



Effects of a STEAM-Integrated Paper Circuit Card Activity on Elementary Students' Conceptual Understanding, Creativity, and Scientific Attitudes

Thirarat Phunthong¹, Karntarat Wuttisela², Choksin Tanahoung³ and Sura Wuttiprom^{3,*}

¹Science Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

²Department of Applied Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

³Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

*Email: sura.w@ubu.ac.th

Received <27 Nov. 2025>; Revised <6 Feb. 2026>; Accepted <9 Feb. 2026>

Abstract

This study investigated the effects of a STEAM-integrated paper circuit card activity on elementary students' conceptual understanding of electric circuits, creativity and scientific attitudes. Sixteen Grade 6 students from Ban Kaeng Yang School, Thailand, participated in a quasi-experimental one-group pretest-posttest design. Research instruments included the DIRECT 1.0 test, a modified Test of Science-Related Attitudes (TOSRA), and a creativity rubric. Results revealed significant improvement in students' conceptual understanding ($t(15) = 10.77, p < .001$), with a normalized gain of 0.56, indicating a medium level of improvement. Their creative performance was at a high level ($M = 4.52, SD = 0.39$), especially in design aesthetics and functional accuracy. Scientific attitudes were also rated highly ($M = 4.39, SD = 0.82$), particularly in scientific curiosity and participation. These findings demonstrate that STEAM-based maker activities effectively enhance students' understanding, motivation, and creativity by linking artistic design with scientific inquiry. The study highlights the value of integrating Maker-based Learning within STEAM contexts to promote holistic development in science education.

Keywords: STEAM education; Maker-based learning; Paper circuit card; Scientific attitudes; Creativity

ผลของกิจกรรมการตั้งวงจรไฟฟ้าตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนประถมศึกษา

ธีรรัตน์ พูลทอง¹ กานต์ตะวัน วุฒิสเลา² โชคศิลป์ ธนเรือง³ และ สุระ วุฒิพรหม^{3*}

¹สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²ภาควิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Email: sura.w@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกิจกรรมการตั้งวงจรไฟฟ้าแบบบูรณาการ STEAM ที่มีต่อความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้า ความคิดสร้างสรรค์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนประถมศึกษา กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านแก่งยาง จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 16 คน ใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลองแบบกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลัง เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยแบบทดสอบ DIRECT 1.0 แบบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ที่ดัดแปลงจาก TOSRA และแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ ผลการวิจัยพบว่า ความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t(15) = 10.77, p < .001$) โดยมีค่าความก้าวหน้า (normalized gain) เท่ากับ 0.32 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนอยู่ในระดับสูง ($M = 4.52, SD = 0.39$) โดยเฉพาะด้านความสวยงามของการออกแบบและความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า ขณะที่เจตคติทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับมาก ($M = 4.39, SD = 0.82$) โดยมีความโดดเด่นด้านความอยากรู้อยากเห็นและการมีส่วนร่วม ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมการตั้งวงจรไฟฟ้าแบบบูรณาการ STEAM สามารถเสริมสร้างความเข้าใจ ความสนใจ และความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพบนพื้นฐานแนวคิด Maker-based Learning และการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์

คำสำคัญ: สะเต็มศึกษา; การตั้งวงจรไฟฟ้า; การเรียนรู้แบบเมกเกอร์; เจตคติทางวิทยาศาสตร์; ความคิดสร้างสรรค์

บทนำ

การจัดการเรียนรู้เรื่อง “วงจรไฟฟ้า” ในทุกระดับมักประสบปัญหา เนื่องจากเนื้อหา มีลักษณะเป็นนามธรรม ผู้เรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (misconception) ในหลายประเด็น ได้แก่ การไหลของกระแสไฟฟ้า การต่อวงจร และความสัมพันธ์ตามกฎของโอห์ม (Kamcharean, 2022; Narjaikaw and Jeeravipoonvarn, 2014) การสอนแบบบรรยายหรือการทดลองแบบดั้งเดิมไม่สามารถสร้างความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Concept) ได้อย่างลึกซึ้ง อีกทั้งยังทำให้นักเรียนขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้โดยการลงมือทำ (Learning by Doing) และการจัดกิจกรรมที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง เช่น การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับกิจกรรมทำนา-สังเกต-อธิบาย และการใช้กิจกรรมอุปมาอุปไมย มีผลต่อการเสริมสร้างความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Juntana and Wuttiptom, 2015) ในขณะเดียวกันแนวคิดด้านสะเต็มศึกษา (STEM Education) ได้รับการพัฒนาไปสู่สะเต็มศึกษา (STEAM Education) โดยการผสมศิลปะเข้าไปในกระบวนการเรียนรู้เพื่อกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน (Amabile, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Maker-based learning และ ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) ของ Papert ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการสร้างสรรค์ชิ้นงาน เช่น สิ่งประดิษฐ์ หุ่นยนต์ โปรแกรม โมเดล เน้นให้ผู้เรียนเป็น “นักสร้าง (maker)” มากกว่า “ผู้รับความรู้ (Receiver)” ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดเนื้อหาและทิศทางการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Qi and Buechley, 2014)

“การ์ดวงจรไฟฟ้า” หรือ “Paper Circuit Card” เป็นกิจกรรมที่สอดคล้องกับแนวคิดข้างต้น โดยเปิดโอกาสให้สร้างชิ้นงานในรูปแบบที่จับต้องได้ เช่น การ์ดวันเกิด การ์ดปีใหม่ หรือหนังสือเล่มเล็ก ที่มีแสงสว่างจากหลอดไฟเมื่อต่อวงจรไฟฟ้าอย่างถูกต้อง (Shepherd *et al.*, 2021; Qi and Buechley, 2014) การ์ดวงจรไฟฟ้าช่วยให้นักเรียนเข้าใจองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้า การต่อวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและแบบขนาน (Peppler, Sedas and Thompson, 2023) การใช้วัสดุที่จับต้องได้และการแสดงผลเชิงประจักษ์ผ่านความสว่างของหลอดไฟ ช่วยเปลี่ยนนามธรรมของการไหลของอิเล็กตรอนให้เป็นรูปธรรม ซึ่งช่วยลดความคลาดเคลื่อนทางแนวคิด นอกจากนี้ การจัดการเรียนรู้ด้วยการ์ดวงจรไฟฟ้ายังช่วยกระตุ้นความสนใจและความมั่นใจของนักเรียนในการเรียนวิทยาศาสตร์ (Chen *et al.*, 2024)

การสร้างชิ้นงานการ์ดวงจรไฟฟ้า เป็นกิจกรรมที่เอื้อต่อการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ โดยเฉพาะเมื่อมีการเชื่อมโยงกับสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) ซึ่งผู้เรียนต้องวางแผน ออกแบบ ทดลอง แก้ปัญหา และปรับปรุงผลงาน (Dinc, Özkan and Alaca, 2021) พบว่าผู้เรียนมีพัฒนาการด้านการคิดสร้างสรรค์อย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้ออกแบบชิ้นงานที่มีความหมายสำหรับตนเอง (Zulkarnain *et al.*, 2024)

ในขณะเดียวกัน เจตคติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Attitudes) เป็นองค์ประกอบสำคัญในพฤติกรรมการเรียนรู้ระยะยาวของผู้เรียน โดยเฉพาะความมั่นใจในตนเอง ความใฝ่รู้ และแรงจูงใจในการแสวงหาความรู้ (Ogunleye, 2018) กิจกรรมที่มีความหมายและให้อิสระแก่ผู้เรียนในการเลือกออกแบบชิ้นงาน เช่น การ์ดวงจรไฟฟ้า สามารถส่งเสริมเจตคติเหล่านี้ได้อย่างเป็นรูปธรรม (Chen *et al.*, 2024)

แม้จะมีงานวิจัยที่กล่าวถึงประโยชน์ของกิจกรรมการ์ดวงจรไฟฟ้าในด้านใดด้านหนึ่ง เช่น ความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์ แต่ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของกิจกรรมดังกล่าวอย่างการบูรณาการในสามด้าน ได้แก่ (1) ความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้า (2) เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และ (3) ความคิดสร้างสรรค์ โดยเฉพาะในบริบทของนักเรียนระดับประถมศึกษาซึ่งเป็นวัยที่เหมาะสมต่อการปลูกฝังเจตคติพื้นฐานและทักษะความคิดสร้างสรรค์ ก่อนเข้าสู่เนื้อหาฟิสิกส์ที่ซับซ้อนในระดับมัธยมศึกษา อีกทั้งเป็นกิจกรรมที่มีความเหมาะสมด้านต้นทุนที่ต่ำซึ่งเหมาะกับโรงเรียนขยายโอกาสในประเทศไทย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้าก่อนและหลังเรียนด้วยกิจกรรมการ์ดวงจรไฟฟ้า
2. เพื่อประเมินระดับความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนที่แสดงออกผ่านกิจกรรมการ์ดวงจรไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการ์ดวงจรไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Design) แบบกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลัง (One-Group Pretest–Posttest Design) โดยใช้วิธีวิจัยเชิงปริมาณ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งด้านความเข้าใจโน้มน้าทางวิทยาศาสตร์ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ้านแก่งยาง อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานีที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จำนวน 16 คน (1 ห้องเรียน) ซึ่งได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากเป็นห้องเรียนที่ผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติการสอน บริบทของกลุ่มตัวอย่าง ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่างพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีฐานะยากจนและอาศัยอยู่กับปู่ย่าตายายเนื่องจากบิดามารดาต้องไปประกอบอาชีพต่างถิ่น ส่งผลให้นักเรียนขาดทุนสนับสนุนและขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้ โดยมีเป้าหมายทางการศึกษาเพียงระดับภาคบังคับ (มัธยมศึกษาปีที่ 3) ทั้งนี้ การดำเนินการวิจัยได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองและนักเรียนเป็นลายลักษณ์อักษรตามหลักจริยธรรมการวิจัย

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องวงจรไฟฟ้าโดยบูรณาการแนวคิดสะเต็มศึกษา จำนวน 2 แผน (รวม 4 ชั่วโมง) ซึ่งประกอบด้วย

- **สื่อและวัสดุอุปกรณ์ (Materials)** ชุดกิจกรรมการทดลองวงจรไฟฟ้า ประกอบด้วย ถ่านกระดุม หลอดไฟ LED อะลูมิเนียมฟอยล์ กระดาษแข็งหลากสี สี เทปกาว
- **ขั้นตอนการจัดกิจกรรม** กิจกรรมการเรียนรู้เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและการสร้างสรรค์ชิ้นงานประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้
 1. **ระบุปัญหา** นักเรียนรับโจทย์เพื่อสร้างการคิดที่สามารถส่องสว่างได้ตามจินตนาการ ภายใต้เงื่อนไขการใช้วัสดุและกลไกสวิตช์ปิด-เปิดที่กำหนด
 2. **รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา** นักเรียนทบทวนความรู้เรื่องวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย ขั้วของหลอดไฟ LED ขั้วขั้วถ่านกระดุม ตัวนำและฉนวน
 3. **ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา** นักเรียนร่างภาพร่าง (Sketch) เพื่อวางแผนผังวงจร (Schematic Diagram) ให้สอดคล้องกับตำแหน่งของรูปภาพและการจัดวางองค์ประกอบศิลป์บนหน้ากระดาษ
 4. **วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา** นักเรียนลงมือสร้างชิ้นงานโดยลากสายเส้นวงจร ติดอะลูมิเนียมฟอยล์ เชื่อมต่อหลอดไฟ LED และติดตั้งแบตเตอรี่ตามแบบที่ร่างไว้
 5. **ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน** นักเรียนทดสอบการติดตั้งของหลอดไฟ LED หากไม่สว่างนักเรียนต้องหาสาเหตุ (เช่น การต่อสลับขั้ว รอยต่อไม่สนิท) และการแก้ไขจุดบกพร่อง
 6. **นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา** ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนนำเสนอผลงานที่เสร็จสมบูรณ์ อธิบายหลักการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่ซ่อนอยู่ และแนวคิดการออกแบบเชิงสร้างสรรค์

หมายเหตุ ก่อนจะใช้แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องวงจรไฟฟ้าโดยบูรณาการแนวคิดสะเต็มศึกษา จำนวน 2 แผนนี้ นักเรียนได้รับการสอนแบบดั้งเดิม (Traditional Teaching) เรื่อง วงจรไฟฟ้าอย่างง่าย ทั้งนี้ นักเรียนได้ทดลองจริงและการทดลองเสมือนด้วยโปรแกรม PhET Simulation

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

3.2.1 แบบทดสอบ DIRECT 1.0 ย่อมาจาก The Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test 1.0 ซึ่งพัฒนาโดย Engelhardt and Beichner (2004) ชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก โดยแบบทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากงานวิจัยของชาญวิทย์ คำเจริญ (Kamcharean, 2022) ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและความตรงจากผู้เชี่ยวชาญ มีค่าดัชนีความสอดคล้องและความเหมาะสมด้านเนื้อหาฟิสิกส์ (Indexes of item-objective congruence: IOC) ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.82 และผู้วิจัยเลือกมาจำนวน 19 ข้อคำถาม (ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้) แต่ละข้อคำถามวัดความเข้าใจในหลักการพื้นฐานและลักษณะการทำงานของวงจรไฟฟ้ามากกว่าเน้นการคำนวณที่ใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบทดสอบ The Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test 1.0

| หัวข้อ | เนื้อหา | DIRECT1.0 |
|-------------------------------------|---|-----------|
| 1. ลักษณะทั่วไปของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง | 1) เส้นทางเดินของกระแสและการไหลผ่านเส้นทางที่มีความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุดและเส้นทางสำหรับการตีวงจรร | 10, 19 |
| | 2) การต่ออุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้าที่ต่อกัน 2 ตำแหน่ง | 8, 26 |
| | 3) การประยุกต์ใช้แนวคิดเรื่องความต้านทานไฟฟ้าในวงจร เมื่อการต่อ อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอนุกรมค่าความต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าต่อ อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบขนานค่าความต้านทานไฟฟ้าจะลดลง | 22 |
| | 4) การประยุกต์ใช้แนวคิดเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้าสากลรูปแบบ เช่น การต่อ แบบอนุกรม การต่อแบบขนานและการต่อแบบผสม | 4 |
| 2. พลังงานไฟฟ้า | 5) การประยุกต์ใช้แนวคิดเรื่องกำลังไฟฟ้า (พลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา) ในวงจรหลากหลายรูปแบบ | 13 |
| | 6) การประยุกต์ใช้แนวคิดเรื่อง การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า กฎของเคียร์รี ซอฟฟ์ และแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า (แบตเตอรี่) | 3, 21, 27 |
| 3. กระแสไฟฟ้า | 7) ความเข้าใจและประยุกต์ใช้ การอนุรักษ์กระแสไฟฟ้าในวงจรหลากหลายรูปแบบ | 18 |
| 4. ความต่างศักย์ไฟฟ้า | 8) อธิบายเหตุผลทางกายภาพของการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้าสถิตสนับสนุนไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าและประจุไฟฟ้า | 11, 17 |
| | 9) การใช้ความรู้เรื่องปริมาณกระแสไฟฟ้าในวงจรขึ้นอยู่กับความต่าง ศักย์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่และความต้านทานไฟฟ้าในวงจร | 7, 16, 25 |
| | 10) การประยุกต์ใช้แนวคิดของความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจรที่มีหลายจุดไปถึงการคำนวณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของจุดต่าง ๆ ในวงจรไฟฟ้าที่ต่อแบบ อนุกรมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละตัวรวมกัน ส่วนวงจรขนาน ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละตัวจะมีค่าเท่ากัน | 9, 28, 29 |

3.2.2 แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งผู้วิจัยสร้างขึ้นเองในรูปแบบ Scoring Rubric เพื่อประเมินชิ้นงาน Paper Circuit Card ของผู้เรียน โดยอิงตามแนวคิดของ Landis and Koch (1977) แบ่งเกณฑ์การประเมินออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ (1) ความแปลกใหม่ (2) ความสวยงามของการออกแบบ และ (3) ความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน 3 ระดับ (ดีมาก ดี และพอใช้) เครื่องมือนี้ได้ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และในการเก็บรวบรวมข้อมูล การประเมินผลงานทำโดยผู้วิจัยร่วมกับครูผู้สอน จำนวนรวม 2 ท่าน เพื่อลดความคลาดเคลื่อน โดยนำคะแนนที่ได้มาหาค่าความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมิน (Inter-Rater Reliability) พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เท่ากับ 0.85 ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีคุณภาพยอมรับได้

3.2.3 แบบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้ดัดแปลงมาจากแบบวัดมาตรฐาน TOSRA (Test of Science-Related Attitudes) ของ Fraser (1981) ลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 5 ระดับ (5 = เห็นด้วยอย่างยิ่ง ถึง 1 = ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) **จำนวนรวมทั้งสิ้น 10 ข้อ** ครอบคลุม 3 ด้าน ได้แก่ (1) ความสนใจและความเพลิดเพลินในวิทยาศาสตร์ (2) การสืบเสาะหาความรู้และการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ (3) การมีส่วนร่วมและความมั่นใจในตนเอง ซึ่งสะท้อนอารมณ์และแรงจูงใจภายในของผู้เรียนต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในบริบทของการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ (Constructive and Creative learning) ทั้งนี้ แบบวัดดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือด้านความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยพิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 แสดงให้เห็นว่าข้อคำถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสามารถนำไปใช้วัดเจตคติของผู้เรียนได้จริง มีค่าความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) เท่ากับ 0.87

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

(1) การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนนความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างสัมพันธ์ (Paired-Sample T-test)

(2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา วิเคราะห์ระดับความคิดสร้างสรรค์ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (M) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percentage) จำแนกตามระดับคุณภาพ และวิเคราะห์เจตคติทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (M) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 ระหว่างเดือน พฤษภาคม - กรกฎาคม 2568 ณ โรงเรียนบ้านแก่งยาง อำเภอพิบูลย์มังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

(1) **ขั้นเตรียมการ** ผู้วิจัยทำหนังสือขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลจากทางโรงเรียน และชี้แจงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการทำกิจกรรม รวมถึงรายละเอียดเรื่องการพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง (Research Ethics) ให้แก่นักเรียนและผู้ปกครองทราบเพื่อขอความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย (Informed Consent)

(2) **ขั้นก่อนการทดลอง (Pre-test)** ดำเนินการก่อนเริ่มกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบ DIRECT 1.0 เพื่อนำคะแนนมาบันทึกเป็นคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pre-test Score)

(3) **ขั้นการทดลอง (Intervention)** ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องวงจรไฟฟ้าตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในหัวข้อ “กิจกรรมการดวงจรไฟฟ้า” เป็นระยะเวลารวม 4 ชั่วโมง 2 คาบ โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนด้วยตนเอง ซึ่งในระหว่างการทำกิจกรรมได้มีการสังเกตพฤติกรรมและบันทึกผลการปฏิบัติงานของนักเรียนในแต่ละขั้นของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

(4) **ขั้นหลังการทดลอง (Post-test)** ดำเนินการ ททันที หลังจากสิ้นสุดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

ด้านพุทธิพิสัย วัดความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ด้วยแบบทดสอบ DIRECT 1.0 (ฉบับเดิม)

ด้านทักษะพิสัย ประเมินความคิดสร้างสรรค์จาก “ชิ้นงาน” กิจกรรมการดวงจรไฟฟ้าที่สำเร็จแล้ว โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริก (Scoring Rubric) ที่สร้างขึ้น

ด้านจิตพิสัย สอบถามเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ด้วยแบบวัดเจตคติที่สร้างขึ้น

(5) **ขั้นวิเคราะห์ข้อมูล** นำข้อมูลคะแนนทั้งหมดที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องและนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยตามคำถามวิจัยที่ 1: ความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้า

ความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้าของนักเรียนได้รับการวัดด้วยแบบทดสอบ DIRECT 1.0 ก่อนและหลังเรียน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 6.09 (คิดเป็นร้อยละ 26.28, S.D. = 2.98) และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 15.81 (คิดเป็นร้อยละ 64.67, S.D. = 2.04) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนสอบด้วยสถิติ T-test พบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 10.77, p < .001$) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้แบบบูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องการดวงจรไฟฟ้า ช่วยให้นักเรียนมีพัฒนาการด้านความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 2 คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที จากแบบทดสอบ DIRECT1.0

| การทดสอบ (คะแนนเต็ม 19) | จำนวน (คน) | ค่าเฉลี่ย | SD | t | Sig. |
|----------------------------|------------|----------------|------|-------|------|
| ก่อนเรียน | 16 | 6.09 (26.28%) | 2.98 | 10.77 | .001 |
| หลังเรียน | 16 | 15.81 (64.67%) | 2.04 | | |

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์พัฒนาการของผู้เรียนด้วยค่าความก้าวหน้าทางการเรียน (Normalized gain) ตามแนวคิดของ Hake (1998) ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ในภาพรวมนักเรียนมีค่าความก้าวหน้าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลาง (Medium Gain) และเมื่อพิจารณารายหัวข้อ พบว่าหัวข้อที่นักเรียนมีพัฒนาการสูงสุดคือ พลังงานไฟฟ้า ($g = 0.79$, ระดับสูง) รองลงมาคือ ลักษณะทั่วไปของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ($g = 0.67$, ระดับปานกลาง) และ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ($g = 0.54$, ระดับปานกลาง) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม หัวข้อ กระแสไฟฟ้า มีค่าความก้าวหน้าต่ำสุด ($g = 0.25$) ซึ่งผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่าเป็นหัวข้อที่มีความเป็นนามธรรมสูงและมีความยากสำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษา แต่อย่างไรก็ตามคะแนนเฉลี่ยในหัวข้อนี้ก็ยังคงเพิ่มขึ้นหลังจากการจัดกิจกรรม

ตารางที่ 3 คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน normalized gain จากแบบทดสอบ DIRECT1.0 จำแนกรายหัวข้อ

| หัวข้อ | ก่อนเรียน | | หลังเรียน | | Normalized gain <g> |
|---|---------------|------|----------------|------|------------------------|
| | ค่าเฉลี่ย | SD | ค่าเฉลี่ย | SD | |
| 1. ลักษณะทั่วไปของ วงจรไฟฟ้ากระแสตรง (6) | 1.89 (31.50%) | 1.38 | 4.63 (77.17%) | 0.98 | 0.67 |
| 2. พลังงานไฟฟ้า (4) | 1.69 (42.25%) | 1.12 | 3.51 (87.75%) | 0.65 | 0.79 |
| 3. กระแสไฟฟ้า (1) | 0.00 (0.00%) | 0.00 | 0.25 (25.00%) | 0.45 | 0.25 |
| 4. ความต่างศักย์ไฟฟ้า (8) | 2.51 (31.38%) | 1.75 | 5.50 (68.75%) | 1.28 | 0.54 |
| เฉลี่ย | 6.09 (26.28%) | 2.98 | 15.81 (64.67%) | 2.04 | 0.56 |

ผลการวิจัยตามคำถามวิจัยที่ 2 ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบและประยุกต์ใช้

เพื่อให้ทราบถึงระดับความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนที่เกิดขึ้นผ่านการทำชิ้นงาน ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลการตรวจโครงงานโดยใช้แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ประเมินใน 3 ด้าน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนและร้อยละเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์

| การประเมินความคิดสร้างสรรค์ | ระดับความคิดสร้างสรรค์ (จำนวนคน (ร้อยละ)) | | |
|-----------------------------|---|-----------|-----------|
| | ดีมาก | ดี | พอใช้ |
| ความแปลกใหม่ | 10 (62.50) | 4 (25.00) | 2 (12.50) |
| ความสวยงามของการออกแบบ | 8 (50.00) | 7 (43.75) | 1 (6.25) |
| ความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า | 10 (62.50) | 4 (25.00) | 2 (12.50) |
| เฉลี่ย | (58.33) | (31.25) | (10.42) |

ความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ความแปลกใหม่ ความสวยงามของการออกแบบ และความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า จากตารางที่ 4 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับ “ดีมาก” คิดเป็นร้อยละ 58.33 ขณะที่ร้อยละ 31.25 อยู่ในระดับ “ดี” และมีเพียงร้อยละ 10.42 ที่อยู่ในระดับ “พอใช้”

ด้านความแปลกใหม่ มีนักเรียนระดับ “ดีมาก” มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 62.50 แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนสามารถสร้างแนวคิดหรือรูปแบบการตรวจโครงงานที่มีความแตกต่างจากตัวอย่างและมีการนำเสนอไอเดียอย่างเป็นเอกลักษณ์

ด้านความสวยงามของการออกแบบ มีผู้เรียนในระดับ “ดีมาก” ร้อยละ 50.00 และ “ดี” ร้อยละ 43.75 สะท้อนถึงความใส่ใจในองค์ประกอบทางศิลปะและความประณีตในการตกแต่งผลงาน ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของแนวทางสะเต็มศึกษาที่เน้นการเชื่อมโยงศิลปะเข้ากับวิทยาศาสตร์

ด้านความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า อยู่ในระดับ “ดีมาก” ร้อยละ 62.50 เช่นเดียวกับด้านความแปลกใหม่ แสดงถึงความเข้าใจหลักการทางไฟฟ้าอย่างถูกต้องและสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในการสร้างวงจรที่ทำงานได้จริง ความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า (เช่น ไฟติดหรือไม่, ต่อถูกขั้วไหม) เป็นทักษะปฏิบัติ (Performance/Skills) ที่เกิดจากความรู้ความเข้าใจ (Cognitive) มากกว่าความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) ความถูกต้องของวงจรไฟฟ้าถือเป็นพื้นฐานสำคัญของความคิดสร้างสรรค์เชิงนวัตกรรม (Functional creativity) เพราะสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างสรรค์ต้องสามารถใช้งานได้จริง



ภาพที่ 1 ผลงานการประดิษฐ์ไฟฟ้านักเรียน

ตัวอย่างผลงานของนักเรียนแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการผสมผสานความรู้ทางวิทยาศาสตร์เข้ากับศิลปะอย่างสร้างสรรค์ เช่น การออกแบบการ์ดอวยพร การวาดแผนภาพวงจรไฟฟ้า การต่อวงจรไฟฟ้าจากอลูมิเนียมฟลอย หลอด LED และ แบตเตอรี่ (ถ่านกระดุม) แสดงถึงความสามารถในการเชื่อมโยง “องค์ความรู้” เข้ากับ “ศิลปะ” ผ่านการ “แก้ปัญหา” เพื่อให้หลอดไฟติด ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาโดยเน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นตัวขับเคลื่อน

ผลการวิจัยตามคำถามวิจัยที่ 3: เจตคติทางวิทยาศาสตร์

ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเข้าร่วมกิจกรรมการประดิษฐ์ไฟฟ้าย่อยแสดงดังตารางที่ 5 และรายด้านแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเข้าร่วมกิจกรรมการประดิษฐ์ไฟฟ้านักเรียน (รายข้อ)

| เจตคติทางวิทยาศาสตร์ | ค่าเฉลี่ย | S.D. | แปลผล |
|--|-----------|------|-----------|
| 1. นักเรียนมีความตั้งใจที่จะร่วมกิจกรรมวิชาวิทยาศาสตร์ | 4.25 | 0.93 | มาก |
| 2. นักเรียนมีความสนุกสนานที่ได้ทำการประดิษฐ์ไฟฟ้านักเรียน | 4.31 | 0.79 | มาก |
| 3. นักเรียนมีความสุขที่ได้ร่วมกิจกรรมการประดิษฐ์ไฟฟ้านักเรียน | 4.31 | 0.87 | มาก |
| 4. วิชาวิทยาศาสตร์มีกิจกรรมน่าสนใจมากที่สุด | 4.44 | 0.73 | มาก |
| 5. นักเรียนต้องการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อค้นหาคำตอบ | 4.63 | 0.72 | มากที่สุด |
| 6. นักเรียนให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งกับการรับรู้สิ่งใหม่ ๆ ที่ถูกค้นพบ | 4.25 | 0.93 | มาก |
| 7. นักเรียนมีความสุขทุกครั้งที่ได้มีส่วนร่วมในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ | 4.44 | 0.81 | มาก |
| 8. นักเรียนชอบพูดคุยกับเพื่อน ๆ เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ว่าตนจะทำอะไรได้บ้าง | 4.44 | 0.81 | มาก |
| 9. น่าจะมีชั่วโมงเรียนวิชาวิทยาศาสตร์มากกว่านี้ในแต่ละสัปดาห์ | 4.38 | 0.81 | มาก |
| 10. นักเรียนรู้สึกพอใจอย่างยิ่งเมื่อได้ทำกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ | 4.44 | 0.81 | มาก |
| รวม | 4.39 | 0.82 | มาก |

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเข้าร่วมกิจกรรมการประดิษฐ์ไฟฟ้านักเรียน (รายด้าน)

| เจตคตรายด้าน | ข้อที่ | ค่าเฉลี่ย | S.D. | แปลผล |
|---|---------------|-----------|------|-------|
| 1. ความสนใจและความเพลิดเพลินในวิทยาศาสตร์ | 2, 3, 4, 7, 9 | 4.38 | 0.80 | มาก |
| 2. การสืบเสาะและความอยากรู้อยากเห็นทางวิทยาศาสตร์ | 5, 6 | 4.44 | 0.83 | มาก |
| 3. การมีส่วนร่วมและความมั่นใจในตนเอง | 1, 8, 10 | 4.38 | 0.83 | มาก |

ผลจากแบบวัดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ค่าเฉลี่ยเจตคติทางวิทยาศาสตร์เท่ากับ 4.39 (S.D. = 0.82) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการตรวจไฟฟ้าแบบบูรณาการ STEAM ส่งผลเชิงบวกต่อการเรียนวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า

(1) **ความสนใจและความเพลิดเพลินในวิทยาศาสตร์** นักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 4.38 อยู่ในระดับมาก ในข้อที่เกี่ยวข้องกับความสนุก ความพึงพอใจ และความชื่นชอบต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะข้อ “วิชาวิทยาศาสตร์มีกิจกรรมน่าสนใจมากที่สุด” และ “นักเรียนมีความสุขทุกครั้งที่ได้มีส่วนร่วมในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์” นักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 4.44 อยู่ในระดับมากทั้งสองข้อ ผลวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า กิจกรรม Maker-Based learning ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบและสร้างผลงานจริง เช่น การตรวจไฟฟ้า ทำให้ผู้เรียนรู้สึกเพลิดเพลินและมองว่าวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมที่น่าสนใจและมีความหมายมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Papert (1980) และ Lu, Xu and Liu (2021) ที่ชี้ว่าการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ช่วยเพิ่มความสุขและแรงจูงใจภายในของผู้เรียนอย่างยั่งยืน

(2) **การสืบเสาะและความอยากรู้อยากเห็นทางวิทยาศาสตร์** นักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 4.44 อยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นด้านที่นักเรียนมีความพึงพอใจมากที่สุด สำหรับในกลุ่มข้อคำถามที่สะท้อนถึงการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เช่น “นักเรียนต้องการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อค้นหาคำตอบ” พบว่าค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 4.63 อยู่ในระดับ “มากที่สุด” และ “ฉันให้ความสำคัญกับการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ ที่ค้นพบ” (ค่าเฉลี่ย = 4.25, S.D. = 0.93) ดังนั้นการที่นักเรียนได้ทดลองออกแบบวงจร ตรวจสอบการทำงาน และปรับปรุงการทดลองของตัวเองซ้ำหลายครั้ง ช่วยให้เกิดกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry Cycle) อย่างเป็นธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Constructivist learning ของ Piaget (1977) และ Vygotsky (1978) ที่มองว่าความรู้เกิดจากการสร้างและทดสอบสมมติฐานของผู้เรียนเองผ่านการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ

(3) **การมีส่วนร่วมและความมั่นใจในตนเอง** ในด้านการมีส่วนร่วมและความมั่นใจ นักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 4.38 อยู่ในระดับมาก ซึ่งความพึงพอใจในด้านนี้มีค่าเท่ากับเจตคติทางวิทยาศาสตร์ด้านความสนใจและความเพลิดเพลินในวิทยาศาสตร์ โดย “นักเรียนชอบพูดคุยกับเพื่อน ๆ เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ว่าตนจะทำอะไรได้บ้าง” และ “นักเรียนรู้สึกพอใจอย่างยิ่งเมื่อได้ทำกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์” นักเรียนมีความพึงพอใจในทั้ง 2 ข้อเท่ากัน มีค่าเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 4.44 อยู่ในระดับ “มาก” จากการสัมภาษณ์กับนักเรียนอย่างไม่เป็นทางการพบว่ามีความตั้งใจและความพึงพอใจเพิ่มขึ้นในการเข้าร่วมกิจกรรมวิทยาศาสตร์ เช่น “หนูตั้งใจตลอดเวลาเมื่อทำกิจกรรมวิทยาศาสตร์” และ “หนูรู้สึกภูมิใจในผลงานของตนเองหลังจากทำกิจกรรมเสร็จสิ้น” นอกจากนี้ผู้วิจัยยังสังเกตเห็นว่านักเรียนมีความกระตือรือร้นในการออกแบบการ์ด ตรวจสอบวงจรไฟฟ้า และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนอย่างต่อเนื่อง ลักษณะพฤติกรรมดังกล่าวสะท้อนถึงการเกิดเจตคติทางวิทยาศาสตร์ในเชิงบวก ได้แก่ ความมั่นใจในความสามารถตนเอง (Self-Efficacy) ความมุ่งมั่น และการทำงานร่วมกัน ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สอดคล้องกับแนวคิด Maker-based learning ของ Chen *et al.* (2024) ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการลงมือทำและการสะท้อนคิด (Reflection through making)

อภิปรายผล

การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการตรวจไฟฟ้าตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่องวงจรไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง ($<g> = 0.56$) โดยหัวข้อที่มีพัฒนาการสูงสุดคือ “พลังงานไฟฟ้า” ทั้งนี้เนื่องจากการที่นักเรียนได้ลงมือต่อวงจรจริง ทำให้แนวคิดที่เป็นนามธรรม เช่น การถ่ายโอนพลังงานจากแบตเตอรี่สู่หลอดไฟ ถูกเปลี่ยนให้เป็นรูปธรรมที่มองเห็นได้ (Visualization) การที่หลอดไฟสว่างขึ้น ทำให้นักเรียนเข้าใจกระบวนการของการไหลของกระแสและการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ทันที ซึ่งสอดคล้องกับสอดคล้องกับ กระบวนการสร้างองค์ความรู้ (Knowledge Construction) ของ Piaget (1977), Vygotsky (1978) และ Papert (1980) ที่กล่าวว่าการเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อผู้เรียนได้สร้างชิ้นงานที่มีความหมาย

ในด้านความคิดสร้างสรรค์ พบว่าอยู่ในระดับสูงทั้งความแปลกใหม่ ความสวยงามของการออกแบบ และความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า ประเด็นที่น่าสนใจคือ “ความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า” ซึ่งแม้จะเป็นความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แต่ในบริบทของ Maker Education ถือเป็น “ความคิดสร้างสรรค์เชิงหน้าที่ (Functional Creativity)” กล่าวคือ ผู้เรียนต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหา (Problem Solving) เพื่อออกแบบวงจรไฟฟ้าด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ให้ซ่อนอยู่ภายใต้องค์ประกอบศิลป์อย่างแนบเนียนและยังคงทำงานได้จริง การบูรณาการศิลปะ (Art) เข้ากับวิศวกรรม (Engineering) เช่นนี้ช่วยลดความรู้สึกว่าเป็นเรื่องยาก และกระตุ้นให้นักเรียนกล้าที่จะทดลองและเรียนรู้จากข้อผิดพลาด

สำหรับเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยยืนยันว่ากิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนมีอิสระในการออกแบบ (Autonomy) ช่วยส่งเสริมความอยากรู้อยากเห็นและการมีส่วนร่วมได้อย่างดีเยี่ยม การที่นักเรียนเห็นผลงานของตนเองใช้งานได้จริง สร้างความรู้สึกประสบความสำเร็จ (Sense of Achievement) และเปลี่ยนมุมมองว่าวิทยาศาสตร์เป็นเรื่องใกล้ตัวและสนุกสนาน

กิจกรรมการดวงจรไฟฟ้าตามแนวคิดสะเต็มศึกษา แสดงให้เห็น การเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบของความเข้าใจ (Conceptual) คิดสร้างสรรค์ (Creative) และเจตคติ (Affective) ใน 3 ประเด็นได้แก่ 1) การออกแบบและต่อวงจรช่วยสร้างความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์ 2) การปรับแก้และทดลองซ้ำช่วยหล่อหลอมความคิดสร้างสรรค์ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และ 3) การตกแต่งการ์ดและความภูมิใจในผลงานช่วยเสริมเจตคติทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการทั้งสามด้านนี้เกิดขึ้นแบบบูรณาการ ไม่ได้แยกขาดจากกัน แต่ส่งเสริมกันและกันจนเกิดเป็นการเรียนรู้เชิงองค์รวม (Holistic learning) ซึ่งเป็นหัวใจของการศึกษาตามแนวทางสะเต็มศึกษา

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า กิจกรรมการสร้างการดวงจรไฟฟ้าแบบบูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ส่งผลเชิงบวกต่อการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนระดับประถมศึกษาอย่างรอบด้าน โดยนักเรียนมีความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้าหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่าความก้าวหน้า (Normalized Gain) เท่ากับ 0.56 อยู่ในระดับปานกลาง สะท้อนว่ากิจกรรมดังกล่าวช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ผ่านการลงมือทำและการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ ผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนอยู่ในระดับดีถึงดีมาก ($M = 4.52, S.D. = 0.39$) โดยเฉพาะด้านความสวยงามของการออกแบบและความถูกต้องของวงจรไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการบูรณาการความรู้ด้านศิลปะและวิทยาศาสตร์อย่างสมดุล ส่วนเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยรวม 4.39 อยู่ในระดับมาก โดยข้อที่นักเรียนเห็นด้วยมากที่สุดคือ “ต้องการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อค้นหาคำตอบ” ($M = 4.63$) และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่า เจตคติด้านการสืบเสาะและความอยากรู้อยากเห็นมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($M = 4.44$) ผลลัพธ์ทั้งหมดสะท้อนว่ากิจกรรมการดวงจรไฟฟ้าแบบ Maker-Based Learning ที่บูรณาการแนวคิดสะเต็มศึกษา สามารถพัฒนาความเข้าใจ เจตคติ และความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่มีความหมาย สนุกสนาน และสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ต่อยอดในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเรื่องผลของกิจกรรมการดวงจรไฟฟ้าตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนประถมศึกษา ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. **ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้** มี 3 ประเด็นได้แก่ 1) แม้ว่ากิจกรรมการดวงจรไฟฟ้าจะมีต้นทุนต่ำและเหมาะสมกับบริบทโรงเรียนขยายโอกาส แต่ครูผู้สอนควรตรวจสอบคุณภาพของวัสดุอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ปัญหาทางเทคนิคที่ทำให้หลอดไฟ LED ไม่ติด เช่น การต่อไม่สนิท หรือ คุณสมบัติของเทปกาวที่เป็นฉนวน เป็นจุดสำคัญที่ทำให้ นักเรียนต้องตรวจสอบและแก้ไข 2) ในขั้นตอนการทดสอบและปรับปรุงแก้ไข ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่นักเรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านความล้มเหลวมากที่สุด ครูไม่ควรเร่งบอกคำตอบหรือช่วยแก้ปัญหาให้ทันที แต่ควรใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนตรวจสอบไล่เรียงวงจรด้วยตนเอง เพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาและความมั่นใจในตนเอง 3) การจัดการเรียนรู้ควรให้ความสำคัญกับสมดุลระหว่าง “ศิลปะ” และ “วิทยาศาสตร์” ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ด้านความสวยงามในระดับสูง ดังนั้น ครูควรกำหนดเกณฑ์การประเมิน (Rubric) ที่ชัดเจน เพื่อให้นักเรียนไม่มุ่งเน้นเพียงความสวยงามจนละเลยความถูกต้องของหลักการทางฟิสิกส์

2. **ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป** การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (16 คน) ในรูปแบบกลุ่มเดียว (One-group design) ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรพิจารณาเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่าง นอกเหนือจากความเข้าใจในมิติความคิดสร้างสรรค์ และเจตคติ การวิจัยในอนาคตอาจศึกษาทักษะอื่น ๆ ที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรม Maker-based learning เช่น ทักษะการทำงานร่วมกัน (Collaboration) ทักษะการสื่อสาร (Communication) หรือความคงทนในการเรียนรู้ (Learning Retention) ในระยะยาว

References

Amabile, T. (2012). *Componential theory of creativity*. Boston, MA: Harvard Business School.

- Chen, K.-C., Chu, S. L., Quek, F. and Schlegel, R. J. (2024). Integrating making with authentic science classes: An approach and evidence. *Journal of Science Education and Technology*, 33(4), 479-492.
- Dinç, B. G., Özkan, B. and Alaca, I. V. (2021). Interactive storytelling through LEDs and paper circuits: Tapping into materials and technology in children's literature education. *Journal of Literary Education*, (4), 266-288.
- Engelhardt, P. V. and Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.
- Fraser, B. J. (1981). **TOSRA: test of science-related attitudes**. Sydney: Australian Council for Educational Research.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Juntana, P. and Wuttiptom, S. (2015). Using a predict-observe-explain teaching method to enhance scientific concept about simple direct current circuits of grade 11 student (in Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 6(1), 1-13.
- Kamcharean, C. (2022). Analyzing high school students' understandings of direct current circuits by using multiple choice questions (in Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 13(1), 71-81.
- Landis, J. R. and Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Lu, C., Xu, S. and Liu, Q. (2021). Creative learning through maker education: A constructivist approach. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 45-58.
- Narjaikaew, P. and Jeeravipoonvarn, W. (2014). Using inquiry-based learning supplemented with predict-observe-explain and analogy teaching strategies enhancing electric DC circuit conceptions of elementary school teachers (in Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 5(1), 1-10.
- Ogunleye, A. O. (2018). Students' attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 14(1), 1-15.
- Papert, S. (1980). **Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas**. New York, NY: Basic Books.
- Peppler, K., Sedas, R. M. and Thompson, N. (2023). Paper circuits vs. breadboards: Materializing learners' powerful ideas around circuitry and layout design. *Journal of Science Education and Technology*, 32(4), 469-492.
- Piaget, J. (1977). **The development of thought: Equilibration of cognitive structures**. New York, NY: Viking Press.
- Qi, J. and Buechley, L. (2014). Sketching in circuits: Designing and building electronics on paper. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1713-1722). New York: Association for Computing Machinery.
- Shepherd, C. E., Smith, S. M., Kvenild, C., Buss, A. and Ratcliffe, C. (2021). Adding reach and ownership with paper airplane circuits. *International Journal of Designs for Learning*, 12(2), 127-136.
- Vygotsky, L. S. (1978). **Mind in society: The development of higher psychological processes**. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Zulkarnain, A. N., Prima, E. C., Winarno, N. and Wahono, B. (2024). Paper circuit project-based STEAM learning to enhance student understanding and creativity. *Journal of Science Learning*, 7(1), 1-16.