**การสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์เพื่อพัฒนามโนทัศน์ทางฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส**

**ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย**

**นันทกา ปินตาอุ่น และ เดชา ศุภพิทยาภรณ์**

**คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**

**E-mail: nantaka\_p@cmu.ac.th**

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ที่มีต่อมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับไฟฟ้ากระแส :ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 42 คน ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 การสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ในการวิจัยนี้อิงกับแนวคิดของทฤษฎีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ โดยนำเอาการสำรวจออนไลน์มาช่วยในการศึกษามโนทัศน์ก่อนเรียนและนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการแก้ไขหรือปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนอย่างทันทีทันใดหรือทันเวลา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ จำนวน 3 แผน ครอบคลุมหัวข้อ (1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (2) ความต้านทาน-กฏของโอห์มและวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย และ (3) แบตเตอรีและกำลังไฟฟ้า ซึ่งแผนการจัดผ่านการประเมินความตรงเชิงเนื้อหาและรูปแบบการสอนโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และ 2) แบบวัดมโนทัศน์ ซึ่งแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่มโนทัศน์เกี่ยวกับ (1) กระแสไฟฟ้า (2) ความต้านทานไฟฟ้าและกฎของโอห์ม (3) แบตเตอรีและพลังงานไฟฟ้า และ (4) วงจรไฟฟ้า ซึ่งผ่านการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิและทดลองใช้กับนักเรียนที่มีบริบทคล้ายกัน แบบวัดบางข้อได้รับการปรับปรุงจนให้ผลการวิเคราะห์ที่เป็นที่ยอมรับได้ (p = 0.40, r= 0.42, KR-20 = 0.74) การจัดการเรียนการสอนใช้เวลา 6 สัปดาห์ (15 คาบ) การวิเคราะห์ข้อมูลทดสอบก่อนและหลังการสอน พบว่ามโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง (Class average normalized gain <g> = 0.32)

**คำสำคัญ:** การสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์, มโนทัศน์, ไฟฟ้ากระแส

**Just-in-Time Teaching to Enhance the Conceptual Understanding on the Topic of Electrical Current Among Upper Secondary Students**

**Nantaka Pinta-un and Decha Suppapittayaporn**

**Faculty of Education, Chiang Mai University**

**E-mail: nantaka\_p@cmu.ac.th**

**ABSTRACT**

This research was aimed to study the effect of Just-in-Time Teaching (JiTT) on students’ conceptual understanding of current electricity among 42 upper secondary students at a school in Chiang Mai in the 2nd semester of the 2022 academic year. The JiTT approach, which primarily based on the theory of conceptual change, has adopted online survey to investigate students’ preconception about the subject matter, prior to the instruction, and use those data to correct or change students’ conceptual understanding instantly or just in time. The research tools consist of 1) a total of 3 JiTT lesson plans, covering the topic of (1) Electrical Energy Source and Electric Current, (2) Resistance - Ohm's law and Simple Electrical Circuit, and (3) Battery and Electric Power, which content and teaching method validity were evaluated by experts in the subject matter, and 2) a concept test which consists of 4 groups of conceptual questions, concept of (1) electric current, (2) resistance and ohm’s law, (3) battery and electric energy, and (4) electric circuit, which also were validated by experts in the field and the test has been tried out with similar context group of students. Some questions were revised, and the analysis provide acceptable results (p = 0.40, r= 0.42, KR-20 = 0.74). The teaching implementation lasted for 6 weeks (15 hours). The pre and post testing analysis indicates that students’ conceptual understanding increases and lies in the medium gain (Class average normalized gain <g> = 0.32).

**Keywords:** Just-in-Time teaching, JiTT, Concept, Current electricity

**บทนำ**

เป้าหมายการจัดการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นพัฒนาผู้เรียนให้มีความเข้าใจในวิทยาศาสตร์ อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติโดยอาศัยมโนทัศน์และหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานสำคัญและสามารถตัดสินใจโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิธีคิดที่อยู่บนพื้นฐานของประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์ด้วยความรับผิดชอบได้ (The American Association for the Advancement of Science. 2013) สำหรับการศึกษาวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยนั้น การจัดการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์เป็นไปตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) โดยมุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความคิดทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ มีทักษะที่สำคัญทั้งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะในศตวรรษที่ 21 ในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สามารถแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลหลากหลายและประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ (กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. 2560)

### ในส่วนของวิชาฟิสิกส์ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษานั้น หลักสูตรได้กำหนดให้ศึกษาหัวข้อต่างๆ ได้แก่ กลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าและแม่เหล็ก ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์ คล้ายๆ กันในหลายๆ ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เป็นต้น ผลการวิจัยทั่วโลกพบว่านักเรียนทุกระดับชั้นมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในทุกหัวข้อดังกล่าว (Engelhardt and Beichner, 2004; McDermott and Shaffer, 1992; Wainwright, 2007 อ้างใน พัธวุฒิ ลังกาพินธ์, 2559; Halloun, Hake, Mosca, & Hestenes, 1995 อ้างใน กิตติมา พันธ์พฤกษา, 2563; Ozkan and Selcuk, 2013; Panprueksa et al., 2012; Tatiana V. Goris, 2013 และ Ümit Turgut, 2011) ในส่วนของหัวข้อ ไฟฟ้ากระแส ก็เป็นหัวข้อหนึ่งที่นักเรียนทั่วโลกประสบความยากลำบากในการทำความเข้าใจ เช่น ในงานวิจัยของ McDermott and Shaffer (1992 อ้างใน พัธวุฒิ ลังกาพินธ์, 2559) พบว่านักเรียนเข้าใจว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดไฟสองหลอดที่ต่อกันแบบอนุกรมไม่เท่ากัน หลอดไฟหลอดที่สองจะมีความสว่างน้อยกว่าเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่เสียไปเนื่องจากผ่านหลอดไฟหลอดที่หนึ่ง จึงทำให้หลอดไฟหลอดที่สองมีพลังงานน้อยกว่าจึงสว่างน้อยกว่า ซึ่งที่ถูกต้องคือทั้งสองหลอดจะมีความสว่างเท่ากันเพราะกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านทั้งสองหลอดมีค่าเท่ากันเนื่องจากกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร งานวิจัยของ (Periago and Bohgas (2005 อ้างใน ชาญวิทย์ คําเจริญ, 2564) ที่พบว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจผิดว่าแบตเตอรีให้กระแสไฟฟ้าในปริมาณที่เท่าเดิมตลอดไม่ว่าจะต่อกับวงจรไฟฟ้าในลักษณะไหน ซึ่งที่ถูกต้องคือแบตเตอรีที่ต่อแบบอนุกรมจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากกว่าต่อแบบขนานและปริมาณกระแสไฟฟ้ายังแปรผกผันกับความต้านทานของวงจร และในงานวิจัยของ Wainwright (2007 อ้างใน พัธวุฒิ ลังกาพินธ์, 2559) ที่พบว่านักเรียนเข้าใจว่าการต่อเพิ่มตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานจะทำให้ค่าความต้านทานรวมในวงจรเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ถูกต้องคือการต่อเพิ่มตัวต้านทานแบบขนานจะทำให้ค่าความต้านทานรวมในวงจรลดลง เป็นต้น

การที่บุคคลจะเกิดมโนทัศน์เกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งก็ต่อเมื่อมีประสบการณ์หรือได้มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งนั้น ๆ หรือเหตุการณ์นั้น ๆ มาสร้างเป็นความเข้าใจหรือมโนทัศน์เกี่ยวกับสิ่งนั้นหรือเหตุการณ์นั้น (ชนาธิป พรกุล, 2554 และ นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์, 2537 อ้างใน แสงเดือน อาตมียนันท์, 2557) แต่ละบุคคลจะมีมโนทัศน์เกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งแตกต่างกันตามความรู้และประสบการณ์เดิมเกี่ยวกับสิ่งนั้น ในส่วนของการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ (ตามทฤษฎีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ หรือ Conceptual Change Theory) จะเกิดขึ้นเมื่อบุคคลซึ่งมีมโนทัศน์หรือความเข้าใจต่อสิ่งหนึ่งหรือเหตุการณ์หนึ่งอยู่อย่างหนึ่ง (อาจจะเรียกว่า ความรู้เกี่ยวกับสิ่งนั้นหรือเหตุการณ์นั้น) ได้เผชิญสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งของความเข้าใจหรือมโนทัศน์นั้น กล่าวคือ ความเข้าใจหรือมโนทัศน์เดิมไม่สามารถอธิบายสถานการณ์ใหม่ที่เผชิญได้ ทำให้เกิดความไม่สมดุลของความรู้หรือความเข้าใจหรือมโนทัศน์นั้น (Disequilibrium) ทำให้บุคคลรู้สึกไม่พึงพอใจกับมโนทัศน์เดิมที่มีอยู่ พยายามจะหาคำอธิบายใหม่ที่ทำให้รู้สึกพอใจ ไปสู่สภาวะสมดุลใหม่ (Equilibrium) อย่างไรก็ตาม พบว่าการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ทำได้ยาก หากต้องการเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ที่มีอยู่เดิมไปยังมโนทัศน์ใหม่ คำอธิบายใหม่นั้นจะต้องเข้าใจได้ง่าย (intelligible) มีความน่าเชื่อถือ (plausible) และมีประโยชน์ (fruitful) (Posner et al., 1982 อ้างใน พรณิชา พรหมเสนา, 2560; Woolfolk, 2007; Moreno, 2010 อ้างใน พรพิมล จันทาทอง และคณะ, 2562)

แนวทางการสอนเพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ส่วนใหญ่จะอิงตามแนวคิดของทฤษฎีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ ซึ่งถูกออกแบบให้แตกต่างกันไปตามผู้เรียนและบริบทของชั้นเรียน ตัวอย่างเช่น รูปแบบการสอนแบบสองบทบาท (Dual-Situated Learning Model, DSLM) เป็นการจัดการเรียนการสอนโดยครูตรวจสอบมโนทัศน์มีอยู่ของนักเรียนก่อน จากนั้นนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ไปสร้างสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งกับความรู้เดิมโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำนาย อภิปรายแสดงความคิดเห็นเพื่อให้เกิดการปรับมโนทัศน์ หลังจากนั้นจึงจัดสถานการณ์ใหม่เพื่อให้นักเรียนเกิดการสร้างมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง (She, 2002 อ้างใน ประภาภรณ์ บุญตัน, 2558) รูปแบบการสอนแบบทํานาย-สังเกต-อธิบาย (POE) เป็นการจัดการเรียนการสอนโดยโดยครูตรวจสอบมโนทัศน์มีอยู่ของนักเรียนด้วยการสร้างสถานการณ์ปัญหาและให้นักเรียนทํานายผล จากนั้นให้นักเรียนหาคําตอบโดยการทําการทดลอง การสังเกต การทํากิจกรรม การสืบค้นข้อมูลและวิธีการต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งคําตอบของสถานการณ์ปัญหา หลังจากนั้นจึงให้นักเรียนอธิบายผลจากขั้นตอนการทํานายและการหาคําตอบเพื่อให้นักเรียนเกิดการสร้างมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง (สาโรจน์ ทองนาค, 2557) รูปแบบการสอนแบบเพียร์ (Peer Instruction) เป็นการจัดการเรียนการสอนโดยโดยครูตรวจสอบมโนทัศน์มีอยู่ของนักเรียนด้วยการใช้คําถามที่เรียกว่า ConcepTest เพื่อล้วงความรู้เดิมหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแล้วตามด้วยการอภิปรายระหว่างเพื่อนนักเรียนที่นั่งข้างเคียง (Peer Discussion) เป็นการสร้างสถานการณ์ที่พยายามให้นักเรียนให้เหตุผลความคิดของตนเองเปรียบเทียบกับแนวคิดของเพื่อนข้างเคียง ทำให้เกิดความขัดแย้งทางความคิด จากนั้นจึงให้นักเรียนลงมือหาคำตอบเพื่อให้นักเรียนเกิดการสร้างมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง (ปิยนุช มาลีหวล, 2559) และรูปแบบการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ (Just-in-Time Teaching, JiTT) (Novak, 1999) ก็เป็นหนึ่งในรูปแบบการสอนเพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียน

รูปแบบการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ (Just-in-Time Teaching, JiTT) เป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนที่แก้ปัญหาความเข้าใจหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน จากการสำรวจความเข้าใจคลาดเคลื่อนก่อนเรียนผ่านแบบวัดความเข้าใจทางระบบออนไลน์ก่อนเข้าชั้นเรียน และนำมาแก้ปัญหาแบบทันกาล (In Time) ตามแนวคิดของ Novak (1999), Andy Gavrin (2012) และ Joann Bangs (2012) ในชั้นเรียนปกติ โดยมีขั้นตอนสำคัญคือ การใช้คำถามอุ่นเครื่อง (warm-up question) และ การตอบสนองต่อความเข้าใจคลาดเคลื่อนอย่างทันทีทันใด (warm-up response) ส่วนจะมีกี่ขั้นตอนนั้น ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ไปใช้ ตัวอย่างเช่น Novak (1999) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) จัดทำสถานการณ์สั้น ๆ และคำถามทบทวนผ่านระบบออนไลน์ให้นักเรียนเข้าไปศึกษาและตอบคำถามเพื่อสำรวจความเข้าใจเดิมของนักเรียน 2) รวบรวมประเด็นที่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนจากการตอบคำถามทบทวนก่อนการจัดการเรียนการสอน 3) นำผลการรวบความข้อมูลไปอภิปรายร่วมกับนักเรียนในชั้นเรียนเพื่อทำให้เกิดสถานการณ์ที่ขัดแย้งทางความคิดเกิดความไม่สมดุลของความเข้าใจ 4) จัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนโดยใช้การภาวะสมดุลของความรู้ใหม่เกิดเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องอย่างทันทีหรือทันกาล หรือ Andy Gavrin (2012) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) นักเรียนอ่านเนื้อหาในตำราเรียนหรือจากแหล่งอื่น ๆ 2) นักเรียนทำแบบฝึกหัดอุ่นเครื่องให้เสร็จก่อนเรียน 3) ผู้สอนอ่านคำตอบอุ่นเครื่องของผู้เรียน และทำการปรับแผนการจัดกิจกรรมในชั้นเรียนเพื่อให้เกิดการทำความเข้าใจแบบ "ทันกาลหรือทันเวลา" (Just-in-Time) 4) ผู้สอนนำคำตอบของผู้เรียนมาอภิปรายในชั้นเรียน 5) ผู้สอนเตรียมหรือปรับแบบฝึกหัดอุ่นเครื่องสำหรับคาบเรียนถัดไป เพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้เรียน และ Joann Bangs (2012) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ผู้สอนออกแบบคำถามที่มีความซับซ้อน แล้วนําไปไว้บนเว็บไซต์ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเตรียมตัวก่อนเข้าชั้นเรียน 2) ผู้สอนทำการทบทวนคำตอบของผู้เรียน จากนั้นออกแบบการอภิปรายในชั้นเรียนเกี่ยวกับคำตอบของผู้เรียน 3) ผู้สอนจัดกิจกรรมในชั้นเรียนเพื่อแก้ความเข้าใจผิดของผู้เรียน เป็นต้น

ผู้วิจัยปฏิบัติหน้าที่เป็นครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งเป็นเวลาหลายปีการศึกษา พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่อง ไฟฟ้ากระแส อยู่หลายประการ จึงสนใจใช้รูปแบบการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ในการสอน ผู้วิจัยได้ดัดแปลงขั้นตอนการสอนเป็น 4 ขั้นตอน ให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียน ได้แก่ ขั้นที่ 1 Warm-Up Assignment เป็นกิจกรรมก่อนเรียนที่ผู้สอนจัดทำสถานการณ์สั้นๆ และคำถามมโนทัศน์ที่เกี่ยวกับหัวข้อที่จะเรียนไว้ในระบบออนไลน์ ให้ผู้เรียนเข้าไปศึกษาและตอบคำถามภายในเวลาที่กำหนด โดยมีการบันทึกข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล ขั้นที่ 2 Warm-Up Response เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนที่ผู้สอนได้รวบรวมประเด็นที่ผู้เรียนเข้าใจผิดจากการตอบคำถามทบทวน มาขึ้นจอภาพและอภิปรายร่วมกับผู้เรียนในชั้นเรียน เพื่อทำให้เกิดสถานการณ์ที่ขัดแย้งทางความคิด เกิดความไม่สมดุลของความเข้าใจ (Disequilibrium) ขั้นที่ 3 Classroom Just-in-Time Activities เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนการสอนอย่างมีปฏิสัมพันธ์ มีการสาธิต การทดลอง การอภิปราย เพื่อปรับโครงสร้างความรู้ ของผู้เรียนแบบทันกาล (In Time) นำไปสู่ภาวะสมดุลของความรู้ (Equilibrium) ใหม่ ขั้นที่ 4 Classroom Discussion/Elaboration เป็นการนำความเข้าใจที่ถูกต้องแล้วไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ เพื่อให้เห็นประโยชน์ของความรู้ เช่น การอธิบายปรากฏการณ์รอบตัว การแก้โจทย์ปัญหา ให้เข้าใจลึกซึ้งมากขึ้น เพื่อให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ที่ถูกต้องและแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

**วัตถุประสงค์การวิจัย**

เพื่อศึกษาผลการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ที่มีต่อมโนทัศน์เรื่อง ไฟฟ้ากระแส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

**วิธีดำเนินการวิจัย**

**1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

กลุ่มเป้าหมายของการวิจัยในนี้ได้มาโดยเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเป็นห้องเรียนที่คละความสามารถ จำนวน 42 คน ของโรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

**2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) แผนการสอนที่ใช้กระบวนการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส และ 2) แบบวัดมโนทัศน์ เรื่องไฟฟ้ากระแส ตามรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การสร้างแผนการสอนที่ใช้กระบวนการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส

1) ศึกษากรอบแนวคิด/ทฤษฎี และแนวทางการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ซึ่งสรุปได้ว่า เป็นการสอนที่แก้ปัญหาความเข้าใจของผู้เรียน โดยการใช้คำถามวัดความเข้าใจก่อนเรียนผ่านระบบออนไลน์ก่อนเข้าชั้นเรียน และนำมาแก้ปัญหาแบบทันกาล (In Time) โดยดัดแปลงจากแนวคิดของ Novak (1999), Andy Gavrin (2012) และ Joann Bangs (2012) ในชั้นเรียน ผ่านการสาธิต การทดลอง การอภิปราย รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 Warm-Up Assignment เป็นกิจกรรมก่อนเรียนที่ผู้สอนจัดทำสถานการณ์สั้นๆ และคำถามมโนทัศน์ที่เกี่ยวกับหัวข้อที่จะเรียนไว้ในระบบออนไลน์ ให้ผู้เรียนเข้าไปศึกษาและตอบคำถามภายในเวลาที่กำหนด โดยมีการบันทึกข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล

ขั้นที่ 2 Warm-Up Response เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนที่ผู้สอนได้รวบรวมประเด็นที่ผู้เรียนเข้าใจผิดจากการตอบคำถามทบทวน มาขึ้นจอภาพและอภิปรายร่วมกับผู้เรียนในชั้นเรียน เพื่อทำให้เกิดสถานการณ์ที่ขัดแย้งทางความคิด เกิดความไม่สมดุลของความเข้าใจ (Disequilibrium)

ขั้นที่ 3 Classroom Just-in-Time Activities เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนการสอนอย่างมีปฏิสัมพันธ์ มีการสาธิต การทดลอง การอภิปราย เพื่อปรับโครงสร้างความรู้ ของผู้เรียนแบบทันกาล (In Time) นำไปสู่ภาวะสมดุลของความรู้ (Equilibrium) ใหม่

ขั้นที่ 4 Classroom Discussion/Elaboration เป็นการนำความเข้าใจที่ถูกต้องแล้วไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ เพื่อให้เห็นประโยชน์ของความรู้ เช่น การอธิบายปรากฏการณ์รอบตัว การแก้โจทย์ปัญหา ให้เข้าใจลึกซึ้งมากขึ้น

2) กำหนดเนื้อหาฟิสิกส์ในหัวข้อ ไฟฟ้ากระแส ตามเนื้อหาในหลักสูตร ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเขียนแผนการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส จำนวน 3 แผน ได้แก่ 1) แหล่งกำเนิดและกระแสไฟฟ้า 2) ความต้านทาน กฏของโอห์ม และวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย และ 3) แบตเตอรีและพลังงานไฟฟ้า ใช้เวลาสอนทั้งสิ้น 15 คาบ คาบละ 50 นาที โดยแต่ละแผนการสอนประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ 1. สาระฟิสิกส์ (แกนกลาง) 2. สาระสำคัญ 3. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม 4. กิจกรรมการเรียนรู้ และ 5. การวัดและประเมินผล

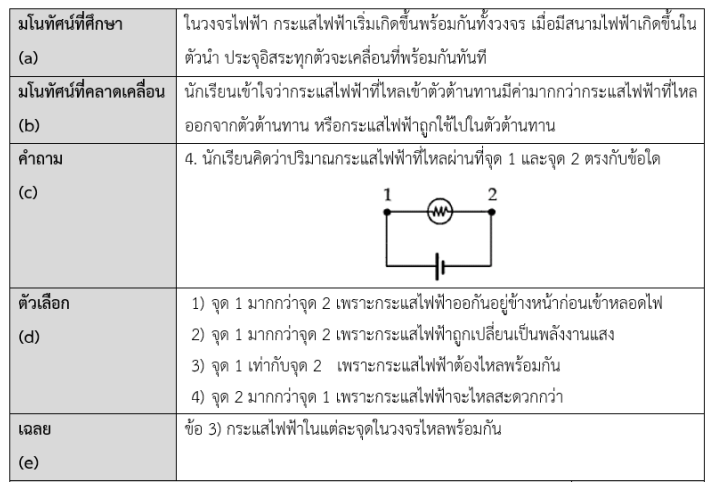
3) นำแผนการสอนให้ผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาฟิสิกส์ ความสอดคล้องของขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนกับกรอบแนวคิดของการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ และความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนรู้ รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะต่างๆ และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ ก่อนนำไปใช้

2.2 การสร้างแบบวัดมโนทัศน์ เรื่องไฟฟ้ากระแส

1) รวบรวมรายการมโนทัศน์ต่าง ๆ ที่สำคัญที่ต้องการศึกษาในหัวข้อ ไฟฟ้ากระแส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยกำหนดมโนทัศน์ที่ศึกษา เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) กระแสไฟฟ้า (2) ความต้านทานและกฎของโอห์ม (3) แบตเตอรีและกำลังไฟฟ้า และ (4) วงจรไฟฟ้า

2) ศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยต่าง ๆ (Engelhardt, 1997; Engelhardt and Beichner, 2004; McDermott and Shaffer,1992; Wainwright, 2007; กมลภัทร พึ่งปาน, 2562; เบญจวรรณ์ จุลดาลัย และ จารุณี ซามาตย์,2558; พัธวุฒิ ลังกาพินธ์,2558; เพ็ญนภา หมีโต, 2563; อัศวรัตน์ นามะกันคำ, 2550)

3) ศึกษาแนวทางวัดมโนทัศน์จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Bayrak, 2013; Engelhardt and Beichner, 2004; Osborne and Gilbert,1980; พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์และคณะ, 2553; อารีวรรณ ขัตติยะวงศ์, 2556) ผู้วิจัยเลือกใช้แบบทดสอบชนิดเลือกตอบโดยดัดแปลงคำถามวัดมโนทัศน์ของ Engelhardt และ Beichner (2004) และสร้างคำถามขึ้นเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมกับมโนทัศน์ที่ต้องการศึกษา จำนวน 36 ข้อ ดังตัวอย่างในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในวงจร

ภาพที่ 1 เป็นตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่มีตัวต้านทานเช่นหลอดไฟ กระแสไฟฟ้าจะต้องเท่ากันทั้งวงจรหรือประจุไฟฟ้าไม่สูญหายไป แต่นักเรียนมักจะมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนว่ากระไฟฟ้าก่อนเข้าหลอดไฟหรือตัวต้านทานต้องมากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากหลอดไฟ บางส่วนให้เหตุผลว่ากระแสไฟฟ้าถูกใช้ไป บางส่วนหรือผ่านตัวต้านทานได้ยากทำให้กระแสไฟฟ้าก่อนเข้าตัวต้านทานมากกว่ากระแสที่ออกจากตัวต้านทาน แบบวัดมโนทัศน์ข้อนี้จึงวัดมโนทัศน์ของนักเรียนที่เข้าใจถูกต้องและเข้าใจคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้

4) นำแบบวัดมโนทัศน์ที่สร้างให้ผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบมโนทัศน์ฟิสิกส์ที่ถูกต้อง ความเหมาะสมของตัวเลือกที่ใช้วัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ และดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

5) นำแบบวัดมโนทัศน์ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีบริบทคล้ายกันจำนวน 109 คน วิเคราะห์ข้อมูลและตัดคำถามที่มีค่าสถิติที่ไม่เหมาะสมออก เหลือจำนวน 34 ข้อ ซึ่งมีค่าอำนาจจำแนกโดยเฉลี่ย 0.42 ค่าความยากง่ายโดยเฉลี่ย 0.40 และค่าความเชื่อมั่น (KR-20) เท่ากับ 0.74

**3. การเก็บรวบรวมข้อมูล**

ผู้วิจัยดําเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีลําดับขั้นตอนดังนี้

1) ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทำแบบวัดมโนทัศน์ก่อนเรียน (Pre-test) ก่อนการจัดการเรียนการสอน 1 สัปดาห์

2) ดำเนินการจัดการเรียนการสอนแบบแบบจัสท์-อิน-ไทม์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส ตามแผนการสอนจำนวน 3 แผน ให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เวลา 6 สัปดาห์ รวม 15 คาบ โดยดำเนินการในช่วงภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

3) ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทำแบบวัดมโนทัศน์หลังเรียน (Post-test) โดยใช้แบบวัดมโนทัศน์ฉบับเดิมหลังสิ้นสุดการสอน 1 สัปดาห์

**4. การวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล โดยการหาค่า Class Average Normalized Gain <g> โดยวิเคราะห์รายกลุ่มมโนทัศน์และโดยรวม จากสมการต่อไปนี้ (Hake, 1998 อ้างใน พัธวุฒิ ลังกาพินธ์, 2559)



<%pre> เป็น ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน

<%post> เป็น ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน

Hake (1998 อ้างใน พัธวุฒิ ลังกาพินธ์, 2559) ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์การประเมินออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

< g > ≥ 0.7 แสดงว่า มโนทัศน์ของนักเรียนทั้งห้องโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในระดับสูง (High gain)

0.3 ≤ < g > < 0.7 แสดงว่า มโนทัศน์ของนักเรียนทั้งห้องโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง (Medium gain)

< g > < 0.3 แสดงว่า มโนทัศน์ของนักเรียนทั้งห้องโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในระดับระดับต่ำ (Low gain)

**ผลการวิจัย**

ตารางที่ 1 แสดงค่าร้อยละของค่าเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน และค่า Class Average Normalized gain <g> จำแนกตามกลุ่มมโนทัศน์ที่ศึกษา และโดยรวม

ตารางที่ 1 ร้อยละของค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนจากการวัดมโนทัศน์ เรื่องไฟฟ้ากระแส และค่า Class Average Normalized Gain <g> จำแนกตามกลุ่มมโนทัศน์ที่ศึกษาและโดยรวม

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **มโนทัศน์ที่ศึกษา** | **ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย** | | **<**g**>** |
| **ก่อนเรียน** | **หลังเรียน** |
| กลุ่มที่ 1 เรื่อง กระแสไฟฟ้า | **38.10** | **61.01** | **0.37** |
| 1.1 กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ในตัวกลางต่างๆ ที่มีประจุอิสระ เช่น โลหะ อิเล็กโทรไลต์ แก๊สในบางสภาวะ สารกึ่งตัวนํา | 69.05 | 80.95 |  |
| 1.2 ลวดตัวนำเกิดที่ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดความต่างศักย์จะเกิดสนามไฟฟ้า ทำให้มีแรงทางไฟฟ้ากระทำต่ออิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ส่งผลให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในลวดตัวนำในทิศตรงข้ามกับสนามหรือจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปสูง กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นกระแสสมมติกำหนดทิศตามทิศของสนามไฟฟ้า | 15.48 | 51.19 |  |
| 1.3 ในวงจรไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าเริ่มเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร เมื่อมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นในตัวนำ ประจุอิสระทุกตัวจะเคลื่อนที่พร้อมกันทันที | 48.81 | 61.90 |  |
| 1.4 กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้าสัมพันธ์กับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ โดยที่ความเร็วลอยเลื่อนในสายไฟฟ้าทั่วไปมีค่าอยู่ในระดับ เซนติเมตรหรือเมตรต่อวินาที | 19.05 | 50.00 |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **ตารางที่** 1 **(ต่อ)** |  |  |  |
| **มโนทัศน์ที่ศึกษา** | **ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย** | | **<**g**>** |
| **ก่อนเรียน** | **หลังเรียน** |
| กลุ่มที่ **2** เรื่อง ความต้านทานและกฎของโอห์ม | **35.10** | **61.31** | **0.40** |
| 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน  2.1.1 เมื่ออุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะจะแปรผันตามกับความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสอง ทำให้อัตราส่วนของความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า (ความต้านทาน) มีค่าคงที่ | 30.56  44.05 | 57.14  61.90 |  |
| 2.1.2 ความต้านทานเป็นสมบัติเฉพาะของวัตถุไม่ขึ้นกับความต่างศักย์หรือกระแสไฟฟ้าที่จ่ายโดยแหล่งกำเนิด หากเพิ่มความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นในสัดส่วนเดียวกัน | 16.67 | 38.10 |  |
| 2.1.3 เมื่ออุณหภูมิคงตัว สำหรับลวดโลหะชนิดหนึ่ง ๆ ค่าความต้านทานจะแปรผันตามความยาวของเส้นลวดและแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด | 30.95 | 71.43 |  |
| 2.2 การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม เป็นการนำตัวต้านทานแต่ละตัวมาต่อเรียงกัน การต่อตัวต้านทานแบบขนาน เป็นการนำตัวต้านทานแต่ละตัวมาคร่อมกัน | 48.81 | 78.57 |  |
| 2.3 ต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานในวงจรอนุกรมจะเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์คร่อมตัวต้านแต่ละตัว ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานรวมในวงจรขนานจะเท่ากับความต่างศักย์คร่อมตัวต้านแต่ละตัว | 38.69 | 65.48 |  |
| 2.4 กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานในวงจรอนุกรมรวมจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว กระแสไฟฟ้ารวมของวงจรขนานจะเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว | 31.43 | 52.38 |  |
| **กลุ่มที่ 3 เรื่อง แบตเตอรีและกำลังไฟฟ้า** | **32.54** | **45.24** | **0.19** |
| 3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นพลังงานที่แบตเตอรี่ให้กับประจุต่อหน่วยประจุที่เคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็นโวลต์ วัดได้จากการใช้โวลต์มิเตอร์ต่อคร่อมขั้วขณะวงจรเปิด | 21.43 | 30.95 |  |
| 3.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปจะมีความต้านทานภายใน ถ้านำตัวต้านทานที่มีค่าน้อย ๆ มาต่อคร่อมขั้ว จะแบ่งความต่างศักย์ไป ทำให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อมขั้วมีค่าลดลง | 39.29 | 51.19 |  |

**ตารางที่** 1 **(ต่อ)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **มโนทัศน์ที่ศึกษา** | **ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย** | | **<**g**>** |
| **ก่อนเรียน** | **หลังเรียน** |
| 3.3 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและความต้านทานภายในโดยรวมเพิ่มขึ้น ส่วนการต่อแบบขนานทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่าเดิม แต่ความต้านทานภายในโดยรวมลดลง | 36.90 | 53.57 |  |
| กลุ่มที่ **4** เรื่อง **วงจรไฟฟ้า** | **24.15** | **49.66** | **0.34** |
| 4.1 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่ตัวต้านทานต่อแบบผสม จะพิจารณาวงจรในส่วนย่อยก่อน | 24.15 | 49.66 |  |
| **รวมทั้งหมด 4 กลุ่มมโนทัศน์** | **32.47** | **54.30** | **0.32** |

จากข้อมูลในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยโดยภาพรวม หลังเรียนมากกว่าก่อนเรียน คือจากร้อยละ 32.47 เป็นร้อยละ 54.30 ได้ค่า <g> เท่ากับ 0.32 ถือว่าความเข้าใจหรือมโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง (Hake, 1998) เมื่อพิจารณาเป็นรายกลุ่มมโนทัศน์ที่ศึกษาพบว่า ทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนเช่นกัน โดยที่กลุ่มที่ 2 เป็นมโนทัศน์ที่เกี่ยวกับความต้านทานและกฎของโอห์มมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด กลุ่มที่ 3 เป็นมโนทัศน์ที่เกี่ยวกับเกี่ยวกับแบตเตอรีและกำลังไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

**สรุปผลและอภิปรายผล**

**สรุปผล**

การสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ส่งผลให้มโนทัศน์ทางฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

**อภิปรายผล**

จากตารางที่ 1 พบว่าการศึกษามโนทัศน์เกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสของนักเรียนในรายละเอียด พบว่าในกลุ่มมโนทัศน์ที่ 1 ซึ่งประเมินมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 38.31 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนส่วนหนึ่งเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำสามารถเกิดจากการเคลื่อนที่ของทั้งอิเล็กตรอน และโปรตอน และบางส่วนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้ามีทิศเดียวกับทิศของกระแสอิเล็กตรอน คล้ายกับผลการวิจัยของ กมลภัทร พึ่งปาน (2562) ที่พบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าในสายไฟเกิดจากการเคลื่อนที่โปรตรอนและอิเล็กตรอน และคล้ายกับผลการวิจัยของ สาโรจน์ ทองนาค (2559) ที่พบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าในตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปตามตัวนําไฟฟ้าโดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าตํ่า เป็นต้น หลังการสอนตามแนวการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 61.01 ให้ค่า <g> เท่ากับ 0.37 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

ในกลุ่มมโนทัศน์ที่ 2 ซึ่งประเมินมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับความต้านทานและกฎของโอห์ม คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 35.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนส่วนหนึ่งเข้าใจว่าความต้านทานของเส้นลวดโลหะมีค่าเปลี่ยนตามกระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิด และส่วนหนึ่งเข้าใจว่าความต้านทานของลวดโลหะเส้นเดิมจะเท่าเดิมถึงแม่จะเส้นลวดนั้นจะมีพื้นที่หน้าตัดหรือความยาวที่เปลี่ยนไป คล้ายกับผลการวิจัยของ Wainwright (2007) ที่พบว่านักเรียนจำนวนมากไม่ได้ตระหนักว่าค่าความต้านทานเป็นลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบของวงจรแต่ละตัว และคล้ายกับผลการวิจัยของ สาโรจน์ ทองนาค (2559) ที่พบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจว่าลวดยาวจะมีความต้านทานเท่ากับลวดสั้น เป็นต้น หลังการสอนตามแนวการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 61.31 ให้ค่า <g> เท่ากับ 0.40 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

ในกลุ่มมโนทัศน์ที่ 3 ซึ่งประเมินมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับแบตเตอรีและพลังงานไฟฟ้า คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 32.54 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนส่วนหนึ่งเข้าใจว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมหรือขนานจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเสมอ และนักเรียนบางส่วนเข้าใจว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมหรือขนานจะทำให้เข้ากับหลอดไฟจะทำให้หลอดไฟสว่างเท่ากัน อาจจะคลาดเคลื่อนแตกต่างไปจากผลการวิจัยของ Engelhardt และ Beichner (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย พบว่านักเรียนจำนวนหนึ่งเข้าใจว่าถ่านไฟฉายสองก้อนที่ต่อแบบขนานจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากกว่าต่อแบบอนุกรม อย่างไรก็ตามก็มีนักเรียนอีกจำนวนหนึ่งเข้าใจว่าการต่อถ่านไฟฉายสองก้อนทั้งแบบอนุกรมและขนานจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากันด้วย เป็นต้น หลังการสอนตามแนวการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 45.24 ให้ค่า <g> เท่ากับ 0.19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับต่ำ

ในกลุ่มมโนทัศน์ที่ 4 ซึ่งประเมินมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 24.15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนบางส่วนวิเคราะห์วงจรต่อแบบผสมโดยรวมไม่ถูกต้อง คล้ายกับผลการวิจัยของ Wainwright (2007) นักเรียนจำนวนมากขาดความเข้าใจในการวิเคราะห์วงจรโดยเฉพาะวงจรแบบผสม เป็นต้น หลังการสอนตามแนวการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 49.66 ให้ค่า <g> เท่ากับ 0.34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

จากผลการวิเคราะห์คะแนนมโนทัศน์ในภาพรวมพบว่าคะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 32.47 หลังการสอนตามแนวการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 54.30 ให้ค่า <g> เท่ากับ 0.32 แสดงให้เห็นว่ามโนทัศน์ของนักเรียนเรื่องไฟฟ้ากระแสเพิ่มขึ้นในระดับปานกลางค่อนข้างไปทางต่ำ แสดงให้เห็นว่า การสอนยังจะต้องมีการปรับปรุงพอสมควร ตัวอย่างเช่น ในขั้นที่ 1 Warm-Up Assignment คำถามอุ่นเครื่องอาจจะไม่น่าสนใจหรือไม่สามารถกระตุ้นให้นักเรียนบางส่วนรู้สึกไม่พึงพอใจกับมโนทัศน์เดิมที่มีอยู่ จึงส่งผลให้ขั้นที่ 2 Warm-Up Response อาจจะไม่สามารถทำให้นักเรียนตื่นตัวเมื่อเผชิญกับสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งของความเข้าใจหรือมโนทัศน์นั้น จึงไม่พยายามจะหาคำอธิบายใหม่ที่ทำให้รู้สึกพอใจ ในกิจกรรมขั้นที่ 3 Classroom Just-in-Time Activity กิจกรรมการทดลองที่กำหนดไว้อาจจะไม่น่าสนใจหรือไม่สามารถตอบข้อสงสัยของนักเรียนบางส่วนได้ อีกทั้งการจัดการเรียนการสอนอยู่ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) ส่งผลให้นักเรียนหลายคนขาดเรียนไม่ได้เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ ครูจึงปรับเปลี่ยนกิจกรรมการทดลองเป็นการสาธิตด้วยโปรแกรมการทดลองเสมือน (Simulation) ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและข้อสงสัยได้ทั้งหมด และในขั้นที่ 4 Classroom Discussion/Elaboration อาจจะไม่สามารถทำให้นักเรียนบางส่วนเห็นประโยชน์ของความรู้ในสถานการณ์ใหม่ จึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนบางส่วนให้ถูกต้องได้

อย่างไรก็ตาม การสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ก็ยังสามารถปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนส่วนใหญ่ได้ ซึ่งผู้วิจัยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับความเข้าใจของตนเองที่ได้ตอบคำถามอุ่นเครื่องในขั้นที่ 1 Warm-Up Assignment และเปรียบเทียบกับคำตอบของเพื่อนในขั้นที่ 2 Warm-Up Response มีการโต้แย้งยืนยันคำตอบกัน เป็นการทำให้นักเรียนเผชิญสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งของความเข้าใจหรือมโนทัศน์นั้น ส่งผลให้นักเรียนบางคนเกิดไม่มั่นใจหรือรู้สึกไม่พึงพอใจกับมโนทัศน์เดิมของตนเอง ซึ่งครูยังไม่บอกคำตอบที่ถูกต้องแก่นักเรียน ทำให้นักเรียนต้องพยายามจะหาคำอธิบายใหม่ที่ทำให้รู้สึกพอใจ ในกิจกรรมขั้นที่ 3 Classroom Just-in-Time Activity ซึ่งต้องทำการทดลองและอภิปรายร่วมกับครูและเพื่อนจนได้ข้อสรุปที่ตรงกัน เกิดการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่ถูกต้อง และนำความรู้ความเข้าใจที่เรียนแบบ Just-in-Time ไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ ในขั้นที่ 4 Classroom Discussion/Elaboration มีการฝึกแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบ นักเรียนจึงเกิดความมั่นใจได้ว่าความเข้าใจของตนนั้นถูกต้องและมีประโยชน์ ถือได้ว่าลักษณะที่เกิดขึ้นนี้เป็นไปตามทฤษฎีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของ Posner et al. (1982) ที่ว่า การปรับเปลี่ยนมโนทัศน์จะเกิดขึ้นเมื่อบุคคลซึ่งมีมโนทัศน์หรือความเข้าใจต่อสิ่งหนึ่งหรือเหตุการณ์หนึ่งอยู่อย่างหนึ่ง ได้เผชิญสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งของความเข้าใจหรือมโนทัศน์นั้น กล่าวคือความเข้าใจหรือมโนทัศน์เดิมไม่สามารถอธิบายสถานการณ์ใหม่ที่เผชิญได้ ทำให้เกิดความไม่สมดุลของความรู้หรือความเข้าใจหรือมโนทัศน์นั้น (Disequilibrium) ทำให้บุคคลรู้สึกไม่พึงพอใจกับมโนทัศน์เดิมที่มีอยู่ พยายามจะหาคำอธิบายใหม่ที่ทำให้รู้สึกพอใจ ไปสู่สภาวะสมดุลใหม่ (Equilibrium) อย่างไรก็ตาม พบว่าการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ทำได้ยาก หากต้องการเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ที่มีอยู่เดิมไปยังมโนทัศน์ใหม่ คำอธิบายใหม่นั้นจะต้องเข้าใจได้ง่าย (intelligible) มีความน่าเชื่อถือ (plausible) และมีประโยชน์ (fruitful)

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ช่วยจัดเตรียมให้นักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองอย่างตื่นตัว โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสร้างสถานการณ์ให้นักเรียนตรวจสอบความรู้เดิม กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการขัดแย้งทางปัญญา และนำไปสู่การปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้องได้ทันที สอดคล้องกับ ศุภโชค พุทธิสารวิมล (2557) ที่ได้ทำการศึกษาเรื่อง การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในชั้นเรียนบรรยายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ผลการวิจัยพบว่าหลังการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ นักศึกษาได้คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แสดงว่าการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ทำให้นักศึกษาแต่ละคนแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้องได้ และคล้ายกับผลการวิจัยของ พัธวุฒิ ลังกาพินธ์ (2558) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลการสอนแบบพีโอดีเอส ต่อมโนทัศน์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง พบว่าการตรวจสอบความรู้เดิมจะทำให้ครูสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้เหมาะสมกับความรู้เดิมของนักเรียน นักเรียนจึงเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมที่มีอยู่กับความรู้ใหม่ได้อย่างถูกต้องและเมื่อมีการนำความรู้ไปใช้นักเรียนจึงได้ฝึกการประยุกต์ใช้ช่วยให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมายส่งผลให้มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้อง

**ข้อเสนอแนะ**

**ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้**

1. การสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์เพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนนั้น คำถามก่อนเรียนนั้นมีประโยชน์มากเพราะนอกจากจะเป็นการสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนก่อนเรียนแล้ว ยังช่วยให้ครูรวบรวมมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนก่อนเรียนเหล่านั้นไปออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนได้
2. เนื่องด้วยสถานการณ์แพร่ระบาดไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19) จึงมีความจำเป็นให้มีการปรับใช้โปรแกรมทดลองเสมือนแทนการให้นักเรียนลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งอาจส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน ทำให้มโนทัศน์หลังเรียนของนักเรียนในภาพรวมเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง ดังนั้นจึงควรศึกษาผลการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ในช่วงสถานการณ์ปกติ และอาจปรับระยะเวลาในการสอนให้เหมาะสมกับเนื้อหาในแต่ละแผนการสอนให้มากขึ้น

**ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป**

ควรศึกษาผลการใช้รูปแบบการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ต่อตัวแปรอื่นๆ เช่น ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ความคงทนในการเรียนรู้ เจตคติต่อวิชาฟิสิกส์ เป็นต้น

**เอกสารอ้างอิง**

กมลภัทร พึ่งปาน. (2562). *การพัฒนาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยวัฏจักรการ เรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อภิปราย-สังเคราะห์* (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาสารคาม. มหาวิทยาลัย มหาสารคาม.

กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551* (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560). กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

กิตติมา พันธ์พฤกษา. (2563). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2563*, 189.

ชนาธิป พรกุล. (2554). *การสอนกระบวนการคิด : ทฤษฎีและการนำไปใช้* (พิมพค์รั้งที่2). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชาญวิทย์ คําเจริญ. (2564). การวิเคราะห์ความเข้าใจเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้แบบทดสอบปรนัย. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 2565*, 71 - 84

เบญจวรรณ์ จุลดาลัย และ จารุณี ซามาตย์. (2558). *การศึกษาความเข้าใจมโนมติ เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยมัลติมีเดียที่ พัฒนาตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6* (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). ขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปิยนุช มาลีหวล. (2559). *ผลการสอนแบบเพียร์ที่เสริมด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติทางฟิสิกส์ต่อมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4.* (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พรณิชา พรหมเสนา. (2560). *ผลการใช้รูปแบบการสอนการเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ของคูรัลและโคคา คูลาที่มีต่อมโนทัศน์ทางเคมีของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย.* (วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์ มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย.

พรพิมล จันทาทอง. (2562). การศึกษามโนทัศน์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2  
โดยการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ร่วมกับการโค้ชและจิตตปัญญาศึกษา. *วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2562*, 271.

พรรัตน์ วัฒนกสิวิชช์ และ สุพล อนันตา. (2553). *การวิเคราะห์รูปแบบความคิดวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

พัธวุฒิ ลังกา*พินธ์.* (2558). *ผลการจัดการเรียนรู้แบบพีโอดีเอส ต่อมโนทัศน์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 3* (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เพ็ญนภา หมีโต. (2563). *ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกลวิธีเมตาคอกนิชัน ต่อมโนทัศน์ วิทยาศาสตร์เรื่องไฟฟ้ากระแสและเมตาคอกนิชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5* (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตร มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ศุภโชค พุทธิสารวิมล. (2557). *การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในชั้น เรียนบรรยายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่1 และ2* (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สาโรจน์ ทองนาค. (2557). *การพัฒนามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส โดยใช้วิธีการสอนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย (Predict-Observe-Explain, POE)* (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). ขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

แสงเดือน อาตมียนันท์. (2557). *การพัฒนามโนทัศน์และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์  
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา. (*วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ . มหาวิทยาลัยศิลปากร.

อัศวรัตน์ นามะกันคำ. (2550). *การเปรียบเทียบความเข้าใจเชิงแนวคิดเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักเรียนสาย สามัญและสายอาชีพ* (การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณ ฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

# อารีวรรณ ขัตติยะวงศ์. (2556). *การศึกษาผลการเรียนรู้โดยใช้แผนผังมโนมติเรื่องพันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4* (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาสารคาม มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

Andy Gavrin. (2012). Just-in-Time Teaching: Using the Web to Engage Students in the Classroom. *Journal of Indian Institute of Science.*

Bayrak, B. K. (2013). Using two-tier test to identify primary students’ conceptual understanding and alternative conceptions in acid base*. Mevlana International Journal of Education*, 3(2).

Engelhardt, P. V., and Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115.

Joann Bangs. (2012). Transforming A Business Statistics Course with Just-in-Time Teaching. *American Journal of Business Education*.

Novak, G. M.; et al. (1999). *Just-in-time teaching: Blending Active Learning with Web Technology*. New Jersey: Prentice Hall Upper Saddle River.

Ozkan and Selcuk. (2013). The use of conceptual change texts as class material in the teaching of “sound” in physics. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 2013,* 1.

Panprueksa, K., Phonphok, N., Boonprakob, M., & Dahsah, C. (2012). Thai students’ conceptual  
understanding on force and motion. *In Proceedings of the 2012 International Conference  
on Education and Management Innovation*, 2012, 275-279

Tatiana V. Goris. (2013). How Electrical Engineering Technology Students Understand Concepts of Electricity. Comparison of Misconceptions of Freshmen, Sophomores, and Seniors. American Society for Engineering Education, 2013, 1-20.

The American Association for the Advancement of Science (AAAS). (2013). *Science for All Americans: Education for a changing future*. Retrieved from http://www.project2061.org/publications/sfaa/

Ümit Turgut. (2011). An investigation 10th grade students’ misconceptions about electric current. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 2011*, 1965 - 1971