

# ความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

## Twelfth Grade Students' Understandings of Electromagnetic Induction

นัฐกานต์ ดวงพร

Nunim2000@hotmail.co.th

โรงเรียนอุดรพัฒนาศาสตร์ ตำบลบ้านจั่น อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า พลวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 9 คน ซึ่งผ่านการเรียนรู้เรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้ามาแล้ว เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบทดสอบปลายเปิด จำนวน 2 ข้อ แต่ละข้อเกี่ยวข้องกับสถานการณ์การเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยการให้นักเรียนทำแบบทดสอบ ร่วมกับการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคล ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยการอ่านและตีความคำตอบของนักเรียนอย่างละเอียด เพื่อจัดกลุ่มความเข้าใจของนักเรียนที่มีความหมายเหมือนหรือคล้ายกัน ผลการวิจัยพบว่า พลวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเป็นสาเหตุของการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า แต่พิจารณาเพียงแต่การเคลื่อนที่ของวัตถุที่เกี่ยวข้องในสถานการณ์เท่านั้น ผลการวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาการเรียนการสอนเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

**คำสำคัญ:** การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า; ความเข้าใจของนักเรียน; การเรียนการสอน ฟิสิกส์

## Abstract

This research aimed at studying twelfth grade students' understandings of electromagnetic induction. The participants included 9 students who have learned about electromagnetic induction. The research instruments included an open-ended test, which consisted of 2 items. Each item presents different situations about electromagnetic induction. The researcher collected data using the test in conjunction with individual semi-structured interviews. The researcher analyzed the data through carefully reading and interpreting the students' responses in order to categorize their understandings into groups which have same or similar meanings. The research results reveal that most of the participants did not consider that change in magnetic flux of the induced coil as a cause of the electromagnetic induction, but movement of the object(s) in each situation. The research results can be guideline for developing instruction about electromagnetic induction to be more effectively.

**Keywords:** Electromagnetic instruction; Students' Understandings; Teaching and Learning Physics

## บทนำ

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์สาขาหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยให้มนุษย์เข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆ และยังเป็นพื้นฐานของเทคโนโลยีต่างๆ ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ (พรชัย พัชรินทร์ตะนกุล, 2525) นักเรียนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานจึงควรได้รับการส่งเสริมให้มีความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานทางฟิสิกส์ต่าง ๆ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.], 2546) ในการนี้ กระทรวงศึกษาธิการ (2553) จึงได้บรรจุแนวคิดต่างๆ ทางฟิสิกส์ลงใน “ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551” โดยแนวคิดทางฟิสิกส์ส่วนใหญ่ปรากฏอย่างชัดเจนในสาระที่ 4 “แรงและการเคลื่อนที่” และ สาระที่ 5 “พลังงาน” นอกจากนี้แนวคิดทางฟิสิกส์ยังเป็นพื้นฐานและปรากฏแฝงอยู่ในสาระที่ 6 “กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก” และ สาระที่ 7 “ดาราศาสตร์และอวกาศ” อีกด้วย สิ่งเหล่านี้แสดงว่า ความเข้าใจแนวคิดต่าง ๆ ทางฟิสิกส์เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับนักเรียนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic induction) เป็นแนวคิดหนึ่งทางฟิสิกส์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าและแม่เหล็ก แนวคิดนี้ได้รับการเสนอในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ “กฎการเหนี่ยวนำของฟาราเดย์” (Faraday’s Law of Induction) ใจความสำคัญของแนวคิดนี้มีอยู่ว่า

*เมื่อสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำใดๆ มีการเปลี่ยนแปลง อิเล็กตรอน ซึ่งมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ จะเกิดการเคลื่อนที่ภายในขดลวดตัวนำ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำจะสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำ*

จากใจความสำคัญข้างต้น แนวคิดเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เพียงเกี่ยวข้องกับแนวคิดพื้นฐานจำนวนมาก เช่น สนามแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้า พื้นที่ของขดลวดตัวนำ อัตราการเปลี่ยนแปลง และองค์ประกอบภายในขดลวดตัวนำ (นั่นคือ อิเล็กตรอน) แนวคิดเหล่านี้เป็นแนวคิดนามธรรมที่มีความซับซ้อนสูง ด้วยเหตุนี้ ผู้เรียนหลายคนจึงมักประสบกับความยากลำบากในการเรียนรู้เรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Raduta, 2005; Saglam & Millar, 2006)

ตัวอย่างเช่น จากการศึกษาความเข้าใจของนักศึกษาที่เรียนวิชาฟิสิกส์เบื้องต้น Scaife & Heckler (2011) พบว่า เมื่อนักศึกษาได้เรียนและเข้าใจทั้งเรื่องไฟฟ้าและเรื่องแม่เหล็กเป็นอย่างดีแล้ว แต่เมื่อนักศึกษาเหล่านี้ต้องเผชิญกับสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งเรื่องไฟฟ้าและเรื่องแม่เหล็กพร้อมกัน นักศึกษาจำนวนหนึ่งจะเกิดความสับสน และไม่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ทั้งสองเรื่องได้อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์ ผลการวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นว่า การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับเรื่องไฟฟ้าและเรื่องแม่เหล็ก จึงเป็นเนื้อหาค่อนข้างท้าทายสำหรับผู้เรียนในระดับอุดมศึกษา ในทำนองเดียวกัน สมภาร เชื้ออ่อน (2554) ได้ศึกษา “ประสิทธิผลของรูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้” ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า และพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ผ่านการเรียนด้วยรูปแบบดังกล่าว มีความก้าวหน้าในการเรียนรู้เรื่องนี้เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

เช่นเดียวกับผลการวิจัยข้างต้น การวิเคราะห์ผลการจัดการเรียนการสอนเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าของตนเองที่ผ่านมา ผู้วิจัยทราบในเบื้องต้นว่า นักเรียนส่วนใหญ่มักประสบปัญหาในการเรียนรู้เรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ในเบื้องต้นนี้ทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจว่า “นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างไร” ผู้วิจัยเชื่อว่า การศึกษาเชิงลึกจะช่วยให้ผู้วิจัยตอบคำถามวิจัยนี้ได้ และจะช่วยให้ผู้วิจัยพัฒนาการจัดการเรียนการสอนของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยหวังด้วยเช่นกันว่า ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อทั้งครูฟิสิกส์และผู้พัฒนาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ในวงกว้าง

## คำถามวิจัย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีความเข้าใจเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างไร

## ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) ภายใต้กระบวนทัศน์การตีความ (Interpretive paradigm) (Erickson, 1985; Lincoln & Guba, 1985) ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ ที่พลวิจัยหรือผู้เข้าร่วมการวิจัยได้สร้างขึ้นจากประสบการณ์ส่วนบุคคล โดยปรากฏการณ์ที่เป็นหัวข้อของการวิจัยครั้งนี้คือการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า รายละเอียดเกี่ยวกับบริบทวิจัย พลวิจัย การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

## บริบทวิจัย

การวิจัยนี้เกิดขึ้นในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 ณ โรงเรียนอุดรพัฒนการ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นโรงเรียนที่เปิดสอนเฉพาะระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม. 4 – 6) จำนวนนักเรียนทั้งหมดในโรงเรียนคือ 1,759 คน โดยเป็นนักเรียนชั้น ม. 6 จำนวน 569 คน จากจำนวนห้องเรียนทั้งหมด 12 ห้องเรียน ในระดับชั้น ม.6 จำนวนนักเรียนต่อห้องเรียนมีประมาณ 45 คน โดยทั่วไป นักเรียนชั้น ม. 6 ในแต่ละห้องเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นนักเรียนชั้น ม. 6/11 และ ม. 6/12 ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์โดยรวมสูงกว่านักเรียนชั้น ม. 6 ในห้องอื่นๆ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเนื้อหาในหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียน ซึ่งเปิดสอนในภาคเรียนที่ 2 ของระดับชั้น ม. 5 โดยมีผู้วิจัยเป็นผู้สอน

การจัดการเรียนการสอนเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทั่วไปเน้นการสืบเสาะหาความรู้ตามวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน (5Es Inquiry Cycle) ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงตามกิจกรรมในหนังสือเรียนฟิสิกส์เพิ่มเติม เล่ม 4 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.] ร่วมกับการใช้สื่อสิ่งประดิษฐ์ที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นเอง และการสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายสังคมออนไลน์ (Social Network) ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาและแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ ผู้วิจัยมักเสริมด้วยการอธิบายเพิ่มเติม และยกตัวอย่างโจทย์ต่างๆ ทั้งจากแบบทดสอบ ONET และจากแบบทดสอบรับตรงของมหาวิทยาลัยต่างๆ

### พลวิจัย

พลวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 9 คน ซึ่งประกอบด้วยนักเรียนชาย 3 คน และนักเรียนหญิง 6 คน พลวิจัยทั้งหมดเป็นนักเรียนชั้น ม. 6/11 และชั้น ม. 6/12 จำนวน 4 คน และ 5 คน ตามลำดับ พลวิจัยทั้งหมดได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposeful sampling) โดยใช้เกณฑ์ความสมัครใจและความสะดวกของผู้วิจัยในการเก็บข้อมูล เนื่องจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเนื้อหาที่เปิดสอนในระดับชั้น ม. 5 ดังนั้น พลวิจัยทั้งหมดจึงผ่านการเรียนรู้เนื้อหานี้มาแล้วในภาคเรียนที่ผ่านมา ในรายงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยอ้างถึงพลวิจัยแต่ละคนโดยใช้สัญลักษณ์ S แล้วตามด้วยตัวเลข 1 – 9 (เช่น S1 , S2 และ S3 เป็นต้น) ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับพลวิจัย

### การเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยการให้พลวิจัยทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า จำนวน 2 ข้อ ซึ่งเป็นคำถามปลายเปิด (ดังแสดงในภาคผนวก) คำถามแต่ละข้อเป็นสถานการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน กล่าวคือ

คำถามข้อที่ 1 เป็นสถานการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ จำนวน 4 สถานการณ์ย่อย และคำถามข้อที่ 2 เป็นสถานการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและขดลวดตัวนำ จำนวน 3 สถานการณ์ย่อย ผู้วิจัยพัฒนาคำถามทั้ง 2 ข้อ มาจากคำถามใน “แบบสำรวจแนวคิดเกี่ยวกับไฟฟ้าและแม่เหล็ก” (The Conceptual Survey of Electricity and Magnetism: CSEM) ของ Maloney *et al.* (2001)

ในการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยให้พลวิจัยแต่ละคนทำแบบทดสอบพร้อมกันทั้ง 9 คน โดยพลวิจัยแต่ละคนใช้เวลาทำแบบทดสอบประมาณ 20 – 25 นาที จากนั้น ผู้วิจัยทำการสัมภาษณ์พลวิจัยแบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคลในช่วงเวลาที่ผู้วิจัยและพลวิจัยว่างตรงกัน การสัมภาษณ์มุ่งเน้นให้พลวิจัยชี้แจงเหตุผลของคำตอบที่นักเรียนระบุไว้ในแบบทดสอบ ในการนี้ ผู้วิจัยได้ขออนุญาตพลวิจัยในการบันทึกเสียง โดยผู้วิจัยย้ำกับพลวิจัยว่า ข้อมูลส่วนตัวของพลวิจัยจะถูกปิดเป็นความลับและไม่มีการเปิดเผยสู่สาธารณะ

### **การวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการแบบอุปนัย (Inductive method) โดยผู้วิจัยเริ่มต้นจากการถอดคำพูดจากการสัมภาษณ์พลวิจัยแต่ละคนแบบคำต่อคำ (Verbatim transcription) จากนั้น ผู้วิจัยอ่านคำสัมภาษณ์ของพลวิจัยแต่ละคน ร่วมกับการพิจารณาคำตอบของพลวิจัยในแบบทดสอบ ในการนี้ ผู้วิจัยตีความข้อมูลที่ได้จากพลวิจัยแต่ละคนอย่างละเอียด เพื่อระบุว่าลักษณะสำคัญของความเข้าใจเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำไฟฟ้าแม่เหล็ก จากนั้น ผู้วิจัยทำการจัดกลุ่มความเข้าใจที่มีความหมายเหมือนกันหรือคล้ายกัน

## ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำแบบทดสอบ ร่วมกับการสัมภาษณ์ แบบกึ่งโครงสร้างรายบุคคล ผู้วิจัยจัดกลุ่มความเข้าใจของพลวิจัยเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำไฟฟ้าแม่เหล็กในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### สถานการณ์ที่ 1 : การเหนี่ยวนำระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ

คำถามข้อที่ 1 เป็นสถานการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ย่อย 4 สถานการณ์ คือ 1. แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ออกจากขดลวดตัวนำที่อยู่นิ่ง 2. แท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำอยู่นิ่ง แต่ขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง 3. แท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำอยู่นิ่ง แต่ขดลวดตัวนำหมุนในลักษณะที่ว่า สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำไม่เปลี่ยนแปลง และ 4. แท่งแม่เหล็กอยู่นิ่ง ในขณะที่ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่เข้าหาแท่งแม่เหล็ก ในการนี้ พลวิจัยต้องระบุว่า ในแต่ละสถานการณ์ย่อย หลอดไฟที่เชื่อมต่อกับขดลวดตัวนำจะสว่างหรือไม่ และเพราะเหตุใด

ในทางฟิสิกส์แล้ว หลอดไฟที่ต่ออยู่กับขดลวดตัวนำจะสว่าง ก็ต่อเมื่อ สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเป็นผลจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของขดลวดตัวนำ หรือการหมุนของขดลวดตัวนำในลักษณะที่ทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น จากสถานการณ์ย่อยทั้งหมด หลอดไฟในสถานการณ์ที่ 1 2 และ 4 เท่านั้นที่สว่าง



### ตารางที่ 1 คำตอบของพลวิชัยในสถานการณ์ที่ 1

พลวิชัย	คำตอบของพลวิชัยเกี่ยวกับความสว่างของหลอดไฟ				จำนวนคำตอบที่ถูกต้อง (ข้อ)
	สถานการณ์ย่อยที่ 1	สถานการณ์ย่อยที่ 2	สถานการณ์ย่อยที่ 3	สถานการณ์ย่อยที่ 4	
เฉลย	✓	✓	✗	✓	
S1	✓	✗	✗	✓	3
S2	✓	✗	✗	✓	3
S3	✓	✗	✓	✓	2
S4	✓	✗	✗	✓	3
S5	✗	✗	✗	✓	2
S6	✓	✗	✗	✓	3
S7	✗	✗	✗	✓	2
S8	✓	✗	✗	✓	3
S9	✗	✗	✗	✓	2
จำนวนคำตอบที่ถูกต้อง (ข้อ)	6	0	8	9	23/36 (≈64%)

หมายเหตุ: ✓ หมายถึงหลอดไฟสว่าง; ✗ หมายถึงหลอดไฟไม่สว่าง

คำตอบของพลวิชัยทั้ง 9 คน ในสถานการณ์ที่ 1 ในแบบทดสอบเป็นดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า คำตอบที่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีประมาณร้อยละ 64 โดยพลวิชัยส่วนใหญ่ให้คำตอบที่ถูกต้องในสถานการณ์ย่อยที่ 1 3 และ 4 อย่างไรก็ตาม ไม่มีพลวิชัยคนใดเลยที่ให้คำตอบที่ถูกต้องในสถานการณ์ย่อยที่ 2

ในการนี้ ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์เหตุผลที่นักเรียนใช้ในการตอบคำถามในแต่ละสถานการณ์ย่อย ซึ่งผู้วิจัยสามารถจัดกลุ่มความเข้าใจของพลวิชัยออกเป็น 3 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2

## ตารางที่ 2 กลุ่มความเข้าใจของพลวิจัยในสถานการณ์ที่ 1

กลุ่มที่	ลักษณะสำคัญ	จำนวน (คน)
1	หลอดไฟจะสว่างเมื่อสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลง	2 (S1* & S8**)
2	หลอดไฟจะสว่างเมื่อแม่เหล็กและขดลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน	4 (S2 S3 S4 & S6)
3	หลอดไฟจะสว่างเมื่อแม่เหล็กและขดลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่เข้าหากัน	3 (S5 S7 & S9)

\* เฉพาะในสถานการณ์ที่ 1 2 และ 4 เท่านั้น

\*\* เฉพาะในสถานการณ์ที่ 1 และ 4 เท่านั้น

### กลุ่มที่ 1

พลวิจัยกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีจำนวน 2 คน มีความเข้าใจว่า การที่หลอดไฟจะสว่างหรือไม่นั้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน (นั่นคือการเคลื่อนที่เข้าหากันหรือการเคลื่อนที่ออกจากกัน) โดยคำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิจัยคนที่ 1

T จากรูปที่ 1 นักเรียนคิดว่า หลอดไฟสว่างเพราะอะไรคะ

S1 เพราะว่า ... แท่งแม่เหล็กมันเคลื่อนที่ไปทางนี้ใช่ไหมครับ (ชี้ที่ภาพ) แต่ขดลวดอยู่นิ่ง พอแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปทางซ้าย สนามแม่เหล็ก... จะเกิดการเปลี่ยนแปลงครับ

- T            สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงยังไงคะ
- S1            ก็คือว่า (ขด)ลวดทองแดงอยู่ทางนี้ แม่เหล็กเคลื่อนไปทางนี้ (ออก จากขดลวด) [ชี้ที่ภาพ] แสดงว่า สนามแม่เหล็กที่พุ่งผ่านตรงนี้จะ น้อยลงครับ แล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวงจร(ขดลวด ตัวนำ)ขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 1]
- S1            (หลอดไฟ)ไม่สว่าง เพราะแท่งแม่เหล็กและขดลวดอยู่นิ่ง ไม่มีการ เคลื่อนที่จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก จึงไม่มีการ เหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 2]

ในการทำงานเดียวกัน คำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิจัยคนที่ 8

- S8            หลอดไฟสว่าง เพราะเมื่อมีการเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าออกจากขด ลวดทองแดงวงกลม จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ทำให้หลอดไฟ สว่าง .... เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออก ค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัด(ผ่าน) ขดลวดจะลดลง จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวด [สถานการณ์ย่อยที่ 1]
- S8            หลอดไฟสว่างเพราะแท่งแม่เหล็กอยู่นิ่ง แต่ขดลวดเคลื่อนที่เข้าหา แม่เหล็ก จึงเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น เมื่อเคลื่อนขดลวดตัวนำ ผ่านสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก แล้ว เหนี่ยวนำ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดตัวนำ [สถานการณ์ ย่อยที่ 4]

คำพูดของพลวิจัยทั้ง 2 คน ข้างต้นมีการระบุถึงการเปลี่ยนแปลงของ สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดอย่างชัดเจน โดยการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเมื่อแท่งแม่เหล็ก และขดลวดตัวนำมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน

อย่างไรก็ตาม ในสถานการณ์ย่อยที่ 3 พลวิชัยทั้ง 2 คนนี้กลับไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวด ทำให้พลวิชัย 2 คนนี้จะเลยไปว่า การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของขดลวดตัวนำสามารถทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน ดังจะเห็นได้จากคำตอบต่อไปนี้

- S1 (หลอดไฟ) ไม่สว่าง เพราะขดลวดทองแดงหมุน แล้วทำให้เกิด (แรง) เคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ ขดลวดจึงไม่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 3]
- S8 หลอดไฟไม่สว่าง เพราะจากสถานการณ์จะเห็นว่า แท่งแม่เหล็กอยู่นิ่งและขดลวดอยู่นิ่ง แต่ไม่ได้เคลื่อนที่เลย ดังนั้น จึงไม่เกิดความสว่างของหลอดไฟขึ้น เนื่องจากไม่เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [สถานการณ์ย่อยที่ 3]

ดังนั้น แม้ว่าพลวิชัยกลุ่มนี้เข้าใจว่า การเหนี่ยวนำแม่เหล็กเกิดขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลง แต่การนำความเข้าใจนี้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ที่หลากหลายยังคงจำกัด

## กลุ่มที่ 2

พลวิชัยกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีจำนวน 4 คน มีความเข้าใจว่า การที่หลอดไฟจะสว่างหรือไม่นั้นเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ (ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำ) การเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันนี้อาจเป็นการเคลื่อนที่เข้าหากันหรือการเคลื่อนที่ออกจากกันก็ได้ คำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิชัยกลุ่มที่ 2

- S2 หลอดไฟสว่างเพราะมีการเคลื่อนที่เข้าออกของแท่งแม่เหล็ก จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวด [สถานการณ์ย่อยที่ 1]
- S3 หลอดไฟสว่างเพราะเมื่อเคลื่อนที่ขดลวดเข้าหาแท่งแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 4]
- S4 หลอดไฟไม่สว่างเพราะแท่งแม่เหล็กและขดลวดไม่มีการเคลื่อนที่ จึงไม่เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า [สถานการณ์ย่อยที่ 2]
- S6 หลอดไฟไม่สว่างเพราะทั้งแม่เหล็กและขดลวดต่างอยู่กับที่ จึงไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า [สถานการณ์ย่อยที่ 3]

พลวิจัยกกลุ่มนี้ไม่มีการอ้างถึงการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเลย ทั้งๆ ที่การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นสาเหตุที่แท้จริงของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (ไม่ใช้การเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ) ดังนั้น พลวิจัยกกลุ่มนี้จึงคิดว่า หลอดไฟในสถานการณ์ที่ 2 และ 3 จะไม่สว่าง ทั้งนี้เพราะแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำไม่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันนั่นเอง

- S2 หลอดไฟไม่สว่าง เพราะแท่งแม่เหล็กและขดลวดอยู่นิ่ง จึงส่งผลทำให้ไม่มีการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 2]
- S3 หลอดไฟไม่สว่างเพราะแท่งแม่เหล็กอยู่นิ่ง และถึงแม้ขดลวดทองแดงจะมีลักษณะเปลี่ยนไป แต่สภาพของขดลวดไม่สมบูรณ์ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลไม่ได้ [สถานการณ์ย่อยที่ 2]
- S4 หลอดไฟไม่สว่างเพราะแท่งแม่เหล็กและขดลวดต่างอยู่นิ่ง จึงไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า [สถานการณ์ย่อยที่ 3]
- S6 (หลอดไฟ)ไม่สว่าง เพราะแท่งแม่เหล็กและขดลวดอยู่นิ่ง ไม่มีการเคลื่อนที่ ทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้า [สถานการณ์ย่อยที่ 2]

นอกจากนี้ พลวิชัยคนที่ 3 กลับคิดว่า หลอดไฟในสถานการณ์ที่ 3 จะสว่าง ทั้งๆ ที่สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวในสถานการณ์นี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย โดยพลวิชัยคนนี้อ้างถึง “กฎมือขวา” ซึ่งเป็นการนำสิ่งที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ที่ไม่เหมาะสม

### กลุ่มที่ 3

พลวิชัยกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีจำนวน 3 คน มีความเข้าใจว่า การที่หลอดไฟจะสว่างหรือไม่นั้นเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่เข้าหากันระหว่างแม่เหล็กและขดลวดตัวนำเท่านั้น (ไม่ใช่ทั้งการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ และการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำ) คำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิชัยกลุ่มที่ 3

- S5 หลอดไฟไม่สว่างเพราะแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปทางซ้ายออกห่างจากขดลวด จึงทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 1]
- S7 หลอดไฟสว่างเพราะขดลวดหมุนอยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนที่เข้าหาแม่เหล็ก จึงไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า จึงไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 3]
- S9 หลอดไฟไม่สว่างเพราะแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ออกจากขดลวดทองแดง ซึ่งอยู่นิ่ง จึงไม่เกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 1]

ตามความเข้าใจของพลวิชัยกลุ่มนี้ นอกจากการที่แท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำอยู่นิ่งแล้ว การเคลื่อนที่ออกจากกันระหว่างแม่เหล็กและขดลวดตัวนำก็ไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

## สถานการณ์ที่ 2 : การเหนี่ยวนำระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ

คำถามข้อที่ 2 เป็นสถานการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและขดลวดตัวนำ ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ย่อย 3 สถานการณ์ คือ 1. ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ออกจากเส้นลวดตัวนำในทิศทางที่ทำมุมฉากกับทิศของกระแสไฟฟ้า 2. ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ออกจากเส้นลวดตัวนำในทิศทางที่ทำมุมค่าหนึ่ง แต่ไม่ใช่มุมฉากกับทิศของกระแสไฟฟ้า 3. ขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในทิศทางที่ขนานกับทิศของกระแสไฟฟ้า ในการนี้ พลวิทย์ต้องระบุว่า ในแต่ละสถานการณ์ย่อย กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำหรือไม่ และเพราะเหตุใด คำถามข้อที่ 2 นี้ซับซ้อนกว่าคำถามข้อที่ 1 เพราะพลวิทย์ต้องเข้าใจด้วยว่า บริเวณรอบเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านจะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น

ในทางฟิสิกส์แล้ว กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ ก็ต่อเมื่อสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลง โดยสนามแม่เหล็กนี้เกิดจากกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดตัวนำ ซึ่งมีทิศวนรอบเส้นลวดตัวนำตามกฎมือขวา โดยสนามแม่เหล็กจะมีค่ามากในบริเวณใกล้เส้นลวดตัวนำ และจะมีค่าน้อยลงในบริเวณที่ไกลเส้นลวดตัวนำออกไป เนื่องจากเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านนั้นอยู่นิ่ง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำจึงเกิดขึ้น ก็ต่อเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ออกจากเส้นลวดตัวนำในทิศทางที่ทำมุมค่าหนึ่งกับทิศของกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีค่าน้อยลง (นั่นคือ สถานการณ์ย่อยที่ 1 และ 2) อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของขดลวดในทิศทางที่ขนานกับทิศของกระแสไฟฟ้าไม่ทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดมีค่าน้อยลง ดังนั้น จากสถานการณ์ย่อยทั้งหมด กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำเฉพาะในสถานการณ์ที่ 1 และ 2 เท่านั้น

### ตารางที่ 3 คำตอบของพลวิจัยในสถานการณ์ที่ 2

พลวิจัย	คำตอบของพลวิจัยเกี่ยวกับความสว่างของหลอดไฟ			จำนวนคำตอบ ที่ถูกต้อง(ข้อ)
	สถานการณ์ย่อยที่ 1	สถานการณ์ย่อย ที่ 2	สถานการณ์ย่อย ที่ 3	
เฉลี่ย	✓	✓	✗	
S1	✓	✓	✗	3
S2	✓	✗	✗	2
S3	✗	✓	✓	1
S4	✓	✗	✗	2
S5	✓	✗	✗	2
S6	✓	✗	✗	2
S7	✗	✗	✓	0
S8	✓	✗	✗	2
S9	✓	✗	✗	2
จำนวนคำตอบ ที่ถูกต้อง (ข้อ)	7	2	7	16/27 (59%)

หมายเหตุ: ✓ หมายถึงเกิดกระแสไฟฟ้า; ✗ หมายถึงไม่เกิดกระแสไฟฟ้า

คำตอบของพลวิจัยทั้ง 9 คน ในสถานการณ์ที่ 2 ในแบบทดสอบเป็นดังตารางที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า คำตอบที่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีประมาณร้อยละ 59 (ซึ่งต่ำกว่าร้อยละของคำตอบที่ถูกต้องในสถานการณ์ที่ 1) โดยพลวิจัยส่วนใหญ่ให้คำตอบที่ถูกต้องในสถานการณ์ย่อยที่ 1 และ 3 แต่กลับมีพลวิจัยเพียง 2 คนที่ให้คำตอบที่ถูกต้องในสถานการณ์ย่อยที่ 2

ในการนี้ ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์เหตุผลที่นักเรียนใช้ในการตอบคำถามในแต่ละสถานการณ์ย่อย ซึ่งผู้วิจัยสามารถจัดกลุ่มความเข้าใจของพลวิจัยออกเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 4



#### ตารางที่ 4 กลุ่มความเข้าใจของพลวิชัยในสถานการณ์ที่ 2

กลุ่มที่	ลักษณะสำคัญ	จำนวน (คน)
1	กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้น เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำมุมค่าหนึ่งหรือไม่ขนานกับทิศของกระแสไฟฟ้า	1 (S1)
2	กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้น เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำมุมฉากกับทิศของกระแสไฟฟ้าเท่านั้น	6 (S2 S4 S5 S6 S8 & S9)
3	กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้น เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ขนานกับทิศของกระแสไฟฟ้าเท่านั้น	1 (S7)
4	ไม่สามารถระบุได้	1 (S3)

จากการสัมภาษณ์พลวิชัยทั้งหมด สิ่งที่น่าสนใจประการหนึ่งคือว่า แม้พลวิชัยส่วนใหญ่สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องอย่างน้อย 2 ใน 3 สถานการณ์ย่อย แต่กลับไม่มีพลวิชัยคนใดที่ให้เหตุผลได้อย่างถูกต้อง โดยการระบุว่า กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ ก็ต่อเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำมีการเปลี่ยนแปลง พลวิชัยส่วนใหญ่ให้เหตุผลสั้นๆ โดยการระบุถึงทิศการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำ เมื่อเทียบกับทิศของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดเท่านั้น แม้เหตุผลดังกล่าวอาจช่วยให้นักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้อง แต่นั่นไม่ใช่สาเหตุที่แท้จริงของการเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดตัวนำ รายละเอียดของแต่ละกลุ่มมีดังนี้

## กลุ่มที่ 1

พลวิจัยกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีจำนวน 1 คน มีความเข้าใจว่า กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำมุมค่าหนึ่ง ซึ่งเท่ากับศูนย์ กับทิศของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวด คำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิจัยกลุ่มที่ 1

- S1 เกิดกระแสไฟฟ้า เพราะกรอบโลหะเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับเส้นลวด [สถานการณ์ย่อยที่ 1]
- S1 เกิดกระแสไฟฟ้า เพราะทิศทางการเคลื่อนที่ของ  $v\sin\theta \neq 0$  [สถานการณ์ย่อยที่ 2]
- S1 เกิดกระแสไฟฟ้า เพราะกรอบโลหะสัมผัสเคลื่อนที่ในแนวขนานกับเส้นลวด  $(v)\sin\theta = 0$  [สถานการณ์ย่อยที่ 3]

ด้วยเหตุนี้ พลวิจัยคนนี้จึงให้คำตอบที่ถูกต้องในทุกสถานการณ์ย่อย แม้ว่าพลวิจัยคนนี้ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดก็ตาม

## กลุ่มที่ 2

พลวิจัยกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีจำนวน 6 คน มีความเข้าใจว่า กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ทำมุมฉากกับทิศของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดเท่านั้น การเคลื่อนที่ของขดลวดในทิศทางอื่นๆ ไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในเส้นลวด คำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิจัยกลุ่มที่ 2

- S2 เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เพราะทิศของกรอบโลหะที่เคลื่อนที่มีทิศตั้งฉากกับทิศของลวดโลหะทรงกระบอก [สถานการณ์ย่อยที่ 1]
- S2 ไม่เกิดกระแสไฟฟ้า เพราะทิศ(การเคลื่อนที่)ของกรอบโลหะไม่ได้ตั้งฉากกับทิศของโลหะทรงกระบอก [สถานการณ์ย่อยที่ 2]

- S2 ไม่เกิดกระแสไฟฟ้า เพราะทิศ(การเคลื่อนที่)ของกรอบโลหะและทิศของแท่งโลหะขนานกัน [สถานการณ์ย่อยที่ 3]
- S9 เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เพราะ  $i$  และ  $v$  มีทิศตั้งฉากกัน จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 1]
- S9 ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เพราะทิศของ  $i$  และ  $v$  ไม่มีทิศตั้งฉากกัน [สถานการณ์ย่อยที่ 2]
- S9 ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เพราะทิศของ  $i$  และ  $v$  ไม่มีทิศตั้งฉากกัน [สถานการณ์ย่อยที่ 3]

ด้วยเหตุนี้ พลวิจัยส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้จึงให้คำตอบที่ถูกต้องเฉพาะในสถานการณ์ย่อย 1 แต่ให้คำตอบที่ไม่ถูกต้องในสถานการณ์ย่อยที่ 2 และเช่นเดียวกับพลวิจัยกลุ่มที่ 1 พลวิจัยกลุ่มนี้ไม่ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดเลย

### กลุ่มที่ 3

พลวิจัยกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีจำนวน 1 คน มีความเข้าใจว่า กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในขดลวดตัวนำ เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ขนานกับทิศของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวดเท่านั้น การเคลื่อนที่ของขดลวดในทิศทางอื่นๆ ไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในเส้นลวด คำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิจัยกลุ่มที่ 3

- S7 ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เพราะเมื่อเคลื่อน(ขดลวด)โลหะออกจากแท่งกระแสไฟฟ้า จะทำให้เกิดที่ว่างมากเกินไป ทำให้ไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า [สถานการณ์ย่อยที่ 1]

- S7 ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นที่กรอบโลหะ เพราะเมื่อเคลื่อน(ขดลวด)โลหะ ออกจากลวดทองแดงที่มีกระแสไฟฟ้า จะทำให้เกิดที่ว่างมากเกินไป ทำให้ไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น [สถานการณ์ย่อยที่ 2]
- S7 เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เพราะกรอบโลหะมีการเคลื่อนที่ตามทิศของ กระแสไฟฟ้า จะเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า [สถานการณ์ย่อยที่ 3]

ด้วยเหตุผลข้างต้น พลวิชัยคนนี้จึงให้คำตอบที่ตรงกันข้ามกับคำตอบที่ถูกต้อง ในทุกสถานการณ์ แม้ว่าพลวิชัยคนนี้จะพยายามหาสาเหตุอื่น (นั่นคือ การเกิดที่ว่าง ระหว่างขดลวดตัวนำและเส้นลวดที่มีกระแสไฟฟ้า) มาประกอบคำอธิบายก็ตาม

#### กลุ่มที่ 4

พลวิชัยกลุ่มที่ 4 ซึ่งมีจำนวน 1 คน มีการให้เหตุผลที่ไม่ชัดเจน แม้ว่าพลวิชัย คนนี้จะระบุถึง “การเคลื่อนที่(ของขดลวดตัวนำ)ที่ตัดสนามแม่เหล็ก” แต่เหตุผล ดังกล่าวยังขาดการชี้แจงว่า การเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำตัดสนามแม่เหล็กอย่างไร นอกจากนี้ พลวิชัยคนนี้ยังระบุทิศของสนามแม่เหล็กและทิศของกระแสไฟฟ้าที่ไม่ ถูกต้องอีกด้วย คำพูดต่อไปนี้แสดงความเข้าใจของพลวิชัยกลุ่มที่ 4

- S3 ไม่เกิดกระแสไฟฟ้า เพราะแท่งโลหะทรงกระบอกยาวมีกระแสไฟฟ้า ในแนวระดับ กรอบโลหะไม่ได้เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก (จึงไม่เกิด ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลายขดลวดทั้งสอง [สถานการณ์ย่อยที่ 1])
- S3 เกิดกระแสไฟฟ้า เพราะแท่งโลหะมีสนามแม่เหล็ก มีทิศตั้งฉากกับ กรอบโลหะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  ทำให้เกิดความต่างศักย์ที่ ปลายลวดทั้งสอง [สถานการณ์ย่อยที่ 2]

S3 เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เพราะกรอบโลหะทำมุม  $\theta$  ทิศทางการเคลื่อนที่ของ B ที่มีทิศชี้ขึ้นในแนวตั้ง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าจากความต่างศักย์ที่ปลายลวดทั้งสอง [สถานการณ์ย่อยที่ 3]

จากเหตุผลข้างต้น พลวิจัยคนนี้ได้อ้างถึงคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ สนามแม่เหล็ก และ ความต่างศักย์ไฟฟ้า แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงแนวคิดเหล่านี้ได้อย่างมีความหมาย

### บทสรุป

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า พลวิจัยเป็นนักเรียน 9 คน ที่ผ่านการเรียนรู้เรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้ามาแล้วในภาคเรียนที่ผ่านมา ผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยให้พลวิจัยตอบคำถามเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าในแบบทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย 2 สถานการณ์คือ 1. การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ และ 2. การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านและขดลวดตัวนำ โดยสถานการณ์ที่ 1 มีสถานการณ์ย่อย 4 สถานการณ์ และสถานการณ์ที่ 2 มีสถานการณ์ย่อย 3 สถานการณ์ จากนั้น ผู้วิจัยเก็บข้อมูลเพิ่มเติมโดยการสัมภาษณ์พลวิจัยแบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคล เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาจัดกลุ่มตามความเข้าใจที่เหมือนหรือคล้ายกัน

ผลการวิจัยพบว่า พลวิจัยส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำ หากแต่พิจารณาการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็ก และ/หรือขดลวด ทำให้พลวิจัยส่วนใหญ่ให้คำตอบที่ถูกต้องได้ในบางสถานการณ์ย่อยเท่านั้น ซึ่งมักเป็นสถานการณ์ที่นักเรียนคุ้นเคยหรือเคยพบเห็นมาก่อน อย่างไรก็ตาม เมื่อพลวิจัยต้องประสบกับ

สถานการณ์ที่ไม่คุ้นเคย พลวิจัยส่วนใหญ่ไม่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคยเรียนผ่านมาได้ ด้วยเหตุนี้ ความเข้าใจของพลวิจัยทั้งหมดจึงยังคงจำกัดและไม่ลึกซึ้งเพียงพอ

## การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องและสนับสนุนงานวิจัยอื่นๆ ในอดีตที่ผ่านมา ซึ่งเปิดเผยว่า นักเรียนและนักศึกษาประสบกับความยากลำบากในการเรียนรู้เรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (สมภาร เชื้ออ่อน, 2554; Raduta, 2005; Saglam & Millar, 2006; Scaife & Heckler, 2011) ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความยากลำบากในการเรียนรู้เรื่องนี้ น่าจะมาจากความเป็นนามธรรมและความซับซ้อนของแนวคิดเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งต้องอาศัยความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานต่างๆ อาทิ สมบัติของแท่งแม่เหล็ก สนามแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้า การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ อัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติของขดลวดตัวนำ องค์ประกอบภายในของขดลวดตัวนำ และสภาพทางไฟฟ้าขององค์ประกอบนั้น การขาดความเข้าใจในเรื่องหนึ่งเรื่องใดสามารถส่งผลให้ผู้เรียนไม่สามารถเชื่อมโยงแนวคิดต่างๆ เข้าด้วยกันได้อย่างมีความหมาย ซึ่งจะเห็นได้จากคำตอบของพลวิจัยคนที่ 3 ซึ่งอ้างถึงคำสำคัญทางวิทยาศาสตร์หลายคำ แต่ขาดความเข้าใจว่า แนวคิดของคำสำคัญเหล่านั้นเกี่ยวข้องกับอย่างไร เป็นต้น

ความเข้าใจของพลวิจัยที่จำกัดนี้สะท้อนให้เห็นว่า การจัดการเรียนการสอนที่ผ่านมา ยังไม่สามารถส่งเสริมให้พลวิจัยเกิดความเข้าใจเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างลึกซึ้ง แม้ว่าพลวิจัยส่วนใหญ่สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องในบางสถานการณ์ได้ แต่พลวิจัยเหล่านี้กลับไม่สามารถระบุถึงสาเหตุที่แท้จริงของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่พลวิจัยไม่คุ้นเคย เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของขดลวดตัวนำเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (สถานการณ์ที่

1.2) และ การเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำในทิศทางที่ทำมุมค่าหนึ่งซึ่งไม่ขนานกับทิศของกระแสไฟฟ้าในเส้นลวด (สถานการณ์ที่ 2.2) เป็นต้น

จากผลการวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า

1. การจัดการเรียนการสอนควรเริ่มต้นด้วยการสำรวจว่า นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ เนื่องจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับแนวคิดพื้นฐานจำนวนมาก การสำรวจความเข้าใจของนักเรียนจะช่วยให้ผู้สอนทราบว่า นักเรียนแต่ละคนมีความพร้อมและข้อจำกัดในการเรียนรู้เรื่องนี้อย่างไรบ้าง และหากผู้สอนพบว่า นักเรียนยังขาดความเข้าใจแนวคิดพื้นฐานต่างๆ การสร้างความพร้อมให้กับนักเรียนจึงเป็นสิ่งจำเป็น

2. การจัดการเรียนการสอนควรเน้นให้นักเรียนได้พิจารณาสาเหตุที่แท้ของการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า มากกว่าการพิจารณาเพียงแค่สิ่งที่นักเรียนสามารถสังเกตได้ง่าย (เช่น การเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็ก หรือการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำ) เท่านั้น ด้วยสาเหตุที่แท้จริงของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวด เป็นแนวคิดทางนามธรรม ผู้สอนจึงอาจจำเป็นต้องช่วยให้นักเรียนจินตนาการว่า สนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำในแต่ละสถานการณ์เป็นอย่างไร ในการนี้ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสถานการณ์สามารถช่วยให้นักเรียนจินตนาการสนามแม่เหล็กได้ง่ายมากขึ้น

3. การจัดการเรียนการสอนควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ประยุกต์ใช้ความเข้าใจของตนเองในสถานการณ์ที่หลากหลายและไม่คุ้นเคย การนำความเข้าใจไปประยุกต์ใช้จะมีส่วนช่วยให้นักเรียนได้ทบทวนและตระหนักว่า สิ่งที่ตนเองเข้าใจนั้นมีข้อจำกัดหรือไม่เพียงใด และตนเองควรปรับเปลี่ยนความเข้าใจนั้นให้สมบูรณ์หรือลึกซึ้งอย่างไร ในการนี้ ผู้สอนควรนำเสนอปัญหาทั้งที่เป็นเชิงปริมาณ (นั่นคือ การแก้โจทย์สมการทางคณิตศาสตร์) และที่เป็นเชิงคุณภาพ (นั่นคือ การแก้ปัญหาที่ไม่เป็นสมการทางคณิตศาสตร์) เพื่อให้นักเรียนได้ตรวจสอบความเข้าใจของตนเองอย่างรอบด้าน

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2553). **ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- พรชัย พัชรินทร์ตะนะกุล. (2525). พิสิกส์ธรรม. **วิทยาศาสตร์**, 6, 554 – 561.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.]. (2546). **การจัดสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2544**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- สมภาร เชื้ออ่อน. (2554). ประสิทธิภาพของรูปแบบการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นกลุ่มในการทดลองวิทยาศาสตร์. **Veridian E-Journal SU**, 4(1), 645 – 651.
- Erickson, F. (1985). **Qualitative Methods in Research on Teaching: Occasional Paper No. 81**. ERIC Document Reproduction 263 203.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. (1985). **Naturalistic Inquiry**. California: Sage Publications.
- Maloney, D. P., O' Kuma, T. L., Hiegglike, C. J., & Heuvelen, A. V. (2001). Surveying Students' Conceptual Knowledge of Electricity and Magnetism. **American Journal of Physics**, 69(7), S12 – S23.
- Raduta, C. (2005). **General Students' Misconceptions related to Electricity and Magnetism**. (Online). Available at: <http://arxiv.org/>. (14 June 2011).



- Saglam, M. & R. Millar. (2006). Upper High School Students' Understanding of Electromagnetism. **International Journal of Science Education**, 28(5), 543 – 566.
- Scaife, T. M. & Heckler, A. F. (2011). Interference between Electric and Magnetic Concepts in Introductory Physics. **Physical Review Special Topics – Physics Education Research**, 7(1), 010104–1 – 010104–11.

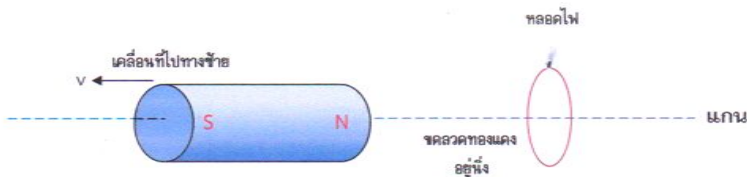
## ภาคผนวก

### แบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่อง การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

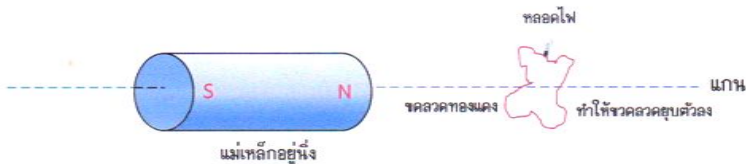
**คำชี้แจง** ให้นักเรียนเติมคำหรือข้อความเพื่อแสดงความคิดเห็นต่อสถานการณ์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ที่สุด

- จากรูป 1 – 4 ที่กำหนดให้ประกอบด้วยแท่งแม่เหล็กทรงกระบอก และลวดไฟฟ้ขนาดเล็กติดอยู่กับขดลวดทองแดง วางไว้ในแนวเดียวกันตามแนวระดับ เมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กและหมุนของขดลวด ดังแสดงในแต่ละรูป ลวดไฟฟ้ในรูปใดจะสว่างบ้าง เพราะเหตุใด

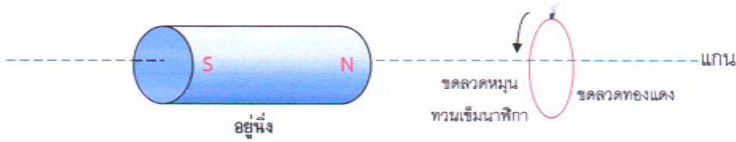
**รูปที่ 1** ลวดไฟฟ้สว่างหรือไม่ เพราะเหตุใด



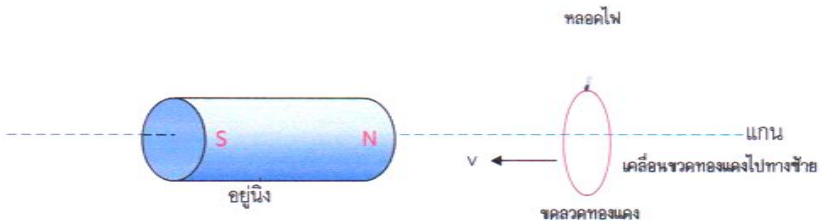
**รูปที่ 2** ลวดไฟฟ้สว่างหรือไม่ เพราะเหตุใด



### รูปที่ 3 หลอดไฟสว่างหรือไม่ เพราะเหตุใด

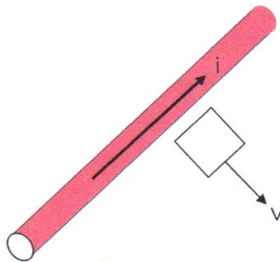


### รูปที่ 4 หลอดไฟสว่างหรือไม่ เพราะเหตุใด

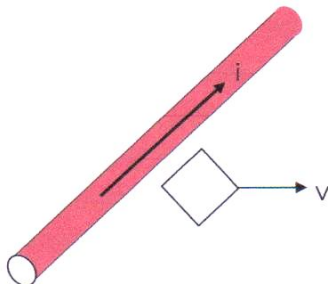


2. กระแสไฟฟ้า  $i$  ไหลผ่านแท่งโลหะทรงกระบอกยาวดังรูป มีกรอบโลหะรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งเป็นโลหะชนิดเดียวกับแท่งโลหะ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  ในทิศทางดังแสดงในรูป การเคลื่อนที่ของกรอบโลหะในข้อใดจะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

### รูปที่ 1 มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด



รูปที่ 2 มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด



รูปที่ 3 มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใด

