# การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายเพื่อยกระดับความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

**ภูสิทธิ์ จันทนา และสุระ วุฒิพรหม***

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

**รับบทความ: 18 เมษายน 2558 ยอมรับตีพิมพ์: 5 มิถุนายน 2558**

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายร่วมกับชุดการทดลองการต่อวงจรจากแผนภาพวงจร งานวิจัยนี้ใช้แผงต่อสายไฟแทนโพรโตบอร์ด กลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนเลยพิทยาคม อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย ที่ชักตัวอย่างแบบเจาะจง จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชุดการทดลอง แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคทำนาย–สังเกต–อธิบาย (POE) และแบบทดสอบความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องไฟฟ้ากระแสตรง ฉบับ 1.0 (DIRECT 1.0) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการทดสอบที (*t*-test) และ normalized gain ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเฉลี่ยระดับ medium gain ($\langle g \rangle = 0.35$) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายสามารถใช้ในการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้

**คำสำคัญ:** แผงต่อสายไฟ โพรโตบอร์ด แนวคิดวิทยาศาสตร์ วงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย การทำนาย–สังเกต–อธิบาย

# Using a Predict–Observe–Explain Teaching Method to Enhance Scientific Concept about Simple Direct Current Circuits of Grade 11 Student

**Phusit Juntana and Sura Wuttiprom***

Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand
*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

**Abstract**

The purpose of this research was to compare the students' scientific concept about simple direct current circuits before and after participating with predict–observe–explain teaching method incorporated with the experimental set involved in the building circuits from schematic drawings. This study used a terminal block as a protoboard. The sample group by purposive sampling is 30 Grade–11 students in the second semester of the academic year 2014 at Loeipittayakom School, Muangloei, Loei. The research tools consisted of an experimental set, lesson plans using the predict–observe–explain teaching method, and the Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test (DIRECT 1.0). Data were analyzed by *t*–test and normalized gain. The results showed that the post–test mean score was significantly higher than the pre–test mean score at a statistical level of .01. The average class normalized gain was at the medium gain level (<*g*> = 0.35). The study illustrated that using predict-observe-explain teaching method can be used to develop students' concepts.

**Keywords:** Terminal block, Protoboard, Scientific concepts, Simple direct current circuits, Predict–observe–explain

## บทนำ

การพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ให้เกิดกับผู้เรียนทำได้ยาก ผู้เรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน (alternative conception บางงานวิจัยใช้ misconception) (Alparslan, Tekkaya and Geban, 2003; Muller, Sharma, Eklund and Reimann, 2007; Planinic, Boone, Krsnik and Beilfuss, 2006) ต่างจากแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ และแนวคิดคลาดเคลื่อนนี้ส่งผลให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่ได้ยากขึ้น เนื่องจากแนวคิดวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนเกิดขึ้นจากการรับรู้ของผู้เรียนที่มีต่อโลกที่ผู้เรียนอาศัยอยู่ และได้รับการพัฒนาขึ้นขณะที่ผู้เรียนพยายามอธิบายหรือเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ รอบตัวโดยอาศัยความรู้เดิม (prior

knowledge) ของผู้เรียนที่มีอยู่ซึ่งได้รับอิทธิพลจากประสบการณ์ บริบททางสังคม และวัฒนธรรม ความรู้เดิมที่ผู้เรียนมีอยู่นี้อาจตรงกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักวิทยาศาสตร์หรือไม่ก็ได้ (Confrey, 1990; Davis, 1997; diSessa, 1998)

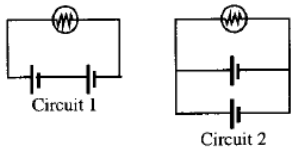
McDermott and Shaffer (1992) สำรวจความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักศึกษาที่มหาวิทยาลัยวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาที่ผ่านการเรียนเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงมาแล้ว แต่พื้นฐานความรู้ในวิชาฟิสิกส์แตกต่างกัน พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ โดยให้เหตุผลว่าการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการแก้โจทย์โดยใช้พื้นฐานการคำนวณทางคณิตศาสตร์ (problem solving) ทำให้ไม่ส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาได้จริง ถึงแม้นักศึกษาส่วนใหญ่แก้สมการหาคำตอบที่ถูกต้องได้ แต่กลับให้เหตุผลไม่ได้ว่าเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น แสดงให้เห็นว่า วิธีการสอนที่เน้นเพียงการแก้โจทย์ปัญหาจากสมการทางฟิสิกส์ไม่เพียงพอที่จะทำให้นักศึกษามีความเข้าใจในเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างเพียงพอ คณะผู้วิจัยจึงเสนอว่าควรมีเครื่องมือเพื่อช่วยในการจัดการเรียนรู้ของนักศึกษา รวมทั้งครูผู้สอนจำเป็นต้องมีส่วนร่วมในขั้นตอนการเรียนรู้โดยลงมือปฏิบัติเป็นตัวอย่าง แนะนำและคอยตั้งคำถามในระหว่างการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้นักศึกษาฝึกคิดวิเคราะห์และทำนายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า

Thacker, Kim and Trefz (1994) ศึกษาเปรียบเทียบการแก้ปัญหาและการใช้เหตุผลเกี่ยวกับโจทย์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยแบ่งโจทย์คำถามเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 เป็นโจทย์ปัญหาที่เน้นความเข้าใจและอธิบายพฤติกรรมการทำงานในวงจรไฟฟ้า และกลุ่มที่ 2 เป็นโจทย์ปัญหาที่เน้นการคำนวณโดยใช้สมการทางฟิสิกส์และพื้นฐานคณิตศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาเป็นนักศึกษาที่มีพื้นฐานในวิชาฟิสิกส์ไม่เท่ากัน และเรียนเนื้อหาเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน กลุ่มที่ 1 เป็นนักศึกษาจากคณะศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์ที่เรียนเนื้อหาเรื่องวงจรไฟฟ้าโดยเน้นการลงมือปฏิบัติจริงในห้องปฏิบัติการ และเรียนรู้พฤติกรรมของวงจรไฟฟ้า วิเคราะห์แนวคิดพื้นฐานเรื่องวงจรไฟฟ้าจากวงจรจริง โดยมีผู้สอนคอยช่วยอธิบายและตอบคำถาม ตลอดจนช่วยแนะนำให้นักเรียนสามารถพัฒนาแนวคิดพื้นฐานเรื่องวงจรไฟฟ้าด้วยตัวเอง และกลุ่มที่ 2 เป็นนักศึกษาหลักสูตรเกียรตินิยมจากคณะวิทยาศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เรียนเนื้อหาเรื่องไฟฟ้า โดยเน้นเนื้อหาและหลักการต่าง ๆ ในเชิงทฤษฎีและสมการทางฟิสิกส์ ผลการวิจัยพบว่า ในการแก้ปัญหาที่เน้นการคำนวณเกี่ยวกับตัวเลข นักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิศวกรรมศาสตร์สามารถทำคะแนนได้ดี แต่ส่วนใหญ่ให้เหตุผลไม่ได้หรือให้เหตุผลไม่ถูกต้องและไม่ชัดเจน ส่วนนักศึกษาจากคณะศึกษาศาสตร์สามารถให้เหตุผลและทำนายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในวงจรได้ดีกว่า ซึ่งมีข้อสังเกตว่า การที่นักศึกษาจากคณะศึกษาศาสตร์สามารถอธิบายและให้เหตุผลที่ดีกว่า อาจมาจากการเรียนที่เน้นลงมือปฏิบัติจริงให้ห้องปฏิบัติการ ทำให้มีความคุ้นเคยมากกว่า และสามารถทำนายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในวงจรได้ดีกว่านักศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์และคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่เรียนโดยเน้น

ความรู้เชิงทฤษฎี

ข้อค้นพบจากงานวิจัยของ Engelhardt and Beichner (2003) ชี้ให้เห็นว่า นักเรียนและนักศึกษาต่างมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเหมือนกัน (ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของประเทศไทยโดย พัดตาวัน นาใจแก้ว และวรัญญา จีระวิพูลวรรณ, 2557) และยังพบว่าเพศมีผลต่อการเปลี่ยนจากแนวคิดที่คลาดเคลื่อนไปสู่แนวคิดวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างความคิดที่คลาดเคลื่อน เช่น จากคำถามข้อที่ 7 ของแบบทดสอบ DIRECT ให้นักเรียนเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟจากวงจรที่มีการต่อแบตเตอรี่ 2 เซลล์แบบอนุกรมกับแบบขนาน สามารถแบ่งคำตอบของนักเรียนเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ (1) ร้อยละ 27 ของนักเรียนเชื่อว่าการต่อแบตเตอรี่แบบขนานให้พลังงานและความต่างศักย์มากกว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม (2) ร้อยละ 46 ของนักเรียนเชื่อว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมให้พลังงานและความต่างศักย์มากกว่าการต่อแบบขนาน (3) นักเรียนร้อยละ 17 เชื่อว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมกับแบบขนานให้พลังงานและความต่างศักย์ไม่แตกต่างกัน Engelhardt and Beichner (2003) ให้ความสำคัญกับประเด็นนี้เพราะเป็นแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ (ถึงแม้จะไม่ค่อยมีการสอนการต่อแบตเตอรี่ในหลักสูตรปกติ) แต่นักเรียนต้องเข้าใจว่าวงจรที่แบตเตอรี่ต่อกันแบบขนาน ความต่างศักย์รวมที่ได้จะมีค่าเท่าเดิม แต่กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนวงจรที่แบตเตอรี่ต่อกันแบบอนุกรมความต่างศักย์รวมจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่กระแสไฟฟ้ารวมจะมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นหลอดไฟในวงจรที่ 1 (ภาพที่ 1) จึงสว่างกว่า

**คำถามข้อที่ 7** จงเปรียบเทียบความสว่างของหลอดไฟในวงจรที่ 1 และ วงจรที่ 2




**ตัวเลือก**

A. หลอดไฟในวงจร 1 สว่างกว่า เพราะการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมให้ความต่างศักย์น้อยกว่า
B. หลอดไฟในวงจร 1 สว่างกว่า เพราะการต่อแบตเตอรี่แบบอนุมกรมให้ความต่างศักย์มากกว่า
C. หลอดไฟในวงจร 2 สว่างกว่า เพราะการต่อแบตเตอรี่แบบขนานให้ความต่างศักย์น้อยกว่า
D. หลอดไฟในวงจร 2 สว่างกว่า เพราะการต่อแบตเตอรี่แบบขนานให้ความต่างศักย์มากกว่า
E. หลอดไฟในวงจร 1 และ 2 สว่างเท่ากัน

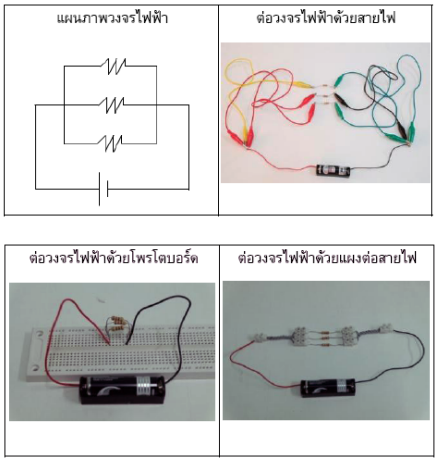
**ภาพที่ 1** คำถามข้อที่ 7 จากแบบทดสอบ DIRECT

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้แบบทดสอบ DIRECT เช่น งานวิจัยของพัดตาวัน นาใจแก้ว และวรัญญา จีระวิพูลวรรณ (2557) ศึกษาผลจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายของแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของครูวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา จำนวน 30 คน พบว่า ครูที่สอนตรงวุฒิกับไม่ตรงวุฒิหรือครูที่มีประสบการณ์สอนมากหรือน้อยมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงไม่แตกต่างกัน ตัวอย่างแนวคิดคลาดเคลื่อนที่ค้นพบจากการวิจัย เช่น

(1) หลอดไฟที่ต่อเรียงกันในวงจร หลอดใดหลอดหนึ่งได้รับและใช้กระแสไฟไปหมดก่อน จึงสว่างกว่าหลอดไฟที่เหลือที่ได้รับในปริมาณที่เหลือจากหลอดแรก (ทำให้สว่างน้อยลง) (2) แบตเตอรี่เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าคงที่ แต่ให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแบตเตอรี่ไม่คงที่ และ (3) การนำอุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งเข้าหรือออกไปจากวงจรไม่มีผลกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในวงจรทั้งหมดแต่มีผลเฉพาะต่อตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อน

การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–อธิบาย–สังเกต (predict–observe–explain, POE) เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดการสร้างความรู้ของตนเอง (constructivist) ของ Piaget ที่เชื่อว่าผู้เรียนทุกคนมีความรู้ความเข้าใจ ประสบการณ์เกี่ยวกับบางสิ่งบางอย่างมาแล้วไม่มากก็น้อย (prior knowledge) ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ใหม่ด้วยตนเองโดยการเชื่อมโยงความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับกับความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์ที่มีอยู่แล้ว การสร้างความรู้ของผู้เรียนแต่ละคนแตกต่างกันไปตามระดับของพื้นฐานความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์เดิมร่วมกับทฤษฎีการเรียนรู้ constructionism ของ Seymour Papert ที่เชื่อว่าความรู้ไม่ใช่เกิดจากผู้สอนเพียงอย่างเดียว แต่สามารถสร้างขึ้นโดยผู้เรียนเองได้ และการเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อผู้เรียนลงมือกระทำด้วยตนเอง (learning by doing) ผนวกกับทฤษฎีการเรียนรู้ social constructivism ของ Vygotsky ที่เชื่อว่าการที่คนเรามีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมตั้งแต่แรกเกิด และการปฏิสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อมนี้มีผลทำให้ระดับสติปัญญาและความคิด มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา แนวคิดดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ (cooperative learning) การจัดการเรียนรู้แบบ POE เสนอโดย White and Gunstone (1992) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การทำนาย การสังเกต และการอธิบาย จุดเด่นของการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย คือ สามารถช่วยให้ผู้สอนเข้าใจการคิดของผู้เรียน และช่วยให้ผู้สอนสามารถติดตามดูการเปลี่ยนแปลงความคิดของผู้เรียน (ไชยพงษ์ เรืองสุวรรณ, 2558)

จากการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ของโรงเรียนเลยพิทยาคม เรื่อง วงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านมาเน้นการบรรยายเป็นหลัก การลงมือปฏิบัติและการสืบเสาะหาความรู้ เมื่อให้นักเรียนทดลองต่อตัวต้านทานกับแบตเตอรี่ด้วยสายไฟ พบว่านักเรียนต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงไม่ได้ โดยให้เหตุผลว่าแผนภาพวงจรไฟฟ้าที่ปรากฏในหนังสือต่างจากการต่อวงจรจริง แต่เมื่อเปลี่ยนการต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงจากสายไฟเป็นโพรโตบอร์ด (proto board) หรือเบรดบอร์ด (breadboard) พบว่า นักเรียนก็ยังมีปัญหาเรื่องการต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรง นักเรียนบอกว่าจำไม่ได้ว่าภายใต้รูของโพรโตบอร์ดมีตัวนำไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกันในรูปแบบใด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะประยุกต์ใช้แผงต่อสายไฟ (terminal block) แทนสายไฟหรือโพรโตบอร์ดในการต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย นอกจากแผงต่อสายไฟมีราคาถูกและหาซื้อง่ายแล้ว ยังสามารถต่อเป็นวงจรไฟฟ้าให้มีลักษณะเหมือนกับแผนภาพวงจรไฟฟ้าที่ปรากฏในหนังสือ (ภาพที่ 2)




**ภาพที่ 2** การต่อวงจรไฟฟ้าอย่างง่ายด้วยสายไฟ โพรโตบอร์ด และแผงต่อสายไฟ

## วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงในวิชาฟิสิกส์ 3 ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายร่วมกับการทดลองการต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายด้วยแผงต่อสายไฟ

## วิธีดำเนินการวิจัย

### กลุ่มที่ศึกษา

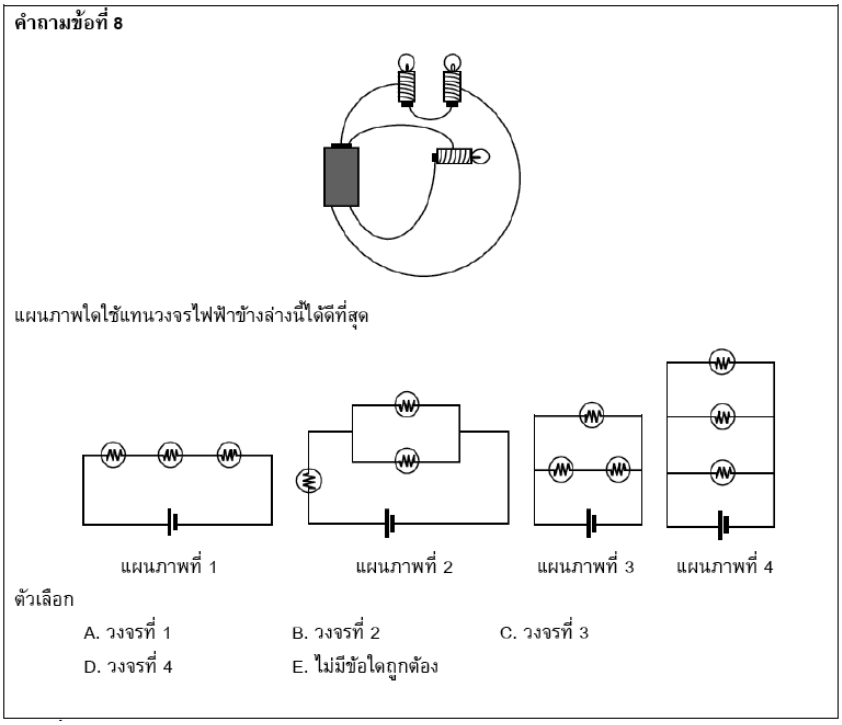
กลุ่มที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเลยพิทยาคม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 19 จังหวัดเลย จำนวน 1 ห้อง รวม 30 คน โดยชักตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling)

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย

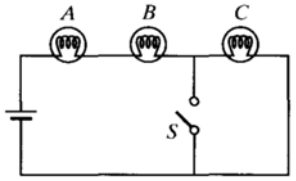
1. แบบทดสอบความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องไฟฟ้ากระแสตรงจากงานวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษาได้มีการพัฒนาแบบทดสอบความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องไฟฟ้ากระแสตรงหลายชิ้น ผู้วิจัยเลือกใช้แบบทดสอบ The Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test 1.0 (DIRECT 1.0) ซึ่งพัฒนาโดย Engelhardt and Beichner (1997) DIRECT 1.0 เป็นแบบทดสอบความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ (แปลเป็นภาษาไทยโดยกลุ่มวิจัยฟิสิกส์ศึกษาของมหาวิทยาลัยมหิดล (Physics Education Network of Thailand) DIRECT 1.0) ชนิดปรนัย 5 ตัวเลือก จำนวน 29 ข้อคำถาม แต่ละข้อคำถามวัดความเข้าใจ (understanding) ในหลักการพื้นฐานและลักษณะการทำงานของวงจรไฟฟ้ามากกว่าเน้นการคำนวณที่ใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกข้อคำถามจาก DIRECT 1.0 จำนวน 20 ข้อ ที่สอดคล้องกับเนื้อหาเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 กำหนดเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน 40 นาที แบบทดสอบ DIRECT 1.0 ทั้ง 20 ข้อคำถามนี้ วัด 3 แนวคิดวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ลักษณะเชิงกายภาพของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า ตัวอย่างข้อคำถามของ DIRECR 1.0 แสดงในภาพที่ 3

2. แผนการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย งานวิจัยนี้ดำเนินการในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 ระหว่างวันที่ 15–24 ธันวาคม 2557 โดยแบ่งการจัดการเรียนรู้แบ่งออกเป็น 4 ครั้ง ๆ ละ 2 ชั่วโมง ประกอบด้วย การต่อตัวต้านทาน กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ การต่อหลอดไฟ การออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย ประกอบด้วย 3 ขั้น ขั้นที่ 1 ทำนาย เริ่มจากผู้วิจัยให้นักเรียนทำนายผลการทดลองที่กำลังจะดำเนินการ ซึ่งผู้เรียนจะแสดงความเข้าใจหรือ




**ภาพที่ 3** ตัวอย่างข้อคำถามจากแบบทดสอบ DIRECT 1.0

ประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ของการทดลอง ขั้นที่ 2 สังเกต เป็นการทดลองที่ผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติเองได้ จากนั้นให้ผู้เรียนเขียนบันทึกการสังเกต ขั้นที่ 3 อธิบาย ผู้วิจัยให้ผู้เรียนสนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับสิ่งที่สังเกตกับเพื่อน ๆ ก่อนลงมือเขียนอธิบาย เมื่อผู้เรียนเขียนอธิบายเสร็จแล้ว ผู้สอนร่วมอภิปรายทั้งห้องอีกครั้งหนึ่ง ตัวอย่างการออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย แสดงในภาพที่ 4

| | |
|---|---|
| **การทดลอง**: หลอดไฟ A B และ C ต่อกันแบบอนุกรมกับแบตเตอรี่ดังรูป   | **ทำนาย**: หลอดไฟ A B และ C จะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร เมื่อปิดสวิตช์ S (พร้อมอธิบาย)<br>……<br>**สังเกต**: บันทึกการสังเกต<br>……<br>**อธิบาย**:<br>…… |

**ภาพที่ 4** ตัวอย่างการออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยเริ่มจากทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบทดสอบ DIRECT 1.0 จำนวน 20 ข้อคำถาม ให้เวลาทำแบบทดสอบ 40 นาที จากนั้นผู้สอนแนะนำรูปแบบการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย และดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ และทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบ DIRECT 1.0 ซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับที่ใช้ทดสอบก่อนเรียน แต่มีการสลับข้อคำถาม เมื่อได้ผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนแล้ว วิเคราะห์คำตอบของนักเรียนตามวิธีการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วยวิธี normalized gain ดังนี้

Hake (1998) นักฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยอินเดียนา ได้เสนอวิธีประเมินผลการเรียนรู้จากการทดสอบก่อนและหลังเรียนโดยคำนึงถึงโอกาสได้คะแนนต่ำสุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 0 และคะแนนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 100 (floor and ceiling effect) เรียกว่า normalized gain โดยหาได้จากสัดส่วนระหว่างผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (actual gain) และผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (maximum possible gain) ดังสมการ (1)

$$\langle g \rangle = \frac{\%\text{posttest} - \%\text{pretest}}{100 - \%\text{pretest}} \qquad (1)$$

เมื่อ $\langle g \rangle$ คือ ค่า normalized gain

%pretest คือ ร้อยละคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน

%posttest คือ ร้อยละคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน

ค่า normalized gain แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ “high gain” ค่า $\langle g \rangle \geq 0.7$; “medium gain” ค่า $0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$ “low gain” ค่า $\langle g \rangle < 0.3$ normalized gain แบ่งเป็น class normalized gain, single student normalized gain, single test item normalized gain และ conceptual dimensional normalized gain ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอผลการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วยวิธี normalized gain หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย

**ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

การนำเสนอผลการใช้การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย ต่อแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 ดังนี้

จากการเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย (ตาราง 1) พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (10.97, ร้อยละ 54.85) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (6.17, ร้อยละ 30.85) เมื่อวิเคราะห์ค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน (dependent sample *t*–test) พบว่า ค่า $t$ (= 10.96) มากกว่า $t$–critical (= 2.46) แบบทางเดียว ($t_{.01,\ 29}$) แสดงว่า แนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายร่วมกับการทดลองต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายด้วยแผงต่อสายไฟ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย ตั้งอยู่บนทฤษฎีการสร้างความรู้จากประสบการณ์โดยมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ (learning environment) ที่หลากหลายทั้งบุคคล เหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ (ในงานวิจัยนี้คือการทดลอง) จากนั้นผู้เรียนได้ใช้ทักษะการคิดเพื่อขยายความหรือเปลี่ยนแปลงเป็นองค์ความรู้ของตนเอง ประกอบกับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายมีลำดับขั้นที่สามารถสร้างความสนใจให้ผู้เรียนจดจ่อ คิด

**ตาราง 1** ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที จากแบบทดสอบ DIRECT 1.0 จำนวน 20 ข้อคำถาม

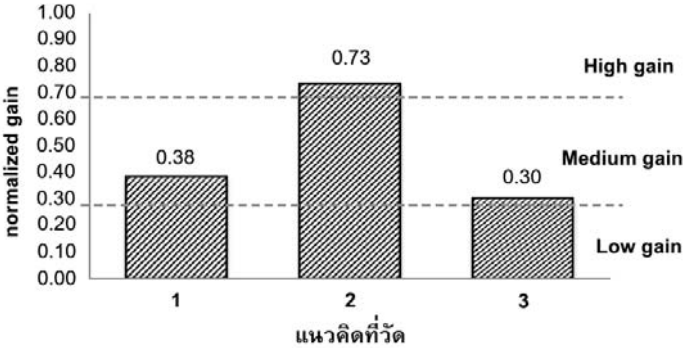
| แนวคิดที่วัด | การทดสอบ | ค่าสถิติ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ) | SD | *t*–value | *t*–critical |
| 1. ลักษณะเชิงกายภาพของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง | ก่อนเรียน | 7.33 (36.65) | 3.85 | 4.36* | 2.82 |
| | หลังเรียน | 11.73 (58.65) | 4.89 | | |
| 2. กระแสไฟฟ้า | ก่อนเรียน | 5.00 (25.00) | 2.36 | 8.00 | 31.82 |
| | หลังเรียน | 15.67 (78.35) | 4.24 | | |
| 3. ความต่างศักย์ไฟฟ้า | ก่อนเรียน | 4.08 (20.40) | 2.45 | 3.04* | 3.00 |
| | หลังเรียน | 8.50 (42.50) | 5.59 | | |
| รวม | ก่อนเรียน | 6.17 (30.85) | 1.73 | 10.96* | 2.46 |
| | หลังเรียน | 10.97 (54.85) | 2.02 | | |

*แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

และปฏิสัมพันธ์กับการทดลองตลอดเวลา เริ่มจากขั้นตอนการทำนาย ผู้เรียนใช้ความรู้ความเข้าใจที่มีอยู่เดิมในการคาดคะเนหรือทำนายผลการทดลองที่จะเกิดขึ้น รวมถึงการพัฒนาทักษะเกี่ยวกับการสื่อสารและการแสดงความคิดเห็น โดยผู้สอนและผู้เรียนอาจอภิปรายร่วมกันในขั้นตอนนี้ด้วย ต่อมาขั้นสังเกตเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการลงมือทดลองด้วยตนเอง และขั้นสุดท้ายคือขั้นอธิบาย เป็นการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดจากขั้นสังเกตแล้วอธิบาย อภิปรายถึงความเหมือนหรือแตกต่างกับขั้นทำนาย ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง และนำไปสู่การมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ต่อเรื่องที่กำลังศึกษา (นัชชา แดงงาม และสุระ วุฒิพรหม, 2557) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศราวุธ นาเสงี่ยม (2554) อัศวรัฐ นามะกันคำ (2550) และ Thacker, Kim and Trefz (1994) ผลการการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การทดลองร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย สามารถเพิ่มความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ เนื่องจากนักเรียนค้นพบปรากฏการณ์จริงด้วยตนเองตามการทดลอง

เมื่อพิจารณาตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ ได้แก่ (1) ลักษณะเชิงกายภาพของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (2) กระแสไฟฟ้า (3) ความต่างศักย์ไฟฟ้า (ภาพที่ 3) พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนแต่ละแนวคิด โดยแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่มีความก้าวหน้าทางเรียนมากที่สุด คือ เรื่องกระแสไฟฟ้า (<*g*> = 0.73) จัดอยู่ในระดับ high gain รองลงมาคือเรื่องลักษณะเชิงกายภาพของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (<*g*> = 0.38) จัดอยู่ในระดับ medium gain และเรื่องความต่างศักย์ไฟฟ้ามีคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนน้อยที่สุด (<*g*> = 0.30) จัดอยู่ในระดับ medium gain

เมื่อพิจารณาแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่มีคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยมากที่สุด คือเรื่องกระแสไฟฟ้า พบว่า สาเหตุที่นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนมากที่สุด เนื่องจากนัก-




**ภาพที่ 3** ความก้าวหน้าทางการเรียนแยกตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (1) ลักษณะเชิงกายภาพของวงจรไฟฟ้ากระแสตรง (2) กระแสไฟฟ้า และ (3) ความต่างศักย์ไฟฟ้า

เรียนได้ลงมือต่อวงจรไฟฟ้าและวัดค่ากระแสไฟฟ้าในจุดต่าง ๆ ของวงจรด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดวิทยาศาสตร์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร

เมื่อพิจารณาแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่มีคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนน้อยที่สุด คือ เรื่องความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่า สาเหตุที่นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนน้อยที่สุดประกอบไปด้วย 2 สาเหตุ ดังนี้

สาเหตุที่ 1 ในแบบทดสอบ DIRECT 1.0 แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความต่างศักย์ไฟฟ้า วัดความเข้าใจเรื่องศักย์ไฟฟ้าโดยแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนแรกเป็นการต่อแบตเตอรี่มากกว่า 1 เซลล์เข้ากับตัวต้านทาน (ในวงจรมีการต่อตัวต้านทานทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน) แล้วให้นักเรียนวัดค่าความต่างศักย์ที่จุดต่าง ๆ ตอนที่สองเปลี่ยนจากตัวต้านทานเป็นหลอดไฟและให้นักเรียนสังเกตความสว่างของหลอดไฟ ในการทดลองนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ในวงจรตัวต้านทานกับความสว่างที่สังเกตได้ในวงจรหลอดไฟ ซึ่งทั้งตัวต้านทานและหลอดไฟต่างมีคุณสมบัติเป็นโหลด (load) ในวงจรเหมือนกัน แต่จากสังเกตขณะที่นักเรียนทดลองและวิธีคิดที่ปรากฏในกระดาษคำตอบของนักเรียน พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่เชื่อมโยงว่าตัวต้านทานกับหลอดไฟในวงจรมีคุณสมบัติเป็นโหลดเหมือนกันและไม่เข้าใจว่าความสว่างของหลอดไฟขึ้นอยู่กับทั้งความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า

สาเหตุที่ 2 ในการสังเกตและบันทึกผลการทดลองความสว่างของหลอดไฟฟ้า ใช้การสังเกตความสว่างด้วยตาเปล่า จากหลักฐานบันทึกผลการทดลองในใบงาน พบว่า นักเรียนจำนวนมากไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของหลอดไฟฟ้าที่มีความสว่างต่างกันเพียงเล็กน้อยได้ ทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎีและมีความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน

## สรุปผลการวิจัย

นักเรียนที่เรียนเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายโดยการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบาย ร่วมกับการทดลองการต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่ายด้วยแผงต่อสายไฟ มีความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่า

ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนและหลังเรียน พบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียน (10.97) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน (6.17) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 และมีความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.35 อยู่ในระดับ medium gain และเมื่อพิจารณาคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนรายแนวคิดวิทยาศาสตร์ พบว่า แนวคิดวิทยาศาสตร์ที่มีคะแนนความก้าวหน้าทางการเรียนมากที่สุด คือเรื่อง กระแสไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 0.73 จัดอยู่ในระดับ high gain

**ข้อเสนอแนะ**

1. จุดเด่นของการใช้แผงต่อสายไฟแทนแผ่นโพรโตบอร์ด ราคาถูก และหาซื้อได้ง่ายตามร้านขายอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เหมาะสำหรับการต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย นักเรียนสามารถต่อวงจรตามแผนภาพวงจรในหนังสือเรียนหรือในใบงานได้ทันที หากใช้แผ่นโพรโตบอร์ดในการต่อวงจรนักเรียนต้องทำความเข้าใจในจุดเชื่อมต่าง ๆ ในแนวตั้งและแนวนอนของแผ่นโพรโตบอร์ดก่อน ง่ายต่อการทำความเข้าใจในเรื่องทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร ในทางตรงกันข้ามการใช้แผ่นโพรโตบอร์ดซึ่งยากต่อการทำความเข้าใจว่า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลลงไปในแผ่นโพรโต-บอร์ดแล้วกระแสไฟฟ้าไหลไปไปยังทิศทางใดต่อไป วงจรที่ต่อขึ้นจริงกับแผนภาพวงจรในหนังสือเรียนหรือในใบงานมีรูปร่างคล้ายกัน ทำให้การนำเอาวงจรที่ต่อขึ้นจริงมาอธิบายเปรียบเทียบกับแผนภาพวงจรในหนังสือเรียนเป็นการส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ส่วนการใช้แผ่นโพรโตบอร์ดซึ่งมีรูปร่างวงจรที่แตกต่างจากในหนังสือเรียนส่งผลให้นักเรียนเกิดความสับสนได้ง่าย อย่างไรก็ตาม การใช้แผงต่อสายไฟแทนแผ่นโพรโตบอร์ดไม่เหมาะสำหรับการต่อวงจรที่มีความซับซ้อน และใช้เวลาในการต่อวงจรมากกว่าการต่อวงจรลงในแผ่นโพรโตบอร์ดเล็กน้อยเพราะต้องใช้ไขควงในการหมุนสกรูเพื่อเชื่อมต่อในแต่ละจุดของวงจรไฟฟ้า

2. การทดลองเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง ต้องสอนวิธีการใช้เครื่องมือในการวัดความต้านทาน กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าก่อน เพื่อจะได้ทำการทดลองได้เร็วขึ้น การสอนโดยการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายร่วมกับการทดลอง มีนักเรียนบางคนไม่เขียนผลการทำนายเนื่องจากกลัวทำนายผิดและถูกหักคะแนน ฉะนั้นครูผู้สอนต้องคอยกระตุ้นให้นักเรียนทำนายผลการทดลองล่วงหน้า และต้องอธิบายให้นักเรียนเข้าใจว่า ไม่มีผลต่อคะแนน ครูจะต้องกำกับดูแลเรื่องของการใช้เครื่องมือในการวัดของนักเรียนเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องมือเสียหาย

**เอกสารอ้างอิง**

ไชยพงษ์ เรืองสุวรรณ. (2558). **การจัดการเรียนการสอนแบบ POE**. เข้าถึงได้จาก https://www.gotoknow.org/posts/466145, สืบค้นวันที่ 27 พฤษภาคม 2558.

นัชชา แดงงาม และสุระ วุฒิพรหม. (2557). ผลการเรียนรู้แบบทำนาย–สังเกต–อธิบายร่วมกับการสาธิตอย่างง่ายต่อความคิดรวบยอดเรื่องการเคลื่อนที่แบบหมุน. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้** 5(1): 86–93.

พัดตาวัน นาใจแก้ว และวรัญญา จีระวิพูลวรรณ

(2557). การใช้การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เสริมด้วยวิธีการสอนแบบทำนาย–สังเกต–อธิบายและการเปรียบเทียบแบบอุปมาอุปไมยต่อมโนมติเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของครูวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้** 5(1): 1–10.

ศราวุธ นาเสงี่ยม. (2554). **การสอนแบบทำนาย สังเกต อธิบาย เพื่อความเข้าใจแนวคิดเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

อัศวรัฐ นามะกันคำ. (2550). **การเปรียบเทียบความเข้าใจเชิงแนวคิดเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักเรียนสายสามัญกับสายอาชีพ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Alparslan, C., Tekkaya, C., and Geban, O. (2003). Using the conceptual change instruction to improve learning. **Journal of Biological Education** 37(3): 133–137.

Confrey, J. (1990). A review of the research on student conceptions in mathematics, science and programming. **Review of Research in Education** 16: 3–56.

Davis, B. G. (1997). Misconceptions as barriers to understanding science. In B. G. Davis (Ed.), **Science Teaching Reconsidered: A Hand Book** (pp. 27–32), Washington, DC: National Academy.

diSessa, A. A. (1998). What changes in conceptual change? **International Journal of Science Education** 20(10): 1155–1191.

Engelhardt, P. V., and Beichner, R. J. (1997). **Examining students' understanding of electrical circuits through multiple–choice testing and interviews**, Unpublished Doctoral Dissertation. North Carolina State University.

Hake, R. R. (1998). Interactive–engagement vs traditional methods: A six–thousand–student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics** 61(1): 64–74.

Haysom, J., and Bowen, M. (2010). **Predict, Observe, Explain: Activities Enhancing Scientific Understanding**. USA: National Science Teachers Association.

McDermott, L. C., and Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. **American Journal of Physics** 60(11): 994–1002.

Muller, D. A., Sharma, M. D., Eklund, J., and Reimann, P. (2007). Conceptual change through vicarious learning in an authentic physics setting. **Instructional Science** 35(6): 519–533.

Planinic, M., Boone, W. J., Krsnik, R., and Beilfuss, M. L. (2006). Exploring alternative concepts from Newtonian dynamics and

simple DC circuits: Links between item difficulty and item confidence. **Journal of Research in Science Teaching** 43(2): 150–171.

Thacker, B., Kim, E., and Trefz, K. (1994). Comparing problem solving performance of physics students in inquiry-based and traditional introductory physics courses. **American Journal of Physics** 62(7): 627–633.

White, R., and Gunstone, R. (1992). **Probing Understanding**. London: The Falmer.