

ชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส

Experimental Apparatus of Magnetic Force Acting on a Current-Carrying Conductor Wire

ศุภกร กตาทิการกุล^{1*} สุเจนต์ พรหมเหมือน¹ และ ปิติ พานิชยุนนท์²
Supagorn Katathikankul^{1*} Sujane Prommoun¹ and Piti Panichayunon²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแสเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำกระแส และสนามแม่เหล็ก พบว่า ความสัมพันธ์แรงแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับกระแส ที่ไหลในลวดตัวนำกระแสและขนาดความยาวของลวดตัวนำกระแสเมื่อสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ จากความชันกราฟ สามารถคำนวณหาค่าสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำกระแสขนาดความยาวต่างๆ โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์การเรียนวิชาฟิสิกส์ได้ อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย แต่มีประสิทธิภาพและความ คล่องตัวในการใช้งานสูง

คำสำคัญ : แรงแม่เหล็ก ลวดตัวนำกระแส สนามแม่เหล็ก

Abstract

This paper presents the experiment apparatus of magnetic force acting on a current-carrying conductor wire to study the force acting on a current-carrying conductor wire in a uniform magnetic field. The direction of force is to be determined as function of the current and the direction of the magnetic field. The force is to be linear variation as a function of the current in the conductor wire and conductor wire of various sizes, with a constant magnetic induction. The value of the magnetic induction can be obtained from the slope of the regression line. This technique can be efficiently used in educational physics. Moreover, it is low cost, easy to use, and portable.

Keywords : Magnetic force, Carrying conductor wire, Magnetic field

¹ นักวิชาชีพ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

² อาจารย์ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90000

* Corresponding Author : E-mail : supagone@hotmail.com

บทนำ

องค์ประกอบที่สำคัญในการเรียนการสอนของวิชาฟิสิกส์นอกเหนือจากวิธีการสอนแบบบรรยายแล้วสิ่งหนึ่งที่สำคัญของการเรียนรู้ นั่นก็คือ การสาธิตและการทดลองลงมือปฏิบัติจริงเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในทฤษฎีและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น แต่สิ่งหนึ่งที่เป็นปัญหาสำคัญของการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในเมืองไทยเกือบทุกระดับชั้น คือ การขาดแคลนเครื่องมืออุปกรณ์ ชุดสาธิต หรือชุดทดลองต่างๆ ที่เสริมการเรียนรู้เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างแท้จริง เนื่องจากเครื่องมืออุปกรณ์ ชุดสาธิตหรือชุดทดลองที่นำมาใช้ในโรงเรียนหรือมหาวิทยาลัยต่างๆ ส่วนใหญ่จะถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ซึ่งสถานศึกษาต่างๆ มีงบประมาณจำนวนจำกัดทำให้ไม่สามารถจัดซื้อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้เรียน นอกจากนี้ชุดทดลองที่นำเข้าจากต่างประเทศยังพบปัญหาการบำรุงและซ่อมแซมเมื่อชุดทดลองเหล่านี้ถูกนำมาใช้งานในระยะเวลาหนึ่งแล้วเกิดความเสียหายจะต้องทำการส่งซ่อมที่ต่างประเทศซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันการเรียนวิชาฟิสิกส์และปฏิบัติการฟิสิกส์ใช้ในโรงเรียนและมหาวิทยาลัยจะเกี่ยวข้องกับการใช้ชุดปฏิบัติการฟิสิกส์ทางด้านแม่เหล็กไฟฟ้าพื้นฐานเป็นส่วนใหญ่ อาทิเช่น ชุดทดลองกระแสสมมูลเพื่อศึกษาแรงที่กระทำกับกระแสในตัวนำไฟฟ้าของบริษัทPHYWE[1]ทำการศึกษาความสัมพันธ์ทิศทางของแรงแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ศึกษาความสัมพันธ์แรงแม่เหล็กกับกระแสที่ไหลในตัวนำกระแสแรงแม่เหล็กกับขนาดความยาวของตัวนำกระแสขนาดต่างๆ และแรงแม่เหล็กกับกระแสที่ไหลในขดลวด โดยใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กจากหม้อแปลงไฟฟ้าแกนเหล็กรูปตัวยูสำหรับบริษัทpasco[2]ทำการศึกษาโดยเปลี่ยนจากหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแท่งแม่เหล็กถาวรแทน จากหลักการที่มีอยู่หากสามารถสร้างได้เองจะทำให้ลดปัญหาในการเรียนวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์เนื่องจากจำนวนเครื่องมือไม่เพียง

พอได้ ดังนั้นจึงมีแนวความคิดในการเริ่มต้นที่จะพัฒนาชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำ ซึ่งเป็นสื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนด้านแม่เหล็กไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถนำมาจัดแสดงสาธิตแก่นักเรียนและผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนพัฒนาไปสู่การสร้างชุดการทดลองทางฟิสิกส์ที่ได้มาตรฐานเพื่อบริการชุมชนและทำในเชิงพาณิชย์ตอบสนองการแสวงหารายได้ บทความนี้ได้ศึกษาการสร้างชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแสเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ต่างๆ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากทิศทางกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำกระแสและสนามแม่เหล็ก ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับลวดตัวนำกระแสที่มีความยาวแตกต่างกันและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำกระแส เมื่อกำหนดให้สนามแม่เหล็กมีขนาดคงที่

วิธีการวิจัย

แรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำกระแส

ถ้าเอาเส้นลวดทองแดงหรืออลูมิเนียมที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปวางในสนามแม่เหล็ก จะมีแรงแม่เหล็กกระทำต่อเส้นลวด แต่ถ้าเส้นลวดไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็จะไม่มีแรงมากระทำต่อเส้นลวดนั้น ดังนั้นเมื่อเอาลวดที่มีความยาว L และมีพื้นที่หน้าตัดขวาง A กระแสผ่านจากด้านล่างขึ้นบน โดยลวดอยู่ในสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ สมมุติสนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งเข้าและจะเกิดแรงกระทำกับเส้นลวดในแนวตั้งฉากกัน [3, 4]

สมมติให้ประจุ q เคลื่อนที่ในลวดตัวนำเป็นประจุบวก มีความเร็วลอยเลื่อน $\vec{v}_d$ มีทิศทางขึ้นและตั้งฉากกับแรงที่กระทำประจุนี้คือ

$$\vec{F} = q\vec{v}_d \times \vec{B} \quad (1)$$

เนื่องจาก $\vec{v}_d$ และ $\vec{B}$ ตั้งฉากกัน ขนาดของแรงจึงมีค่าเท่ากับ

$$F = qv_d B \quad (2)$$

แรงสุทธิที่กระทำต่อประจุเคลื่อนที่ทั้งหมดในตัวนำที่ยาว L และมีพื้นที่หน้าตัดขวาง A จะมีจำนวนประจุต่อปริมาตรหนึ่งหน่วยคือ n ดังนั้นแรงกระทำต่อประจุเคลื่อนที่ทั้งหมดมีขนาด

$$F = (nAL)(qv_d B) = (nqv_d A)(LB) \quad (3)$$

ความหนาแน่นของกระแสมีค่า $J = nqv_d$ ผลคูณของ JA คือ กระแสทั้งหมด I ดังนั้นจะได้

$$F = ILB \quad (4)$$

ถ้าสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ไม่ตั้งฉากกับลวด แต่ทำมุม ϕ กับลวดแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวด คือ

$$F = ILB_{\perp} = ILB \sin \phi \quad (5)$$

แรงตั้งฉากกับทั้งตัวนำและสนามเสมอ โดยที่ทิศทางถูกกำหนดด้วยกฎมือขวา ที่ใช้กับผลคูณระหว่าง L และ B ดังนั้นรูปผลคูณเวกเตอร์เหมือนกับแรงที่กระทำต่อประจุเคลื่อนที่เดี่ยวได้แทนส่วนของลวดด้วยเวกเตอร์ $\vec{L}$ ตามความยาวลวดในทิศของกระแส ดังนั้นแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อส่วนเส้นลวดตรง $\vec{F}$ ที่ทำต่อส่วนนี้ คือ

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B} \quad (6)$$

การทดลองเพื่อศึกษาของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำกระแสได้ทำการทดลองโดยต่ออุปกรณ์ต่างๆ ได้ทำการศึกษารื่องต่างๆ ดังนี้ ความสัมพันธ์ทิศทางของแรงแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ศึกษาความสัมพันธ์แรงแม่เหล็กกับกระแสที่ไหลในตัวนำกระแส ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับขนาดความยาวของตัวนำกระแสขนาดต่างๆ และได้ทำการทดลองโดยใช้ตัวนำกระแสที่มีขนาดความยาว 30.0 มิลลิเมตร แขนงกับเครื่องชั่งแล้ววางระหว่างสนามแม่เหล็ก โดยให้ช่องว่างของขั้วห่างกัน 4.0 เซนติเมตร ปรับเครื่องชั่งให้สมดุล แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวนำกระแส 2.0 แอมแปร์ สังเกตทิศทางต่างๆ สำหรับการศึกษความสัมพันธ์แรงแม่เหล็กกับกระแสที่ไหลในตัวนำกระแส ได้เปลี่ยนช่องว่างระหว่างขั้วสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กเป็นระยะ 1.0 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวนำกระแสขนาดความยาว 19.5 มิลลิเมตร มาแขวนกับเครื่องชั่งแล้ว

ปรับเครื่องชั่งให้สมดุล กำหนดให้ค่าสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ ปรับกระแสไฟฟ้าให้แก่ตัวนำกระแสครั้งละ 0.5 แอมแปร์ จนกระทั่งถึง 3.0 แอมแปร์ โดยแต่ละครั้งบันทึกผลค่ามวลที่เปลี่ยนไป นำผลต่างของมวลแต่ละครั้งที่ได้ไปคำนวณหาค่าแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อตัวนำกระแส ดังสมการที่ (7)

$$F = ILB = \Delta mg \quad (7)$$

$$F = \Delta mg = (m_n - m_o)g \quad (8)$$

เมื่อ m_n คือ มวลที่ชั่งได้เมื่อปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำเป็นค่าต่างๆ

m คือ มวลที่ชั่งได้เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในลวดตัวนำ

g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก

F คือ แรงแม่เหล็ก

จากนั้นทำการปรับเปลี่ยนความยาวของตัวนำกระแสเป็นขนาดความยาว 30.0 , 40.5 และ 55.0 มิลลิเมตรตามลำดับ แล้วทำการทดลอง จากกราฟสามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำขนาดต่างๆ ได้ นอกจากนี้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับขนาดความยาวของตัวนำขนาดต่างๆ โดยกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำกระแสเท่ากับ 2.0 แอมแปร์ ทำการเปลี่ยนขนาดความยาวเป็นค่าต่างๆ กัน จากกราฟสามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับขนาดของลวดตัวนำขนาดต่างๆ ได้ นั่นคือ $F \propto L$ นอกจากนี้สามารถหาค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นได้ โดยนำค่าความชันที่ได้แต่ละขนาดความยาวของลวดตัวนำไปคำนวณหาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าสนามแม่เหล็กจริง ดังสมการที่ (10)

$$\frac{\Delta F}{\Delta I} = \text{slope} = LB \quad (9)$$

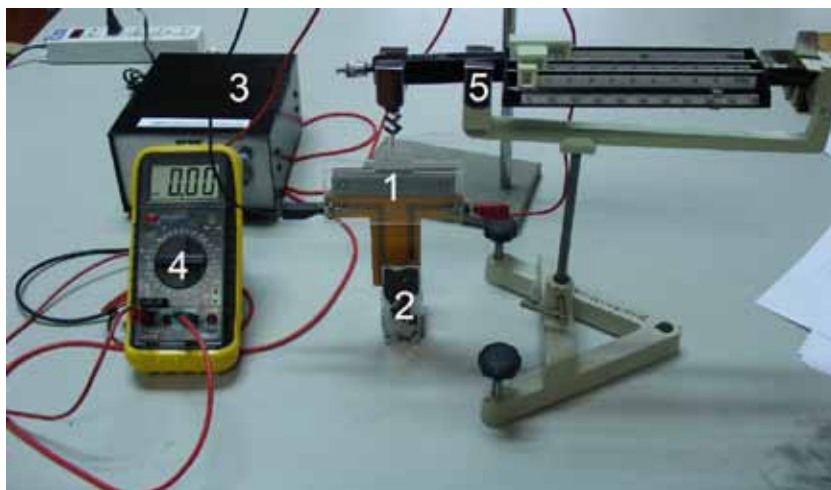
$$B = \frac{\text{slope}}{L} \quad (10)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดการทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส โดยใช้หลักการจ่ายกระแส

ไฟฟ้าให้ลวดตัวนำกระแสที่แขวนที่เครื่องชั่งเซนโอแกรม ให้เสียสมดุล จากนั้นทำการปรับสมดุลแล้วทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาส่วนต่างของแรงที่เกิดขึ้นกับลวดตัวนำกระแส ส่วนสนามแม่เหล็กประยุกต์ใช้แท่งแม่เหล็กแรงสูงค่าคงที่แทน ทำการทดลองโดยต่ออุปกรณ์ต่างๆ ดังภาพที่ 1 โดยที่หมายเลข 1 คือ ลวดตัวนำที่สร้างจากแผ่น

PCB หมายเลข 2 คือ แท่งแม่เหล็กสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก หมายเลข 3 คือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หมายเลข 4 คือ มัลติมิเตอร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านลวดตัวนำกระแส และหมายเลข 5 คือ เครื่องชั่งสำหรับชั่งมวลของลวดตัวนำกระแส



ภาพที่ 1 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การออกแบบและผลการทดลอง

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของแรงแม่เหล็กสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำกระแส

นำลวดตัวนำที่สร้างขึ้นจากแผ่น PCB (Print Circuit on Board) ที่มีแถบทองแดงขนาดความยาว 30.0 มิลลิเมตร แขวนที่เครื่องชั่งเซนโอแกรม นำชุดแท่งแม่เหล็กที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กมาวางให้รอบลวดตัวนำกระแส โดยให้ลวดตัวนำกระแสตั้งฉากและอยู่ระหว่างกึ่งกลางของชุดแท่งแม่เหล็กดังภาพที่ 2 จากการทดลองสังเกตทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า พบว่าทิศทางของแรงที่กระทำกับลวดตัวนำกระแสที่แขวนกับเครื่องชั่งจะทำให้ลวดตัวนำกระแสเคลื่อนที่ลง เมื่อทิศทางของสนามแม่เหล็กพุ่งเข้า ดังภาพที่ 3

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดนำกระแสขนาดความยาวต่างๆ

นำลวดตัวนำกระแสขนาดความยาว 19.5 มิลลิเมตร มาแขวนที่เครื่องชั่งเซนโอแกรม นำชุดแท่งแม่เหล็กที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กมาวางให้ล้อมรอบลวดตัวนำกระแส โดยให้ลวดตัวนำกระแสตั้งฉากและอยู่ระหว่างกึ่งกลางของชุดแท่งแม่เหล็กและสูงจากแท่งแม่เหล็ก 2.0 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2 ทำการปรับสมดุลให้เครื่องชั่งแล้วอ่านค่าน้ำหนักของลวดตัวนำกระแส แล้วปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ลวดตัวนำกระแสเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 A จนถึง 3.0 A โดยแต่ละครั้งทำการปรับเครื่องชั่งให้สมดุล แล้วอ่านค่าน้ำหนักของลวดตัวนำกระแส จากนั้นเปลี่ยนขนาดของความยาวเป็น 30.0 , 40.5 และ 55.0 มิลลิเมตร

ตามลำดับ ภาพที่ 3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแสกับความยาวของลวดตัวนำกระแส

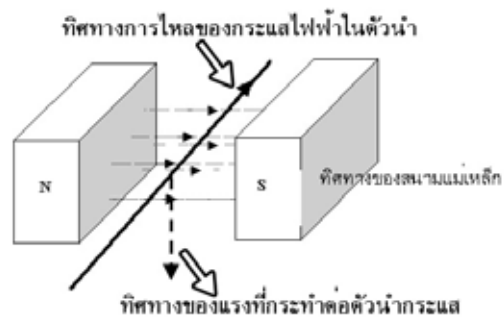
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแสกับความยาวของลวดตัวนำกระแสขนาดต่างๆ

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับ

ขนาดความยาวของลวดตัวนำกระแสขนาดความยาวต่างๆ กัน โดยกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำกระแสเท่ากับ 2.0 แอมแปร์ ทำการเปลี่ยนขนาดความยาวเป็นค่าต่างๆ กัน ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์แรงแม่เหล็กกับความยาวของลวดตัวนำกระแสขนาดความยาวต่างๆ กัน คือ 19.5, 30.0, 40.5 และ 55.0 มิลลิเมตร



ก.

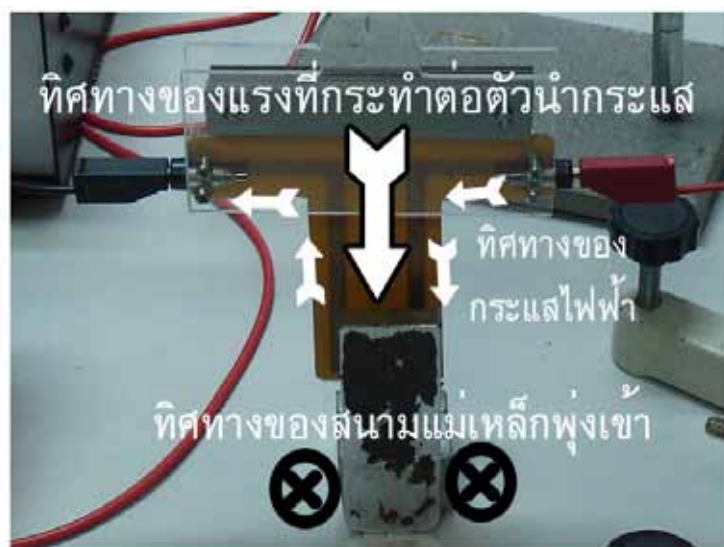


ข.

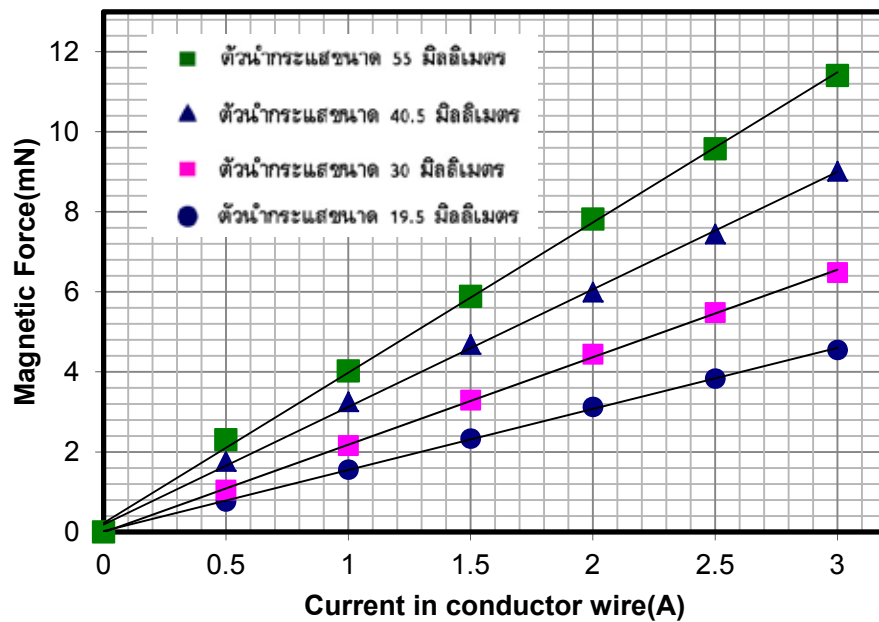
ภาพที่ 2 การวางชุดแท่งแม่เหล็กอยู่รอบลวดตัวนำกระแส

ก. ตำแหน่งการวางลวดตัวนำกระแสในสนามแม่เหล็ก

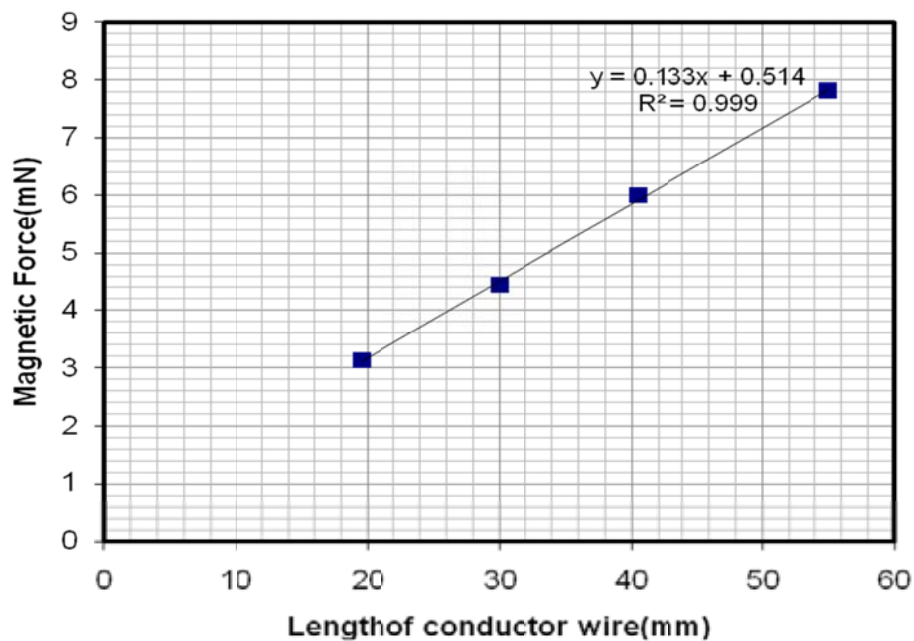
ข. แสดงทิศทางของแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส และกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 3 แสดงทิศทางที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแส



ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างแรงแม่เหล็ก (F) กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำกระแส (I) เมื่อขนาดความยาวต่าง ๆ กัน



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็ก (F) กับความยาวของลวดตัวนำกระแส (L) เมื่อกำหนดกระแสที่ไหลในลวดตัวนำเท่ากับ 2.0 A

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้ศึกษาสร้างชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแสเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ต่างๆ คือความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำกระแส และสนามแม่เหล็กศึกษาความสัมพันธ์ของแรงแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำกระแส และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงแม่เหล็กกับลวดตัวนำกระแสขนาดความยาวแตกต่างกันเมื่อกำหนดให้สนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของแรงแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลวดตัวนำกระแส เป็นไปตามกฎมือขวา ขนาดแรงแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลในลวดตัวนำกระแสและแรงแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับความยาวลวดตัวนำกระแส จากกราฟสามารถคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแสได้และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าสนามแม่เหล็กที่วัดจากเครื่องวัดสนามแม่เหล็กได้ว่า ลวดตัวนำกระแสขนาดความยาว 19.5, 30.0, 40.5 และ 55.0 มิลลิเมตร ได้ค่าสนามแม่เหล็กอยู่ในช่วง 78.7 mT มีความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5.7 %

จากผลการทดลองที่ได้มาสามารถสรุปได้ว่าการสร้างชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำกระแสได้ผลสอดคล้องกับทฤษฎีเป็นอย่างดีโดยมีความผิดพลาดเล็กน้อย ดังนั้นชุดทดลองที่ได้สร้างขึ้นมานำไปใช้เป็นชุดการทดลองเพื่อให้นักศึกษาหรือผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้ต่อไป

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยทักษิณงบประมาณทุนอุดหนุนการวิจัยเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2550

เอกสารอ้างอิง

- [1] PHYWE SYSTEME GMBH. (1995). **University Laboratory Experiments PHYSICS Volume 1-5.** Germany.
- [2] PASCO scientific. (1998). **Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model SF- 8607 and SF-8608 Basic Current Balance and Current Balance Accessory.** USA.
- [3] เฉลียว มณีเลิศ. (2543). **ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย 2 : ไฟฟ้าแม่เหล็ก .** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต. กรุงเทพฯ.
- [4] ปิยพงษ์ สิทธิคง. (2548). **ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษาเล่มสอง อุณหพลศาสตร์ คลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า1 .** เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า. กรุงเทพฯ.