

การศึกษาเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จากกิจกรรมการจัดการเรียนรู้

แบบสะเต็มศึกษา

STUDYING THE SOLAR WATER PUMP USING INTEGRATION OF LEARNING PROCESS WITH STEM EDUCATION

ปาริชาติ ประเสริฐสังข์¹, และธีรศาสตร์ คณาศรี^{2,*}

Parichart Prasertsang¹, and Teerasad Kanasri^{2,*}

¹ สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

² สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จากระบบการออกแบบเชิงวิศวกรรม และเพื่อจัดกระบวนการเรียนรู้ที่บูรณาการแบบสะเต็มศึกษาเป็นการเรียนผ่านโครงงาน โดยศึกษาผลการเรียนรู้ความพึงพอใจของนักศึกษา เพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับชีวิตประจำวันจากระบบการออกแบบเชิงวิศวกรรมของเครื่องสูบน้ำพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ จากการหาประสิทธิภาพของระบบสูบน้ำ โดยติดตั้งเครื่องสูบน้ำกับริดเซ็น 2 ล้อรถ ขนาดความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 56 x 180 x 166 เซนติเมตร ใช้เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบชักมีท่อส่ง และหัวดูดน้ำขนาด 1 นิ้ว อาศัยแรงดึงสายพานจากมอเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC 24 โวลต์ พลังงานไฟฟ้า 500 วัตต์ สำหรับการพัฒนาการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา เลือกการสุ่มแบบเจาะจงจากนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ในรายวิชา สิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรม ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จำนวน 20 คน ใช้เครื่องมือแผนการเรียนรู้ สาระเรียนรู้ แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสังเกตพฤติกรรม ใช้วิธีการเปรียบเทียบ

* ผู้ประสานงาน: ธีรศาสตร์ คณาศรี

อีเมล: Teerasad@windowlive.com

คะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน แบบสำรวจความพึงพอใจของนักศึกษาต่อการเรียนรู้โดยใช้สะเต็มศึกษา และการวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา

จากผลการทดลองเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 09.00 - 16.00 น. เพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณการสูบน้ำ พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณสูบน้ำโดยใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบต่อตรงเท่ากับ 2,397 ลิตรต่อวัน ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 374 รอบต่อนาที ใช้พลังงานไฟฟ้า 195.6 วัตต์ ขณะที่การใช้งานเครื่องสูบน้ำอาศัยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ DC 24 โวลต์ พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณสูบน้ำเท่ากับ 1,681 ลิตรต่อวัน ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 250 รอบต่อนาที ผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่ใช้การเรียนการสอนตามแนวการจัดประสบการณ์กิจกรรมสะเต็มศึกษา มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยจากการลงมือกิจกรรมระหว่างเรียน ซึ่งจากการเก็บคะแนนใบงาน แบบสังเกตพฤติกรรม และแบบทดสอบระหว่างเรียนรู้ 79.67 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนจากการทำแบบทดสอบคิดเป็นร้อยละ 76.56 มีระดับคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อีกทั้งนักศึกษายังมีความพึงพอใจต่อการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาในระดับมาก

คำสำคัญ: สะเต็มศึกษา, พลังงานแสงอาทิตย์, สิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรม

Abstract

The objectives of this research were to study a solar water pump through an engineering design process and to manage a learning process which integrated STEM Education (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) by means of a learning process. The experimental students learning outcomes and satisfaction were also examined to learn their need responding and problem solving in daily life which was developed through the engineering design process of the solar water pump. The solar water pump was installed on a two wheeled handcart with a dimension of 56 cm (W) x 180 cm (L) x 166 cm (H). It was a powered reciprocating pump with a size of a suction delivery pipe of 1 inch using a

24 VDC 500 watt motor. As for the development of STEM Education-integrated classroom teaching, 20 fourth year Electronics Technology majors enrolled in the Invention and Innovation subject, Roi Et Rajabhat University, were purposive sampled. The instruments included a learning plan, learning content, a learning achievement test, and a behavior observation form. The student's pre-test and post-test scores were compared, and their satisfaction of the STEM Education integrated lesson was identified. Collected data was analyzed through descriptive statistics.

As for the average pump rate which was wired to the two solar panels, it was found that the average pumped water volume, motor rotational speed, and wattage were 2,397 l/day, 374 rpm, and 195.6 watt respectively. In contrast, when the pump was powered by 24 VDC batteries, the average pumped water volume and motor rotational speed were 1,681 l/day and 250 rpm. As for the students' learning achievement through the STEM Education integrated lessons, it was revealed that the efficiency of the students' learning achievement met the level prior determined by researcher. During the learning process, the students were assessed with worksheets, the behavior observation form, and the test which showed a mean score of 79.67. After the learning process was completed, the post-test was conducted which showed a mean score of 76.56, which was higher than that of the pre-test with a statistical significance of .05. Also, the students' satisfaction from learning in the STEM Education-integrated lessons was at a "high" level.

Keywords: STEM Education, Solar energy, Invention and Innovation

บทนำ

ในโลกปัจจุบันได้ก้าวสู่ยุคการพัฒนาจากการเปลี่ยนแปลงตามแผนพัฒนาประเทศ ปี พ.ศ. 2560 ฉบับที่ 12 ได้วางระยะพัฒนาไว้อีก 20 ปี โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยี การสื่อสาร ทุกด้านต้องติดตามข้อมูลข่าวสารรวมถึงเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อนำมาใช้ ประโยชน์จนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดในงาน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเตรียมความพร้อม ให้กับผู้เรียนให้มีทักษะที่จำเป็น ส่งผลแนวโน้มการจัดการเรียนการสอนต้องเน้นผู้เรียนเป็น สำคัญตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติปี พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติมฉบับที่ 2 ระบบ แนวทางการเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญต้องยึดหลักให้ความสามารถของผู้เรียนและพัฒนาตนเอง ได้ถือว่าผู้เรียนสำคัญที่สุด (พิจิตร อดตะโปน, 2550) สอดคล้องกับแนวทางในการ พัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนเป็นศูนย์กลางการสอน ทำให้มีเนื้อหาสาระและกิจกรรมจะต้อง สอดคล้องกับความสนใจ ความถนัด ความแตกต่างของผู้เรียน ผูกทักษะกระบวนการคิด และการประยุกต์ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง (ธรรมบุญ เกียรติกำจร, 2556) ตามแนวทางดังกล่าวได้จัดให้มีการศึกษาตามวิธีการใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem Based Learning: PBL) ซึ่งมีหลักสำคัญคือ ผู้สอนจะใช้สถานการณ์การปัญหาเป็นตัวกระตุ้นให้ ผู้เรียนแสวงหาความรู้ เพื่อนำมาเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาซึ่งผู้เรียนเป็นการกำหนดทิศทาง เรียนรู้ของตนเอง ซึ่งต่างจากวิธีการสอนแบบบรรยาย โดยผู้สอนจะนำเสนอเนื้อหา ก่อน ส่วน PBL ผู้สอนจะนำปัญหามาให้ผู้เรียนได้ศึกษาก่อน (มณฑรา ธรรมบุศย์, 2549) เพื่อให้ เกิดการเรียนรู้ที่yakต่อความเข้าใจผู้สอน จึงควรส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นการสร้างแนวคิดให้ เกิดความเข้าใจด้วยตนเองจนเกิดความเข้าใจแนวคิด ผู้สอนต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการ จัดการเรียนการสอนให้เหมาะสมต่อความต้องการของผู้เรียน เน้นให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติ ด้วยตนเอง เพื่อให้ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้มาพัฒนาศักยภาพตนเองได้สูงสุด หลักสูตร จะต้องมีการบูรณาการรายวิชาให้มีความเชื่อมโยงกันกับสถานการณ์ปัญหาในปัจจุบันให้ ได้มากที่สุด สำหรับการบูรณาการการศึกษาโดยส่วนใหญ่ยังขาดทักษะการคิดเพราะการสอน ปัจจุบันมุ่งเน้นให้ความรู้มาก เพื่อมาใช้ในการสอบแต่ไม่สนใจสอนให้ผู้เรียนเกิดทักษะทาง ความคิดที่จะให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้ที่มีนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในชีวิตประจำวันได้ ไม่สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาประเทศไทยแลนด์ 4.0 การขับเคลื่อนประเทศในยุค ศตวรรษที่ 21 ต้องใช้การเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) จัดการเรียนการสอนที่เน้น ผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง (Student-centered) มีกิจกรรมการเรียนการสอนที่หลากหลาย

เพื่อกระตุ้นและจูงใจให้ผู้เรียนเกิดความสนใจใฝ่เรียนรู้ ด้วยการลงมือปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะทางการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์และบูรณาการจนหาข้อสรุป (ณัฐธยาน์ ตรีผลา, 2558) ต้องการให้ผู้เรียนรู้กระบวนการส่งเสริมพัฒนาทักษะหลายด้าน ยกตัวอย่าง 1) ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) ผู้เรียนจะได้รับการส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ และการคิดแก้ปัญหา 2) ทักษะเกี่ยวกับข้อมูลข่าวสารการสื่อสารและเทคโนโลยี (Information, Media, and Technology Skills) ผู้เรียนสามารถเข้าถึงการจัดการเก็บข้อมูล และทำการสื่อสารต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ และ 3) ทักษะชีวิตและการประกอบอาชีพ (Life and Career Skills) ผู้เรียนสามารถทำงานเป็นที่ มีภาวะผู้นำ และมีความรับผิดชอบ (เทพกัญญา พรหมชาติแก้ว, 2556; สุพรรณิ ขาญประเสริฐ, 2557)

อย่างไรก็ตามถึงแม้จะเห็นอย่างชัดเจนว่าการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนแก้ไขปัญหาเองได้จะต้องเป็นวิธีการจัดการศึกษาให้เกิดขึ้นการบูรณาการในสาระวิชา จะต้องเป็นวิธีการจัดการศึกษาให้เกิดขึ้นการบูรณาการในสาระวิชาหลักดังนั้น “สะเต็มศึกษา” (Science Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education) คือ แนวทางการจัดการศึกษาแบบบูรณาการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยนำจุดเด่นของธรรมชาติตลอดจนวิธีการสอนของแต่ละวิชามาผสมผสานกันอย่างลงตัว ให้ผู้เรียนนำความรู้ทุกแขนงนำไปแก้ไขปัญหาในชีวิตจริง สร้างเสริมประสบการณ์ทักษะชีวิตความคิดสร้างสรรค์ เตรียมความพร้อมให้กับผู้เรียนในการปฏิบัติงานที่ต้องใช้องค์ความรู้และทักษะกระบวนการนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมในอนาคตซึ่งได้ผนวกแนวคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ผู้เรียนได้ทำกิจกรรมหรือออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการ ตอบสนองความต้องการในการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันให้ได้เทคโนโลยีเป็นผลผลิตจากกระบวนการการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งโดยทั่วไปการสร้างสรรคชิ้นงานหรือการแก้ไขปัญหาเรื่องใดเรื่องหนึ่งจะต้องทำซ้ำและต่อเนื่อง เมื่อกล่าวถึงสะเต็มศึกษาอาจจะทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจที่แตกต่างกันค่อนข้างหลากหลาย โดยเฉพาะคำว่าเทคโนโลยีและวิศวกรรม (Technology and Engineering) พบว่าเป็นคำใหม่ในขั้นการศึกษาพื้นฐาน แต่กลับจะกล่าวเฉพาะเพียงในการศึกษาระดับมหาวิทยาลัย กล่าวคือ วิศวกรรมหมายถึง เกี่ยวกับการออกแบบ วางแผน การแก้ปัญหา เป็นการใช้องค์ความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ มาสร้างสรรค์ผลงานภายใต้ข้อจำกัดหรือเงื่อนไข เรียกรวม

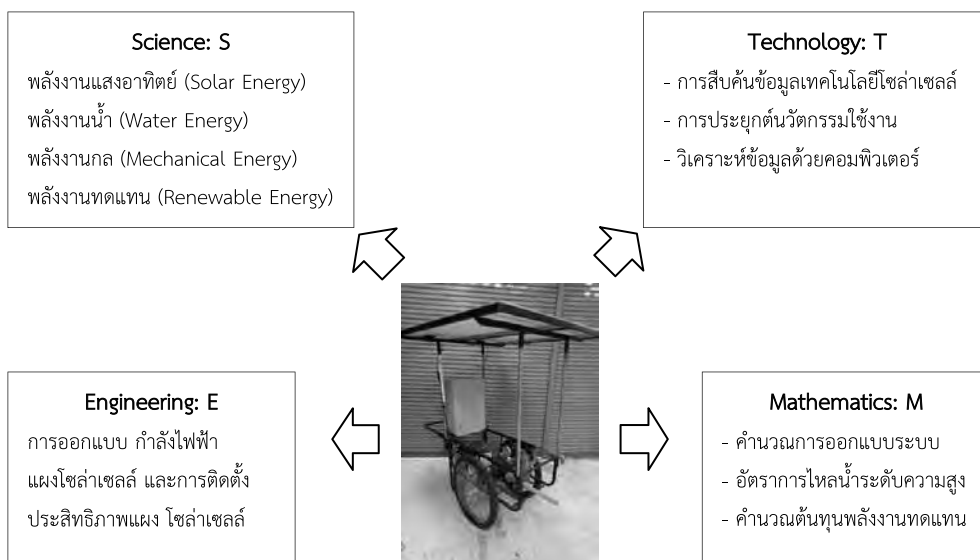
กระบวนการว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design Process) กระบวนการนี้จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงกระบวนการที่เหมาะสมที่สุดอย่างเป็นขั้นตอน รู้จักวางแผนการแก้ปัญหา กระบวนการทางวิศวกรรมยังเน้นให้เกิดประยุกต์ใช้องค์ความรู้ เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานออกมาในขณะที่กระบวนการทางวิทยาศาสตร์มักมุ่งไปที่การได้มาซึ่งคำตอบ (อภิสิทธิ์ ธงไชย , 2555)

ความสำคัญของสะเต็มศึกษาที่กล่าวมาจะเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้นอกจากความสำคัญของหลักสูตรที่มีรายวิชาทั้ง 4 สาขาวิชา ที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดแก้ไขปัญหาจากสถานการณ์ใช้รูปแบบการเชื่อมโยงแนวคิดเข้ากับกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ในสาขาวิชาสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม ผู้สอนได้นำกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมสอดคล้องกับการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา ซึ่งต้องผนวกองค์ประกอบที่สำคัญของการเรียนการสอนอย่างน้อย 2 ด้าน คือ ด้านบริบทซึ่งเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน และด้านเนื้อหาเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญจนเกิดการเรียนรู้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ซึ่งแนวคิดการนำโครงการที่เป็นสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม ผู้เรียนบางคนอาจเข้าใจเพียงบางส่วนเท่านั้นไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ในระดับการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้ จากการสังเกตพฤติกรรมทางการเรียนของผู้เรียนในวิชาสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม พบว่าผู้เรียนชอบกิจกรรมการทดลอง แต่ยังไม่สามารถใช้ทักษะในการแสวงหาความรู้ได้อย่างถูกต้อง ผู้สอนอาจจะนำไปศึกษาปัญหาจากสภาพจริง หรือการสำรวจจากแหล่งปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนการที่จะทำให้ผู้เรียนเข้าใจหลักวิธีการที่แท้จริงเพื่อแก้ไขปัญหา สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เรียนในห้องกับโครงการหรือนวัตกรรมต่าง ๆ ที่มีการใช้ในชีวิตประจำวัน ส่งผลต่อเจตคติสนใจต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ดีขึ้นได้ (ณัญชนันต์ เกตุศรีศักดิ์ และคณะ, 2560) ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเนื้อหาเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่จากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยจัดกระบวนการเรียนรู้ที่บูรณาการแบบสะเต็มศึกษาเป็นการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมจาก เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน และมีการส่งเสริมการใช้เพิ่มขึ้น ตัวอย่าง เช่น บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ ป้ายสัญญาณจราจรพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบสูบน้ำประปาพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่รอบตัวมาใช้ จึงเป็นสาระสำคัญที่จะนำมาพัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สำคัญต่อการ

พัฒนาประเทศ โดยมุ่งเน้นจูงใจผู้เรียนพัฒนาทักษะขั้นบูรณาการ กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจที่จะศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ และสร้างจิตสำนึกการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การบูรณาการกับการเรียนการสอนโดยใช้สะเต็มศึกษา มีแผนการสอนตามสาระวิชาเรื่อง พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานทดแทน วิชาที่ถูกใช้สอนนักศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 จำนวน 20 คน สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา สิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรม ซึ่งได้มาจากวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) เน้นการเรียนแบบบูรณาการสะเต็มศึกษาใน 4 วิชา คือ วิทยาศาสตร์ (Science: S) เทคโนโลยี Technology: T) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering: E) และคณิตศาสตร์ (Mathematics: M) ดังรูปที่ 1 นอกจากนั้นเนื้อหาในสาระวิชาในหลักสูตรยังได้สอดแทรกทั้งความรู้ทั่วไป และความรู้ในเชิงเทคโนโลยีต่าง ๆ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยมีดังนี้



รูปที่ 1 แนวคิดผลการดำเนินการวิจัยแบบสะเต็มศึกษา

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นการบูรณาการใช้โครงงาน เครื่องสูบน้ำมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้การสอนแบบสะเต็มศึกษา จำนวน 1 แผน ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 15 ชั่วโมง แบ่งเป็นสัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง

1.2 แบบทดสอบวัดความรู้ความเข้าใจหรือความสามารถทางสติปัญญาที่วัดความสามารถออกมาเป็นคะแนน หลังจากการจัดกิจกรรมซึ่งเป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 50 ข้อ เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการเรียนการจัดกิจกรรมบูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับเกณฑ์ร้อยละ 75

1.3 แบบสังเกตความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับใช้วัดผลความคิดสร้างสรรค์ 3 ด้าน คือ ความคิดริเริ่ม ความคิดยืดหยุ่น และความคิดคล่องแคล่ว โดยใช้แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สังเกตภายในชั่วโมงเรียนที่ใช้การจัดกิจกรรมบูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษาทั้งหมด 15 ชั่วโมง

การทดสอบระบบควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ รายละเอียดดังนี้

การทดสอบระบบควบคุมระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ยี่ห้อ HTITALIA รุ่น SOLAR300N ไฟฟ้ากระแสตรงนำไปใช้แบบต่อตรงกับมอเตอร์ไฟฟ้าจะควบคุมเปิด-ปิดการใช้งานเครื่องสูบน้ำด้วยเบรกเกอร์สวิตช์ เมื่อเริ่มมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์วงจรจอร์จเจอร์แบบ Pulse with modulation (PWM) จะเป็นตัวควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ชาร์จประจุลงแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ และมีวงจรบล็อกป้องกันการไหลย้อนกลับของกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่แผงโซลาร์เซลล์ เพื่อเก็บพลังงานสำรองไว้ใช้งาน ใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดกำลัง 700 วัตต์ ยี่ห้อ MEAN WELL รุ่น TS 700 เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง DC ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ AC ผ่านเบรกเกอร์สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น

การทดสอบระบบทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดเวลาประมาณ 13.00 - 14.00 น. วัดค่าตัวแปรทดสอบจากเครื่องวัดค่าพลังงานและทดสอบประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์ (Solar PV test) ในแต่ละช่วงเวลาทุก ๆ 1 นาที ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทดสอบระบบทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

การคำนวณหาค่าขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ (บรรจบ สุขประภาภรณ์, 2556)
สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$PV = \frac{P_{Load}}{\frac{Q \times C \times H \times I}{D}} \quad (1)$$

เมื่อ

PV = กำลังวัตต์ของโซลาร์เซลล์ (วัตต์)

Q = ค่าพลังงานแสงที่ได้รับต่อวัน (ประมาณ 4 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร)

C = ค่าความสูญเสียของเซลล์ (ประมาณ 0.8)

H = ค่าความสูญเสียเชิงความร้อน (ประมาณ 0.85)

I = ค่าประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (ประมาณ 0.8 - 0.9)

D = ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์บนโลก (ประมาณ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร)

การคำนวณหาค่าเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่ เครื่องควบคุมการชาร์จต้องมีขนาด
กำลังวัตต์ที่ไม่น้อยกว่าแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งสามารถทำการคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$C = \frac{PV}{V} \quad (2)$$

เมื่อ

C = ขนาดกระแสประจุ (แอมป์)

PV = กำลังวัตต์ของแผงโซลาร์เซลล์ (วัตต์)

V = โวลต์แบตเตอรี่ (โวลต์)

การคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$Q = \frac{P}{V \times (\%DOD) \times E} \times T \quad (3)$$

เมื่อ

Q = ความจุแบตเตอรี่ (แอมป์)

P = กำลังวัตต์รวม (วัตต์)

V = โวลต์แบตเตอรี่ (โวลต์)

%DOD = ค่าระดับความลึกการคายประจุ (40 – 60 เปอร์เซ็นต์)

E = ค่าประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (0.8 - 0.9)

T = ระยะเวลาการประจุในแต่ละวัน (ชั่วโมง)

การหาประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ (Efficiency of solar cell) (Tonui and Tripanagnostopoulos, 2007) ประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์สามารถหาได้จากสมการที่ 4

$$E_{ff} = \frac{(P \times 100)}{(G \times A)} \quad (4)$$

เมื่อ

 E_{ff} = ประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ (เปอร์เซ็นต์)

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

G = ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

A = พื้นที่แผงโซลาร์เซลล์ (ตารางเมตร)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่า การใช้สื่อการสอนในรูปแบบการบูรณาการ เพื่อใช้แนวทางการออกแบบเชิงวิศวกรรมของโครงการ เครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ นำมาสอนด้านสะเต็มศึกษา เน้นทักษะสำคัญในโลกาภิวัตน์หรือทักษะที่จำเป็นในยุคศตวรรษที่ 21 (Dejarnette, 2012; Breiner et al., 2012; ธวัช ชิตตระกูล, 2555; อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ, 2555) นักศึกษาทุกคนออกแบบด้วยตัวเองได้ลงมือปฏิบัติจริง เช่น การสำรวจสภาพปัญหาการขาดแคลนน้ำ และแนวโน้มสถานการณ์ปัญหาใช้น้ำภาคเกษตรกร ที่ต้องการใช้ระบบปั๊มสูบน้ำในพื้นที่ห่างไกลระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้ไปการบริการสังคม เกิดความภาคภูมิใจในตนเองที่มีบทบาทช่วยแก้ปัญหา และพัฒนาต่อยอดนวัตกรรม (ปาริชาติ ประเสริฐสังข์ และประสาธ เนืองเฉลิม, 2555) ผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา

ผลจากการเรียนการสอนในแบบสะเต็มศึกษา ทำให้ผู้เรียนมีกระบวนการคิด อันนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตในการทำงาน การสร้างสรรค์นวัตกรรมต่าง ๆ โดยนวัตกรรมที่ได้ยังรวมถึงนวัตกรรมในส่วนของงานบริการ หรือแม้กระทั่งการสร้างสรรค์นวัตกรรมกระบวนการทำงาน เพื่อผลผลิตในการทำงานที่เพิ่มขึ้น ผลที่ได้ไม่ได้มุ่งเฉพาะการนำไปใช้ในการงานอาชีพในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถนำไปใช้ประโยชน์สายอาชีพอื่นตลอดจนชี้ให้เห็นถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง หรือสร้างเป็นเทคโนโลยีต่าง ๆ ในการใช้ชีวิตในยุคศตวรรษที่ 21 (พรทิพย์ ศิริภัทราชัย, 2556) เกิดทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีตลอดจนการเรียนรู้ในทักษะวิชาการหลัก ๆ เช่น วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมและการประดิษฐ์ เพื่อให้ก้าวทันเทคโนโลยีและความเปลี่ยนแปลงของโลกที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่มีอยู่ในปัจจุบัน

จากการศึกษาการบูรณาการกับการเรียนโดยใช้สะเต็มศึกษาวิชา นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ จากโครงการ เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์สรุปได้ดังนี้

1) ประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนการสอนจากสาระเรียนรู้โดยใช้สะเต็มศึกษา เรื่อง พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานทดแทน มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ 75/75 หมายถึงผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยจากการลงมือกิจกรรมระหว่างเรียนซึ่งจากการเก็บคะแนนใบงาน แบบสังเกตพฤติกรรม และแบบทดสอบระหว่างเรียนรู้ 79.67 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนจากการทำแบบทดสอบคิดเป็น ร้อยละ 76.56 แสดงว่าผลการจัด

กิจกรรมการบูรณาการกับการเรียนการสอนโดยใช้สะเต็มศึกษามีประสิทธิภาพของกระบวนการสูงกว่าเกณฑ์กำหนดร้อยละ 75 สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ บุญลอย มูลน้อย (2559) ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่เพิ่มทักษะการคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่องการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า มีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.64/80.50 ซึ่งได้สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

2) นักศึกษาที่ได้รับการจัดกิจกรรมการบูรณาการกับการเรียนการสอนโดยใช้สะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ซึ่งผู้เรียนจะรู้จักวิธีคิด การตั้งคำถาม หาข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลที่พบใหม่มีการบูรณาการสาขาวิชาต่าง ๆ (มนตรี จุฬาวัฒนพล, 2556) จะเน้นให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้ไปสู่แนวทางการแก้ปัญหาโดยมีกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ (อภิสิทธิ์ ชงไชย, 2556)

3) ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ เรื่อง พลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานทดแทน จากการสังเกตความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดริเริ่ม ความคิดยืดหยุ่น และความคิดคล่องแคล่ว โดยผู้วิจัยสังเกตในชั่วโมงการสอน พบว่านักศึกษามีความสนใจเสนอแนวคิดสร้างสรรค์แปลกใหม่ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เพิ่มขึ้น โดยสังเกตจากพฤติกรรมการตอบคำถามในชั้นเรียน และนอกห้องเรียน ดังรูปที่ 3 สอดคล้องกับการศึกษาของ อาทิตยา ภูมิคอนสาร และคณะ (2560) รายงานว่า กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะเกิดคำถามตามมาเรื่อย ๆ ผู้สอนต้องมีคำตอบให้ผู้เรียนเกิดความคิดริเริ่มจนสามารถเชื่อมโยงความรู้ในวิชาต่าง ๆ

นอกจากนี้ขณะปฏิบัติกิจกรรมการบูรณาการกับการเรียนการสอนโดยใช้สะเต็มศึกษา พบว่าผู้เรียนระบุปัญหา (Identify a Challenge) ทำความเข้าใจในสิ่งที่ปัญหาในชีวิตประจำวัน และจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรม (Innovation) เพื่อแก้ปัญหาจนเชื่อมโยงความรู้ในเชิงการออกแบบวิศวกรรมอย่างมีกระบวนการ สามารถเรียนรู้ตามแนวทางการสอนแบบสะเต็มศึกษาความรู้ใน วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เกิดเป็นชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ทั้งการใช้งานที่สวยงาม

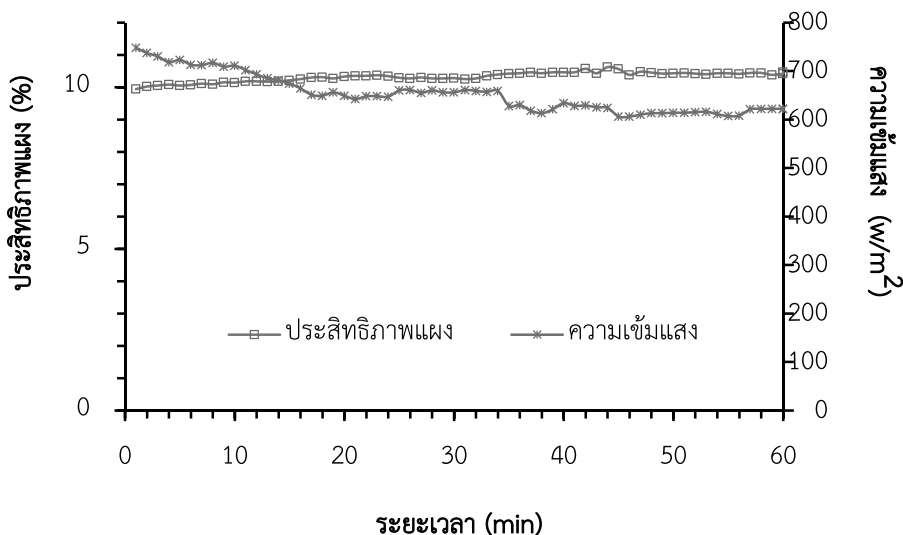


รูปที่ 3 การบูรณาการปฏิบัติการกิจกรรมการสอนโดยใช้สะเต็มศึกษา

ผลทดลองสูบน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต่อตรงเฉพาะพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ สูบน้ำระดับความสูง 4 เมตร และมีระยะหัวดูดน้ำ 4 เมตร ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ในช่วงระยะเวลา 09.00 - 16.00 น. จากการทดลอง พบว่ามีอัตราการสูบน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองใช้เฉพาะแผงโซลาร์เซลล์นั้นได้ปริมาณน้ำมาก เนื่องจากการใช้เฉพาะแผงโซลาร์เซลล์ต่อตรงจะกระแสที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ไม่ได้ผ่านตัวขาร์จเจอร์คอลโทรลเลอร์ ทำให้มอเตอร์มีการเพิ่มความเร็วยรอบในการหมุนมาก ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยการสูบน้ำเพิ่มสูงขึ้นปริมาณการสูบน้ำมากเท่ากับ 2,310 ลิตรต่อวัน ใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 195.6 วัตต์ ผลการทดสอบค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ ผลทดสอบในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ทุก 10 นาที ปริมาณน้ำทดลองพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้มากการสูบน้ำโดยใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ร่วมกันการทดลอง มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 189.5 วัตต์

ผลทดสอบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ จากรูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์และความเข้มแสง ในช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง คือ 14.00 - 15.00 น. ทุก ๆ 1 นาที ผลการทดสอบ พบว่าจากการเริ่มต้นทดสอบจนกระทั่งสิ้นสุดได้อัตราเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพจากการคำนวณตามสมการที่ 4 มีอัตราค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 10.32 ตามสภาพอากาศปริมาณของแสงแดด และรวมไปถึงอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดลองค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 652.68 วัตต์ต่อตารางเมตร แม้ว่าค่าความเข้มของแสงจะลดลงแต่ประสิทธิภาพยังมีค่าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า

ความเข้มของแสงอาทิตย์จะเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 12.00 - 14.00 น. ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น มีอัตราค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 10.32 ถึงแม้ความเข้มของแสงอาทิตย์จะลดลง แต่ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์จะไม่ลดลงตามไปด้วยเพราะอุณหภูมิแวดล้อมจะลดลง ซึ่งจากการศึกษา พบว่าอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ส่งผลให้ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้น และลดลงจากประสิทธิภาพรวมแผงโซลาร์เซลล์คิดเป็นร้อยละ 15



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่บูรณาการแบบสะเต็มศึกษาเป็นการเรียนรู้ผ่านกิจกรรม หรือ โครงการที่นำเอาสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เป็นสาระหลัก บูรณาการเข้ากับสาระการเรียนรู้เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ เพื่อให้นักศึกษาเกิดทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเครื่องปั๊มสุบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ บูรณาการผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสู่การเรียนการสอนรายวิชา สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม โดยในการจัดกิจกรรมสอดคล้องกับแผนการสอน ขณะเดียวกันการจัดกิจกรรมเกิดประโยชน์ต่อนักศึกษา ยกตัวอย่างเช่น กิจกรรมช่วยให้เกิดการเรียนรู้ร่วมกัน กิจกรรมช่วยเพิ่มทักษะการทำวิจัยสิ่งประดิษฐ์ และความเข้าใจในเนื้อหาสาระการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา สอดคล้องกับผลการวิจัยของ ธรรมบุญ เกียรติกำจร

(2555) ได้ศึกษาโดยใช้ปัญหาเป็นฐานต่อลักษณะการเรียนรู้จากปัญหาด้วยตนเอง พบว่าผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าผู้เรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. เพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ไขปัญหเกี่ยวกับชีวิตประจำวันจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักศึกษามีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ที่บูรณาการแบบสะเต็มศึกษาในระดับมากพบว่า นักศึกษาพอใจมากด้านการเปิดโอกาสสอบถาม วิจารณ์ และเสนอแนวคิดสร้างสรรค์ รองลงมาคือช่วยสร้างองค์ความรู้ใหม่เป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน โดยส่วนใหญ่ นักศึกษามีความเห็นสอดคล้องกันว่ากิจกรรมการบูรณาการด้วยสะเต็มศึกษาสามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้ดีขึ้น

ผลจากขั้นตอนการกระตุ้นการทำงานอย่างเป็นระบบ นักศึกษาได้ฝึกต่อวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และวงจรไฟฟ้า จำลองการทดสอบระบบควบคุมเพื่อติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์อย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ สำหรับความรู้ในการออกแบบทางวิศวกรรม และเทคโนโลยีเพื่อสร้างชิ้นงานผู้สอนจะทำหน้าที่เป็นผู้ให้คำแนะนำดูแล (Adviser) ให้ผู้เรียนมั่นใจในขั้นปฏิบัติกิจกรรม ซึ่งภายหลังการจัดกระบวนการสอนแบบสะเต็มศึกษา ยังมีนักศึกษา 2 - 3 คน ที่เคยเรียนวิชาการออกแบบวงจรด้านอิเล็กทรอนิกส์ สนใจหลักการวงจรควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ โดยต้องการจำลองการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์หรือวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟตรง (Buck Boost Converter) วงจรรักษาระดับแรงดันแบบชุก (CUK Converter) และวงจรแปรผันเซปิค SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter) ด้วยการใช้โปรแกรม OrCAD PSpice เพื่ออ่านค่ากระแส แรงดัน และสัญญาณเอาต์พุตที่เหมาะสมสำหรับแผงโซลาร์เซลล์ที่ต่ออนุกรมกันขนาด 120 วัตต์ จากแนวคิดของนักศึกษาในกลุ่มนี้เป็นการนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงงาน จนในที่สุดก็ประสบผลสำเร็จกลายเป็นโครงงานวงจรควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นักศึกษาสามารถคำนวณการออกแบบระบบเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบไปด้วยขนาดกำลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ (PV) กระแสชาร์จแบตเตอรี่ (I) ความจุแบตเตอรี่ (Q) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ และบอกเหตุผลการตัดสินใจเลือกตัวเลขให้เพียงพอเหมาะสมต่อความต้องการของผู้ใช้งาน เครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์นอกจากนี้ยังวิเคราะห์คำนวณต้นทุนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้านจุดคุ้มทุนเศรษฐกิจ การคำนวณประมาณการค่าใช้จ่ายและสถิติเบื้องต้น สอดคล้องกับ

นิรมิษ เพียรประเสริฐ (2555) กล่าวถึงการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มผ่านหุ่นยนต์ สร้างการมีส่วนร่วมของนักเรียน โดยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จะได้ความรู้เรื่อง ชิ้นส่วน และการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น

นักศึกษาสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำแบบเคลื่อนที่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อต้องการดูดน้ำลึก 4 เมตร ระดับความสูง 4 เมตร โดยการใช้พลังงานเฉพาะ แผงโซลาร์เซลล์โดยตรง พบว่าปริมาณน้ำอัตราเฉลี่ยเท่ากับ 2,397 ลิตรต่อวัน ความเร็วรอบมอเตอร์อยู่ที่ 374 รอบต่อนาที ใช้เฉพาะพลังงานจากแบตเตอรี่ พบว่าปริมาณน้ำอัตราเฉลี่ยเท่ากับ 1,681 ลิตรต่อวัน ความเร็วรอบมอเตอร์เท่ากับ 250 รอบต่อนาที และสูบน้ำโดยใช้ แผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ พบว่าปริมาณการสูบน้ำเพิ่มขึ้นได้อัตราเฉลี่ยเท่ากับ 1,830 ลิตรต่อวัน ใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ 268 รอบต่อนาที

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด และ ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ช่วยเก็บข้อมูลทดสอบในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐชนันต์ เกตุศรีศักดิ์, เจษฎากร โนอินทร์, กิรติ ตันเรือน และพิสิษฐ์ พูลประเสริฐ. (2560). *ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา*. เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติ “นอร์ทเทิร์นวิจัย” ครั้งที่ 3 ประจำปี 2559, 1-9.
- ณัฐธยาน์ ตรีผลา. (2558). *ความพึงพอใจของนักศึกษาวิชา MGT351 พฤติกรรมองค์การ และการพัฒนาองค์การที่มี ต่อการเรียนรู้เชิงรุก*. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม (ครั้งที่ 10).
- เทพกัญญา พรหมชาติแก้ว. (2556). *ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโครงการ (Project Based Learning: PBL)*. *นิตยสาร สสวท*, 42(185), 4-17.

- ธรรมบุญ เกียรติกำจร. (2556). การพัฒนาการเรียนการสอนโดยใช้ปัญหาเป็นฐาน: องค์การกำกับดูแลกิจการbinพลเรือน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*, 7(1), 46-49.
- ธวัช ชิตตระการ. (2555). *การพัฒนากระบวนการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมผ่านโปรแกรม STEM*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา.
- นิรมิข เพียรประเสริฐ. (2555). เรียนรู้แบบ STEM ผ่าน “หุ่นยนต์”: สร้างการมีส่วนร่วมของนักเรียน. *วารสาร สสวท.*, 42(185), 22-25.
- บรรจบ สุขประภาภรณ์. (2556). *พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บุญลอย มุลน้อย. (2559). *ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่เพิ่มทักษะการคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง วงจรไฟฟ้าของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. การประชุมสัมมนาวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา และการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 16.*
- ปาริชาติ ประเสริฐสังข์ และ ประสาท เนืองเฉลิม. (2555). การเรียนการสอนที่เน้นการบริการสังคม. *วารสารวิชาการ ครุศาสตร์*. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 15(1), 36-49.
- พรทิพย์ ศิริภัทรชัย. (2556). STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. *วารสารนักบริหาร*, 33(2), 49-56.
- พิจิตร อุตตะโปน. (2550). *ชุดการเรียนการสอนโดยใช้ปัญหาเป็นฐาน เรื่อง การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. (วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ).*
- มนตรี จุฬารัตนพล. (2556). การศึกษาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ หรือ “สะเต็ม”. *สมาคมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย*, 19, 3-14.
- มณฑรา ธรรมบุศย์. (2549). *สมรรถนะ ของนักบริหารการศึกษามืออาชีพ*. [ม.ป.ท.]: [ม.ป.พ.]

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *สะเต็มศึกษา Science Technology Engineering and Mathematics (STEM Education)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุพรรณิ ขาญประเสริฐ. (2557). สะเต็มศึกษากับการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21. *วารสาร สสวท.*, 42(186), 3-5.
- อภิสิทธิ์ ธงไชย. (2555). *สรุปบรรยายพิเศษเรื่อง Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education: Preparing students for the 21st Century*. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2560, จาก <http://designtechnology.ipst.ac.th/uploads/STEMeducation.pdf>
- อาทิตยา ภูมิคอนสาร, กมล พลคำ และ นกุล กุดแถลง. (2560). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษา*. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 1 “นวัตกรรมสร้างสรรค์ศาสตร์พระราชาสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนไทยแลนด์ 4.0”. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2560, จาก <https://conference2017.reru.ac.th/wp-content/uploads/2017/09/EDU-05.pdf>
- Breiner, J. M., Carla, C. J., Harkness, S. S., & Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and Shelly Sheats Harkness Partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3-11.
- Dejarnette, N. (2012). America's children: providing early exposure to STEM (science, technology, engineering and math) initiatives. *Education*, 132(1), 77-84.
- Tonui, J. K., & Tripanagnostopoulos, Y. (2007). Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. *Science Direct Renewable Energy*, 32, 623-637.