ประดิษฐ์อุปกรณ์การสอน :
ชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบอเนกประสงค์

Do it yourself : The Multipurpose Induced Electromotive Force Apparatus

ปรเมษฐ์ ปัญญาแล็ก*

บทคัดย่อ

ชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ประดิษฐ์ขึ้น ประกอบด้วยวงจรอย่างง่ายติดตั้งไว้บนบอร์ดเดียวกัน เพื่อความสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และไม่จำเป็นต้องต่อวงจรหรือสับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้ยุ่งยากขณะใช้ประกอบการบรรยายวิชาฟิสิกส์บทที่ว่าด้วยเรื่องแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ด้วยการออกแบบอย่างเหมาะสมจึงสามารถใช้ชุดสาธิตนี้ประกอบการอธิบายปรากฏการณ์ที่สำคัญๆ ทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้ครอบคลุมหลายหัวข้อ เช่น กฎของฟาราเดย์ กฎของเลนซ์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตนเองของโซเลนอยด์ เป็นต้น เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้จากสิ่งที่เห็นด้วยตาและได้ข้อสรุปส่วนที่เป็นสาระสำคัญจากการสาธิตนั้นๆ

Abstract

The multipurpose Induced Electromotive force Apparatus have been developed for use in demonstration teaching. With a simple circuit mounted on the same board, this apparatus is helpful for teacher to teach the major concepts of Faraday 's law, Lenz' s law and Self Induced EMF more effectively.

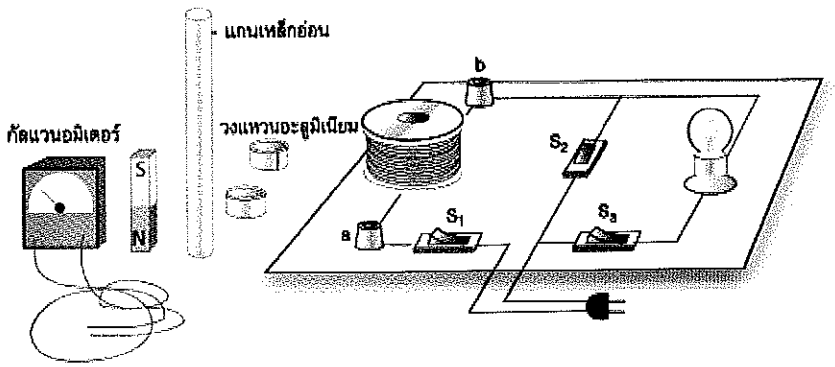
* ผู้ช่วยศาสตราจารย์, อาจารย์ประจำสำนักวิชาการศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทนำ

นักวิทยาศาสตร์ผู้สอนในมหาวิทยาลัยบางท่าน เช่น รศ.ดร.สมพงษ์ ใจดี อดีตรองศาสตราจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ปรารภว่า ฟิสิกส์เป็นวิชาที่ยากเพราะต้องศึกษาอย่างละเอียดถ่องแท้จึงจะเข้าใจได้ลึกซึ้ง อีกทั้งผู้เรียนต้องมีความรู้ที่เหมาะสมในส่วนของวิชาที่สัมพันธ์กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิชาคณิตศาสตร์ [1] จากถ้อยปรารภดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าธรรมชาติของวิชาที่ยาก เช่น ฟิสิกส์นี้ หากผู้สอนไม่มีวิธีการสอนที่เหมาะสมและหลากหลายย่อมยากที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ของการสอนในหัวข้อนั้นๆ

การสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานส่วนมากนิยมใช้วิธีการสอนแบบบรรยาย ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผู้สอนช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยการพูด บอก เล่า และอธิบายสิ่งที่ต้องการสอนแก่ผู้เรียน โดยใช้สื่อประกอบ เช่น แผ่นใส ภาพ สไลด์ เทปเสียง วิดีทัศน์ ภาพยนตร์ และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น เป็นวิธีสอนที่ไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาน้อยเมื่อเทียบกับการสอนวิธีอื่น [2] อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์การสอนวิชาฟิสิกส์ของผู้เขียนพบว่า การสอนฟิสิกส์ด้วยวิธีบรรยายอย่างเดียวยากที่จะเร้าใจให้นักศึกษาติดตามบทเรียนอย่างต่อเนื่อง ทางแก้ที่สามารถเร้าใจให้นักศึกษาสนใจบทเรียนอย่างได้ผลประการหนึ่งคือ ใช้วิธีสอนแบบสาธิตผสมผสานไปกับการสอนแบบบรรยาย แต่ต้องอาศัยการจัดเตรียมชุดสาธิตที่เหมาะสม ไม่ยุ่งยากในการใช้ เพื่อให้การบรรยายและสาธิตเชื่อมโยงกันได้อย่างราบรื่น จากวัตถุประสงค์ของการสอนแบบผสมของสองวิธีดังกล่าว จึงเป็นที่มาของการดำริสร้างชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบอเนกประสงค์ที่มีอุปกรณ์ส่วนใหญ่ติดตั้งเป็นวงจรสำเร็จรูปไว้บนบอร์ดขนาดกระทัดรัดอันเดียวกัน (ดูรูปที่ 1) ใช้สวิทช์ปิด-เปิด เพื่อเชื่อมวงจรให้อุปกรณ์ทั้งหมดทำงานร่วมกันหรือตัดส่วนใดส่วนหนึ่งเพื่อใช้งานอีกส่วนหนึ่งตามลำพังได้ ตามต้องการ

ชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบอเนกประสงค์ที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ ใช้สาธิตประกอบการบรรยายวิชาฟิสิกส์บทที่ว่าด้วยกฎของฟาราเดย์ (Faraday' s law) กฎของเลนซ์ (Lenz' s law) และแรงเคลื่อนไฟฟ้า



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบอเนกประสงค์

---

1 สมพงษ์ ใจดี. **เทคนิคการสอนวิชาฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย : เอกสารประกอบการบรรยายโครงการสัมมนาทางวิชาการ ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์**, เมษายน 2547, กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

2 ทิศนา แขมมณี, **14 วิธีสอนสำหรับครูมืออาชีพ**, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

เหนี่ยวนำตนเองของขดโซเลนอยด์ กรณีของกฎของฟาราเดย์ การสาธิตเน้นถึงการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านบ่วงลวดตัวนำ (โซเลนอยด์) แล้วเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งวัดกระแสเหนี่ยวนำในวงจรได้ด้วยการสังเกตการกระดิกของเข็มกัลแวนอมิเตอร์ ส่วนการสาธิตกฎของเลนซ์ จะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของทิศสภาพขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในบ่วงลวดได้อย่างชัดเจนตามเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านบ่วงลวดตัวนำนั้นๆ นอกจากนี้การสาธิตให้เห็นวงแหวนอะลูมิเนียมลอยขึ้นจากแกนเหล็กของโซเลนอยด์เมื่อมีกระแสสลับผ่านโซเลนอยด์ดังกล่าว จะช่วยให้นักศึกษารู้จักคิดหาเหตุผลว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร เกี่ยวข้องกับกฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์อย่างไรบ้าง ประการสุดท้าย การสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตนเองจะแสดงให้เห็นผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (back emf) ที่ทำให้หลอดไฟฟ้าขนาด 100 W ส่องสว่างน้อยกว่าปกติเมื่อต่อแบบอนุกรมกับโซเลนอยด์ที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูงในวงจรกระแสสลับ

วิธีสร้างชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบอเนกประสงค์

อุปกรณ์หลักที่จำเป็นต้องมีสำหรับสร้างชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบอเนกประสงค์ ได้แก่ แผ่นบอร์ดไม้ (หรือพลาสติก) ขนาด 25 x 30 cm ขดโซเลนอยด์ค่าความเหนี่ยวนำประมาณ 0.2 H หลอดไฟฟ้าแบบมีไส้ขนาด 100 W และสวิทช์ นำมาติดตั้งบนบอร์ดแล้วต่อวงจรดังรูปที่ 1 เพื่อให้ดูเรียบร้อย ควรต่อสายไฟฟ้าเป็นวงจรอยู่ด้านล่างของบอร์ด ส่วนด้านบนให้ตีเส้นแสดงไว้ให้ดูง่าย โดยมีสวิทช์สำหรับตัดหรือเชื่อมวงจรในตำแหน่งตามที่แสดงไว้ในรูป ถ้าปิดสวิทช์ S_2 จะได้ขดโซเลนอยด์กับหลอดไฟฟ้าต่อกันแบบอนุกรม ถ้าเปิดสวิทช์ทุกตัว จะได้วงจรแบบขนาน และถ้าปิดสวิทช์ S_3 กระแสไฟฟ้าจะผ่านโซเลนอยด์อย่างเดียว การวางตำแหน่งโซเลนอยด์ หลอดไฟฟ้า สวิทช์ และขั้ว a ขั้ว b ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 1 ช่วยให้การสาธิตตามกฎหรือเงื่อนไขต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดำเนินไปอย่างสะดวก โดยมีกัลแวนอมิเตอร์ แกนเหล็กอ่อน แท่งแม่เหล็ก และวงแหวนอะลูมิเนียมทั้งแบบสมบูรณ์ และแบบผ่าด้านข้าง เป็นอุปกรณ์เสริม

ชุดสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบอเนกประสงค์สามารถ นำไปใช้สาธิตประกอบการบรรยายวิชาฟิสิกส์ส่วนที่เกี่ยวกับสภาวะไฟฟ้าและแม่เหล็กได้หลายหัวข้อดังต่อไปนี้

การสาธิตประกอบการสอน เรื่อง กฎของฟาราเดย์การเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

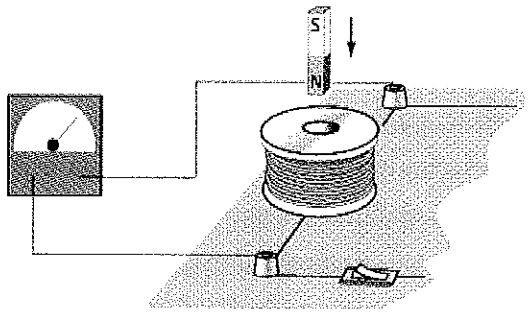
จากบอร์ดวงจรที่สร้างขึ้นให้ดำเนินการสาธิตการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อเป็นสื่อให้เข้าใจกฎของฟาราเดย์ตามลำดับดังต่อไปนี้

1. ปิดสวิทช์ S_1 กับ S_2 ตัดวงจรเพื่อให้ได้ใช้เฉพาะ ขั้ว a กับ b ของขดโซเลนอยด์ (ที่ถอดแกนเหล็กออก) เพียงสองขั้ว โดยต่อขั้วทั้งสองกับกัลแวนอมิเตอร์ดังรูป 2

2. เคลื่อนแท่งแม่เหล็ก (ขั้วเหนือ) เข้าตรงรูแกนของโซเลนอยด์จะเห็นเข็มของกัลแวนอร์มิเตอร์กระดิกไปด้านหนึ่ง และเมื่อดึงแท่งแม่เหล็กออกจะเห็นเข็มกระดิกไปอีกด้านหนึ่ง

3. ถือแท่งแม่เหล็กอยู่นิ่งโดยให้แท่งแม่เหล็กดังกล่าวอยู่ในรูแกนโซเลนอยด์ครึ่งหนึ่ง กรณีนี้ จะพบว่าเข็มของกัลแวนอร์มิเตอร์ไม่กระดิก

จากการสาธิตดังกล่าว สามารถตั้งคำถามให้ผู้เรียนตอบได้หลายคำถาม อาทิ เพราะเหตุใดเมื่อแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าและเคลื่อนที่ออก เข็มกัลแวนอร์



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการสาธิตแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตามกฎของฟาราเดย์

มิเตอร์จึงกระดิกในทิศตรงข้ามกัน หรือเพราะเหตุใดเมื่อแท่งแม่เหล็กอยู่นิ่งเข็มกัลแวนอร์มิเตอร์จึงไม่กระดิก ก่อนจะได้รับคำตอบจากการสาธิตซึ่งสรุปเป็นถ้อยแถลงกฎของฟาราเดย์ ความว่า *"แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในบ่วงลวดตัวนำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านบ่วงลวดตัวนำนั้นๆ"*[3] ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mathcal{E} = -N\frac{d\Phi_B}{dt} \qquad (1)$$

เมื่อ N เป็นจำนวนรอบของบ่วงลวด ส่วนเครื่องหมายลบแสดงเครื่องหมายของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งขึ้นกับ $d\Phi_B/dt$ กล่าวคือ $d\Phi_B/dt$ เป็นบวกเมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงแบบเพิ่มขึ้น (กรณีเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหาขดโซเลนอยด์) และ $d\Phi_B/dt$ เป็นลบเมื่อฟลักซ์แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงแบบลดลง (กรณีเคลื่อนแท่งแม่เหล็กออกจากโซเลนอยด์) การเคลื่อนที่แท่งแม่เหล็กเข้าหรือออกจากขดโซเลนอยด์ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านขดลวดนี้เปลี่ยนแปลงตามเวลา จึงเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดตามกฎของฟาราเดย์ ถ้าต่อขดลวดเป็นวงจรเข้ากับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าซึ่งในที่นี้คือ กัลแวนอร์มิเตอร์ ก็จะเห็นเข็มของกัลแวนอร์มิเตอร์กระดิกตามทิศทางที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กดังกล่าว

การสาธิตประกอบการสอนกฎของเลนซ์

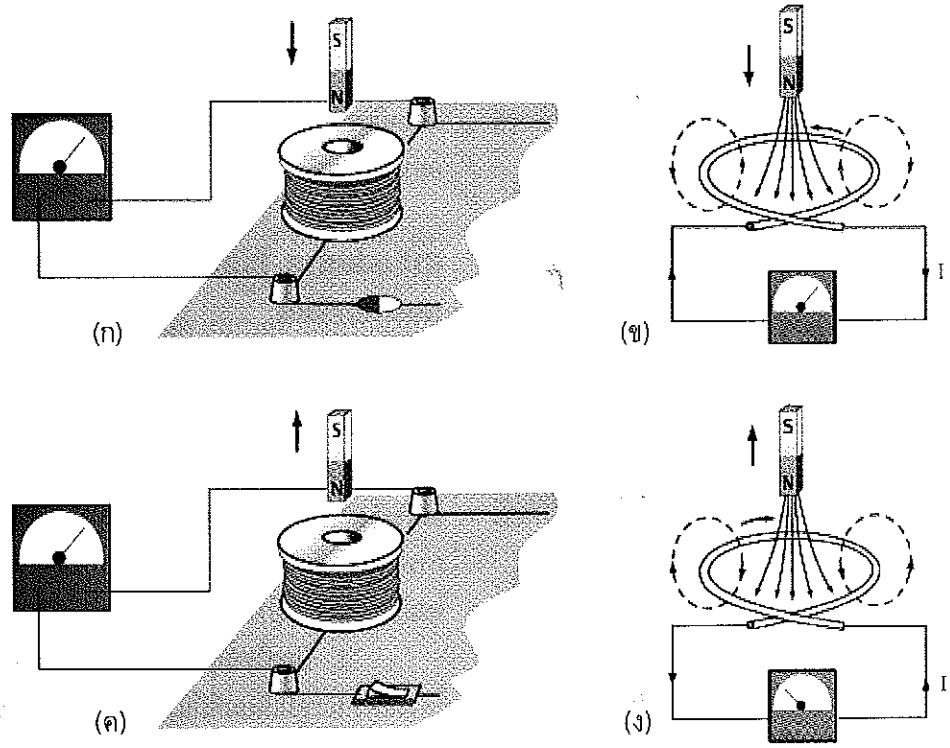
จากบอร์ดวงจรที่สร้างขึ้น ผู้สอนสามารถดำเนินการสาธิตกฎของเลนซ์ เพื่อเป็นสื่อให้นักศึกษาเข้าใจหลักการพิจารณาสภาพขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในบ่วงลวดตัวนำ ตามลำดับต่อไปนี้

1. ทดสอบทิศการกระดิกของเข็มเทียบกับทิศกระแส I ในวงจรโดยใช้ถ่านไฟฉาย้อนหนึ่ง แตะปลายสายไฟฟ้าของกัลแวนอร์มิเตอร์ทั้งสองให้สายหนึ่งแตะขั้วบวกอีกสายหนึ่งแตะขั้วลบของแบตเตอรี ก็จะทราบได้ว่าเข็มกัลแวนอร์มิเตอร์กระดิกในทิศทางย้อนกับทิศของกระแส I

2. เคลื่อนแท่งแม่เหล็กโดยให้ขั้วเหนือพุ่งเข้าหา (รูปที่ 3ก) สังเกตทิศการกระดิกของเข็มกัลแวนอร์มิเตอร์ จะทราบทิศของกระแส I จากนั้นให้แสดงแผนภาพจำลองบ่วงลวดที่มีปลายลวดทั้งสองข้างสอดคล้องกับการหมุนวนของลวดในโซเลนอยด์ที่ทดลองจริงเพื่อให้เห็นว่ากระแสเหนี่ยวนำไหลในทิศทางที่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กต่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาตามรูปที่ 3ข ในทำนองเดียวกันให้แสดงทิศสภาพขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อเคลื่อนขั้วเหนือออกจากโซเลนอยด์ หรือเปลี่ยนเป็นขั้วใต้เคลื่อนเข้าหา และออกจากโซเลนอยด์ตามลำดับแต่ละกรณี จะได้ข้อสรุปตามกฎของเลนซ์อย่างชัดเจน

การสาธิตนี้ เป็นการพิจารณาสภาพขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าในบ่วงลวดที่มีฟลักซ์แม่เหล็ก ตัดผ่าน

[3] Young Hugh D. and Freedman Roger A. **University Physics with Modern Physics**, 10th. ed. San Francisco : Addison Wesley Longman, 2000.



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงการสาธิตวิธีพิจารณาสภาพขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดตามกฎของเลนซ์

ตามกฎของเลนซ์ (Lenz's Law) ซึ่งสรุปเป็นถ้อยแถลงว่า *"สภาพขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะเป็นไปในทิศทางที่ทำให้กระแสเหนี่ยวนำสามารถสร้างฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นมาต่อต้านการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กเดิม ที่เป็นต้นเหตุให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำดังกล่าวนั้น"* [4]

การสาธิตประกอบการสอนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตนเอง

ขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (inductor) ทุกขดมีค่าความเหนี่ยวนำ(inductance) L เป็นสมบัติประจำตัวเมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่แปรค่าตามเวลา i ไหลผ่านขดลวด กระแสนี้จะสร้างฟลักซ์แม่เหล็ก ตัดผ่านพื้นที่หน้าตัดของขดลวด โดยปริมาณฟลักซ์ที่ตัดผ่านพื้นที่ของขดลวด N รอบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส i ดังสมการ

$$N\Phi_B = Li \qquad (2)$$

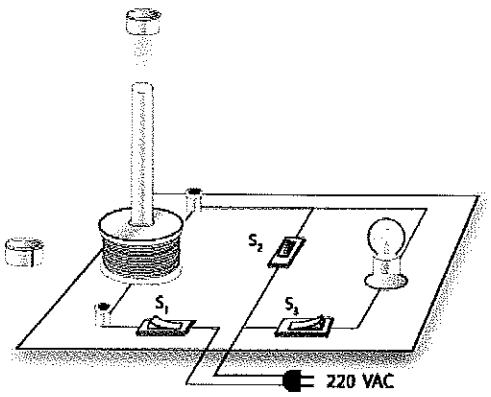
(ในที่นี้ถือว่าขดลวดเป็นโซเลนอยด์อุดมคติ) ซึ่งเมื่อหาอนุพันธ์เทียบกับเวลาจะได้

$$N\frac{d\Phi_B}{dt} = L\frac{di}{dt} \qquad (3)$$

นั่นคือ เราเขียนกฎของฟาราเดย์สำหรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตนเองได้เป็น

$$\mathcal{E}_{self} = -L\frac{di}{dt} \qquad (4)$$

[4] Serway Ramond A. and Jewett, Jr John W., **Principles of Physics**, 3rd, Singapore, Thomson Brooks/Cole, 2002.



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงการสาธิตวิธีทำให้วงแหวนอะลูมิเนียมลอยขึ้นจากแกนเหล็กของโซเลนอยด์

สภาพขั้วของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงขึ้นกับเครื่องหมายของค่าการเปลี่ยนแปลงกระแส di/dt

การสาธิตเพื่อแสดงให้เห็นพฤติกรรมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตนเองได้ง่ายวิธีหนึ่ง คือ การใช้วงจรอาร์แอลที่ประกอบด้วยขดโซเลนอยด์ ความเหนี่ยวนำสูงร่วมกับหลอดไฟฟ้าแบบมีไส้ตามตัวอย่างวงจรของเครื่องมือที่ผู้เขียนประดิษฐ์ขึ้น (รูปที่ 1) โดยมีขั้นตอนการสาธิตดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้น ให้สวิทช์ทุกตัวในวงจรอยู่ในตำแหน่งปิดก่อนเสียบปลั๊ก 220 AVC แล้วจึงเปิดสวิทช์ทั้งหมด (ได้วงจรแบบขนาน) ก็จะเห็นหลอดไฟฟ้าขนาด 100 W สว่างจ้าตามปกติ จากนั้นปิดสวิทช์ S_2 ให้กระแสสลับผ่านโซเลนอยด์และหลอดไฟฟ้าที่ต่อแบบอนุกรม ซึ่งกรณีนี้จะสังเกตเห็นความเข้มแสงจากหลอดไฟฟ้าลดลงกว่าปกติ

2. สอดแท่งเหล็กอ่อนเข้าเป็นแกนโซเลนอยด์ จะยิ่งเห็นการลดลงของความเข้มแสงได้ชัดเจนขึ้น การสอดแท่งแกนเหล็กเข้าเป็นแกนโซเลนอยด์ทำให้ความเข้มแสงจากดวงไฟลดลงนี้ ผู้สอนสามารถตั้งคำถามได้หลายประเด็น เช่น เพราะเหตุใดแกนเหล็กดังกล่าวช่วยให้ความเข้มแสงลดลงมากกว่าโซเลนอยด์แกนอากาศ การสอดแกนเหล็กทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่ารีแอ็กแตนซ์เชิงเหนี่ยวนำ (inductive reactance) ของโซเลนอยด์อย่างไร เหล่านี้เป็นต้น

สาธิตส่งท้าย–ให้คิดหาข้อสรุปสาระสำคัญของบทเรียน

การสาธิตที่มักสร้างความตื่นตาตื่นใจให้แก่ผู้เรียนกฎของฟาราเดย์ได้ไม่น้อย คือ การกระโดดลอยขึ้นของแหวนอะลูมิเนียมที่สวมไว้กับแกนเหล็กของโซเลนอยด์เมื่อให้กระแสสลับผ่านโซเลนอยด์ดังกล่าว การจัดชุดสาธิตให้ปิดสวิทช์ S_3 เพื่อให้วงจรเหลือเพียงโซเลนอยด์เพียงอย่างเดียว แล้วดำเนินการตามลำดับดังนี้

1. ปิดสวิทช์ทุกตัวก่อนเสียบปลั๊ก 220 VAC ใส่วงแหวนอะลูมิเนียมที่มีน้ำหนักเบา (ควรมีขอบบางและสวมได้พอดีให้เคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามแกนเหล็กได้สะดวก) เมื่อให้กระแสผ่านโซเลนอยด์ก็จะเห็นวงแหวนอะลูมิเนียมดีดตัวลอยสูงขึ้น (รูปที่ 4)

2. สาธิตซ้ำ โดยใช้วงแหวนที่ตัดด้านข้างขาดออกจากกันด้านหนึ่ง สวมลงไปแทนวงแหวนอันแรก เมื่อผ่านกระแสสลับเข้าสู่โซเลนอยด์จะไม่เห็นวงแหวนที่ถูกตัดด้านข้างนี้ลอยขึ้นแต่อย่างใด

ข้อควรระวัง การสาธิตในข้อ 1. และ 2. ข้างต้นไม่ควรปล่อยให้กระแสไฟฟ้าผ่านขดโซเลนอยด์นานเกินไปเพราะจะเกิดความร้อนในขดลวดมาก อาจทำให้สารฉนวนที่เคลือบผิวทองแดงละลายและเกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้

การสาธิตนี้ สามารถตั้งคำถามให้ผู้เรียนสรุปเกี่ยวกับกฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์ได้เป็นอย่างดี เช่น เพราะเหตุใดวงแหวนอะลูมิเนียมจึงลอยขึ้น เกี่ยวข้องกับกฎของฟาราเดย์และกฎของเลนซ์อย่างไรบ้าง กรณีนี้ถ้าใช้กระแสตรงจะสามารถทำให้วงแหวนลอยขึ้นได้หรือไม่

และในกรณีที่ใช้วงแหวนอันที่ถูกตัดด้านข้างซึ่งไม่ลอยขึ้น มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในวงแหวนนี้หรือไม่

บทสรุป

การสอนฟิสิกส์เรื่องแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ส่วนที่ว่าด้วยกฎของฟาราเดย์ กฎของเลนซ์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำตนเอง สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ดียิ่งขึ้นเมื่อใช้วิธีสอนแบบสาธิตร่วมกับการสอนแบบบรรยาย โดยในที่นี้ได้ประดิษฐ์ชุดสาธิตแบบอเนกประสงค์ที่ใช้ได้ง่าย เนื่องจากอุปกรณ์ส่วนใหญ่ต่อเป็นวงจรสำเร็จรูปติดตั้งไว้บนบอร์ดเดียวกัน มีสวิทช์สำหรับทำให้โซเลนอยด์และหลอดไฟฟ้าต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขนาน หรือตัดวงจรให้ใช้ได้เฉพาะส่วนที่เป็นโซเลนอยด์เพียงอย่างเดียวตามต้องการ

นอกจากเป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีความสลับซับซ้อนและใช้วัสดุหาง่ายในการประกอบแล้ว ชุดสาธิตนี้ยังมีข้อดีอีกประการหนึ่งคือ ใช้ได้กับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 220 VAC ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ตามปกติในชีวิตประจำวัน การเดินสายต่อวงจรมีความรัดกุมเพื่อป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรเป็นอย่างดี แต่มีข้อควรระวังคือไม่ควรให้กระแสไฟฟ้าผ่านโซเลนอยด์นานเกินไปเพราะจะทำให้ขดลวดดังกล่าวร้อน

เอกสารอ้างอิง

ทิศนา แขมมณี, **14 วิธีสอนสำหรับครูมืออาชีพ**, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สมพงษ์ ใจดี. **เทคนิคการสอนวิชาฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย : เอกสารประกอบการบรรยายโครงการสัมมนาทางวิชาการ ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์**, เมษายน 2547, กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

Young Hugh D. and Freedman Roger A. **University Physics with Modern Physics**, 10th. ed. San Francisco : Addison Wesley Longman, 2000.

Serway Ramond A. and Jewett, Jr John W., **Principles of Physics**, 3rd, Singapore, Thomson Brooks/Cole, 2002.