การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องงานและพลังงาน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

An action research on developing 10th Grade students' scientific problem solving using problem based learning strategies based on STEM education in the topic of Work and Energy

นันทชา อัมฤทธิ์*, ธิติยา บงกชเพชร และ ศราวุฒิ เถื่อนถ้ำ

ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

*Corresponding author, E-mail: junior.mommam.14@gmail.com, โทร. 091-8420261

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนที่มีจุดประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน และ 2) ศึกษาการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนโครงการส่งเสริมความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี จำนวน 40 คน ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 ซึ่งได้จากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา แบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ แบบบันทึกการแก้ปัญหา แบบสังเกตพฤติกรรมการจัดการเรียนรู้ และแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลทั้งเชิงปริมาณ ได้แก่ ร้อยละและค่าเฉลี่ย และเชิงคุณภาพ ได้แก่ วิเคราะห์เนื้อหา

ผลการวิจัยพบว่า 1) วิธีการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ควรมีลักษณะดังนี้ ครูควรจัดสภาพการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับเรื่องงานและพลังงาน และสามารถบูรณาการความรู้กับสาขาวิชาคณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีได้ อีกทั้งใช้คำถามกระตุ้นกระบวนการคิดของนักเรียนและมุ่งเน้นการอภิปรายกลุ่ม โดยนักเรียนต้องมีโอกาสได้ทบทวนความรู้ที่เกี่ยวข้องทั้งในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ และสรุปเป็นความเข้าใจของตนเอง เพื่อนำมาเสนอวิธีการแก้ปัญหาตามกระบวนการทางวิศวกรรม ผ่านการสร้างและประเมินแบบจำลองด้วยนักเรียนเอง โดยครูต้องเตรียมอุปกรณ์สำหรับสร้างแบบจำลองอย่างหลากหลาย เพื่อบูรณาการความรู้ทางเทคโนโลยี นอกจากนี้ครูต้องนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาเป็นส่วนที่จำเป็นต่อการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ เพราะช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้เป็นอย่างดี และพบว่า 2) นักเรียนสามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้ครบทุกพฤติกรรมหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

***คำสำคัญ**: การแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็น ฐานสะเต็มศึกษา*

Abstract

This research is classroom action research. The main purposes of this research were 1) to find the problem based learning strategies based on STEM education in the topic of Work and Energy to be suitable for developing scientific problem solving of 10th grade students and 2) to find the developing scientific problem solving of 10th grade students through problem based learning strategies based on STEM education in the topic of Work and Energy. The participants were 40 grade 10 students who are in promoting the science, math and technology program in the second semester of 2015 academic year. They were selected by purposive sampling. The research instrument used in this study comprised of the lesson plan about problem based learning strategies based on STEM education, the problem solving ability test, the solution process note, the learning observation and the reflection note. The data was analyzed by using percentage mean and content analysis.

The results of the research illustrated that 1) the problem based learning strategies based on STEM education to be suitable for developing scientific problem solving looks like this: teacher should apply the situation related to work and energy topic and it can be integrated with Mathematics, Engineering and Technology content. Besides,teacher should use questions to encourage students to solve the problem along with group discussions. Students must have the opportunity to review the knowledge in Science and Mathematics. After that students conclude it in their understanding andbrought it to design the way to solve the problem by engineering processes. Students must create and evaluate model by themselves. So, teacher should prepare many model's instrument for integration technology. In addition, teachers must apply scientific principles in a necessary part of problem solving. It enhances the ability to solve scientific problems of students as well. Moreover, 2) we found that all of ability to scientific problems solving of students has been increased after learning, using problem based leased learning on STEM education approach.

***Keywords**: Scientific Problem Solving, Problem Based Learning, STEM Education*

บทนำ

การแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ถือเป็นการแก้ปัญหาที่อยู่ในระดับสูงและใช้ได้ผลที่สุดกับปัญหาที่มีความยากและสลับซับซ้อน (สมจิต สวธนไพบูลย์, 2526 อ้างถึงใน สุวิชา วันสุดล, 2554) และถือเป็นความสามารถที่มีความสำคัญอย่างมากในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจมากขึ้น ส่งผลให้วิถีชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ปัญหาและสถานการณ์ในปัจจุบันและอนาคตจึงมีความซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับ (พรรณพร นามโนรินทร์, 2554) ดังนั้นประชาชนจำต้องใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาแก้ไข (Mayer, 2003, as cited in Greiff, V.Holt, & Funke, 2013)

ผลการประเมินระดับนานาชาติและระดับชาติชี้ให้เห็นว่า นักเรียนไทยส่วนใหญ่ยังคงขาดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ อันจะเห็นได้จากโครงการประเมินผลการเรียนนานาชาติ (PISA) ขององค์กรความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจ (OECD) ในปี 2003 ที่มุ่งประเมินสมรรถนะการแก้ปัญหาบนพื้นฐานความรู้วิทยาศาสตร์ ผลการทดสอบพบว่านักเรียนไทยที่ไม่มีทักษะการแก้ปัญหามีจำนวนมากถึง 81% ซึ่งจัดเป็นกลุ่มเสี่ยงที่อาจประสบความยุ่งยากในอนาคต

(สุนีย์ คล้ายนิล, 2549) สอดคล้องกับผลการประเมินระดับชาติอย่างการทดสอบความถนัดทางวิทยาศาสตร์ (PAT2) ที่วัดการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะดำเนินการสอบอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง ผลการประเมินในปี 2557 ครั้งที่ 1 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 89.84 และครั้งที่ 2 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 93.51 จากคะแนนเต็ม300คะแนน จะเห็นว่าคะแนนเฉลี่ยของการสอบแต่ละครั้งอยู่ในระดับต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของคะแนนเต็ม (National Institute of Educational Testing Service, 2014) ข้อมูลเหล่านี้ช่วยยืนยันว่านักเรียนไทยยังขาดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์

นอกจากผลการประเมินข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในห้องเรียนที่ผู้วิจัยเป็นผู้สอน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2558 รายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม โดยใช้เครื่องมือวิจัย 2 ชนิด ได้แก่ แบบสังเกตพฤติกรรมการแก้ปัญหาและแบบบันทึกผลการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม เก็บข้อมูลโดยแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มและให้นักเรียนออกแบบการทดลองจากอุปกรณ์ที่กำหนดให้จำนวน 2 การทดลอง เป็นเวลาทั้งหมด 1 ชั่วโมง 30 นาทีผลการศึกษาพบว่า นักเรียนทั้งหมดสามารถระบุปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดได้ แต่ร้อยละ 62.5 ของนักเรียนตั้งสมมติฐานไม่ได้ ต้องได้รับคำแนะนำจากครูผู้สอน และนักเรียนร้อยละ 75 ไม่สามารถเสนอวิธีการตรวจสอบสมมติฐานและวิธีการที่เหมาะสมที่สุดมาดำเนินทดลองได้ อีกทั้งนักเรียนทั้งหมดนำวิธีการที่เหมาะสมมาปฏิบัติจริงไม่ได้ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ครูผู้สอนในรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐานที่เป็นครูชำนาญการพิเศษทำให้ทราบว่า ถึงแม้การจัดการเรียนรู้ในปัจจุบันจะเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำการทดลองหรือแก้ปัญหาการทดลองในชั้นเรียน แต่นักเรียนไม่ได้เรียนรู้ด้วยตนเอง เพราะทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในใบการทดลองที่ครูแจกให้ นักเรียนจึงมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในระดับต่ำ คือ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ไม่มุ่งเน้นให้นักเรียนถ่ายโอนความรู้ความสามารถระหว่างโรงเรียนและชีวิตประจำวัน (Baumert, Evans and Geiser, 1998) การบูรณาการความรู้ที่ไม่สอดคล้อง (PeerawongCh., 2010) และการให้ความสำคัญกับกระบวนการแก้ปัญหามากเกินไป (Taconis, Ferguson-Hessler and Broekkamp, 2001) เนื่องจากในความเป็นจริงการบูรณาการความรู้เพื่อแก้ปัญหามีความสำคัญมากกว่าลำดับขั้นตอนที่ถูกต้อง ดังนั้นครูควรเปลี่ยนการจัดการเรียนรู้แบบเดิมมาเป็นการบูรณาการความรู้อย่างสอดคล้องกับชีวิตประจำวันและมุ่งเน้นการปฏิบัติจริง เพราะเป็นวิธีหนึ่งที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ (Lind, 2000, as cited in Ünal & Aral, 2014)

สะเต็มศึกษาเป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 สหวิทยาการ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ อย่างสอดคล้อง โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหา รวมทั้งพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตและการทำงาน (Koehler, Faraclas, Giblin, Moss & Kazerounian, 2013 อ้างถึงใน สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2557) และเป็นแนวการจัดการเรียนรู้ที่ไม่เน้นเพียงการท่องจำทฤษฎีหรือกฎทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ แต่เป็นการสร้างความเข้าใจทฤษฎีหรือกฎเหล่านั้นผ่านการปฏิบัติจริงควบคู่กับการพัฒนาความสามารถในการคิดตั้งคำถาม แก้ปัญหา และหาข้อมูล แล้วนำข้อค้นพบใหม่ๆ มาวิเคราะห์ เพื่อใช้บูรณาการกับชีวิตประจำวันได้ (Bodger, 2010)

การจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับสะเต็มศึกษา กล่าวคือผู้เรียนมุ่งแก้ปัญหาและแสวงหาความรู้ผ่านสถานการณ์ปัญหาที่เป็นตัวกระตุ้น แต่การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานใช้ความรู้ภายในศาสตร์ที่ศึกษาเท่านั้น (อภิชัย เหล่าพิเดช และอรพิณ ศิริสัมพันธ์, 2556) ซึ่งไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน (Lou, Shih, Diez & Tseng, 2011) ดังนั้นการนำแนวทางการบูรณาการความรู้ของสะเต็มศึกษามาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานจะสามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lou, Shih, Diez and Tseng (2011) ที่ทำการสำรวจผลกระทบของการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานที่ใช้การบูรณาการในสาขาวิชาสะเต็มศึกษาต่อทัศนคติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในไต้หวันพบว่านักเรียนมีทัศนคติต่อการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามากขึ้น อีกทั้ง

พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานที่มุ่งเน้นการบูรณาการแบบสะเต็มศึกษาช่วยส่งเสริมนักเรียนให้แก้ปัญหาต่างๆ ทีละขั้นตอนและนำไปสู่ความสำเร็จ

จากสภาพปัญหาและแนวคิดดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะทำการศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน
2. เพื่อศึกษาการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ระเบียบวิธีวิจัย: ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนของ Schumuck ในปี 2006 (Kijkuakul S., 2014) ซึ่งมี 4 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นวางแผน ขั้นปฏิบัติ ขั้นสังเกต และขั้นสะท้อนผล
2. กลุ่มเป้าหมาย: นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนโครงการส่งเสริมความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 40 คน ที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง
3. บริบทการทำวิจัย: โรงเรียนที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูล คือ โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม เป็นศูนย์สะเต็มศึกษาที่มีอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และสื่อการเรียนรู้ที่เอื้ออำนวยต่อการจัดการเรียนรู้ นอกจากนี้ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มนักเรียนในโครงการส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการจัดการเรียนรู้แตกต่างจากห้องเรียนปกติ กล่าวคือนักเรียนจะได้เรียนเนื้อหาทฤษฎีแยกออกจากการเรียนปฏิบัติการอย่างชัดเจน

นิยามศัพท์เฉพาะ

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง งาน พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล กำลัง และเครื่องกล ที่ได้จากประสบการณ์การเรียนรู้มาใช้แก้ปัญหาให้บรรลุจุดมุ่งหมายที่ต้องการ โดยนักเรียนต้องแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด 5 พฤติกรรม ได้แก่ 1) กำหนดปัญหาและความสำคัญของปัญหา 2) ตั้งสมมติฐานหรือบอกสาเหตุของปัญหา 3) เสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา 4) เลือกวิธีการปฏิบัติที่เหมาะสม และ 5) นำวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมมาใช้ปฏิบัติจริงหรือทำนายผลการแก้ปัญหา ซึ่งวัดได้จากแบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และแบบบันทึกกระบวนการแก้ปัญหา

การจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่องงานและพลังงาน ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้แก้ปัญหาและบูรณาการความรู้ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยใช้สถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงหรือใกล้เคียงชีวิตประจำวันมากระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจและต้องการหาความรู้มาแก้ปัญหาผ่านการทำงานเป็นกลุ่ม ซึ่งผู้วิจัยใช้ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของ Lou, Shih, Diez and Tseng (2010, p.199) ที่มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นยืนยันปัญหา เป็นขั้นที่ครูผู้สอนกำหนดสถานการณ์ปัญหามาให้นักเรียน และใช้คำถามสำคัญที่เกี่ยวข้องกับปัญหาดังกล่าวถามนักเรียน เพื่อยืนยันปัญหาและให้นักเรียนร่วมระบุและอธิบายปัญหาผ่านการอภิปรายในชั้นเรียน

ขั้นที่ 2 ขั้นชี้แจงปัญหา เป็นขั้นที่นักเรียนแต่ละกลุ่มจะได้อภิปรายเพื่อระบุองค์ประกอบสำคัญของปัญหา และร่วมกันอภิปรายวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้ประเด็นความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 3 ขั้นวางแผน เป็นขั้นที่นักเรียนจะได้วางแนวในการสร้างแบบจำลอง รวมถึงวางกรอบการทำงานและพิจารณากระบวนการผลิตที่เป็นไปได้

ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนการสำรอง เป็นขั้นที่นักเรียนได้วางแผนและกำหนดขั้นตอนสำรองหรือเพิ่มเติมจากการพิจารณาในขั้นก่อนหน้า เพื่อเผชิญหน้ากับอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในการปฏิบัติงานจริง

ขั้นที่ 5 ขั้นปรับโครงสร้าง เป็นขั้นที่นักเรียนจะเริ่มสร้างแบบจำลองของตนเองเพื่อแก้ปัญหาตามแผนการที่กำหนด นอกจากนี้นักเรียนจะต้องอธิบายถึงลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองอย่างง่ายได้

ขั้นที่ 6 ขั้นประเมิน เป็นขั้นการประเมินแบบจำลองในขั้นก่อนหน้า หากประเมินแบบจำลองแล้วพบว่าแบบจำลองยังไม่สมบูรณ์ นักเรียนจะได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง พร้อมกับอธิบายกระบวนการและสิ่งที่ได้เรียนรู้จากขั้นตอนนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น5 ชนิด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 6 ขั้น ได้แก่ ขั้นยืนยันปัญหา ขั้นชี้แจงปัญหา ขั้นวางแผนขั้นวางแผนการสำรอง ขั้นปรับโครงสร้าง และขั้นประเมิน โดยแบ่งออกเป็นจำนวน 3 แผน ได้แก่ เรื่องพลังงานศักย์โน้มถ่วงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล และเครื่องกลอย่างง่าย

2. แบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์เป็นแบบทดสอบแบบอัตนัยที่มีทั้งหมด 5 สถานการณ์ โดยแต่ละสถานการณ์ประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 5 ข้อเพื่อให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมทั้ง 5 ตามนิยามศัพท์เฉพาะ เพื่อนำมาประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

3. แบบบันทึกการแก้ปัญหา เป็นแบบบันทึกกระบวนการแก้ปัญหาของนักเรียนในแต่ละวงจรซึ่งประกอบด้วยข้อคำถามที่เพื่อให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมทั้ง 5 ตามนิยามศัพท์เฉพาะ เพื่อนำมาประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระหว่างจัดการเรียนรู้

4. แบบสังเกตพฤติกรรมการจัดการเรียนรู้ เป็นแบบสังเกตที่ผู้เชี่ยวชาญและผู้วิจัยใช้สะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจร โดยแบบสังเกตมุ่งถามเกี่ยวกับสถานการณ์ การใช้คำถาม และกิจกรรมว่าช่วยพัฒนาความสามารถการแก้ปัญหาของนักเรียนได้หรือไม่ อย่างไร เพื่อนำผลการสังเกตมาอธิบายถึงวิธีการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์

5.แบบสะท้อนผลการเรียนรู้ เป็นแบบสอบถามของนักเรียนที่มุ่งถามเกี่ยวกับระยะเวลาการจัดการเรียนรู้ ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างเรียน และความต้องการเพิ่มเติมเพื่อนำผลการสอบถามมาอธิบายถึงวิธีการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์

เครื่องมือวิจัยทั้งหมดได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คณะศึกษาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 1 ท่าน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ จำนวน 1 ท่าน ครูที่ประจำการที่สอนในรายวิชาฟิสิกส์ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านงานและพลังงาน 1 ท่าน

วิธีการรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเป็นผู้สอนและดำเนินการเก็บข้อมูลในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 เรื่องงานและพลังงาน โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. ขั้นวางแผนผู้วิจัยพบปัญหาในชั้นเรียนว่า นักเรียนขาดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ จากการวิเคราะห์แบบบันทึกผลการทดลอง เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม และแบบสังเกตพฤติกรรมการแก้ปัญหา ผู้วิจัยจึงศึกษาเอกสารและงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่าการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีแนวโน้มที่จะช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ ผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา พร้อมทั้งสร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้นผู้วิจัยทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนก่อนได้รับการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยแบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์

2. ขั้นปฏิบัติ ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องพลังงานศักย์โน้มถ่วงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล และเครื่องกลอย่างง่าย เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทั้งหมด 16 ชั่วโมง โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้วิจัยได้สะท้อนข้อเสนอแนะลงในแบบสังเกตพฤติกรรมการจัดการเรียนรู้ส่วนนักเรียนได้บันทึกรายละเอียดการแก้ปัญหาลงในแบบบันทึกการแก้ปัญหา และบันทึกสิ่งที่เกิดขึ้นจริงลงในแบบสะท้อนผลการเรียนรู้

3. ขั้นสังเกต ผู้วิจัยได้รายงานผลการจัดการเรียนรู้จากหลักฐานทั้งหมดและสรุประดับความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เพื่อนำไปสู่การสะท้อนผลในขั้นตอนต่อไป

4. ขั้นสะท้อนผล ผู้วิจัยประเมินสิ่งที่ได้จากการปฏิบัติทั้งหมดในชั่วโมงเรียนหนึ่ง ทั้งจุดเด่น สิ่งที่ปฏิบัติแล้วได้ผล สิ่งที่ปฏิบัติแล้วไม่ได้ผล แล้วได้เป็นแนวทางในการปฏิบัติเพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ในชั่วโมงต่อไปจนครบทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ หลังจากนั้นผู้วิจัยทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนหลังได้รับการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยแบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ฉบับเดิม

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสังเกตพฤติกรรมการจัดการเรียนรู้ และแบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ เพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ การวิเคราะห์เนื้อหา คือเริ่มอ่านบันทึกจากทั้ง 2 เครื่องมือ จากนั้นจัดระเบียบข้อมูลและใส่รหัสข้อมูลโดยใช้วลีสั้นๆ จากนั้นจัดกลุ่มข้อมูลที่มีรหัสเดียวกันเข้าด้วยกัน โดยใส่แหล่งที่มาของข้อมูลพร้อมกับลงวันที่ เวลา และผู้ให้ข้อมูล จากนั้นสรุปผลการสะท้อน

2. ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ และแบบบันทึกกระบวนการแก้ปัญหาของนักเรียน เพื่อศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน

เมื่อจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 3 วงจร ผู้วิจัยสามารถสรุปแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน ได้ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นยืนยันปัญหา ครูควรแสดงสถานการณ์ที่พบได้ในชีวิตประจำวันและมีความเกี่ยวข้องกับเรื่องงานและพลังงานที่สามารถบูรณาการความรู้กับวิชาคณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีได้ โดยสถานการณ์นั้นต้องเหมาะสมและสอดคล้องกับพื้นฐานของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากนั้นใช้คำถามกระตุ้นกระบวนการคิดของนักเรียน เช่น “จากสถานการณ์ดังกล่าว นักเรียนคิดว่าปัญหาที่เกิดขึ้นของสถานการณ์นี้คืออะไร”เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกกำหนดปัญหาด้วยตนเอง โดยครูต้องไม่เฉลยคำตอบที่ถูกต้องก่อน นอกจากนี้ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละคนนำปัญหาที่ตนเองกำหนดมาอภิปรายและแลกเปลี่ยนแนวคิดภายในกลุ่ม เพื่อสรุปปัญหาของกลุ่มเป็นการพัฒนาพฤติกรรมการอธิบายปัญหาและความสำคัญของปัญหา

ขั้นที่ 2 ขั้นชี้แจ้งปัญหา ครูควรใช้คำถามกระตุ้นกระบวนการคิดของนักเรียนที่ต่อเนื่องจากขั้นที่ 1 เช่น “จากปัญหาที่นักเรียนระบุ นักเรียนคิดว่าสาเหตุของปัญหาคืออะไร” เพื่อให้นักเรียนอธิบายสาเหตุของปัญหาด้วยตนเอง และควรเปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละคนนำสาเหตุที่ตนเองอธิบายมาอภิปรายภายในกลุ่ม เพื่อระบุองค์ประกอบของปัญหาและสรุปสาเหตุของปัญหาโดยใช้ความรู้ เรื่องงานและพลังงาน จากนั้นครูควรนำปัญหาที่สรุปได้จากขั้นที่ 1 และสาเหตุที่สรุปได้จากขั้นที่ 2 ของนักเรียนแต่ละกลุ่มมาแสดงให้นักเรียนทุกคนในห้องได้เห็นอย่างชัดเจน พร้อมทั้งร่วมกันอภิปรายว่า ปัญหาและสาเหตุใดสอดคล้องกัน และใช้ความรู้ เรื่องงานและพลังงาน มาอธิบายได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้นักเรียนทุกคนต้องมีโอกาสได้ทบทวนความรู้ที่เกี่ยวข้องทั้งในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์จากแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลาย และสรุปความรู้เหล่านั้นเป็นความเข้าใจของตนเอง แล้วนำมาระดมความคิดกันเพื่อเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา

ขั้นที่ 3 ขั้นวางแผน ครูต้องเตรียมอุปกรณ์สำหรับออกแบบหรือสร้างแบบจำลองอย่างหลากหลาย เพื่อให้นักเรียนได้บูรณาการความรู้ทางเทคโนโลยี แต่ต้องจำกัดจำนวนอุปกรณ์เพื่อลดการแก้ปัญหาแบบลองผิดลองถูกเนื่องจากนักเรียนต้องวางแผนการสร้างที่แม่นยำเสียก่อนเพื่อไม่ให้เสียอุปกรณ์ไปอย่างฟุ่มเฟือย ในขณะจัดการเรียนรู้ครูต้องแสดงอุปกรณ์ต่างๆ ให้นักเรียนทราบอย่างชัดเจน พร้อมทั้งอธิบายเงื่อนไขการสร้างและเกณฑ์การประเมินแบบจำลอง เพื่อให้นักเรียนทราบว่าควรประดิษฐ์แบบจำลองอย่างไรให้ได้คะแนนมากที่สุด จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มจะระดมความคิดกันเพื่อวางแผนการสร้างแบบจำลอง โดยครูต้องอธิบายให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของการวางแผนว่าเป็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนทราบแนวทางการสร้างแบบจำลองโดยไม่ต้องใช้เวลานาน ดังนั้นครูต้องตรวจสอบว่านักเรียนทุกกลุ่มใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการวางแผนการหรือไม่ ข้อเน้นย้ำของการจัดการเรียนรู้ในขั้นนี้คือครูต้องนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาเป็นส่วนที่จำเป็นต่อการวางแผน เช่น การวางแผนสร้างบันจี้จัมพ์ นักเรียนจะได้ออกแบบบันจี้จัมพ์และคำนวณหาระยะยืดของสปริงโดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน หากนักเรียนคำนวณหาระยะยืดไม่ได้จะส่งผลให้นักเรียนเลือกความยาวของเชือกและอุปกรณ์อื่นผิดพลาดด้วย

ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนการสำรอง ครูต้องเน้นย้ำให้นักเรียนเห็นความสำคัญของแผนการสำรองว่า เป็นสิ่งที่จะช่วยให้นักเรียนแก้ปัญหาหรือปรับปรุงข้อผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว เพราะไม่ต้องวางแผนการใหม่ เพียงแค่นำแผนการสำรองมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสม หลังจากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มจะระดมความคิดกันเพื่ออธิบายแผนการสำรอง การจัดการเรียนรู้ในขั้นนี้มีข้อเน้นย้ำเช่นเดียวกับขั้นวางแผน นั่นคือนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มาเป็นส่วนที่จำเป็นต่อการวางแผนการสำรอง

ขั้นที่ 5 ขั้นปรับโครงสร้าง ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนมารับอุปกรณ์ โดยครูต้องเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทดลองสร้างแบบจำลองตามแผนการหลักและแผนการสำรองและนักเรียนจะเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมเอง พร้อมให้เหตุผลว่าทำไมจึงเลือกสร้างแบบจำลองในลักษณะนี้ เนื่องด้วยกิจกรรมสร้างแบบจำลองเป็นกิจกรรมที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ลงมือ

ปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา ฉะนั้นครูควรแบ่งเวลาจัดการเรียนรู้ในขั้นนี้ให้มากกว่าขั้นอื่นๆ หรือประมาณ 1 ชั่วโมง เพราะนักเรียนจะต้องใช้เวลาสร้าง ทดสอบ และเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นที่ 6 ขั้นประเมิน ครูและนักเรียนควรร่วมกันประเมินแบบจำลองตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยนักเรียนทุกกลุ่มต้องมีโอกาสได้นำเสนอผลงานของตนเอง โดยจะนำเสนอผลงานก่อนหรือหลังการประเมินก็ได้ อย่างไรก็ตามครูต้องสรุปกิจกรรมและความรู้ที่นักเรียนได้รับอีกครั้ง เพื่อแก้ไขความเข้าใจที่ผิดพลาดของนักเรียนและเสริมความรู้ที่นักเรียนขาด

ตอนที่2 เพื่อศึกษาการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน

ผลการวิเคราะห์แบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และแบบบันทึกการแก้ปัญหาพบว่านักเรียนพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้หลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจากตารางที่ 1 จะเห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยก่อนเรียนแบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์เพียงร้อยละ 43.25 แต่เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องพลังงานศักย์โน้มถ่วงกับเส้นทางการเคลื่อนที่ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกลความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นใกล้เคียงร้อยละ 60.0 และความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 80.0 เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องเครื่องกลอย่างง่าย และหลังเรียนแบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและร้อยละของความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อน ระหว่าง และหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ระยะเวลา	$\bar{x}$	คะแนนเต็ม	ร้อยละ
ก่อนเรียนแบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	21.63	50	43.25
ขณะเรียนแบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเรื่องพลังงานศักย์โน้มถ่วงกับเส้นทางการเคลื่อนที่	6.0	10	60.0
ขณะเรียนแบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกล	6.13	10	61.25
ขณะเรียนแบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องเครื่องกลอย่างง่าย	8.50	10	85.0
หลังเรียนแบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	42.06	50	84.12

นักเรียนสามารถแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้แตกต่างกันออกไปในแต่ละช่วงเวลาดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คะแนนเฉลี่ยของพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อน ระหว่าง และหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

พฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์	$\bar{x}$ ก่อนเรียน (10)	$\bar{x}$ ระหว่างเรียน วงจรที่ 1 (10)	วงจรที่ 2 (10)	วงจรที่ 3 (10)	$\bar{x}$ หลังเรียน (10)
การกำหนดปัญหา	4.30	4.38	5.63	6.87	8.05
การตั้งสมมติฐานหรือบอกสาเหตุของปัญหา	4.025	5.0	6.25	7.50	8.30
การเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา	5.225	6.88	8.75	10.0	9.48
การเลือกวิธีการปฏิบัติที่เหมาะสม	4.55	7.50	8.75	9.38	8.85
การนำวิธีการแก้ปัญหามาปฏิบัติจริงหรือทำนายผลการแก้ปัญหา	3.525	6.25	7.50	8.75	7.40

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่านักเรียนพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างต่อเนื่องในทุกพฤติกรรม อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาและการเลือกวิธีการปฏิบัติที่เหมาะสมเป็นพฤติกรรมที่นักเรียนสามารถแสดงออกได้มากที่สุดตลอดการจัดการเรียนรู้

อภิปรายผล

ตอนที่ 1 การศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน

หลังทำการศึกษาพบว่า วิธีการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มุ่งเน้นการอภิปรายและลงมือปฏิบัติจริง สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ในขั้นยืนยันปัญหาและชี้แจงปัญหา ผู้วิจัยมุ่งเน้นให้นักเรียนอภิปรายคำตอบภายในกลุ่มและหน้าชั้นเรียนทำให้นักเรียนได้วิเคราะห์และแสดงความคิดเห็นเพื่อสรุปปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง กิจกรรมนี้ช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาพฤติกรรมการกำหนดปัญหาและบอกสาเหตุของปัญหา นอกจากนี้การให้นักเรียนได้ทบทวนความรู้ที่เกี่ยวข้องก่อนเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา ช่วยให้นักเรียนเข้าใจกับหลักการทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ และสามารถเชื่อมโยงกฎและทฤษฎีต่างๆ เข้ากับสถานการณ์เพื่อนำมาวางแนวทางการแก้ปัญหาได้ ซึ่งช่วยพัฒนาพฤติกรรมการเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา ในขั้นวางแผนและวางแผนการสำรอง นักเรียนจะนำความรู้ดังกล่าวมาวางแผนสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาตามกระบวนการทางวิศวกรรม ซึ่งส่งเสริมการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และลดการแก้ปัญหาแบบลองผิดลองถูกของนักเรียนได้ เพราะนักเรียนต้องประยุกต์กฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์กับการวางแผนการแก้ปัญหา ขั้นปรับโครงสร้างเป็นขั้นที่นักเรียนจะสร้างแบบจำลองตามแผนการที่วางไว้ เป็นการเชื่อมโยงกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์เข้ากับการลงมือปฏิบัติ โดยนักเรียนต้องเลือกแผนการเหมาะสมที่สุดมาสร้าง หากเกิดข้อบกพร่องนักเรียนสามารถนำแผนการสำรองมาปรับปรุงแผนการเดิมได้ ดังนั้นนักเรียนจะได้พัฒนาพฤติกรรมการเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมและการนำเอาวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมมาปฏิบัติจริง ในขั้นการประเมินมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของตนเองว่าสามารถนำวิธีการที่เหมาะสมมาปฏิบัติจริงเพื่อแก้ปัญหาได้หรือไม่ เพื่อประโยชน์ในครั้งต่อไป ในทุกขั้นของการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยส่งเสริมให้นักเรียนได้บูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์เข้ากับเทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เพราะถือเป็นส่วนสำคัญที่

สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาที่ซับซ้อนต่างๆ ได้ ซึ่งการบูรณาการความรู้จะช่วยให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหา สอดคล้องกับลิน (Lind, 2000, as cited inÜnal and Aral, 2014) ที่กล่าวว่าการบูรณาการองค์ความรู้เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ มีความสำคัญมากกว่าลำดับขั้นตอนที่ถูกต้อง เพราะเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lou, Shih, Diez และ Tseng (2011) กล่าวว่าการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานที่ใช้การบูรณาการแบบสะเต็มศึกษาช่วยส่งเสริมนักเรียนให้แก้ปัญหาต่างๆ ทีละขั้นตอนและนำไปสู่ความสำเร็จ และมีแนวโน้มว่านักเรียนจะได้รับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความรู้คณิตศาสตร์ที่มั่นคงมากขึ้น

สถานการณ์ที่นำมาใช้จัดการเรียนรู้ก็ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสถานการณ์จะช่วยกระตุ้นความสนใจของนักเรียนและทำให้นักเรียนทราบถึงปัญหาได้อย่างชัดเจน ในขั้นยืนยันปัญหาผู้วิจัยจึงเลือกสถานการณ์ที่มีความสอดคล้องกับเนื้อหาสาระและพื้นฐานความรู้ของนักเรียน นักเรียนจะได้กำหนดปัญหาที่สอดคล้องกับสถานการณ์ได้ อีกทั้งสถานการณ์นั้นต้องเป็นปัญหาที่มีแนวทางการแก้ปัญหาอย่างหลากหลาย สอดคล้องกับที่สายหยุด สมประสงค์ (2523, อ้างถึงใน พรรณพร นามโนรินทร์, 2554) กล่าวว่าการที่จะคิดแก้ปัญหาต่างๆ ได้ ผู้สอนต้องจัดสถานการณ์ที่เป็นสถานการณ์ใหม่ และมีวิธีการแก้ปัญหาได้หลายวิธี อีกทั้งปัญหานั้นต้องอยู่ในกรอบทักษะเชาว์ของนักเรียน นอกจากนี้ผู้วิจัยใช้คำถามเป็นส่วนสำคัญในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งช่วยกระตุ้นความคิดของนักเรียนได้เป็นอย่างดี ทำให้นักเรียนมีความสนใจในกิจกรรมตลอดการจัดการเรียนรู้ สอดคล้องสายหยุด สมประสงค์ (2523, อ้างถึงใน พรรณพร นามโนรินทร์, 2554) ที่กล่าวว่า ผู้สอนไม่ควรบอกวิธีการแก้ปัญหาให้นักเรียนตรงๆ เพราะถ้าบอกแล้ว นักเรียนจะไม่ได้ใช้ยุทธศาสตร์ของการคิดแก้ปัญหา

ตอนที่ 2 การศึกษาการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องงานและพลังงาน

หลังการศึกษาพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษานักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าร้อยละ 50 เพราะนักเรียนไม่สามารถนำกฎและทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มาเชื่อมโยงเข้ากับสถานการณ์ในชีวิตประจำวันเพื่อแก้ปัญหาได้จึงไม่สามารถแก้ปัญหาได้

เมื่อจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องพลังงานศักย์โน้มถ่วงกับเส้นทางการเคลื่อนที่และเรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกล ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 60.0 เนื่องจากนักเรียนได้แก้ปัญหาผ่านการอภิปรายกลุ่มและลงมือปฏิบัติจริง โดยนำกฎและทฤษฎีเรื่องงานและพลังงานมาเป็นส่วนหนึ่งของการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยยังไม่เน้นให้นักเรียนเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้อย่างชัดเจน ใช้สื่อและอุปกรณ์การเรียนที่ไม่หลากหลาย และแบ่งเวลาการเรียนรู้ได้ไม่เหมาะสมเท่าที่ควร ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนทั้ง 2 วงจรจึงไม่แตกต่างกันมาก ในขณะที่ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนในระหว่างจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องเครื่องกลอย่างง่าย เนื่องจากผู้วิจัยเน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางมากขึ้น โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนอธิบายปัญหา ความสำคัญของปัญหา และอธิบายสาเหตุของปัญหาเป็นรายบุคคล อีกทั้งให้นักเรียนศึกษาและทบทวนความรู้จากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายก่อนได้เสนอวิธีการปฏิบัติและวางแผนสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหา รวมทั้งแบ่งเวลาการเรียนรู้ให้เหมาะสมมากขึ้น โดยเฉพาะในขั้นปรับโครงสร้างหรือสร้างแบบจำลอง

เมื่อวิเคราะห์แบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์หลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาพบว่า ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนน้อยกว่าในระหว่างจัดการ

เรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องเครื่องกลอย่างง่ายอาจเป็นเพราะแบบทดสอบมุ่งวัดมโนมติที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาเป็นรายบุคคล ในขณะที่การวัดระหว่างจัดการเรียนรู้เป็นการวัดรายกลุ่ม นักเรียนร่วมมือกันสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาได้ อย่างไรก็ตามความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังจัดการเรียนรู้มีความใกล้เคียงกับระหว่างจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องเครื่องกลอย่างง่าย แสดงว่าความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีความคนทน นั่นหมายถึงว่าการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษาช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมย่อยของความสามรถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์พบว่า 1) พฤติกรรมการกำหนดปัญหาและความสำคัญของปัญหา และ 2) พฤติกรรมการตั้งสมมติฐานหรือบอกสาเหตุของปัญหา เป็นพฤติกรรมที่นักเรียนพัฒนาได้มากที่สุด เนื่องจากกิจกรรมในขั้นยืนยันปัญหาและขั้นชี้แจงปัญหาสนับสนุนให้นักเรียนนำกฎและทฤษฎีเรื่องงานและพลังงานมาอธิบายปัญหาและสาเหตุในหลายสถานการณ์ระหว่างที่เรียนรู้ทั้ง 3 วงจร ซึ่งสามารถพัฒนาพฤติกรรมดังกล่าวของนักเรียนได้ ในขณะที่พฤติกรรมการเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาเป็นพฤติกรรมที่นักเรียนพัฒนาได้น้อยที่สุด เพราะนักเรียนแสดงพฤติกรรมนี้ได้มากตั้งแต่ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา อย่างไรก็ตามเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาแล้ว นักเรียนก็ยังพัฒนาพฤติกรรมการเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องจนจัดเป็นพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกได้เป็นลำดับหนึ่งสอดคล้องกับ Lou, Shih, Diez and Tseng (2011) ที่กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานที่บูรณาการสะเต็มศึกษาช่วยส่งเสริมทัศนคติและการแก้ปัญหาของนักเรียนได้เป็นอย่างดี เพราะนักเรียนจะได้ลงมือปฏิบัติและแก้ปัญหาผ่านกระบวนที่ชัดเจนอย่างสม่ำเสมอ ทำให้นักเรียนได้เชื่อมโยงกฎและทฤษฎีจากการเรียนเข้ากับชีวิตประจำวัน ซึ่งจะนำไปสู่การแก้ปัญหาต่างๆ ทีละขั้นตอนจนประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหา นอกจากนี้การบูรณาการความรู้ที่ชัดเจนทำให้นักเรียนปรับความเข้าใจเดิมสู่ความรู้ที่มั่นคง แสดงว่าการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานที่บูรณาการสะเต็มศึกษาไม่เพียงแต่ส่งเสริมให้นักเรียนนำความรู้ด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้แต่ยังมีแนวโน้มว่านักเรียนจะได้รับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความรู้คณิตศาสตร์ที่มั่นคงมากขึ้น และช่วยเพิ่มความสามารถและประสบการณ์การบูรณาการความรู้ของนักเรียนได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1. ผู้สอนควรเลือกสถานการณ์ที่ประสบได้ในชีวิตประจำวัน โดยสถานการณ์ดังกล่าวต้องมีความเหมาะสมกับระดับความรู้และความสามารถของผู้เรียนในแต่ละระดับชั้น และเป็นสถานการณ์ที่นักเรียนยังไม่เคยพบมาก่อน นอกจากนี้สถานการณ์ต้องเปิดกว้างหรือมีวิธีการแก้ปัญหาที่หลากหลาย รวมถึงสามารถบูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ได้

2. ผู้สอนควรจัดฐานการเรียนรู้หรือเตรียมแหล่งข้อมูลให้นักเรียนได้ทบทวนความรู้ที่เกี่ยวข้องก่อนเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา เพราะการทบทวนความรู้และสรุปเป็นความเข้าใจของนักเรียนเอง จะนำไปสู่การเสนอวิธีการปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาที่ถูกต้องและประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหา

3. กิจกรรมการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ผู้สอนเปรียบเสมือนส่วนหนึ่งของชั้นเรียน ดังนั้นผู้สอนต้องรับฟังความคิดเห็นของนักเรียน และพร้อมที่จะเรียนรู้ไปกับนักเรียน อีกทั้งผู้สอนควรเสริมแรงให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ

4. ผู้สอนควรเลือกอุปกรณ์ที่หลากหลาย เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนแยกแยะและเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลอง แต่อย่างไรก็ตามควรจำกัดจำนวนอุปกรณ์ เพื่อกำหนดขอบข่ายให้นักเรียนรู้จักวางแผนการโดยใช้ความรู้ทาง

วิทยาศาสตร์ก่อนดำเนินการสร้างแบบจำลอง และช่วยลดการแก้ปัญหาแบบลองผิดลองถูกของนักเรียนได้

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาว่า ความสามารถในการบูรณาการความรู้ของนักเรียนว่ามีผลต่อการแก้ปัญหาหรือไม่ หากความสามารถในการบูรณาการความรู้ของนักเรียนมีผลต่อการแก้ปัญหาแล้ว นักเรียนที่มีโอกาสได้บูรณาการความรู้สามารถแก้ปัญหาได้แตกต่างกับนักเรียนที่ไม่ได้บูรณาการความรู้อย่างไร

บรรณานุกรม

จันทร์จิรา พีระวงศ์. (2553). *การพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อฝึกทักษะกระบวนการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พรรณพร นามโนรินทร์. (2554). *การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (PROBLEM–BASED LEARNING) ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4โรงเรียนบ้านหนองโก สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษามหาสารคาม เขต3*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สิรินภา กิจเกื้อกูล. (2557). *การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์: ทิศทางสำหรับครูศตวรรษที่ 21*. เพชรบูรณ์: โรงพิมพ์จุลดิสการพิมพ์.

สุนีย์ คล้ายนิล. (2549). *สมรรถนะการแก้ปัญหาสำหรับโลกวันพรุ่งนี้ รายงานสรุปเพื่อการบริหารโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Programme for International Student Assessment : PISA 2003)*. กรุงเทพฯ: เซเว่นพริ้นติ้ง.

สุวิชา วันสุดล. (2554). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคการสอนแบบ 4MATและการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบซิปปา.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อภิชัย เหล่าพิเดช, และอรพิณ ศิริสัมพันธ์. (2556).*การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ เรื่อง ปัญหาทางสังคมของไทย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน. วารสารวิชาการ กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 6*(3), 757-774.

Baumert, J., Evans, R. H. & Geiser, H.(1998). Technical problem solving among 10-year-old students as related to science achievement, out-of-school experience, domain-specific control beliefs, and attribution patterns. *Journal of Research in Science Teaching,* 35(9), 987-1013.

Bodger W, Byhee. (2010). Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, 30-35.

Greiff, S., V.Holt. D, & Funke, J.(2013). Perspectives on Problem Solving in Educational Assessment: Analytical, Interactive, and Collaborative Problem Solving. *The Journal of Problem Solving, 5*(2), 71-91.

Lou, S.-J., Shih, R.-C., Diez, C. R., & Tseng, K.-H. (2011). The impact of problem-based learning strategies on STEM knowledge integration and attitudes: an exploratory study among female Taiwanese senior high school students. *International Journal of Technology and Design Education, 21*(2), 195-215.

National Institute of Educational Testing Service (Public organizations). (2014). *Annual report 2014*. Retrieved February 8, 2015, from http://www.niets.or.th/uploads/content_pdf/pdf_1438068312.pdf

Taconis, R., Ferguson-Hessler, M.G.M., & Broekkamp, H.(2001).Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental Work. *Journal of Research in Science Teaching, 38*(4), 442-468.

ÜNal, M., & Aral, N. (2014). An Investigation on the Effects of Experiment Based Education Program on Six Years Olds' Problem Solving Skills. *Ted EĞİtİmVeBİlİm, 39*(176), 279-291.

Translated Thai References

Kijkuakul, S. (2014). *Science teaching: The direction for 21 Century teacher*. Phetchabun: Julladis printing House.[in Thai]

Klainin, S. (2006). *Programme for International Student Assessment: PISA 2003.* Bangkok: Seven printing. [in Thai]

Loapident, A., & sirisamphan, O. (2013). The Development of Learning Achievement and Creative Problem Solving Abilities on Social Problems in Thailand of Matthayomsuksa 6 Students by Problem-based Learning Approach. *Veridian E-Journal, 6*(3), 757-774.[in Thai]

Namnorin, P.(2011). *The Development of Problem-Solving Skill of Grade-4 Students Using Problem-Based Learning at Bannongko School Mahasarakh Primary Educational Service Area 3.* (Master's thesis). Khon Kean: Khon Kean University. [in Thai]

Peerawong, Ch. (2010). *Development of learning plans to practice science problem solving process skills of PrathomSuksa 6 Students.* (Master's thesis). Chiang Mai: Chiang Mai University. [in Thai]

Wansudon, S. (2011). A Study on Science Learning Achievement and Problem Solving Ability in Science of Matthayomsuksa 1 Students by using 4MAT Teaching Methods and CIPPA MODEL. (Master's thesis). Bangkok : Srinakharinwirot University. [in Thai]