



The design of STEM activities on thermal properties of matter for primary students

Udom Tipparach^{1*} Teerawat Piromjitpong¹ Cherdchai Wuttiya¹ and Supanasa Chimjarn²

¹Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani 34190

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani 34190

*Email: udom.t@ubu.ac.th

Received <21 October 2024>; Revised <23 November 2024>; Accepted <24 November 2024>

Abstract

Due to the curiosity of children at the young ages, the primary school years are crucial times of learning for cultivating students' interest in science, building up science process skills, and developing scientific attitudes. In this work, we have designed learning activities and applied STEM activities on thermal properties of matter for primary students to enhance students' understanding the concept of thermal properties mainly thermal expansions of solids, liquids, and gases. We have also developed students' science process skills and students' attitudes toward science at the same time through STEM education. The activities provided in this research were the expansions of air in self-inflating balloon experiments when heated, the expansions of water in flasks when heated, and the expansions of iron nails and holes on metal disks when heated. The STEM activities were assigned to train the students to apply their knowledge and skills to build straw thermometers. During the lessons, we observed that the students actively engaged in the activities. After attending the lessons, the satisfaction surveys showed that the levels of the satisfaction of students and teachers were high.

Keywords: STEM activity; Thermal property; Thermal expansion; Straw thermometer; Primary students

การออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา

อุดม ทิพราน^{1*} อธิวัฒน์ ภิรมจิตร์ม่อง¹ เชิดชัย วุฒินา¹ และ สุพรรณา ฉิมจรรย์²

¹ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

*Email: udom.t@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากความอยากรู้อยากเห็นของเด็กในวัยเยาว์ ช่วงเวลาของการเรียนระดับประถมศึกษาจึงเป็นช่วงเวลาที่สำคัญอย่างยิ่งยวดสำหรับการเรียนรู้ เพื่อปลูกฝังความสนใจวิชาวิทยาศาสตร์ พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และสร้างเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของสสารกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องสมบัติทางความร้อน โดยหลักใหญ่เป็นการขยายตัวของสสารในรูปของแข็ง ของเหลว และแก๊ส นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทัศนคติของนักเรียนต่อวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกันโดยผ่านทางสะเต็มศึกษา กิจกรรมที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่ การขยายตัวของแก๊สในลูกโป่งเมื่อได้รับความร้อน การขยายตัวของน้ำในขวดรูปกรวยเมื่อได้รับความร้อน และการขยายตัวของตะปูเหล็กและรูบนแผ่นโลหะเมื่อได้รับความร้อน ผู้วิจัยใช้กิจกรรมเหล่านี้เพื่อให้ฝึกนักเรียนชั้นประถมศึกษาใช้ความรู้และทักษะมาใช้ในการสร้างเทอร์โมมิเตอร์จากหลอดกาแฟ ในระหว่างบทเรียน นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมอย่างกระตือรือร้น หลังจากที่ได้เข้าร่วมกิจกรรมแล้ว ผลการสำรวจความพึงพอใจแสดงให้เห็นว่าระดับความพึงพอใจของนักเรียนและครูอยู่ในระดับสูง

คำสำคัญ: กิจกรรมสะเต็มศึกษา; สมบัติทางความร้อน; การขยายตัวจากความร้อน; เทอร์โมมิเตอร์หลอดกาแฟ;
นักเรียนประถมศึกษา

บทนำ

วัยเด็กเป็นวัยที่อยากรู้อยากเห็น เด็ก ๆ จะชอบสังเกตสิ่งรอบ ๆ ตัว เด็กเรียนรู้ได้ดีเมื่อได้รับประสบการณ์ตรงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นรอบตัวโดยการสังเกต การทดลอง ประสบการณ์ที่ได้รับและเริ่มพัฒนาการทางความคิด (cognitive development) จากตัวอย่างที่เป็นรูปธรรมที่สังเกตได้ในชั้นเรียนและสิ่งรอบตัว ไปสู่การสรุปเป็นองค์ความรู้ (Slavin, 2018) และสามารถนำความรู้และทักษะไปใช้หรือนำไปปรับใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้

จากผลการศึกษาคะแนนความสามารถในการอ่าน การคิดเชิงวิเคราะห์ (PISA) ของนักเรียนไทยในระดับมัธยมศึกษาพบว่า คะแนนในวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และการอ่าน เป็น 394 409 และ 379 ตามลำดับ ในขณะที่คะแนนเฉลี่ยของประเทศอื่น ๆ เป็น 472 485 และ 476 ตามลำดับ (IPST, 2024) ผลนี้แสดงให้เห็นว่า คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนไทยต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยของประเทศอื่น ๆ ทุกวิชา ปัญหาเกิดจากปัญหาหลายประการ เช่น โรงเรียนขาดครูที่มีความพร้อม ครูขาดวัสดุอุปกรณ์ในการจัดการเรียนรู้ นักเรียนขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้ บทเรียนไม่ดึงดูดความสนใจของนักเรียน การจัดการเรียนรู้ไม่ได้มาตรฐานตามกำหนด เป็นต้น จึงทำให้นักเรียนขาดทักษะหลายด้าน เช่น ทักษะการเรียนรู้ ทักษะการคิดวิเคราะห์ เป็นต้น

นักวิชาการด้านการศึกษาสอนว่า การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) ได้กลายเป็นส่วนสำคัญในหลักสูตรระดับประถมศึกษา (Brown, 2012) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากประโยชน์ที่มีคุณค่าหลายประการของการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ทำให้เกิดการส่งเสริมและสนับสนุนให้นักเรียนกลายเป็นผู้คิดวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ นักแก้ปัญหา มีความคิดสร้างสรรค์ และประโยชน์อื่น ๆ อีกมาก (Baber, 2015; Basile & Lopez, 2015) ทฤษฎีการเรียนรู้จากประสบการณ์ (Experiential Learning Theory - ELT) ของ Kolb (1984) อธิบายขั้นตอนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนมีส่วนร่วมกับการเรียนรู้จากประสบการณ์ เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในโปรแกรมการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ทฤษฎี ELT ของ Kolb ถือว่าเป็นแกนหลักของการเรียนรู้ STEM (Brown, 2012; Sanders, 2009) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของการเรียนรู้แบบผสมผสานที่อาจมีต่อความสำเร็จในแบบสะเต็มศึกษาโดยใช้เวลาส่วนหนึ่งในการสอนเป็นการเรียนรู้จากประสบการณ์ ครูในโรงเรียนมองและใช้การศึกษาแบบสะเต็มศึกษาเป็นเครื่องมือในการเตรียมนักเรียนสำหรับการเข้าศึกษาต่อในอุดมศึกษาและการประกอบอาชีพในอนาคต ทักษะที่หลากหลายซึ่งนักเรียนต้องการในชีวิตต่อไปสามารถปลูกฝังได้ในโปรแกรมการศึกษาแบบสะเต็มศึกษาในปัจจุบัน ทักษะเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในหลักสูตรเพื่อเตรียมนักเรียนให้พร้อมสำหรับศึกษาต่อในระดับสูงและการประกอบอาชีพ (Brown, 2012; Owens, 2009) ดังนั้น การเรียนรู้แบบผสมผสานจึงกลายเป็นที่สนใจ เนื่องจากมีเป้าหมายเพื่อมอบประโยชน์เหล่านี้ให้นักเรียน ตามที่ P21, 21st Century Learning ซึ่งเป็นองค์กรไม่แสวงหาผลกำไรระดับชาติของสหรัฐอเมริกาประกาศส่งเสริมทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ในห้องเรียน ทักษะเหล่านี้ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญหลายประการ และแบ่งออกเป็น 4 C ของการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 ได้แก่ การคิดวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ (critical thinking) การทำงานร่วมกัน (collaboration) การสื่อสาร (communication) และความคิดสร้างสรรค์ (creativity) (P21 Partnership for 21st Century Learning, 2015) ในการจัดการเรียนรู้แบบ STEM นักเรียนได้เรียนรู้และพัฒนา 4 C เหล่านี้ พร้อมกับทักษะที่มีประโยชน์อื่นๆ อีกหลายอย่าง วิธีการเรียนรู้แบบผสมผสานมุ่งเน้นที่จะผนวกทักษะเหล่านี้เข้าไปในหลักสูตร โดยเฉพาะวิชาวิทยาศาสตร์ (IPST, 2019)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทย (สสวท.) ได้ส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนแบบ STEM และมีการนำไปใช้ในหลายโรงเรียนและหลายระดับการศึกษา โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านการบูรณาการวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ผ่านกิจกรรมและโครงการที่สร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่เป็นประโยชน์ ตัวอย่างของการจัดการเรียนรู้แบบ STEM ในประเทศไทย เช่น โครงการบ้านนักวิทยาศาสตร์น้อยประเทศไทยซึ่งโครงการนี้จัดโดยมูลนิธิสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ร่วมกับมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งเยอรมนี (Deutsche Telekom Foundation) และมูลนิธิสมเด็จพระมหิตลาธิเบศร อดุลยเดชวิกรม พระบรมราชชนก โครงการสะเต็มศึกษา (STEM Education) ของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (Office of the Basic Education Commission, OBEC, 2024) เป็นต้น โครงการเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับเด็กในระดับปฐมวัยและประถมศึกษา โดยใช้กิจกรรมการทดลองและการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ การจัดการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมโครงการวิทยาศาสตร์ (Science Projects) ที่ในโรงเรียนมัธยมศึกษา นักเรียนจะได้ทำโครงการที่บูรณาการความรู้จากหลายสาขาวิชา เช่น การสร้างหุ่นยนต์, การพัฒนานวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม หรือการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา และการทำงานร่วมกัน ตลอดจนจัดแบบบูรณาการในระดับอุดมศึกษา

แม้ว่าจะมีการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าโปรแกรมการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาในการศึกษาระดับประถมศึกษาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหลักสูตร แต่การนำโปรแกรมการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาไปปฏิบัติจริงกลับมีค่อนข้างน้อย รูปแบบและคุณภาพหลากหลายอย่างมาก และยังมีมาตรฐานในการจัดการเรียนรู้ขึ้นกับงบประมาณและประสบการณ์ของครู ทำให้ได้คุณภาพและผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียนแตกต่างกันไป

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพของสสารที่เกี่ยวข้องกับการนำความร้อนในระดับประถมศึกษาทั้งในและต่างประเทศ (Wanapop and Chaboo, 2021; Baser, Geban; 2007) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับมโนคติเกี่ยวกับความร้อนและอุณหภูมิ ความร้อนกับการเปลี่ยนสถานะของสสาร เป็นต้น แต่ยังไม่พบการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติการขยายตัวของความร้อนของสสารในระดับประถมศึกษาทั้งที่เป็นเรื่องง่าย เด็กนักเรียนสามารถสังเกตได้ง่ายทั้งการทดลองและในชีวิตประจำวัน ในขณะที่ในต่างประเทศ สมาคมวิชาการได้จัด workshops สำหรับครูประถมศึกษาเพื่อสอนเรื่องความร้อนให้นักเรียน (Hitt and Townsend, 2015; Clayton, Downing, and Callaway, 1982)

โดยปกติ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ได้จัดกิจกรรมเสริมความรู้และทักษะให้กับนักเรียนภายใต้โครงการห้องเรียนวิทยาศาสตร์เวลาพิเศษในวันศุกร์หรือเสาร์-อาทิตย์ นักเรียนที่เข้าร่วมโครงการเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย กิจกรรมส่วนใหญ่ได้ดัดแปลงมาจากบทปฏิบัติการฟิสิกส์ในระดับมหาวิทยาลัยให้มีระดับความยากง่ายเหมาะสมกับระดับของนักเรียน ต่อมาโรงเรียนประถมศึกษาสนใจจะให้นักเรียนเข้าร่วมโครงการ จึงเป็นที่มาของคำถามว่านักเรียนประถมศึกษาสามารถทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้หรือไม่ กิจกรรมดังกล่าวจะทำให้ให้นักเรียนและครูมีความพึงพอใจผลการจัดการเรียนรู้หรือไม่

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเสนอรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษาที่เข้าค่ายห้องเรียนวิทยาศาสตร์ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ผู้วิจัยทดลองใช้กิจกรรมการเรียนรู้เพื่อสร้างองค์ความรู้ พัฒนาทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ นำความรู้ไปใช้ และศึกษาเจตคติของนักเรียน ครู และผู้ปกครอง ที่เข้าร่วมโครงการ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้มุ่งหวังที่จะมีส่วนสนับสนุนภารกิจด้านการบริการวิชาการเพื่อพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาให้เหมาะสมกับกลุ่มนักเรียนระดับประถมศึกษาทั้งเนื้อหาวิชาการและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยการแก้ไขปัญหาที่ว่าโรงเรียนไม่มีวัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องมือวิทยาศาสตร์ กิจกรรมดังกล่าวจะไม่เพียงแต่สนับสนุนให้ครูประถมศึกษาสามารถจัดการเรียนการสอนที่มีคุณภาพสูงเท่านั้น แต่ยังสร้างแรงบันดาลใจให้นักเรียนแสวงหาความรู้ วิธีการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เพื่อนำความรู้ไปใช้ได้จริง ซึ่งท้ายที่สุดแล้วจะช่วยให้สังคมมีความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และมีความคิดสร้างสรรค์มากขึ้น

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการ (Action Research) ผู้วิจัยได้ออกแบบการวิจัยโดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบไปด้วย 1) การวางแผนออกแบบบทเรียนเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์การเรียนรู้และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาทดลองใช้กับการทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กและนำกิจกรรมมาปรับปรุง 2) การนำกิจกรรมไปใช้กับการบริการวิชาการค่ายห้องเรียนวิทยาศาสตร์ของคณะวิทยาศาสตร์ 3) สังเกตและบันทึกผล 4) ประเมินความพึงพอใจของนักเรียนและครูผู้เข้าร่วมโครงการ

คำถามวิจัย กิจกรรมการทดลองประกอบด้วย การขยายตัวของสสารและกิจกรรมสะเต็มศึกษาสามารถสร้างความสนใจการเรียนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษาหรือไม่ และกิจกรรมดังกล่าวสามารถสร้างความพึงพอใจกับนักเรียนและครูได้หรือไม่

วัตถุประสงค์การวิจัยครั้งนี้คือ 1.) เพื่อสร้างกิจกรรมการเรียนรู้และกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสารสำหรับนักเรียนประถมศึกษา และ 2.) เพื่อวัดความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสารสำหรับนักเรียนประถมศึกษา

ผู้วิจัยได้ศึกษาบทเรียนตามหลักสูตรประถมศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 (Ministry of Education, 2560) พบว่ามีสาระเกี่ยวกับวัสดุและความร้อน เช่น มาตรฐาน ว2.1: (ตัวชี้วัด) อธิบายการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อทำให้อุ่นขึ้นหรือทำให้เย็นลง โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ (สาระการเรียนรู้แกนกลาง) อธิบายการเปลี่ยนแปลงของวัสดุเมื่อทำให้อุ่นขึ้นหรือทำให้เย็นลง โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ การที่นักเรียนจะเรียนได้ตามมาตรฐานการเรียนรู้เช่นนี้ ครูจำเป็นต้องจัดการเรียนรู้แบบ Active learning ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้สร้างบทเรียนประกอบไปด้วยกิจกรรมการทดลองเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร โดยจัดให้นักเรียนได้เรียนโดยการลงมือทดลอง การทดลองประกอบด้วย การขยายตัวของแก๊สเมื่อได้รับความร้อน การขยายตัวของของเหลว (น้ำผสมแอลกอฮอล์) เมื่อได้รับความร้อน และการขยายตัวของของแข็ง (โลหะ) เมื่อได้รับความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 1 กิจกรรมการทดลองเพื่อสร้างเสริมความเข้าใจมโนคติเรื่องสมบัติทางความร้อนของสสารจะทำให้นักเรียนลงมือทำการทดลองเพื่อค้นหาข้อสรุปว่าเมื่อสสาร ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส เมื่อได้รับความร้อนแล้ว สสารจะขยายตัว การทดลองทั้งหมดผู้วิจัยและนักศึกษาผู้ช่วยได้กำกับดูแลนักเรียนอย่างใกล้ชิดเพื่อความปลอดภัยจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ออกแบบบทเรียนเพื่อสร้างเสริมประสบการณ์การเรียนรู้และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ดังภาพที่ 1

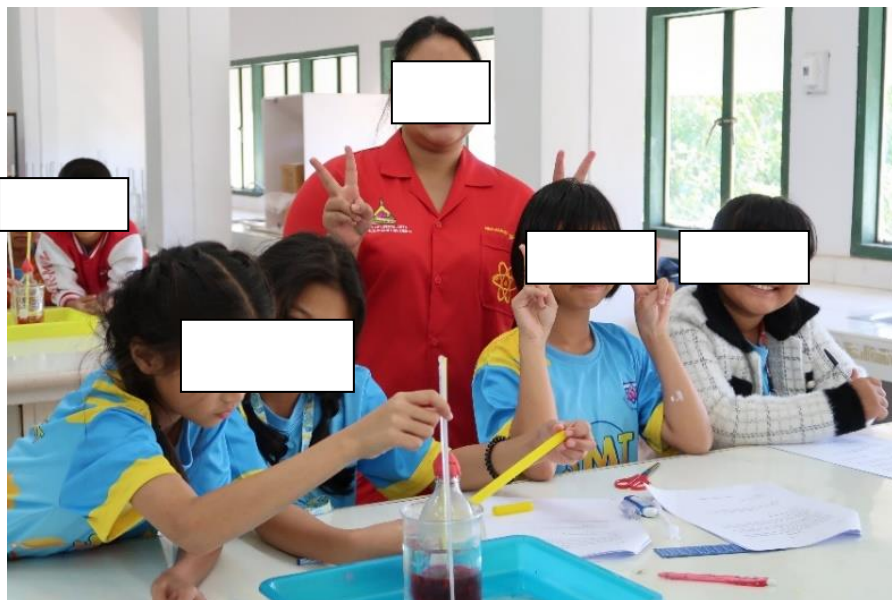
สถานะปกติ	สถานะเมื่อได้รับความร้อน	เหตุผล
-----------	--------------------------	--------

 ลูกโป่งแฟบ	 ลูกโป่งพองตัวเมื่อขวดอยู่ในน้ำร้อน	ลูกโป่งที่ปิดปากขวดพองโตขึ้นเมื่อวางขวดในน้ำร้อน นักเรียน สรุไปได้ว่า อากาศในขวดขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความร้อนขึ้น คำถามท้าทาย: ถ้าต้องการให้ลูกโป่งพองโตมากกว่านี้ นักเรียนจะทำได้ อย่างไร
 ระดับน้ำในท่อต่ำ	 ระดับน้ำในท่อสูงขึ้นเมื่อร้อน	ระดับของเหลวในท่อแก้วในขวดรูปกรวยสูงขึ้นเมื่อได้รับความร้อน นักเรียน สรุได้ว่า ของเหลว (น้ำผสมแอลกอฮอล์) ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน คำถามท้าทาย: ถ้าต้องการให้ของเหลวขยายตัวมากกว่านี้ นักเรียนจะทำได้ อย่างไร การทดลองนี้มีประโยชน์อย่างไร
 ก่อนเผาไฟ: ตะปูปกติขนาดพอดีกับรูโลหะ	 หลังเผาไฟทันที: ตะปูร้อนขยายตัวโตขึ้น ไม่สามารถใส่ในรูโลหะได้	เจาะรูแผ่นโลหะเอาตะปูสอดใส่ได้พอดีเมื่อเผาไฟ ตะปูร้อนขึ้นมันขยายตัว มีขนาดโตขึ้น ไม่สามารถเข้าในรูเดิมได้ นักเรียน สรุได้ว่าตะปูโลหะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน คำถามท้าทาย: การทดลองนี้มีประโยชน์อย่างไร

ภาพที่ 1 กิจกรรมของนักเพื่อศึกษาเรียนรู้สมบัติทางความร้อนของสสารของแข็ง ของเหลว แก๊ส เมื่อได้รับความร้อน

ผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาเพื่อให้นักเรียนใช้ความรู้เรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร (ของเหลว) และมองเห็นประโยชน์ของความรู้วิทยาศาสตร์ว่าสามารถนำไปใช้ได้จริง กิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาที่ออกแบบให้นักเรียนลงมือปฏิบัติคือการสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ (Straw thermometer) โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Science) คือการขยายตัวของของเหลวเมื่อได้รับความร้อน เทคโนโลยี (Technology) ที่ใช้คือ วัสดุ อุปกรณ์ประกอบไปด้วย หลอดกาแฟ ขวดแก้วหรือขวดพลาสติกใส น้ำผสมแอลกอฮอล์และไส้สี (ไส้แอลกอฮอล์เพื่อให้ขยายตัวไว ผสมน้ำเพื่อให้ปลอดภัยจากการติดไฟ ไส้สีผสมอาหารเพื่อให้เห็นเกิดการขยายตัวได้ง่าย) ดินน้ำมันเพื่อปิดปากขวดไม่ให้อากาศรั่วออก ให้อากาศกดดันไม่ให้ของเหลวใน

ขวดขยายสูงขึ้น แต่ให้ส่วนขยายสูงขึ้นในท่อหลอดกาแฟ การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering) คือการออกแบบและการวางแผน การใช้ท่อที่เหมาะสม การสร้างสเกลสำหรับเทียบอุณหภูมิ คณิตศาสตร์ (Mathematics) คือการแบ่งสเกลเป็นเซนติเมตรและแปลงความยาวของของเหลวที่สูงขึ้นไปเป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 นักเรียนการทำเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ (Straw thermometer)

ผู้วิจัยได้ทดลองใช้กิจกรรมที่สร้างขึ้นทดลองใช้กับกลุ่มทดสอบเครื่องมือ (กลุ่ม tryout) กิจกรรมการเรียนรู้โดยทดลองใช้กับนักเรียนประถมศึกษาปีที่ 5-6 โรงเรียนประถมศึกษาแห่งหนึ่ง จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 28 คน ภาคต้น ปีการศึกษา พ.ศ. 2566 นำผลที่ได้จากการสังเกต การสอบถาม การตอบคำถามของนักเรียน ข้อกังวลเรื่องความปลอดภัย การสัมภาษณ์ ครูผู้สอน และผู้ปกครอง มาปรับปรุงกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อการบริการวิชาการของคณะวิทยาศาสตร์

หลังจากปรับปรุงชุดทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ เทคนิคและวิธีการ การสร้างแบบทดสอบ คำถามประกอบการทดลอง และการนำไปใช้แล้ว ผู้วิจัยได้บริการวิชาการให้กับนักเรียนประถมศึกษา ชั้นปีที่ 5-6 โรงเรียนอนุบาลอุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ (กลุ่มทดลอง Experimental group) นักเรียนเข้าร่วมโครงการ 3 ห้อง ห้องละ 30-32 คน รวม 94 คน ครูผู้สอนติดตามนักเรียน จำนวน 6 คน อาจารย์ผู้วิจัย ห้องละ 2 คน ผู้ช่วยอาจารย์ห้องละ 4 คน ในแต่ละห้อง นักเรียนในแต่ละห้องถูกจัดให้ทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน โดยกิจกรรมทั้งหมด ประกอบไปด้วย กิจกรรมการทดลองการขยายตัวของสสาร 1 ชั่วโมง 30 นาที และ กิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา การสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ (Straw thermometer) 1 ชั่วโมง 30 นาที รวมเวลา 3 ชั่วโมง ระหว่างเรียนผู้วิจัยได้ถามคำถามนักเรียน สังเกตการตอบคำถาม การทำกิจกรรมการทดลอง และกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา หลังการวิจัยผู้วิจัยได้ถามนักเรียนและครูเพื่อประเมินความพึงพอใจ

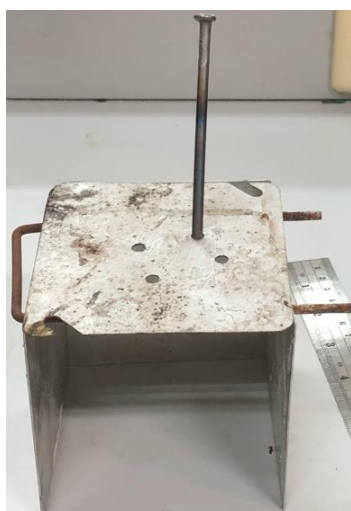
ผลการวิจัยและการอภิปราย

ชุดกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นชุดที่ 1 ประกอบด้วยการขยายตัวของแก๊ส สามารถใช้เพื่อศึกษาการขยายตัวของแก๊สเมื่อได้รับความร้อน เริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง ลูกโป่งที่คลอบปากขวดแฟบ เมื่อเอาขวดวางในบีกเกอร์น้ำร้อน รอประมาณ 3-5 นาที เพื่อให้ความร้อนส่งผ่านขวดแก้วเข้าสู่แก๊สภายในขวด นักเรียนสังเกตเห็นลูกโป่งพองตัว นักเรียนบางคนเกิดคำถามว่า อากาศมาจากไหน เพิ่มเติมอย่างไร ผู้วิจัยพานักเรียนค้นหาคำตอบโดยใช้คำถามนำว่าอากาศไม่สามารถเข้าหรือออกจากขวดได้ แต่อากาศได้รับพลังงานความร้อนทำให้อากาศขยายตัว อากาศขยายตัวออกสู่ภายนอกไม่ได้มันจึงดันลูกโป่งให้มีปริมาตรมากขึ้น ลูกโป่งจึงพองตัว ในทางกลับกัน เมื่อเราเอาขวดลูกโป่งออกจากแก้วน้ำร้อน ไม่นาน ลูกโป่งจะแฟบเพราะขวดเย็นตัวลง พลังงานลดลง ปริมาตรอากาศจึงลดลง

การทดลองที่ 2 ใช้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์อุ่นน้ำในขวดรูปกรวยโดยใส่แท่งแก้วที่ของเหลวภายในสามารถไหลเข้าไปในท่อแก้วได้ เมื่ออุ่นไฟให้ร้อนด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ น้ำภายในท่อแก้วสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการใช้น้ำแทนของเหลวในแก้วไม่ได้ลดลง ของเหลวในท่อสูงขึ้นได้อย่างไรเมื่อทำให้ร้อน ในที่สุด นักเรียนตอบได้ว่าภายในขวดรูปกรวยของเหลวไม่ได้ลดลงจากการสังเกตและไม่ได้สูงขึ้นเพราะความดันอากาศภายในขวดดันไว้ ของเหลวที่ไหลขึ้นไปทางท่อแก้วเป็น

ของเหลวที่ขยายตัวเนื่องจากได้รับความร้อน นักเรียนบางคนถามว่าเหตุใดจึงทำน้ำให้เป็นสี ผู้วิจัยอธิบายว่าเพื่อให้นักเรียนสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย บางคนถามว่าภายในเป็นอะไร ทำไมต้องทำเช่นนั้น ผู้วิจัยอธิบายว่ามันคือของเหลวเป็นของผสมระหว่างน้ำกับแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์มีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำช่วยให้ขยายตัวเร็วขึ้น บางคนถามว่าทำไมเราไม่ใช้แอลกอฮอล์อย่างเดียวจะสังเกตเห็นขยายตัวเร็วขึ้น ผู้วิจัยตอบว่าแอลกอฮอล์ติดไฟเร็ว อันตรายจากไฟไหม้อาจเกิดขึ้น เพื่อลดอันตรายจากไฟไหม้ จึงผสมกับน้ำ เป็นต้น

การทดลองชุดที่ 3 การขยายตัวของตะปูโลหะ ตะปูโลหะของแข็งที่ขนาดพอดีกับรูสามารถเข้าไปในรูโลหะได้ เมื่อเผาไฟตะปูร้อนแล้วไม่สามารถเอาเข้ารูได้ มันจะติดขัด เด็กนักเรียนสามารถตอบคำถามได้ว่า ตะปูร้อนแล้วขยายตัวโตขึ้นทำให้มันเข้ารูโลหะไม่ได้ นอกจากนี้แล้ว เด็กนักเรียนยังสงสัยว่า ถ้าเจาะรูให้เล็กกว่าเล็กน้อย สภาวะปกติที่อุณหภูมิห้องตะปูจะไม่สามารถเข้ารูได้ ถ้าเผาไฟที่แผ่นโลหะแล้วจะโตขึ้นหรือจะเล็กลง ซึ่งเป็นคำถามที่เราเคยพบมาแล้วเมื่อเราใช้กับกลุ่มทดลองใช้เครื่องมือ (tryout) ภาพที่ 3 (ก) ผลพบว่าตะปูที่เข้ารูไม่ได้ในตอนแรกติด ภาพที่ 3 (ข) เมื่อเอาแผ่นโลหะลงไฟให้ร้อน ผลคือตะปูเข้ารูโลหะนั้นได้ แสดงว่าเมื่อแผ่นโลหะร้อน รูของโลหะก็ขยายตัวเช่นกัน



(ก) ตะปูขนาดโตกว่ารู ติดไม่สามารถลงรูได้



(ข) เมื่อเผาแผ่นโลหะให้ร้อน รูบนแผ่นโลหะขยายตัว ตะปูเข้าได้

ภาพที่ 3 (ก) ตะปูเข้ารูเล็กกว่าเล็กน้อยไม่ได้ (ข) เมื่อแผ่นโลหะร้อน รูบนแผ่นขยายตัวโตขึ้น ตะปูเข้ารูโลหะได้

จากการทดลองทั้ง 3 กิจกรรม นักเรียนสรุปได้ว่า สสารทุกชนิดไม่ว่าจะเป็น แก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะขยายตัว จากการที่นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้โดยสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตัวเองจากการทดลองหรือการจัดประสบการณ์เรียนรู้ให้ สอดคล้องกับทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) (Bada & Olusegun, 2015) และสอดคล้องกับการวิจัยของกลุ่มวิจัยอื่นๆ (Baber, 2015; Basile & Lopez, 2015) และปรัชญาการศึกษาการเรียนรู้จากประสบการณ์จริงของดิวอี้ (Williams, 2017) ทำให้นักเรียนเกิดความเชื่อมั่นและภาคภูมิใจว่าความรู้ที่ได้มาจากประสบการณ์การเรียนรู้จะเข้าใจจริง

กิจกรรมสะเต็มศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของสสารเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจทำให้นักเรียนเห็นการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ประโยชน์และพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา การบูรณาการความรู้หลายด้าน เพื่อฝึกการทำงาน เริ่มต้นให้นักเรียนวางแผนสร้างเครื่องมือวัดระดับความร้อนของน้ำในแก้ว โดยนักเรียนเข้าใจแล้วว่า ถ้าน้ำภายนอกร้อนของเหลวภายในขวดจะขยายตัว น้ำเย็นของเหลวหดตัว นักเรียนใส่หลอดกาแฟลงในขวด แล้วปิดด้วยดินน้ำมัน วัดความยาวของของเหลว วัดอุณหภูมิ เมื่อจุ่มในน้ำอุ่น ของเหลวในหลอดกาแฟสูงขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของสสาร วัดความสูงและวัดอุณหภูมิ สร้างสเกลและสามารถเปรียบเทียบอุณหภูมิได้

จากการสังเกต นักเรียนสนใจทำกิจกรรม กล่าวถามคำถามและการตอบคำถามได้ดีมาก ทำงานเป็นกลุ่มได้ หลังการเรียน เมื่อผู้วิจัยถามถาม นักเรียนบอกว่าสนุก น่าสนใจ ง่าย ไม่ต้องจดมาก ไม่ต้องจำเพราะสังเกตเห็นเข้าใจง่าย จากการสอบถามคุณครู คุณครูบอกว่ากิจกรรมง่ายดี เห็นชัดเจน ดึงดูดความสนใจนักเรียนได้ แต่ที่โรงเรียนไม่มีผู้ช่วยครู ถ้าทำการทดลองจริงเกรงว่าอาจเกิดอันตรายกับนักเรียน ครูอาจดัดแปลงทดลองบางส่วน บางส่วนอาจสาธิต เช่นการเผาตะปู เพราะตะปูร้อนอาจเป็นอันตรายกับนักเรียน ต้องระวังมาก เมื่อสอบถามกลุ่มผู้ปกครองในกลุ่มแอปพลิเคชันไลน์ โดยเฉพาะผู้ปกครองนักเรียนกลุ่มทดสอบเบื้องต้น (tryout) โรงเรียนบ้านบัววัด แสดงความเห็น ว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่น่าสนใจ ลูก ๆ ชอบ เรียนโดยไม่ต้องจดมาก ได้ทดลองด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนมั่นใจว่าความรู้ที่ได้เกิดจากการทดลองเรียนรู้เอง ผลการสำรวจจากแบบสอบถามคำถามพบว่านักเรียนและครูทั้งกลุ่มทดสอบเครื่องมือและกลุ่มเข้าร่วมโครงการบริการวิชาการประเมินความพึงพอใจในระดับสูง



ภาพที่ 4 กิจกรรมเสริมศึกษา การสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟของนักเรียน

ผลของการจัดกิจกรรมสอดคล้องกับการวิจัยของกลุ่มวิจัยอื่นๆ (Baber, 2015; Basile & Lopez, 2015) และ การศึกษาการเรียนรู้จากประสบการณ์จริงตามปรัชญาการศึกษาของดิวอี้ (Williams, 2017) และทฤษฎี Constructivism การเรียนรู้โดยผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Bada & Olusegun, 2015) นักเรียนได้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ ทักษะการเรียนรู้โดยไม่ต้องจดและจำ ได้ค้นพบความรู้จากการทำการทดลอง ได้ฝึกทำโครงงานเสริมศึกษาอย่างง่ายภายใต้การกำกับดูแลของผู้วิจัยและผู้ช่วยอาจารย์ ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของนักเรียนมีต่อกิจกรรม 4.66 จาก 5.0 ซึ่งอยู่ในระดับสูง

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัย

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
1. นักเรียนเห็นว่า การเรียนวิทยาศาสตร์ต้องได้ทดลองวิทยาศาสตร์	4.65	0.48	สูง
2. นักเรียนคิดว่าทดลองวิทยาศาสตร์และการทำเทอร์โมมิเตอร์เป็นที่น่าสนใจ	4.52	0.49	สูง
3. การทดลองวิทยาศาสตร์ทำให้นักเรียนเข้าใจเข้าใจวิชาวิทยาศาสตร์และสนุก	4.71	0.45	สูง
4. นักเรียนคิดว่าความรู้และทักษะวิทยาศาสตร์สามารถนำไปใช้ได้จริง	4.72	0.45	สูง
5. หากมีโครงการค่ายวิทยาศาสตร์หรือการทดลองวิทยาศาสตร์หรือการทำกิจกรรมวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะเข้าร่วม	4.71	0.45	สูง
เฉลี่ย	4.66	0.46	สูง

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของครูต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัยแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของครูมีต่อกิจกรรม 4.60 จาก 5.0 ซึ่งอยู่ในระดับสูง เช่นกัน เมื่อสอบถามด้วยวาจาต่อไปว่า หากมีโครงการเช่นนี้ สนใจจะเข้าร่วมหรือไม่ นักเรียนและครูครูยืนยันว่าสนใจมากและจะเข้าร่วม นอกจากนั้นนักเรียน ครูและผู้ปกครองกลุ่มทดสอบลองใช้เครื่องมือวิจัย อยากรู้ให้จัดกิจกรรมเช่นนี้ให้นักเรียน ภาคเรียนละ 4-5 กิจกรรม เนื่องจากอาจารย์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจัดกิจกรรมสนุก ได้ความรู้และทักษะ ซึ่งผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมให้นักเรียนตลอดปีการศึกษา 2566

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและระดับความพึงพอใจของครูต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของคณะผู้วิจัย

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
1. ความเชื่อมั่นในอาจารย์ผู้สอน	4.67	0.47	สูง
2. วิธีการจัดการเรียนรู้	3.83	0.83	สูง
3. ความเหมาะสมของวัสดุ อุปกรณ์ การทดลอง สื่อการเรียนรู้	4.67	0.47	สูง
4. ความรู้ ทักษะ และประโยชน์ของผู้เรียนได้รับ	4.83	0.37	สูง
5. ท่านสนใจจะพานักเรียนจะเข้าร่วมโครงการค่ายวิทยาศาสตร์หรือการทดลองวิทยาศาสตร์หรือการทำกิจกรรมวิทยาศาสตร์ ในโอกาสต่อไป	5.00	0.00	สูง
เฉลี่ย	4.60	0.43	สูง

สรุปผลการวิจัย

เราได้ออกแบบกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาสำหรับนักเรียนประถมศึกษา ได้ทดลองทดสอบการใช้งานเบื้องต้น นำข้อบกพร่องไปปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับเวลาและวัยของนักเรียน โดยคำนึงถึงความปลอดภัย กิจกรรมประกอบ 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นกิจกรรมเพื่อสร้างองค์ความรู้เรื่องสมบัติทางความร้อนของสสาร และกิจกรรมส่วนที่สองเป็นกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาเพื่อเสริมทักษะการนำความรู้ไปใช้และเพื่อให้นักเรียนเห็นการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์คือการสร้างเทอร์โมมิเตอร์อย่างง่ายจากหลอดกาแฟ กิจกรรมทั้งสองสามารถสามารถใช้แก้ปัญหาการขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์การเรียนรู้ และสามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียนและทำให้นักเรียนเกิดความรู้ในหลักวิชาวิทยาศาสตร์ เห็นคุณค่าความรู้ที่เรียนมา นำความรู้และทักษะไปใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ นักเรียนและครู มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้เพิ่มเติมศึกษาในระดับสูง

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. คำถามที่ดีของครูจะนำไปสู่ความอยากรู้อยากเห็นของนักเรียน เช่น RUBEN ของโลหะเมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเล็กหรือโตขึ้น บางคนตอบว่าเล็กเพราะโลหะขยายตัวออกด้านข้างทุกด้าน ด้านนอกขยายออกขณะที่ด้านในโลหะขยายออกทำให้รูเล็กลง บางคนตอบว่า โลหะขยายออกทุกด้านยาวขึ้น-กว้างขึ้นทุกด้าน รูจะกว้างขึ้น ซึ่งเป็นคำถามท้าทาย และคำตอบที่แตกต่างของนักเรียน ครูควรจะต้องเอาโอกาสเช่นนี้ไปสนับสนุนให้นักเรียนเห็นเชิงประจักษ์ ตามเจตนารมณ์ของหลักสูตร
2. การทดลองบางอย่างครูและผู้ช่วยต้องกำกับดูแลใกล้ชิดและระมัดระวังเป็นพิเศษ เช่นการต้มน้ำเพื่อให้ น้ำขยายตัวไม่ควรให้ร้อนเกิน 60 °C เพราะน้ำร้อนอาจพุ่งออกมาและเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุ น้ำร้อนลวกได้
3. การผสมแอลกอฮอล์กับน้ำควรผสมให้มีสัดส่วนของน้ำมากกว่าแอลกอฮอล์ เพื่อป้องกันการติดไฟของแอลกอฮอล์ หากมีแอลกอฮอล์มากจะทำให้ติดไฟได้ง่าย และเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ได้ นอกจากนั้นควรมีผ้าชุบน้ำไว้คลุมไฟเพื่อดับไฟในกรณีเกิดไฟไหม้
4. การวิจัยนี้เป็นกิจกรรมต่อเนื่อง 3 ชั่วโมง 30 นาที หากครูจะนำไปใช้สอนในโรงเรียน สามารถแบ่งออกเป็นกิจกรรมการทดลอง 1 ครั้ง (2 คาบเรียน หรือ 100 นาที) และกิจกรรมเสริมศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องการขยายตัวของสสาร (วัสดุ) เมื่อได้รับความร้อน 1 ครั้ง (2 คาบเรียนหรือ 100 นาที) ก็ได้
5. อาจมีแบบทดสอบเพื่อให้มั่นใจว่านักเรียนสามารถนำความรู้ไปอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้ เช่น เหตุใดการทำรางรถไฟจึงไม่ใช่เหล็กเชื่อมกันเป็นเส้นยาว ทำไมจึงนำรางมาต่อกันเป็นท่อนๆ และทำให้มีช่องว่างระหว่างท่อนเหล็กแต่ละท่อน เป็นต้น

References

- Baber, L., Graham, E., Taylor, J. L., Reese, G., Bragg, D. D., Lang, J., & Zamani-Gallaher, E. M. (2015). Illinois STEM College and Career Readiness: Forging a Pathway to Postsecondary Education by Curbing Math Remediation. In Brief. Office of Community College Research and Leadership. Retrieved 24 November 2024, <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED558789.pdf>
- Bada, S. O., & Olusegun, S. (2015). Constructivism learning theory: A paradigm for teaching and learning. *Journal of Research & Method in Education*, 5(6), 66-70. Retrieved 24 November 2024, <https://iosrjournals.org/iosr-jrme/papers/Vol-5%20Issue-6/Version-1/I05616670.pdf>
- Baser, M., & Geban, Ö. (2007). Effectiveness of conceptual change instruction on understanding of heat and temperature concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25(1), 115–133.
- Basile, V., & Lopez, E. (2015). And Still I See No Changes: Enduring Views of Students of Color in Science and Mathematics Education Policy Reports. *Science Education*, 99(3), 519-548. Retrieved 24 November 2024, from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/sce.21156>
- Brown, J. (2012). The current status of STEM education research. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 13(5), 7-11. Retrieved 24 November 2024, from <https://www.jstem.org/jstem/index.php/JSTEM/article/view/1652/1490>
- Clayton, Glen T., Harry D. Downing, and Thomas O. Callaway (1982). Physical science workshop course for elementary teachers. Retrieved 20 November 2024, from https://scholarworks.sfasu.edu/physicsandastronomy_facultypubs/11/
- Hitt, A. M., & Townsend, J. S. (2015). The heat is on! using particle models to change students' conceptions of heat and temperature. *Science Activities*, 52(2), 45-52.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). Announcement on 2022 PISA Results, Retrieved 1 October 2024, from <https://pisathailand.ipst.ac.th/news-21/>.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). Primary Science 4 Vol 2 (in Thai), 2019.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. New Jersey, NJ: Prentice-Hall.
- Ministry of Education, Basic education core curriculum, AD. 2008 revised 2017 (English version). Retrieved 1 October 2024 from <http://academic.obec.go.th/web/document/view/113>

Office of the Basic Education Commission (OBEC), Retrieved 24 October 2024 from

<https://sesa.obec.go.th/index.php?name=project&file=detail&id=793>

Owens, T. M. (2009). Improving science achievement through changes in education policy. *Science Educator*, 18(2), 49-55.

P21 Framework definition, Appendix B. (2015). Retrieved 1 October 2024, from

<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED519462.pdf>

Sanders, M. (2009). Integrative STEM education: primer. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.

Slavin, Robert E., (2018). *Educational Psychology: Theory and Practice* 12th Edition, Pearson, NY.

Williams, M. K. (2017). John Dewey in the 21st century. *Journal of Inquiry and Action in Education*, 9(1), 7.

Wanapop, M., Chaboo, W., (2021). Action research to develop problem-solving skills with creativity-based learning on physical properties of materials for primary 4 students (in Thai). *Proceedings of National & International Conference* 14 (2), 99.