือการประดิษฐ์ ทำให้ชิ้นงานนั้น ๆ มีความสมบูรณ์ทั้งการใช้งานและความสวยงาม (Saifah, 2012; Kim and Park, 2012; Sousa, 2013)

ในประเทศไทยเริ่มตื่นตัวและให้ความสนใจกับการจัดการศึกษาในรูปแบบสะเต็มศึกษา จะเห็นได้จากมีการพัฒนาหลักสูตรเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา (Intalapaporn et al., 2015) มีการอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาวิชาชีพครูเรื่องสะเต็มศึกษา (Khumwong et al., 2017; Prasertsang, 2017) และสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ให้ความสำคัญกับสะเต็มศึกษา โดยจัดตั้งเครือข่ายสะเต็มศึกษาประเทศไทยเพื่อเป็นกลไกในการขับเคลื่อนและส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในโรงเรียนทั่วประเทศ (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2018) จากรายงานการวิจัยพบว่ามีการนำสะเต็มศึกษาไปใช้ในชั้นเรียนเพื่อเสริมสร้างความรู้และพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะการสื่อสาร ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (Jitaree et al., 2017; Koocharoenpisal et al., 2017; Tunkham et al., 2016) อย่างไรก็ตามทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณเป็นอีกทักษะหนึ่งที่นานาชาติรวมถึงประเทศไทยให้ความสำคัญเช่นเดียวกัน ดังจะเห็นได้จากการจัดการเรียนรู้ในหลักสูตรของประเทศไทยที่ให้ความสำคัญในการเสริมสร้างสมรรถนะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณให้กับผู้เรียนทั้งในวิชาวิทยาศาสตร์และวิชาคณิตศาสตร์ตั้งแต่ระดับประถมศึกษา และส่งเสริมให้ผู้สอนออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณไว้อย่างชัดเจน ดังในคู่มือการใช้หลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์และวิชาคณิตศาสตร์ของ สสวท. (IPST, 2018)

จากปัญหาและความสำคัญดังที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยมีเป้าหมายให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาอย่างเป็นองค์รวม มีความรู้ความ

สามารถในการแก้ปัญหา สร้างสรรค์จินตนาการ เชื่อมโยงความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ และเกิดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิตอย่างมีคุณภาพในศตวรรษที่ 21 และผลวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์กับครูผู้สอนที่สามารถนำกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนให้เหมาะสมกับบริบทของชั้นเรียนต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนวิชาวิทยาศาสตร์ ในโรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดนครนายก

กลุ่มตัวอย่าง ใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยสุ่ม จากการสุ่ม 1 ห้องเรียน มีนักเรียนจำนวน 32 คน จาก 4 ห้องเรียน ซึ่งมีนักเรียนรวมจำนวน 101 คน

ตัวแปรในการวิจัย 1) ตัวแปรอิสระคือ กิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education 2) ตัวแปรตามคือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education

สมมติฐานงานวิจัย 1) นักเรียนที่ผ่านการเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน 2) นักเรียนที่ผ่านการเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education มีทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและมีความพึงพอใจต่อการเรียนอยู่ในระดับดี

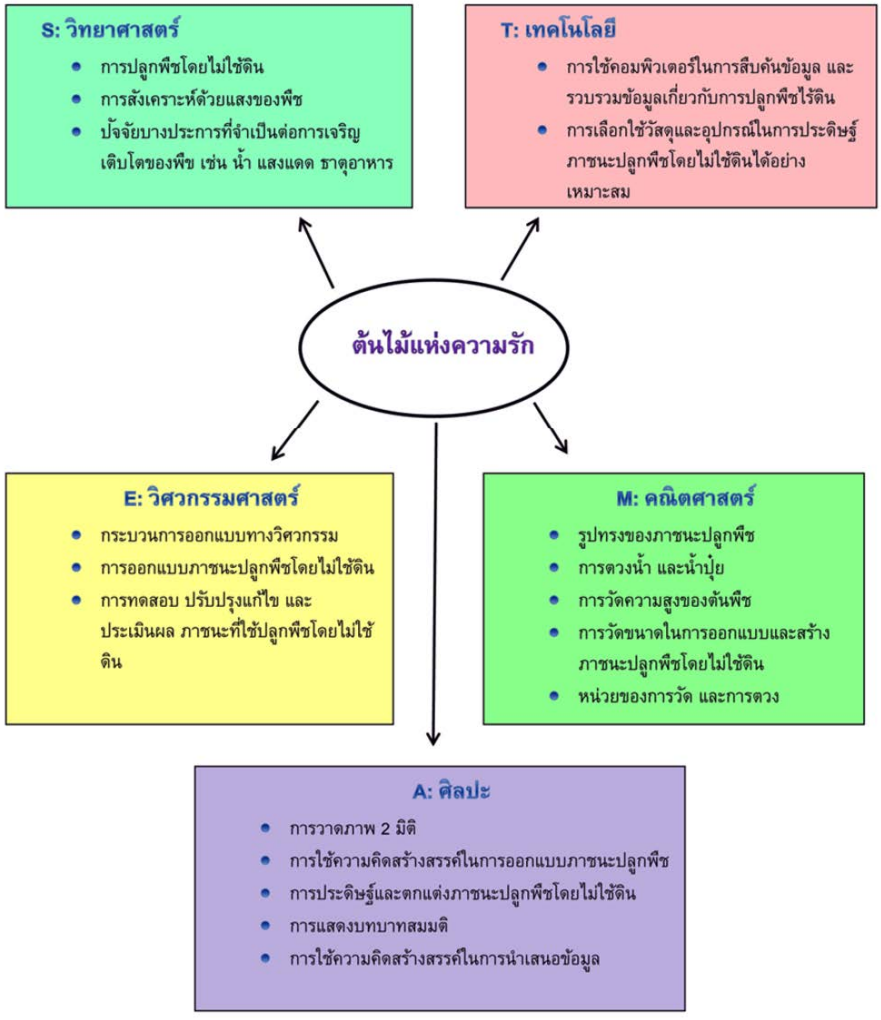
เครื่องมือในการวิจัย ประกอบด้วย 1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education 2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ 3) แบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ 4) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านการตรวจและแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education จำนวน 6 แผน ใช้เวลาเรียนรวม 30 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการแบบที่ใช้วิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลัก แล้วผสานศาสตร์อื่นเข้ามา ซึ่งมีสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ดังนี้ 1) ดินในท้องถิ่น 2) ท่อลำเลียงน้ำและธาตุอาหารของพืช 3) การคายน้ำของพืช 4) ปัจจัยบางประการที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช 5) ปัจจัยบางประการที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช 6) ต้นไม้แห่งความรัก โดยขอบข่ายของแต่ละศาสตร์ของ STEAM Education ในงานวิจัยนี้ แสดงในตาราง 1

ตัวอย่างการวิเคราะห์สาระด้านวิทยาศาสตร์ (S) เทคโนโลยี (T) วิศวกรรมศาสตร์ (E) ศิลปะ (A) และคณิตศาสตร์ (M) สำหรับการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ในหน่วยที่ 6 เรื่องต้นไม้แห่งความรัก แสดงในภาพที่ 1 โดยสถานการณ์ที่กำหนดคือ *“การปลูกพืชโดยปกติทั่วไป มักจะมีปัญหาเรื่องโรคและแมลงต่าง ๆ ซึ่งปัญหาส่วนหนึ่งมาจากดิน ที่ใช้ปลูก และเมื่อปลูกพืชไปสักระยะ ดินจะเริ่มอัดตัวแน่น และเสื่อมสภาพ ทำให้ปลูกพืชไม่ได้คุณภาพ ดังนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันหา ทางเลือกอื่น ๆ ในการปลูกพืช และออกแบบภาชนะสำหรับปลูกพืช โดยใช้วัสดุหลักคือขวดน้ำที่ไม่ใช้แล้ว ให้*

ตาราง 1 ขอบข่ายของแต่ละศาสตร์ของ STEAM Education ในงานวิจัยครั้งนี้

ศาสตร์ของ STEAM	ขอบข่ายของแต่ละศาสตร์
S: Science	การตั้งคำถาม ค้นคว้า ทดลอง วิเคราะห์ และสรุปผล โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์
T: Technology	การใช้เทคโนโลยีในการสืบค้นข้อมูล การเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ในการใช้งานได้อย่างเหมาะสม
E: Engineering	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย กำหนดปัญหา รวบรวมข้อมูล เลือกวิธีการออกแบบ ปฏิบัติการ ทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข และประเมินผล
A: Arts	การสื่อภาษาด้วยภาพวาด ภาษาพูด การประดิษฐ์ การนำเสนอข้อมูลอย่างสร้างสรรค์
M: Mathematics	การวัด การคำนวณ รูปทรง และการบันทึกข้อมูลเชิงปริมาณ



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์ขอบข่ายของแต่ละศาสตร์ในกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ในหน่วยที่ 6 เรื่อง ต้นไม้แห่งความรัก

มีความน่าสนใจ แปลกใหม่ สำหรับปลูกและดูแลต้นไม้แห่งความรักให้เจริญเติบโต”

กิจกรรมในหน่วยนี้ นักเรียนจะได้เชื่อมโยงความรู้ทั้ง 5 วิชาใน STEAM Education เพื่อระบุปัญหาหรือความต้องการ รวบรวมข้อมูล วางแผนและออกแบบ ทดลอง ปรับปรุงแก้ไข และประเมินผล เกี่ยวกับการประดิษฐ์ภาชนะสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ให้มีความสวยงาม แปลกใหม่ จากวัสดุและอุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างจำกัด จากนั้นนำไปใช้ปลูกพืชที่นักเรียนชื่นชอบ โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ดูแลต้นพืชให้เจริญเติบโต และผลการประเมินความสอดคล้องของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ในประเด็น 4 ด้าน คือ 1) รายละเอียดของแผนการจัดการเรียนรู้ 2) กิจกรรมการเรียนรู้ 3) สื่อและแหล่งการเรียนรู้ 4) การวัดและประเมินผล ซึ่งผลการประเมินค่าความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน อยู่ในระดับ 0.67–1.00 ในหัวข้อการประเมิน และมีความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากและมากที่สุดในแต่ละด้านของการประเมิน ดังนั้นสามารถนำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้

2) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เป็นแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 40 ข้อ 40 คะแนน ซึ่งสาระการเรียนรู้ที่ใช้ คือ ดินในท้องถิ่น ท่อลำเลียงน้ำและธาตุอาหารของพืช การคายน้ำของพืช ปัจจัยที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของพืช ผลการประเมินคุณภาพของแบบทดสอบ โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item–Objective Congruence: IOC) เพื่อพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเป็นรายข้อ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่า มีข้อคำถามจำนวน 22 ข้อมีค่า IOC = 1.00 และมีข้อคำถามจำนวน 18 ข้อมีค่า IOC = 0.67 จากผลการประเมินจะเห็นว่าทุกข้อคำถามมีค่า IOC มากกว่า 0.50 แสดง ว่าข้อสอบทั้ง 40 ข้อมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และตัวชี้วัด สามารถนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไปใช้ได้

3) แบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการคิดอย่างมีวิจารญาณ (Khammani, 2005) กระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Watson and Glaser, 1964) องค์ประกอบการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Nekamanurak, 1994) การประเมินทักษะการคิด (Karnchanarakphong, 2006) จากนั้นนำมาพัฒนาเป็นแบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณในงานวิจัยครั้งนี้ โดยสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีการสอดแทรกทักษะการคิด ที่เน้นการประเมินจากสภาพจริง (authentic assessment) ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ที่เน้นการวัดและประเมินผลในสภาพจริง โดยสังเกตพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกขณะทำกิจกรรมเพื่อการเรียนรู้ ซึ่งสามารถสะท้อนถึงความรู้ ความคิดเจตคติ และความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน (IPST, 2018) งานวิจัยนี้สังเกตพฤติกรรมการคิดอย่างมีวิจารณญาณ 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) การระบุประเด็นปัญหา 2) การรวบรวมข้อมูล 3) การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 4) การลงความเห็น/การตัดสินใจ/การให้เหตุผล/การสรุปผล โดยแบบประเมินจะมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) 4 ระดับ คือ ดีมาก (4)

ดี (3) พอใช้ (2) และปรับปรุง (1) แล้วแปลความหมายโดยใช้คะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาเทียบกับเกณฑ์ของเบสท์ (Best; 1977) และมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert scale) ผลการประเมินค่าความสอดคล้องของประเด็นพฤติกรรมการคิดอย่างมีวิจารณญาณ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน อยู่ในระดับ 0.67–1.00 ดังนั้นสามารถนำแบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณไปใช้ได้

4) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ประกอบด้วย 5 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านผู้สอน 3) ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ 4) ด้านรูปแบบการจัดการเรียนรู้ และ 5) ด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนรู้ โดยแบบสอบถามจะมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) 5 ระดับ คือ พึงพอใจมากที่สุด (5) พึงพอใจมาก (4) พึงพอใจปานกลาง (3) พึงพอใจน้อย (2) และพึงพอใจน้อยที่สุด (1) แล้วแปลความหมายโดยใช้คะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลมาเทียบกับเกณฑ์ของ Best (1977) และมาตรวัดของลิเคิร์ท (Likert scale)

การเก็บรวบรวมข้อมูล มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ผู้วิจัยแจ้งวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้แก่นักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

2) นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน (pretest) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

3) ผู้วิจัยจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education จำนวน 6 แผน และประเมินทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของผู้เรียนระหว่างการทำกิจกรรมในแต่ละแผน โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

2) นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน (posttest) หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้เสร็จสิ้นทั้ง 6 แผน โดยใช้แบบทดสอบฉบับเดียวกันที่ใช้ในการทดสอบก่อนเรียน จากนั้นให้นักเรียนประเมินความพึงพอใจต่อการเรียน โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education

3) ผู้วิจัยตรวจให้คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ แบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และแบบประเมินความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) และค่าดัชนีประสิทธิผล (Effectiveness Index: E.I.) ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

ผลคะแนนสอบก่อนเรียน–หลังเรียน คะแนนความก้าวหน้า และร้อยละของคะแนนความก้าวหน้าวิชาวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนโดยใช้แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education แสดงในตาราง 2 โดยทั่วไปเกณฑ์ที่ใช้กำหนดการแปลผลความก้าวหน้าของผลการเรียนรู้กำหนดไว้ที่ร้อยละ 20 – 25 ขึ้นไป (Ritcha-

$$E.I. = \frac{\text{ร้อยละของผลรวมของคะแนนหลังเรียน - ร้อยละของผลรวมของคะแนนก่อนเรียน}}{\text{100 - ร้อยละของผลรวมของคะแนนก่อนเรียน}} \text{- - - (1)}$$

roon, 2006) ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์ไว้ที่ร้อยละ 25 ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยคิดจากคะแนนเต็ม 40 คะแนน จะได้คะแนนเกณฑ์ผ่านการประเมินเท่ากับ (25 × 40)/100 = 10 คะแนน เมื่อพิจารณาจากคะแนนความก้าวหน้าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นรายบุคคล พบว่านักเรียนได้คะแนนวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นทุกคน ตั้งแต่ +6 ถึง +22 โดยมีนักเรียนที่ได้คะแนนความก้าวหน้าสูงกว่า 10 คะแนน ที่ผ่านเกณฑ์การประเมิน จำนวนทั้งสิ้น 27 คน คิดเป็นร้อยละ 84.37 และมีนักเรียนที่ได้คะแนนความก้าวหน้าต่ำกว่า 10 คะแนน ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การประเมินจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 15.63 นักเรียนมีคะแนนความก้าวหน้าเฉลี่ยเท่ากับ 14.75 (SD = 3.98) และมีคะแนนร้อยละของคะแนนความก้าวหน้าเฉลี่ยเท่ากับ 36.88 (SD = 9.96)

ผลการเปรียบเทียบผลคะแนนสอบต่ำสุด–สูงสุด คะแนนเฉลี่ย ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนสอบก่อนเรียน–หลังเรียนวิทยาศาสตร์ แสดงในตาราง 3 พบว่า ผลการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์หลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 29.97 (SD = 4.71) คิดเป็นร้อยละ 74.92 ซึ่งสูงกว่าคะแนนก่อนเรียนเฉลี่ยซึ่งมีค่า 15.22 (SD = 4.85) คิดเป็นร้อยละ 38.05 และคำนวณหาค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) = (74.92 – 38.05)/(100 – 38.05) = 0.60 แสดงว่าดัชนีประสิทธิผลของความก้าวหน้าทางพัฒนาการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีค่าเท่ากับ .60 ซึ่งแสดงว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นร้อยละ 60 ดังนั้นสรุปได้ว่า นักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ดีขึ้น

2. ผลการศึกษาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ

ผลการวิเคราะห์และประเมินทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ จากการสังเกตพฤติกรรมระหว่างการทำกิจกรรมของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education แสดงในตาราง 4 – 5 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของประเด็นการรวบรวมข้อมูล มีค่ามากที่สุด ($\bar{X}$ = 2.97, SD = 0.86) รองลงมาคือ การลงความเห็น/ตัดสินใจ/การให้เหตุผล/การสรุปผล ($\bar{X}$ = 2.88, SD = 0.87) การระบุประเด็นปัญหา/ประเด็นในการคิด ($\bar{X}$ = 2.72, SD = 0.99) และการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ($\bar{X}$ = 2.41, SD = 0.80) ตามลำดับ โดยคะแนนเฉลี่ยรวมทั้ง 4 ประเด็นมีค่า 10.97 คะแนน (SD = 3.30) คิดเป็นร้อยละ 68.56 ซึ่งค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วงเกณฑ์การประเมิน 9–12 คะแนน แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างนี้มีทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยรวมอยู่ในระดับดี โดยมีนักเรียนที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 34.38 นักเรียนที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับดี จำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 43.75 นักเรียนที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้ จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 15.62 และนักเรียนที่มีผลการประเมินอยู่ในระดับที่ต้องปรับปรุง จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 6.25 ดังนั้นจากการวิเคราะห์ข้อมูลจะเห็นว่า ผลการประเมินทักษะการคิดอย่าง

ตาราง 2 ผลคะแนนสอบก่อนเรียน–หลังเรียน คะแนนความก้าวหน้า และร้อยละของคะแนนความก้าวหน้าวิชาวิทยาศาสตร์

นักเรียนคนที่	ผลคะแนนสอบ (คะแนนเต็ม 40 คะแนน)		คะแนนความก้าวหน้า	ร้อยละของคะแนนความก้าวหน้า
	ก่อนเรียน (X_1)	หลังเรียน (X_2)	($X_2 - X_1$)	
1	12	25	13	33
2	24	38	14	35
3	6	24	18	45
4	12	26	14	35
5	6	28	22	55
6	16	34	18	45
7	14	30	16	40
8	16	32	16	40
9	19	35	16	40
10	17	33	16	40
11	14	23	9	23
12	15	24	9	23
13	10	25	15	38
14	17	23	6	15
15	17	27	10	25
16	23	39	16	40
17	10	26	16	40
18	20	28	8	20
19	21	37	16	40
20	24	37	13	33
21	18	33	15	38
22	24	32	8	20
23	14	34	20	50
24	15	32	17	43
25	14	27	13	33
27	16	34	18	45
28	17	31	14	35
29	9	28	19	48
30	13	23	10	25
31	13	32	19	48
32	11	31	20	50
$\bar{X}$	**15.22**	**29.97**	**14.75**	**36.88**
SD	**4.85**	**4.71**	**3.98**	**9.96**

ตาราง 3 ผลคะแนนสอบต่ำสุด–สูงสุด คะแนนเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนสอบก่อนเรียน–หลังเรียนวิทยาศาสตร์

การทดสอบ	คะแนนเต็ม 40 คะแนน		คะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
	คะแนนต่ำสุด	คะแนนสูงสุด			
ก่อนเรียน	6	24	15.22	38.05	4.85
หลังเรียน	23	39	29.97	74.92	4.71

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education

รายการ	ประเด็นการประเมิน				รวม (16 คะแนน)
	การระบุประเด็นปัญหา/ประเด็นในการคิด (4 คะแนน)	การรวบ-รวมข้อมูล (4 คะแนน)	การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (4 คะแนน)	การลงความเห็น/ตัดสินใจ/การให้เหตุผล/การสรุปผล (4 คะแนน)	
$\bar{X}$	2.72	2.97	2.41	2.88	10.97
SD	0.99	0.86	0.80	0.87	3.30

ตาราง 5 ผลการประเมินทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education

ช่วงคะแนน	ความหมาย	จำนวนนักเรียน (คน)	ร้อยละ (%)
13 – 16	ดีมาก	11	34.38
9 – 12	ดี	14	43.75
5 – 8	พอใช้	5	15.62
1 – 4	ปรับปรุง	2	6.25

มีวิจารณญาณของผู้เรียนที่ใช้แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ในภาพรวมอยู่ในระดับดี

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education

การวิเคราะห์ประเด็นความพึงพอใจของผู้เรียนมีต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ด้วยแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ประกอบด้วย 5 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านผู้สอน 3) ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ 4) ด้านรูปแบบการจัดการเรียนรู้ และ 5) ด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนรู้ และผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าระดับความพึงพอใจเฉลี่ยของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้ทุกด้านอยู่ในระดับดีมาก โดยด้านผู้สอนผู้เรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.69, SD = 0.32) รองลงมาคือด้านรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ($\bar{X}$ = 4.67, SD = 0.35) ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ($\bar{X}$ = 4.65, SD = 0.31) ด้านปัจจัยการสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ ($\bar{X}$ = 4.63, SD = 0.36) และด้านเนื้อหา ($\bar{X}$ = 4.63, SD = 0.42) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจเฉลี่ยของผู้เรียนด้านเนื้อ-

หาพบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อเนื้อหามีประโยชน์และสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.66, SD = 0.48) ด้านผู้สอนพบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในหัวข้อผู้สอนนำเสนอกิจกรรมได้คล่องแคล่ว ชัดเจน มีเสียงดังพอเหมาะมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.82, SD = 0.62) ด้านกิจกรรมการเรียนรู้พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อกิจกรรมการเรียนรู้ที่ช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาความคิดสามารถแก้ปัญหา และเรียนรู้จากการปฏิบัติจริงมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.78, SD = 0.42) ด้านรูปแบบการจัดการเรียนรู้พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้ทำให้เกิดความสนุกสนานและนักเรียนมีความสุขกับการเรียนวิทยาศาสตร์มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.78, SD = 0.49) และด้านปัจจัยการสนับสนุนการจัดการเรียนรู้พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อการมีห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับปฏิบัติกิจกรรมและการทดลองทางวิทยาศาสตร์มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.69, SD = 0.64) ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจเฉลี่ยของผู้เรียนในภาพรวมทุกด้านและทุกข้อคำถามพบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.66, SD = 0.26)

อภิปรายและสรุปผล

1. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้ จากผลการวิจัยจะเห็นว่า นักเรียนทุกคนมีคะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่าคะแนนสอบก่อนเรียน แสดงว่านักเรียนแต่ละคนมีคะแนนความก้าวหน้าในการเรียนวิทยาศาสตร์ นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าคะแนนก่อนเรียนเฉลี่ยและมีค่าดัชนีประสิทธิผลของคะแนนวิทยาศาสตร์ที่แสดงความก้าวหน้าทางพัฒนาการเรียนรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 60 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานในการวิจัยครั้งนี้

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education นอกจากจะทำให้ผู้เรียนมีความรู้ตามสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (S) แล้ว ผู้เรียนยังสามารถเชื่อมโยงความรู้จากวิชาอื่น ๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ต่าง ๆ ที่กำหนดได้ เช่น ผู้เรียนสามารถเลือกใช้อุปกรณ์อย่างเหมาะสม และสามารถใช้เทคโนโลยีในการสืบค้นข้อมูล (เทคโนโลยี: T) ผู้เรียนสามารถออกแบบวิธีการและขั้นตอนการทำกิจกรรม (วิศวกรรมศาสตร์: E) ผู้เรียนสามารถนำความรู้เรื่องการวัดและการคำนวณ มาใช้ในกิจกรรม (คณิตศาสตร์: M) และผู้เรียนสามารถประดิษฐ์ชิ้นงานโดยใช้ความคิดสร้างสรรค์ ให้ผลงานมีความสวยงาม แปลกใหม่ และสามารถนำเสนอข้อมูลผ่านการแสดงบทบาทสมมติ ด้วยใช้ภาษา และท่าทางอย่างสร้างสรรค์ (ศิลปะ: A) ข้อมูลที่ได้จากการตอบคำถามของนักเรียนท้ายกิจกรรมในแผนที่ 6 เรื่องต้นไม้แห่งความรัก สรุปในตาราง 6

จากตาราง 6 จะเห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ที่ผู้เรียนได้เผชิญกับสถานการณ์ปัญหา เป็นการฝึกให้ผู้เรียนได้คิด แก้ปัญหา และสามารถค้นหาคำตอบหรือเรียนรู้ด้วยการลงมือทำ (learning by doing) ด้วยตนเอง มีการเชื่อมโยงความรู้จากศาสตร์อื่นๆ มาประยุกต์ใช้ เกิดการเรียนรู้และเกิดทักษะตามกระบวนทางวิทยาศาสตร์ ผ่านการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (inquiry–based learning) โดยมีครูให้คำปรึกษา

ตาราง 6 สรุปคำตอบของนักเรียนจากประเด็นคำถามท้ายกิจกรรมในแผนที่ 6 เรื่อง ต้นไม้แห่งความรัก

ข้อที่	ประเด็นคำถาม	สรุปคำตอบของนักเรียน
1.	นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์เรื่องใดบ้างมาใช้ในกิจกรรมนี้	- การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน - การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช - สิ่งที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ปุ๋ย น้ำ แสงแดด
2.	นักเรียนใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีในกิจกรรมนี้หรือไม่ อย่างไร	- การวัด และการคำนวณ เช่น การตวงน้ำปุ๋ย การวัดความสูงของพืช ความกว้าง ความยาว และขนาดของขวดพลาสติก - การใช้ไม้บรรทัดในการวัดความสูงของพืช - การออกแบบตารางบันทึกการเจริญเติบโตของพืช - การใช้คอมพิวเตอร์ในการสืบค้นข้อมูล - การออกแบบภาชนะปลูกพืชให้เคลื่อนที่ได้
3.	นักเรียนใช้ความรู้ทางศิลปะในการสร้างสรรค์และออกแบบชิ้นงานอย่างไรบ้าง	- การวาดภาพ การระบายสี - การออกแบบภาชนะปลูกพืชให้สวยงาม และแตกต่างจากเพื่อน - การประดิษฐ์และตกแต่งภาชนะปลูกพืช - การแสดงบทบาทสมมติหน้าชั้นเรียน
4.	นักเรียนได้รับประโยชน์จากกิจกรรมนี้อะไรบ้าง	- ฝึกคิดการออกแบบ และประดิษฐ์ภาชนะปลูกพืช - รู้วิธีการวัดความสูงของพืชเพื่อดูการเจริญเติบโตของพืช - รู้วิธีการปลูกพืชได้โดยไม่ใช้ดินและสามารถนำไปปลูกเองที่บ้านได้ - ได้ความสามัคคีและความคิดสร้างสรรค์ในการทำงานกลุ่ม - ฝึกให้มีความรับผิดชอบ และเอาใจใส่ในการดูแลพืชที่ปลูก

และแนะนำ ในการวิจัยนี้ ได้สรุปขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education เป็น 6 ขั้นตอน โดยพัฒนามาจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (National Research Council, 2012) ประกอบด้วย 1) ระบุปัญหา (problem identification) 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (related information search) 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (solution design) 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (planning and development) 5) ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (testing, evaluation and design improvement) 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (presentation) ทั้งนี้ในการทำงานไม่จำเป็นต้องมีลำดับที่แน่นอน สามารถสลับไปมาหรือย้อนกลับขั้นตอนได้ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การกำหนดปัญหาหรือความต้องการ สมาชิกในกลุ่มช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด ข้อจำกัด และกำหนดเป้าหมายของการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 2 การรวบรวมข้อมูลและเลือกวิธีการ แต่ละกลุ่มรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมปัญหาที่ต้องการแก้ไข เมื่อแต่ละกลุ่มได้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการแก้ปัญหาแล้ว จากนั้นเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม

ขั้นที่ 3 การออกแบบและลงมือปฏิบัติ นักเรียนร่วมกันกำหนดสมมติฐาน เขียนขั้นตอน

ระบุรายการวัสดุและอุปกรณ์ ช่วยกันวางแผนออกแบบชิ้นงานโดยวาดภาพร่าง 2 มิติ ปฏิบัติกิจกรรมตามวิธีและการออกแบบที่เลือกไว้ แล้วสังเกตและบันทึกผล

ขั้นที่ 4 การทดสอบและปรับปรุงแก้ไข แต่ละกลุ่มปฏิบัติกิจกรรมตามวิธีและการออกแบบที่เลือกไว้ แล้วสังเกตและบันทึกผล โดยระหว่างทำกิจกรรมครูคอยถามนักเรียนว่าพบปัญหาอะไรบ้าง โดยครูเข้าไปช่วยเหลือแนะนำตามกลุ่ม เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทดสอบ เก็บข้อมูล ปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้ได้ผลการทดลองหรือชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขั้นที่ 5 การประเมินผล ครูและนักเรียนร่วมกันประเมินผลงาน จากการปฏิบัติกิจกรรม

ขั้นที่ 6 การสรุปและขยายความรู้ ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปผลจากการปฏิบัติกิจกรรม และครูขยายความรู้วิทยาศาสตร์เพิ่มเติมที่มีการเชื่อมโยงความรู้ที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์อื่น ๆ ใน STEAM Education จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันสรุปองค์ความรู้และประโยชน์ที่ได้

2. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education สามารถฝึกทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของผู้เรียนได้ จากผลวิจัยจะเห็นว่า นักเรียนมีผลการประเมินทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยรวมอยู่ในระดับดี ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานในการวิจัยครั้งนี้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิดและร่วมกันแก้ปัญหา มีการแสวงหาคำตอบอย่างมีแบบแผนและมีขั้นตอน โดยในการจัดกิจกรรมผู้วิจัยได้แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม เพื่อให้นักเรียนมีโอกาสปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในการทำงานกลุ่ม ร่วมกันแสดงความคิดเห็นอย่างสร้างสรรค์ มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ยอมรับฟังความคิดเห็นของกันและกัน มีการวางแผนการทำงานร่วมกันอย่างเป็นขั้นตอน และที่สำคัญสมาชิกทุกคนในกลุ่มจะต้องมีส่วนร่วมในกิจกรรม เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความภาคภูมิในในผลงานของตนเอง และมีประสบการณ์ในความสำเร็จร่วมกัน ผู้วิจัยได้สรุปกระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ดังนี้

(1) การระบุประเด็นปัญหา นักเรียนในกลุ่มช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ ข้อจำกัดที่กำหนด และกำหนดเป้าหมายของการแก้ปัญหา โดยขั้นตอนการระบุประเด็นปัญหาหรือประเด็นความคิดเป็นจุดเริ่มต้นของการคิดอย่างมีวิจารณญาณ เพราะสามารถกระตุ้นผู้เรียนให้มีการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สามารถโต้แย้งหรือแสดงความคิดเห็นกับสมาชิกในกลุ่มเพื่อหาคำตอบที่สมเหตุสมผล โดยข้อมูลที่ได้จากใบกิจกรรมและใบงาน ในหน่วยที่ 6 เรื่อง ต้นไม้แห่งความรัก พบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถระบุประเด็นปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดได้ เช่น นักเรียนกลุ่ม 1 ระบุปัญหาว่า “1) เราจะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินได้อย่างไร 2) เราจะออกแบบภาชนะปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินอย่างไร” นักเรียนกลุ่ม 2 ระบุปัญหาว่า “จะต้องทำอย่างไรให้พืชที่ปลูกด้วยวิธีการที่ไม่ใช้ดินเจริญเติบโต” เมื่อวิเคราะห์แล้วปัญหาที่นักเรียนระบุนั้น มีลักษณะที่เขียนระบุปัญหาได้ชัดเจนที่จะนำไปสู่การพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้

(2) การรวบรวมข้อมูล นักเรียนในกลุ่มช่วยกันรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาโดยสืบค้นข้อมูลจากหนังสือและอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมปัญหาที่ต้องการแก้ไข โดยข้อมูลที่ได้จากใบกิจกรรมและ

ใบงาน พบว่า นักเรียนสามารถรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาได้ เช่น นักเรียนกลุ่ม 2 สามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ “1) การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (hydroponics) 2) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช” นักเรียนกลุ่ม 3 สามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ “1) ชนิดของพืชที่นิยมปลูกแบบไม่ใช้ดิน 2) วัสดุที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน” เมื่อวิเคราะห์แล้วนักเรียนสามารถรวบรวมข้อมูล และเลือกข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการหาคำตอบ ที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีการแก้ปัญหาได้

(3) การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล นักเรียนนำข้อมูลที่ได้มาเชื่อมโยงหาความสัมพันธ์ เพื่อกำหนดแนวทางการสรุปที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุด พร้อมบอกเหตุผลสนับสนุนอย่างสมเหตุสมผล และวางแผนการทำงานร่วมกันอย่างเป็นขั้นตอน จากการสังเกตและสอบถามนักเรียนระหว่างออกแบบและลงมือปฏิบัติกิจกรรม พบว่า นักเรียนสามารถเลือกวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ พร้อมระบุข้อมูลเชิงปริมาณและบอกเหตุผลได้ เช่น นักเรียนกลุ่ม 1 เลือกวัสดุดังนี้ “1) ใช้ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร จำนวน 3 ใบ มาต่อกันในแนวตั้งเพราะขวดขนาดใหญ่จะใส่น้ำปุ๋ยได้มาก จะได้ไม่ต้องเติมน้ำปุ๋ยบ่อย ๆ ” นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ทางคณิตศาสตร์เรื่องการวัด และรูปทรง มาใช้ในกิจกรรมได้ เช่น 1) ตัดขวดน้ำ ด้านข้างให้สูง 10 เซนติเมตร (นักเรียนกลุ่ม 3) 2) วางขวดในแนวนอนแล้วตัดขวดด้านบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 5 เซนติเมตร ขวดละ 2 รู ใช้ฝาขวดจำนวน 12 ชิ้น ทำเป็นล้อให้เคลื่อนที่ได้ และต่อขวดพลาสติกในแนวนอนเป็นขบวนรถไฟจำนวน 3 ขบวน เพื่อให้สามารถมีช่องสำหรับปลูกพืชได้จำนวนมากขึ้น (นักเรียนกลุ่ม 1)” ในขณะเดียวกันมีนักเรียนบางกลุ่มออกแบบว่าควรนำขวดพลาสติก 2 ใบ มายึดติดกันด้วยกาวในแนวตั้ง และมีนักเรียนบางกลุ่มเลือกรูปทรงขวดพลาสติกที่แตกต่างกัน เช่น นักเรียนกลุ่ม 1 ใช้ขวดพลาสติกทรงกระบอกกลม และนักเรียนกลุ่ม 2 ใช้ขวดพลาสติกทรงสี่เหลี่ยม โดยครูยังไม่ควรสรุปว่ารูปแบบของกลุ่มไหนถูกหรือผิด แต่แนะนำนักเรียนว่า ให้แต่ละกลุ่มนำชิ้นงานที่สร้างขึ้นไปทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งาน ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์แล้ว จะเห็นว่านักเรียนสามารถเลือกใช้วัสดุ มีการให้เหตุผลในการตัดสินใจที่เหมาะสม มีการเชื่อมโยงความรู้ในศาสตร์ของ STEAM มาใช้ประโยชน์ ที่จะนำไปสู่การพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้

(4) การลงความเห็น การตัดสินใจและการสรุปผล เมื่อนักเรียนได้วิธีการแก้ปัญหาที่หลากหลายแล้ว จากนั้นพิจารณาแนวทางการแก้ปัญหาที่เหมาะสม และสรุปแนวทางการแก้ปัญหาโดยเลือกจากความสมเหตุสมผลของข้อมูล จากข้อมูลที่ได้จากใบใบทึกกิจกรรมและการสัมภาษณ์นักเรียนระหว่างการทำกิจกรรม พบว่า เมื่อนักเรียนแต่ละกลุ่มพบปัญหา นักเรียนสามารถเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาและบอกเหตุผลได้ เช่น นักเรียนกลุ่ม 1 เจาะรูขวดขนาดใหญ่เกินไป ทำให้เวลาใส่ต้นกล้าพืชแล้วต้นกล้าล้มและจมในน้ำปุ๋ย นักเรียนร่วมกันเสนอแนวทางการแก้ปัญหาและเลือกแนวทางการแก้ไขด้วยการเอาดินน้ำมัน (เพราะสามารถปั้นเป็นรูปทรงต่าง ๆ และใช้งานง่าย) มาปะรอบ ๆ เพื่อให้วางต้นกล้าได้ในแนวตั้งและช่วยให้รากพืชสัมผัสกับน้ำปุ๋ยพอดี นักเรียนกลุ่ม 4 ออกแบบโดยตัดขวดขนาด 1.5 ลิตรด้านบนออกแล้วยึดขวดเข้าด้วยกัน 3 ใบ ในแนวตั้ง

พบว่า 1) การวางขวดในแนวตั้งสามารถนำต้นกล้าพืชมาปลูกได้เพียง 1 ต้นต่อขวดเท่านั้น ซึ่งนักเรียนอยากปลูกพืชให้ได้จำนวนเยอะกว่านี้ 2) ขวดมีขนาดใหญ่ ทำให้สิ้นเปลืองปริมาณน้ำปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยนักเรียนกลุ่มนี้ร่วมกันเสนอแนวทางการแก้ปัญหา และเลือกแนวทางการแก้ไขโดยการตัดขวดให้สั้นกว่าเดิม เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำปุ๋ย และเลือกใช้ไม้เสียบลูกชิ้น (เพราะมีขนาดเล็ก สามารถตัดได้ง่ายกว่าใช้ฟิวเจอร์บอร์ด) สำหรับกั้นต้นกล้าพืชแต่ละต้นที่ปลูกในขวดเดียวกันไม่ให้อยู่ติดกัน เพื่อให้ปลูกพืชในขวดเดียวกันได้จำนวนมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์แล้วจะเห็นว่า นักเรียนสามารถพิจารณาข้อมูล ลงความเห็นและ ตัดสินใจตามหลักเหตุผล และสรุปผลได้อย่างเป็นขั้นตอน ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณได้

โดยขั้นตอนของการคิดอย่างมีวิจารณญาณในการวิจัยในครั้งนี้ สอดคล้องกับกระบวนการคิดอย่างมีวิจารญาณของ Khammani (2005) Dressel and Mayhew (1957) และ Moonkam (2015) ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดปัญหา การรวบรวมข้อมูล การจัดระบบข้อมูล การตั้งสมมติฐาน การสรุป และการประเมินผล

3. การศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education พบว่า ระดับความพึงพอใจเฉลี่ยของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้ทุกด้านอยู่ในระดับดีมาก โดยผู้เรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยมากที่สุดต่อประเด็นการจัดกิจกรรมที่มีเนื้อหาที่เป็นประโยชน์ สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน แสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนเห็นคุณค่าของสิ่งที่เรียนรู้ ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้ที่สามารถช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาความคิด สามารถแก้ปัญหา และเรียนรู้จากการปฏิบัติจริง แสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติ ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้ทำให้เกิดความสนุกสนาน แสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนมีความสุขกับการเรียนวิทยาศาสตร์ในรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education นอกจากนี้ นักเรียนกลุ่มตัวอย่างยังให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์กับผู้วิจัย เช่น 1) หนูชอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบนี้ เพราะได้ออกแบบการทดลอง ได้วางแผนการทำงานร่วมกับเพื่อน ๆ ได้ลงมือปฏิบัติ และสนุกกับการเรียนวิทยาศาสตร์ 2) หนูอยากให้คุณครูจัดกิจกรรมแบบนี้ในหน่วยอื่นๆ ด้วย เช่น หน่วยการเรียนรู้เกี่ยวกับสัตว์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ผู้เรียนมีความสุขและพึงพอใจกับการแสวงหาความรู้ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education

จะเห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education สามารถกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนให้อยากเรียนรู้จากการเผชิญกับสถานการณ์ต่างๆ ทำให้ผู้เรียนรู้สึกท้าทายและสนุกไปกับการเรียน โดยมีครูคอยชี้แนะและเป็นผู้อำนวยความสะดวก ให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้า ซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้ แสดงความความคิดเห็น วางแผนการทำงานร่วมกัน และลงมือปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอน ซึ่งสามารถส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของผู้เรียนได้

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ส่งผลให้ผู้เรียนมีพัฒนาการด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ มีทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณโดยรวมอยู่ในระดับดี และผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณา-

การ STEAM Education อยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานในการวิจัยครั้งนี้

ข้อเสนอแนะ

1. ครูผู้สอนสามารถนำกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ไปประยุกต์ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในวิชาวิชาอื่น ๆ นอกจากวิชาวิทยาศาสตร์ได้ เช่น วิชาคณิตศาสตร์ โดยอาจใช้วิชาคณิตศาสตร์เป็นหลักแล้วผสานศาสตร์อื่นเข้ามา

2. ครูผู้สอนสามารถนำกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านอื่น ๆ ได้ เช่น ทักษะการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ทักษะด้านความร่วมมือในการทำงานเป็นทีม

3. บทบาทสำคัญของครูผู้สอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ STEAM Education เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ คือเป็นผู้ให้คำแนะนำและกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณด้วยหลักการและเหตุผล เช่น การใช้คำถามให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิด การให้เวลาในการทำกิจกรรมที่เหมาะสม เพื่อให้ผู้เรียนมีเวลาคิด วางแผนในการทำกิจกรรมอย่างเป็นขั้นตอน นอกจากนี้ ครูผู้สอนควรสร้างแรงจูงใจให้กับผู้เรียนหรือเสริมแรงในทางบวก เช่น การกล่าวชื่นชมเพื่อให้ผู้เรียน กล้าคิด กล้าแสดงออก มีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมอย่างมีความสุข

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จากงบรายได้ของสถาบันวิจัย พัฒนา และสาธิตการศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

Best, J. W. (1977). **Research in Education**. 3rd ed. New Jersey: Prentice Hall.

Breiner, J. M., Carla, C. J., Harkness, S. S., and Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. **School Science and Mathematics** 112(1): 3–11.

Carr, R. L., Bennetti V. L. D., and Strobe, J. O. (2012). Engineering in the K–12 STEM standards of the 50 U.S. States: An analysis of presence and extent. **Journal of Engineering Education** 101(3): 539–564.

Chareonwongsak, K. (2002). **Creative Thinking**. Bangkok: Success Media. (in Thai)

Dejarnette, N. K. (2012). America's children: providing early exposure to STEM (science, technology, engineering and math) initiatives. **Education** 133 (1): 77–84.

Dressel, P. L., and Mayhew, L. B. (1957). **General Education: Explorations in Evaluation**. 2nd ed. Washington, DC: American Council on Education.

Ennis, R. H. (1962). A concept of critical thinking. **Harvard Educational Review** 32(1): 81–111.

Gardner, H. (1993). **Multiple Intelligences: The Theory in Practice.** New York: Basic Books.

Hellige, J. B. (1990). Hemispheric asymmetry. **Annual Review of Psychology** 41: 55–80.

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. **STEM education in Thailand.** Retrieved from http://www.stemedthailand.org/, January 18, 2018. (in Thai)

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. **Introduction to STEM education.** Retrieved from http://www.stemedthailand.org/, August 20, 2018. (in Thai)

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2018). **Science Program Guide for Primary Level.** Bangkok: Author. (in Thai)

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2018). **Mathematics Program Guide for Primary Level.** Bangkok: Author. (in Thai)

Intalapaporn, C., Patphol, M., Wongyai, W., Pumsa-ard, S. (2015). Development of training curriculum to enhance the ability of STEM education learning management for primary school teachers. **Veridian E-Journal, Slipakorn University** 8(1): 714–736. (in Thai)

Jitaree, R., Uaiy, V., Keawurai, W. (2017) The development of instruction model based on constructivist learning theory and STEM education approach to enhance analysis thinking and scientific literacy for mathayomsuksa 1 student. **Journal of Education Naresuan University** 19(2): 202–213. (in Thai)

Karnchanarakphong, S. (2006). **Manual of Thinking Skill Evaluation.** Bangkok: Tharn Ark Sorn. (in Thai)

Khammani, T. (2005). **Teaching Techniques: Knowledge for Effective Learning Process.** Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Koocharoenpisal, N., Kaewthip, K., Nongnuan, K., Haritawan, P. (2017). Learning outcome of 9th students using the learning activity packages on the natural rubber latex process integrating science technology engineering and mathematics (STEM). **Journal of Education Naresuan University** 19(1): 23–37. (in Thai)

Khumwong, P., Pruekpramool, C., Phonphok, N. (2017). The impact of STEM education professional development workshop on secondary teachers' STEM teaching efficacy. **Journal of Education, Mahasarakham University** 11(3): 108–120. (in Thai)

Kim, Y., Park, N. (2012). The effect of STEAM education on elementary school student's creativity improvement, computer applications for security. **Control and System Engineering** 399: 115–121.

Moonkam, S. (2015). **Thinking Concepts**. 13th ed. Bangkok: Parbpim. (in Thai)

National Research Council. (2012). **A Frame work for K–12 Science Education: Practices, Crosscutting Concept, and Core Ideas**. Washington, DC: Author.

Nekamanurak, P. (1994). **The Development of Critical Thinking Developing Model for Teachers College Students**. Master of Education Thesis. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Phonakorn, C. (2017). **Education in Thailand 4.0.** Retrieved from http://km.li.mahidol.ac.th/thai-studies-in-thailand-4-0/, January 16, 2018. (in Thai)

Prasertsang, P., and Kanasri, T. (2017). Service learning and STEM education design. **Journal of Education, Mahasarakham University** 11(2): 7–16. (in Thai)

Rapporteur, A. B. (2011). **Successful STEM Education: A Workshop Summary.** Washington, DC: National Academies.

Ritcharoon, R. (2006). **Research to Develop Learning in Classroom Action Research.** 5th ed. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Runkham, M. (2001). **Effects of Using Critical Thinking Development Model on Problem Solving Abilities in Community Context of Mathayomsuksa Three Students**. Master of Education Thesis. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Saifah, Y. (2012). **Enhancing Science, Technology, Math and Art with STEAM Model.** Retrieved from http://www.educathai.com/workshop_download_handout_download.php?id=60&page=4, April 28, 2016. (in Thai)

Siripatharachai, P. (2013). STEM Education and 21st Century Skills Development. **Executive Journal** 33(2): 49–56. (in Thai)

Sousa, D. A., Pilecki, T. (2013). **From STEM to STEAM: Using Brain–Compatible Strategies to Integrate the Arts.** California: Corwin.

Thananuwong, R. (2013). **Workshop Summary on Science, Technology, Engineering and Mathematics Education: Preparing Students for the 21st Century.** Retrieved from http://designtechnology.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/83/2017/09/STEMeducation.pdf, January 16, 2018. (in Thai)

Tunkham, P., Donpudsa, S., Dornbundit, P. (2016) Development of STEM activities in chemistry on "protein" to enhance 21st century learning skills for senior high school students. **Silpakorn University Journal of Social Sciences, Humanities, and Arts** 16(3): 217–234. (in Thai)

Vasquez, J., Sneider, C., Comer, M. (2013). **STEM Lesson Essentials Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering and Mathematics**. Portsmouth, NH: Heinemann.

Watson, G., and Glaser, E. M. (1964). **Watson-Glaser Critical Thinking Appraisal Manual**. New York: Harcourt Brace and Word.