

## การจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์เพื่อพัฒนามโนทัศน์ทางฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

นันทกา ปินตาอูน และ เดชา ศุภพิทยาภรณ์

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

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

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ ที่มีต่อมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับไฟฟ้ากระแส ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 42 คน ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ในการวิจัยนี้เป็นการใช้เทคโนโลยีช่วยในการสำรวจมโนทัศน์ก่อนเรียน และนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการแก้ไขหรือปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนอย่างทันท่วงที โดยการจัดการเรียนรู้อิงตามแนวคิดของทฤษฎีปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ จำนวน 3 แผน ครอบคลุมหัวข้อ (1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (2) ความต้านทาน-กฎของโอห์มและวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย และ (3) แบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้า ซึ่งแผนการจัดการผ่านการประเมินความตรงเชิงเนื้อหาและรูปแบบการจัดการเรียนสอนโดยผู้ทรงคุณวุฒิ และ 2) แบบวัดมโนทัศน์ ซึ่งแบ่งเป็น 4 กลุ่มคำถาม ได้แก่ มโนทัศน์เกี่ยวกับ (1) กระแสไฟฟ้า (2) ความต้านทานและกฎของโอห์ม (3) แบตเตอรี่และพลังงานไฟฟ้า และ (4) วงจรไฟฟ้า ซึ่งผ่านการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิและทดลองใช้กับนักเรียนที่มีบริบทคล้ายกัน บางคำถามได้รับการปรับปรุงจนให้ผลการวิเคราะห์ที่เป็นที่ยอมรับได้ ( $0.2 < p < 0.8$ ,  $r > 0.1$ , KR-20 = 0.74) การจัดการเรียนรู้ใช้เวลา 6 สัปดาห์ (15 คาบ) การวิเคราะห์ข้อมูลทดสอบก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ พบว่ามโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง (Class average normalized gain  $\langle g \rangle = 0.32$ )

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, Chiangmai 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 format of JiTT in this study was to use technology to investigate students' preconception about the subject matter and use those data to correct or change students' conceptual understanding just in time. The teaching approach based on the theory of conceptual change. 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 validity and teaching method 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 was validated by experts in the field and the test has been tried out with similar context group of students. Some questions were improved and gave acceptable analysis results ( $0.2 < p < 0.8$ ,  $r > 0.1$ , 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  $\langle g \rangle = 0.32$ ).

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

## บทนำ

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

ในส่วนของวิชาฟิสิกส์ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น 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 พัชรุณี ลังกาพันธ์, 2559; Halloun, Hake, Mosca, & Hestenes, 1995 อ้างใน กิตติมา พันธุ์พุกษา, 2563; Ozkan and Selcuk, 2013; Panprueksa et al., 2012; Tatiana V. Goris, 2013 และ Ümit Turgut, 2011) ในส่วนของหัวข้อ ไฟฟ้ากระแส ก็เป็นหัวข้อหนึ่งที่นักเรียนทั่วโลกประสบความยากลำบากในการทำทำความเข้าใจ เช่น ในงานวิจัยของ McDermott and Shaffer (1992 อ้างใน พัชรุณี ลังกาพันธ์, 2559) พบว่านักเรียนเข้าใจว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดไฟสองหลอดที่ต่อกันแบบอนุกรมไม่เท่ากัน หลอดไฟหลอดที่สองจะมีความสว่างน้อยกว่าเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่สูญเสียไปเนื่องจากผ่านหลอดไฟหลอดที่หนึ่ง จึงทำให้หลอดไฟหลอดที่สองมีพลังงานน้อยกว่าจึงสว่างน้อยกว่า ซึ่งที่ถูกต้องคือทั้งสองหลอดจะมีความสว่างเท่ากันเพราะกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านทั้งสองหลอดมีค่าเท่ากันเนื่องจากกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร งานวิจัยของ (Periago and Bohgas (2005 อ้างใน ชาญวิทย์ คำเจริญ, 2564) ที่พบว่า นักเรียนยังมีความเข้าใจผิดว่าแบตเตอรี่ให้กระแสไฟฟ้าในปริมาณที่เท่าเดิมตลอดไม่ว่าจะต่อกับวงจรไฟฟ้าในลักษณะไหน ซึ่งที่ถูกต้องคือแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากกว่าต่อแบบขนานและปริมาณกระแสไฟฟ้ายังแปรผกผันกับความต้านทานของวงจร และในงานวิจัยของ Wainwright (2007 อ้างใน พัชรุณี ลังกาพันธ์, 2559) ที่พบว่านักเรียนเข้าใจว่าการต่อเพิ่มตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนานจะทำให้ค่าความต้านทานรวมในวงจรเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ถูกต้องคือการต่อเพิ่มตัวต้านทานแบบขนานจะทำให้ค่าความต้านทานรวมในวงจรลดลง เป็นต้น

การที่นักเรียนจะเกิดมโนทัศน์ในเรื่องใดเรื่องหนึ่งก็ต่อเมื่อมีประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งนั้น ๆ โดยใช้ความเข้าใจและประสบการณ์เดิมของตนเองอย่างกระตือรือร้น จากประสบการณ์ส่วนบุคคลที่ได้ปฏิสัมพันธ์กับบุคคลและสิ่งแวดล้อมรอบตัวมากกว่าการเป็นผู้รับความรู้ และนักเรียนพยายามที่จะสร้างความเข้าใจหรือมโนทัศน์เกี่ยวกับประสบการณ์ที่ได้รับนั้น (ชนาธิป พรกุล, 2554 และ นวลจิตต์ เขาวงกตพิงค์, 2537 อ้างใน แสงเดือน อาตมยันทน์, 2557) ในส่วนของการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ (ตามทฤษฎีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ หรือ Conceptual Change Theory จะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนเผชิญสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา เกิดความไม่สมดุลของความรู้ (Disequilibrium) ทำให้นักเรียนรู้สึกไม่พึงพอใจกับมโนทัศน์ที่อยู่

จากนั้นนักเรียนจึงต้องการเปลี่ยนแปลงหรือจัดกระทำโน้ตที่มีอยู่เดิมไปยังโน้ตใหม่ที่สามารถเข้าใจได้ง่าย มีความน่าเชื่อถือ และมีประโยชน์มากกว่า นำไปสู่ภาวะสมดุลของความรู้ (Equilibrium) ใหม่ (Posner et al., 1982 อ้างใน พรณิชา พรหมเสนา, 2560; Woolfolk, 2007; Moreno, 2010 อ้างใน พรพิมล จันทาทอง และคณะ, 2562)

การจัดการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์มีหลายรูปแบบ ขึ้นกับผู้เรียนและบริบทของชั้นเรียน ตัวอย่างเช่น รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสองบทบาท (Dual-Situated Learning Model, DSLM) เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยครูตรวจสอบมโนทัศน์มีอยู่ของนักเรียนก่อน จากนั้นนำข้อมูลวิเคราะห์ที่ได้ไปสร้างสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความขัดแย้งกับความรู้เดิมโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำนาย อภิปรายแสดงความคิดเห็นเพื่อให้เกิดการปรับมโนทัศน์ หลังจากนั้นจึงจัดสถานการณ์ใหม่เพื่อให้นักเรียนเกิดการสร้างมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง (She, 2002 อ้างใน ประภาภรณ์ บุญตัน, 2558) รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE) เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยครูตรวจสอบมโนทัศน์มีอยู่ของนักเรียนด้วยการสร้างสถานการณ์ปัญหาและให้นักเรียนทำนายผล จากนั้นให้นักเรียนหาคำตอบโดยการทำการทดลอง การสังเกต การทำกิจกรรม การสืบค้นข้อมูลและวิธีการต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบของสถานการณ์ปัญหา หลังจากนั้นจึงให้นักเรียนอธิบายผลจากขั้นตอนการทำนายและการหาคำตอบเพื่อให้นักเรียนเกิดการสร้างมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง (สารโรจน์ ทองนาค, 2557) รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบเพียร์ (Peer Instruction) เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยครูตรวจสอบมโนทัศน์มีอยู่ของนักเรียนด้วยการใช้คำถามที่เรียกว่า ConcepTest เพื่อล้วงความรู้เดิมหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนแล้วตามด้วยการอภิปรายระหว่างเพื่อนนักเรียนที่นั่งข้างเคียง (Peer Discussion) เป็นการสร้างสถานการณ์ที่พยายามให้นักเรียนให้เหตุผลความคิดของตนเองเปรียบเทียบกับแนวคิดของเพื่อนข้างเคียง ทำให้เกิดความขัดแย้งทางความคิด จากนั้นจึงให้นักเรียนลงมือหาคำตอบเพื่อให้นักเรียนเกิดการสร้างมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง (ปิยนุช มาลีหวล, 2559) และรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ (Just-in-Time Teaching, JiTT) (Novak, 1999) ก็เป็นหนึ่งในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียน

รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ (Just-in-Time Teaching, JiTT) เป็นรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่แก้ปัญหาความเข้าใจหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน 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) รวบรวมประเด็นที่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนจากการตอบคำถามทบทวนก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 3) นำผลการรวบรวมข้อมูลไปอภิปรายร่วมกับนักเรียนในชั้นเรียนเพื่อทำให้เกิดสถานการณ์ที่ขัดแย้งทางความคิดเกิดความไม่สมดุลของความเข้าใจ 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 เพื่อ

กระตุ้นให้ผู้เรียนเตรียมตัวก่อนเข้าชั้นเรียน 2) ผู้สอนทำการทบทวนคำตอบของผู้เรียน จากนั้นออกแบบการอภิปรายในชั้นเรียนเกี่ยวกับคำตอบของผู้เรียน 3) ผู้สอนจัดกิจกรรมในชั้นเรียนเพื่อแก้ความเข้าใจผิดของผู้เรียน เป็นต้น

ผู้วิจัยปฏิบัติหน้าที่เป็นครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งเป็นเวลาหลายปีการศึกษา พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่อง ไฟฟ้ากระแส อยู่หลายประการ จึงสนใจใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ในการสอน ผู้วิจัยได้ดัดแปลงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้เป็น 4 ขั้นตอน ให้เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียน ได้แก่ ขั้นที่ 1 Warm-Up Assignment เป็นกิจกรรมก่อนเรียนที่ผู้สอนจัดทำสถานการณ์สั้นๆ และคำถามมโนทัศน์เกี่ยวกับหัวข้อที่จะเรียนไว้ในระบบออนไลน์ ให้ผู้เรียนเข้าไปศึกษาและตอบคำถามภายในเวลาที่กำหนด โดยมีการบันทึกข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล ขั้นที่ 2 Warm-Up Response เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนที่ผู้สอนได้รวบรวมประเด็นที่ผู้เรียนเข้าใจผิดจากการตอบคำถามทบทวน มาขึ้นจอภาพและอภิปรายร่วมกับผู้เรียนในชั้นเรียน เพื่อทำให้เกิดสถานการณ์ที่ขัดแย้งทางความคิด เกิดความไม่สมดุลของความเข้าใจ (Disequilibrium) ขั้นที่ 3 Classroom Just-in-Time Activities เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้อย่างมีปฏิสัมพันธ์ 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 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มเป้าหมายของการวิจัยนี้ได้มาโดยเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเป็นห้องเรียนที่ละความสามารถ จำนวน 42 คน ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

##### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

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

###### 2.1 การสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส

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

ขั้นที่ 1 Warm-Up Assignment เป็นกิจกรรมก่อนเรียนที่ผู้สอนจัดทำสถานการณ์สั้นๆ และคำถามโมโนทัศน์เกี่ยวกับหัวข้อที่จะเรียนไว้ในระบบออนไลน์ ให้ผู้เรียนเข้าไปศึกษาและตอบคำถามภายในเวลาที่กำหนด โดยมีการบันทึกข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล

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

ขั้นที่ 3 Classroom Just-in-Time Activities เป็นกิจกรรมในชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ 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 และเขียนแผนการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส จำนวน 3 แผน ได้แก่ 1) แหล่งกำเนิดและกระแสไฟฟ้า 2) ความต้านทาน กฎของโอห์ม และวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย และ 3) แบตเตอรี่และพลังงานไฟฟ้า ใช้เวลาสอนทั้งสิ้น 15 คาบ คาบละ 50 นาที โดยแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ 1. สารฟิสิกส์ (แกนกลาง) 2. สารสำคัญ 3. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม 4. กิจกรรมการเรียนรู้ และ 5. การวัดและประเมินผล

3) นำแผนการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ฟิสิกส์ ความสอดคล้องของขั้นตอนการจัดการเรียนรู้กับกรอบแนวคิดของการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-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) แบตเตอรี่และพลังงานไฟฟ้า และ (4) วงจรไฟฟ้า

2) ศึกษาโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยต่าง ๆ (Engelhardt, 1997; Engelhardt and Beichner, 2004; McDermott and Shaffer, 1992; Wainwright, 2007; กมลภัทร พึ่งปาน, 2562; เบญจวรรณ จุลดาลัย และ จารุณี ขามาศย์, 2558; พัชรุติ ลังกาพันธ์, 2558; เพ็ญภา หมีโต, 2563; อัครรัตน์ นามะกันคำ, 2550)

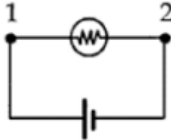
3) ศึกษาแนวทางวัดมโนทัศน์จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Bayrak, 2013; Engelhardt and Beichner, 2004; Osborne and Gilbert, 1980; พรรัตน์ วัฒนกลสิวิชและคณะ, 2553; อาวีวรรณ ชัตติยวงค์, 2556) ผู้วิจัยเลือกใช้แบบทดสอบชนิดเลือกตอบโดยดัดแปลงคำถามวัดมโนทัศน์ของ Engelhardt และ Beichner (2004) และสร้างคำถามขึ้นเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมกับมโนทัศน์ที่ต้องการศึกษา จำนวน 36 ข้อ ดังตัวอย่างในภาพที่

## 2.2 การสร้างแบบวัดมโนทัศน์ เรื่องไฟฟ้ากระแส

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

2) ศึกษาโมทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยต่าง ๆ (Engelhardt, 1997; Engelhardt and Beichner, 2004; McDermott and Shaffer, 1992; Wainwright, 2007; กมลภัทร พึ่งปาน, 2562; เบนจอร์น จุลดาลัย และ จารุณี ชามาศย์, 2558; พัชรุณี ลังกาพันธ์, 2558; เพ็ญญา หมีโต, 2563; อัครวัฒน์ นามะกันคำ, 2550)

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

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| มโนทัศน์ที่ศึกษา<br>(a)       | ในวงจรไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเริ่มเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร เมื่อมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นในตัวนำ ประจุอิสระทุกตัวจะเคลื่อนที่พร้อมกันทันที                                                                                                                         |
| มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน<br>(b) | นักเรียนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าตัวต้านทานมีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากตัวต้านทาน หรือกระแสไฟฟ้าถูกใช้ไปในตัวต้านทาน                                                                                                                        |
| คำถาม<br>(c)                  | 4. นักเรียนคิดว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านที่จุด 1 และจุด 2 ตรงกับข้อใด<br>                                                                                      |
| ตัวเลือก<br>(d)               | 1) จุด 1 มากกว่าจุด 2 เพราะกระแสไฟฟ้าออกกันอยู่ข้างหน้าก่อนเข้าหลอดไฟ<br>2) จุด 1 มากกว่าจุด 2 เพราะกระแสไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานแสง<br>3) จุด 1 เท่ากับจุด 2 เพราะกระแสไฟฟ้าต้องไหลพร้อมกัน<br>4) จุด 2 มากกว่าจุด 1 เพราะกระแสไฟฟ้าจะไหลสะดวกกว่า |
| เฉลย<br>(e)                   | ข้อ 3) กระแสไฟฟ้าในแต่ละจุดในวงจรไหลพร้อมกัน                                                                                                                                                                                                          |

ภาพที่ 1 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ เรื่องไฟฟ้ากระแส

ภาพที่ 1 เป็นตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กระแสไฟฟ้า คำถามต้องการวัดในเรื่องกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้าที่เริ่มเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร เมื่อมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นในตัวนำ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนหนึ่งมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน โดยเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าตัวต้านทานมีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากตัวต้านทานหรือกระแสไฟฟ้าถูกใช้ไปในตัวต้านทานและนักเรียนบางส่วนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าเริ่มเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งในวงจร ไปตามส่วนประกอบของวงจรตามลำดับ

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

5) นำแบบวัดมโนทัศน์ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีบริบทคล้ายกันจำนวน 109 คน วิเคราะห์ข้อมูลและตัดคำถามที่มีค่าสถิติที่ไม่เหมาะสมออก เหลือจำนวน 34 ข้อ ซึ่งมีค่าอำนาจจำแนกมากกว่า 0.1 ค่าความยากง่ายอยู่ในช่วง 0.20 - 0.80 และค่าความเชื่อมั่น (KR-20) เท่ากับ 0.74

### 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

1) ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทำแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง ไฟฟ้ากระแสก่อนเรียน (Pre-test) โดยทำก่อนการจัดการเรียนรู้ 1 สัปดาห์

2) ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบแบบจัสท์-อิน-ไทม์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส ให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เวลา 6 สัปดาห์ รวม 15 คาบ โดยดำเนินการในช่วงภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565

3) ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทำแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง ไฟฟ้ากระแสหลังเรียน (Post-test) โดยใช้แบบวัดมโนทัศน์ฉบับเดิมหลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ 1 สัปดาห์

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูล โดยการหาค่า Class Average Normalized Gain <g> โดยวิเคราะห์รายกลุ่มมโนทัศน์ และโดยรวม จากสมการต่อไปนี้ (Hake, 1998 อ้างใน พัชรุณี ลังกาพันธ์, 2559)

$$<g> = \frac{<\%post> - <\%pre>}{100\% - <\%pre>}$$

<%pre> เป็น ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน

<%post> เป็น ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน

Hake (1998 อ้างใน พัชรุณี ลังกาพันธ์, 2559) ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์การประเมินออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

|                            |        |                   |
|----------------------------|--------|-------------------|
| ระดับสูง (High gain)       | ได้ค่า | < g > ≥ 0.7       |
| ระดับปานกลาง (Medium gain) | ได้ค่า | 0.3 ≤ < g > < 0.7 |
| ระดับต่ำ (Low gain)        | ได้ค่า | < g > < 0.3       |

### 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     |      |



ตารางที่ 1 (ต่อ)

| มโนทัศน์ที่ศึกษา                                                                                                                                                                                                                                                                          | ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย |              | <g>         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ก่อนเรียน            | หลังเรียน    |             |
| 1.2 ลวดตัวนำเกิดที่ต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดความต่างศักย์จะเกิดสนามไฟฟ้า ทำให้มีแรงทางไฟฟ้ากระทำต่ออิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ส่งผลให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในลวดตัวนำในทิศตรงข้ามกับสนามหรือจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปสูง กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นกระแสสมมติกำหนดทิศตามทิศของสนามไฟฟ้า | 15.48                | 51.19        |             |
| 1.3 ในวงจรไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าเริ่มเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งวงจร เมื่อมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นในตัวนำ ประจุอิสระทุกตัวจะเคลื่อนที่พร้อมกันทันที                                                                                                                                                          | 48.81                | 61.90        |             |
| 1.4 กระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้าสัมพันธ์กับความเร็วลอยเลื่อนของอิเล็กตรอนอิสระ โดยที่ความเร็วลอยเลื่อนในสายไฟฟ้าทั่วไปมีค่าอยู่ในระดับ เซนติเมตรหรือเมตรต่อวินาที                                                                                                                               | 19.05                | 50.00        |             |
| <b>กลุ่มที่ 2 เรื่อง ความต้านทานและกฎของโอห์ม</b>                                                                                                                                                                                                                                         | <b>35.10</b>         | <b>61.31</b> | <b>0.40</b> |
| 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กระแสไฟฟ้า และความต้านทาน                                                                                                                                                                                                                             | 30.56                | 57.14        |             |
| 2.1.1 เมื่ออุณหภูมิคงตัว กระแสไฟฟ้าในตัวนำโลหะจะแปรผันตามกับความต่างศักย์ระหว่างปลายทั้งสอง ทำให้อัตราส่วนของความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า (ความต้านทาน) มีค่าคงที่                                                                                                                          | 44.05                | 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        |             |

ตารางที่ 1 (ต่อ)

| มโนทัศน์ที่ศึกษา                                                                                                                                                                        | ร้อยละของคะแนนเฉลี่ย |              | <g>         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                         | ก่อนเรียน            | หลังเรียน    |             |
| 2.3 ต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานในวงจรอนุกรมจะเท่ากับผลรวมของความต่างศักย์คร่อมตัวต้านแต่ละตัว<br>ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานในวงจรขนานจะเท่ากับ<br>ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านแต่ละตัว      | 38.69                | 65.48        |             |
| 2.4 กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานในวงจรอนุกรม<br>รวมจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว<br>กระแสไฟฟ้าวรวมของวงจรขนานจะเท่ากับผลรวมของ<br>กระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวต้านทานแต่ละตัว     | 31.43                | 52.38        |             |
| <b>กลุ่มที่ 3 เรื่อง แบตเตอรี่และกำลังไฟฟ้า</b>                                                                                                                                         | <b>32.54</b>         | <b>45.24</b> | <b>0.19</b> |
| 3.1 แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นพลังงานที่แบตเตอรี่ให้กับ<br>ประจุต่อหน่วยประจุที่เคลื่อนที่ผ่านแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น<br>โวลต์ วัดได้จากการใช้โวลต์มิเตอร์ต่อคร่อมขั้วขณะวงจร<br>เปิด            | 21.43                | 30.95        |             |
| 3.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปจะมีความ<br>ต้านทานภายใน ถ้านำตัวต้านทานที่มีค่าน้อย ๆ มาต่อ<br>คร่อมขั้ว จะแบ่งความต่างศักย์ออกไป ทำให้ศักย์ไฟฟ้า<br>คร่อมขั้วมีค่าลดลง           | 39.29                | 51.19        |             |
| 3.3 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมทำให้มี<br>แรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและความต้านทานภายในโดยรวม<br>เพิ่มขึ้น ส่วนการต่อแบบขนานทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่า<br>เดิม แต่ความต้านทานภายในโดยรวมลดลง | 36.90                | 53.57        |             |
| <b>กลุ่มที่ 4 เรื่อง วงจรไฟฟ้า</b>                                                                                                                                                      | <b>24.15</b>         | <b>49.66</b> | <b>0.34</b> |
| 4.1 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่ตัวต้านทานต่อแบบ<br>ผสม จะพิจารณาวงจรในส่วนย่อยก่อน                                                                                                         | 24.15                | 49.66        |             |
| <b>รวมทั้งหมด 4 กลุ่มมโนทัศน์</b>                                                                                                                                                       | <b>32.47</b>         | <b>54.30</b> | <b>0.32</b> |

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

## สรุปผลและอภิปรายผล

### สรุปผล

การจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ส่งผลให้มนต์ศน์ทางฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแสของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

### อภิปรายผล

จากตารางที่ 1 พบว่า การศึกษามโนทัศน์เกี่ยวกับไฟฟ้ากระแสของนักเรียนในรายละเอียด พบว่า ในกลุ่มมนต์ศน์ที่ 1 ซึ่งประเมินมนต์ศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 38.31 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมนต์ศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนส่วนหนึ่งเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำสามารถเกิดจากการเคลื่อนที่ของทั้งอิเล็กตรอน และโปรตอน และบางส่วนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้ามีทิศเดียวกับทิศของกระแสอิเล็กตรอน คล้ายกับผลการวิจัยของ กมลภัทร พึ่งปาน (2562) ที่พบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าในสายไฟเกิดจากการเคลื่อนที่โปรตอนและอิเล็กตรอน และคล้ายกับผลการวิจัยของ สาโรจน์ ทองนาค (2559) ที่พบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจว่ากระแสไฟฟ้าในตัวนำเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปตามตัวนำไฟฟ้าโดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำ เป็นต้น หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 61.01 ให้ค่า  $g$  เท่ากับ 0.37 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

ในกลุ่มมนต์ศน์ที่ 2 ซึ่งประเมินมนต์ศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับความต้านทานและกฎของโอห์ม คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 35.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมนต์ศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนส่วนหนึ่งเข้าใจว่าความต้านทานของเส้นลวดโลหะมีค่าเปลี่ยนตามกระแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ของแหล่งกำเนิด และส่วนหนึ่งเข้าใจว่าความต้านทานของลวดโลหะเส้นเดิมจะเท่าเดิมถึงแม้จะเส้นลวดนั้นจะมีพื้นที่หน้าตัดหรือความยาวที่เปลี่ยนไป คล้ายกับผลการวิจัยของ Wainwright (2007) ที่พบว่านักเรียนจำนวนมากไม่ได้ตระหนักว่าค่าความต้านทานเป็นลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบของวงจรแต่ละตัว และคล้ายกับผลการวิจัยของ สาโรจน์ ทองนาค (2559) ที่พบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจว่าลวดยาวจะมีความต้านทานเท่ากับลวดสั้น เป็นต้น หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 61.31 ให้ค่า  $g$  เท่ากับ 0.40 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

ในกลุ่มมนต์ศน์ที่ 3 ซึ่งประเมินมนต์ศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับแบตเตอรี่และพลังงานไฟฟ้า คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 32.54 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมนต์ศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนส่วนหนึ่งเข้าใจว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมหรือขนานจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเสมอ และนักเรียนบางส่วนเข้าใจว่าการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมหรือขนานจะทำให้เข้ากับหลอดไฟจะทำให้หลอดไฟสว่างเท่ากัน อาจจะคลาดเคลื่อนแตกต่างไปจากผลการวิจัยของ Engelhardt และ Beichner (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสตรงอย่างง่าย พบว่านักเรียนจำนวนหนึ่งเข้าใจว่าถ่านไฟฉายสองก้อนที่ต่อแบบขนานจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามากกว่าต่อแบบอนุกรม อย่างไรก็ตามก็มีนักเรียนอีกจำนวนหนึ่งเข้าใจว่าการต่อถ่านไฟฉายสองก้อนทั้งแบบอนุกรมและขนานจะให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากันด้วย เป็นต้น หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 45.24 ให้ค่า  $g$  เท่ากับ 0.19 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับต่ำ

ในกลุ่มมนต์ศน์ที่ 4 ซึ่งประเมินมนต์ศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า คะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 24.15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีมนต์ศน์ที่คลาดเคลื่อนมากพอสมควร ตัวอย่างเช่น นักเรียนบางส่วนวิเคราะห์วงจรต่อแบบผสมโดยรวมไม่ถูกต้อง คล้ายกับผลการวิจัยของ Wainwright (2007) นักเรียนจำนวนมากขาดความเข้าใจในการวิเคราะห์วงจร

โดยเฉพาะวงจรแบบผสม เป็นต้น หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียน  
ถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 49.66 ให้ค่า  $<g>$  เท่ากับ 0.34 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มโนทัศน์ของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง

จากผลการวิเคราะห์คะแนนมโนทัศน์ในภาพรวมพบว่าคะแนนก่อนเรียนเท่ากับร้อยละ 32.47 หลังการจัดการเรียนรู้  
ตามแนวการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 54.30 ให้ค่า  $<g>$  เท่ากับ 0.32  
แสดงให้เห็นว่ามโนทัศน์ของนักเรียนเรื่องไฟฟ้ากระแสเพิ่มขึ้นในระดับปานกลางค่อนข้างไปทางต่ำ แสดงให้เห็นว่า การจัดการ  
เรียนรู้อย่างน้อยจะต้องมีการปรับปรุงพอสมควร ตัวอย่างเช่น คำถามอุ่นเครื่องในขั้นที่ 1 (Warm-Up Assignment) อาจจะไม่  
เหมาะสมหรือน่าสนใจมากพอที่จะกระตุ้นให้นักเรียนตื่นตัวในการนำความเข้าใจเดิมของตนเองไปเปรียบเทียบกับคำตอบของ  
เพื่อนในขั้นที่ 2 (Warm-Up Response) จึงไม่เกิดสถานการณ์ที่ขัดแย้งทางความคิด ไม่สามารถทำให้นักเรียนตื่นตัวในการหา  
คำตอบในกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นที่ 3 (Classroom Just-in-Time Activity) ซึ่งเป็นขั้นตอนในการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของ  
นักเรียนให้ถูกต้อง นักเรียนอาจจะไม่มีแรงจูงใจในการหาคำตอบหรืออาจมีข้อสงสัยที่ไม่สามารถหาคำตอบได้โดยตรงจาก  
กิจกรรมการทดลองที่กำหนดไว้ อีกทั้งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดไวรัสโคโรนา 2019 (โค  
วิด-19) ส่งผลให้นักเรียนหลายคนขาดเรียนไม่ได้เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ ครูจึงปรับเปลี่ยนกิจกรรมการ  
ทดลองเป็นการสาธิตด้วยโปรแกรมการทดลองเสมือน (Simulation) อาจไม่ครอบคลุมมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและข้อสงสัยได้  
ทั้งหมด จึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนบางส่วนให้ถูกต้องได้

อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ ก็ยังสามารถปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนส่วน  
ใหญ่ได้ ซึ่งผู้วิจัยพบว่านักเรียนจะให้ความสำคัญกับความคิดความเข้าใจของตนเองที่ได้ตอบคำถามทบทวน ในขั้นที่ 1 Warm-  
Up Assignment และเปรียบเทียบกับคำตอบของเพื่อนในขั้นที่ 2 Warm-Up Response มีการโต้แย้งยืนยันคำตอบกัน ทำให้  
เกิดสถานการณ์ที่ขัดแย้งทางความคิด ส่งผลให้นักเรียนบางคนเกิดไม่มั่นใจในความเข้าใจเดิมของตนเอง ซึ่งครูยังไม่บอก  
คำตอบที่ถูกต้องแก่นักเรียน ทำให้นักเรียนต้องไปหาคำตอบในกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นที่ 3 Classroom Just-in-Time Activity  
ซึ่งต้องทำการทดลองและอภิปรายร่วมกับครูและเพื่อนจนได้ข้อสรุปที่ตรงกัน เกิดการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่ถูกต้อง และนำ  
ความรู้ความเข้าใจที่เรียนแบบ Just-in-Time ไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ ในขั้นที่ 4 Classroom Discussion/Elaboration มี  
การฝึกแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบ นักเรียนจึงเกิดความมั่นใจได้ว่าความเข้าใจของตนเองนั้นถูกต้อง ถือได้ว่าลักษณะที่เกิดขึ้น  
นี้เป็นไปตามทฤษฎีการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของ โพสเนอร์ (Posner et al., 1982) ที่ว่า ถ้ามโนทัศน์ที่นักเรียนได้รับไม่  
สอดคล้องกับมโนทัศน์ที่มีอยู่ของนักเรียนจะเกิดความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive conflict) ทำให้นักเรียนรู้สึกไม่พึงพอใจ  
กับมโนทัศน์ที่มีอยู่จึงต้องมีการแก้ไขให้สอดคล้องกันโดยการ การดูดซึมทางปัญญา (Assimilation) และการปรับโครงสร้างทาง  
ปัญญา (Accommodation) โดยการดูดซึมทางปัญญาเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมโนทัศน์ที่มีอยู่เดิมในโครงสร้างทาง  
ปัญญา (Schema) ของนักเรียนสอดคล้องกับสิ่งที่นักเรียนได้รับจากประสบการณ์ภายนอก แต่การปรับโครงสร้างทางปัญญา  
(Accommodation) เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนไม่สามารถนำมโนทัศน์ที่มีอยู่เดิมใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ได้สำเร็จ ดังนั้น  
พวกเขาจึงตระหนักว่า มโนทัศน์ที่มีอยู่เดิมของพวกเขาไม่สามารถแก้ปัญหาในปรากฏการณ์ใหม่ได้จากนั้นนักเรียนจึงต้องการ  
เปลี่ยนแปลงหรือจัดกระทำมโนทัศน์ที่มีอยู่เดิม ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการทางปัญญาของทฤษฎีพัฒนาการทางเชาว์ปัญญา  
ของเพียเจต์ (ชนาธิป พรกุล, 2554) ที่ว่า เมื่อข้อมูลใหม่ถูกนำเข้าสู่สมองแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบภายในเพื่อทำความเข้าใจหรือทำให้เข้ากับข้อมูลใหม่นั้นเรียกว่า การปรับตัว (Adaptation) ถ้านักเรียนพบสิ่งที่ไม่คุ้นเคยหรือข้อมูลใหม่ไม่มีความ  
ใกล้เคียงหรือสัมพันธ์กับความรู้เดิมจะเกิดความสงสัยเรียกว่า เกิดสภาวะไม่สมดุล (Disequilibrium) นักเรียนจะใช้  
กระบวนการปรับสภาวะ (Accommodation) เพื่อปรับโครงสร้างทางปัญญาที่มีให้เข้ากับสิ่งที่พบใหม่ ทำให้เกิดสภาวะสมดุล  
(Equilibrium) แล้วจึงจัดเก็บในโครงสร้างทางปัญญา

ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์ ช่วยจัดเตรียมให้นักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองอย่าง  
ต้นตัว โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสร้างสถานการณ์ให้นักเรียนตรวจสอบความรู้เดิม กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการขัดแย้งทาง  
ปัญหา และนำไปสู่การปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้องได้ทันที สอดคล้องกับ ศุภโชค พุทธิสารวิมล (2557) ที่ได้  
ทำการศึกษารื่อง การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในชั้นเรียนบรรยาย  
เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 ผลการวิจัยพบว่าหลังการเรียนการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ นักศึกษาได้คะแนน  
เฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แสดงว่าการสอนแบบจัสท์-อิน-ไทม์ ทำให้นักศึกษาแต่ละคนแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้  
ถูกต้องได้ และคล้ายกับผลการวิจัยของ พัชรุณี ลังกาพันธ์ (2558) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลการจัดการเรียนรู้แบบฟิสิกส์เอส ต่อมโน  
ทัศน์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรง พบว่าการตรวจสอบความรู้เดิมจะทำให้ครูสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้เหมาะสมกับ  
ความรู้เดิมของนักเรียน นักเรียนจึงเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมที่มีอยู่กับความรู้ใหม่ได้อย่างถูกต้องและเมื่อมีการนำความรู้ไป  
ใช้นักเรียนจึงได้ฝึกการประยุกต์ใช้ช่วยให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายส่งผลให้มโนทัศน์ของนักเรียนถูกต้อง

### ข้อเสนอแนะ

#### ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การจัดการเรียนรู้แบบจัสท์-อิน-ไทม์เพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนนั้น คำถามก่อนเรียนนั้นมีประโยชน์มากเพราะ  
นอกจากจะเป็นการสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนก่อนเรียนแล้ว ยังช่วยให้ครูรวบรวมมโนทัศน์ที่  
คลาดเคลื่อนก่อนเรียนเหล่านั้นไปออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของนักเรียนได้
2. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อปรับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ควรเป็นกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ลงมือทดลองเพื่อ  
หาคำตอบด้วยตนเองจะดีกว่าการสังเกตการทดลองเสมือน (Simulation)

#### ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

จากผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่าในกลุ่มมโนทัศน์ที่ 3 มีค่า <g> ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมโนทัศน์เกี่ยวกับแบตเตอรี่ที่มี  
ความต้านทานภายในเป็นเรื่องที่ทำความเข้าใจได้ยาก และเนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด-19)  
ส่งผลให้มีความจำเป็นต้องปรับใช้โปรแกรมการทดลองเสมือน (Simulation) แทนการให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง จึงไม่  
สามารถปรับโครงสร้างทางปัญญา (Accommodation) ของนักเรียนได้ จึงควรออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยวิธีการอื่น

### เอกสารอ้างอิง

- กมลภัทร พิงปาน. (2562). การพัฒนาความเข้าใจในมิติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยวิธีการ  
เรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อภิปราย-สังเคราะห์ (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาสารคาม. มหาวิทยาลัย  
มหาสารคาม.
- กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง  
พุทธศักราช 2560). กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร.
- กิตติมา พันธุ์พุกษา. (2563). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย.  
วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2563, 189.
- ชนาธิป พรกุล. (2554). การสอนกระบวนการคิด : ทฤษฎีและการนำไปใช้ (พิมพ์ครั้งที่2). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.

- ชาญวิทย์ คำเจริญ. (2564). การวิเคราะห์ความเข้าใจเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้แบบทดสอบปรนัย. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 2565, 71 - 84
- เบญจวรรณ จุลดาชัย และ จารุณี ชามาศย์. (2558). การศึกษาความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยมัลติมีเดียที่พัฒนาตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). ขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิยนุช มาลีหวล. (2559). ผลการสอนแบบเพียร์ที่เสริมด้วยกิจกรรมการลงมือปฏิบัติทางฟิสิกส์ต่อมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พรณิชา พรหมเสนา. (2560). ผลการใช้รูปแบบการสอนการเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ของครูและโคคา คูลาที่มีต่อมโนทัศน์ทางเคมีของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์ มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรพิมล จันทาทอง. (2562). การศึกษามโนทัศน์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ร่วมกับการโค้ชและจัดตั้งปัญญาศึกษา. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2562, 271.
- พรรัตน์ วัฒนกลีวิซซ์ และ สุพล อนันตา. (2553). การวิเคราะห์รูปแบบความคิดวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.
- พัชรุณี ลังกาพันธ์. (2558). ผลการจัดการเรียนรู้แบบพีโออีเอส ต่อมโนทัศน์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เพ็ญภา ภูมิโต. (2563). ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับกลวิธีเมตาคอกนิชัน ต่อมโนทัศน์วิทยาศาสตร์เรื่องไฟฟ้ากระแสและเมตาคอกนิชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ศุภโชค พุทธิสารวิมล. (2557). การประเมินวิธีการสอนแบบ Just-in-Time Teaching ด้วยเทคนิค model analysis ในชั้นเรียนบรรยายเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 และ 2 (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สาโรจน์ ทองนาค. (2557). การพัฒนามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ไฟฟ้ากระแส โดยใช้วิธีการสอนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย (Predict-Observe-Explain, POE) (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). ขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- แสงเดือน อาตมียนันท์. (2557). การพัฒนามโนทัศน์และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา. (วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- อัครรัตน์ นามะกันคำ. (2550). การเปรียบเทียบความเข้าใจเชิงแนวคิดเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสตรงของนักเรียนสาย สามัญและสายอาชีพ (การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อารีวรรณ ชัดติยะวงศ์. (2556). การศึกษาผลการเรียนรู้โดยใช้แผนผังโมเมนต์เรื่องพันธะเคมี 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