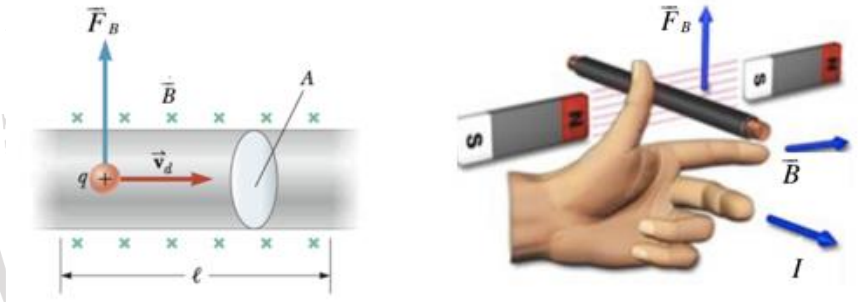
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยนี้คณะผู้ทำการวิจัยจะออกแบบและสร้างชุดวัดความหนาแน่นของของเหลว โดยนำความรู้เกี่ยวกับหลักสมดุลคานและแรงแม่เหล็กมาประยุกต์ใช้ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการแนวคิด ทฤษฎีและงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 แรงแม่เหล็กเนื่องจากกระแสไฟฟ้า

ถ้าให้กระแสไฟฟ้า I แก่ลวดตัวนำยาว ℓ ซึ่งวางอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ แล้วจะมีแรงแม่เหล็ก $\vec{F}_B$ กระทำบนประจุที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ในลวดตัวนำนั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ก)



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.1 (ก) ทิศทางของแรงแม่เหล็กเนื่องจากกระแสไฟฟ้า และ (ข) กฎมือซ้ายของเฟลมมิง (College Physics, 9 edition, Raymond A. Serway ; 656)

แรงแม่เหล็ก $\vec{F}_B = q\vec{v}\times\vec{B}$ และ $\vec{v} = \vec{\ell}/t$ เมื่อ $\vec{\ell}$ คือเวกเตอร์ที่แสดงทิศทางของ ℓ จะได้ $\vec{F}_B = \frac{q}{t}\left(\vec{\ell}\times\vec{B}\right)$ ซึ่ง $I = \frac{q}{t}$ และ $\vec{\ell}\times\vec{B} = \ell B\sin\theta$ ดังนั้นจะขนาดของแรงแม่เหล็กบนลวดตัวนำเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จึงหาได้จาก

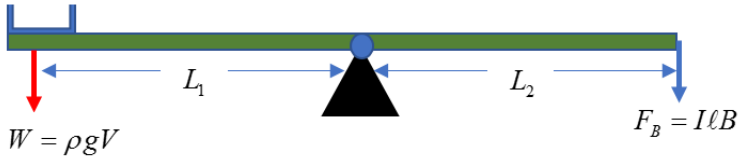
$$F_B = I\ell B\sin\theta \qquad (2.1)$$

เมื่อ ทิศทางของแรงแม่เหล็ก หาได้โดยใช้ กฎมือซ้ายของเฟลมมิง ดังภาพที่ 2.1 (ข)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.2 โมเมนต์และสมดุลคาน

โมเมนต์ของแรงหรือโมเมนต์ คือผลคูณระหว่างแรงกับระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน มีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร (N-m) โมเมนต์มีสองประเภท ประกอบด้วยโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาและโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา โดยโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาคือผลคูณของแรงกับระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาคือผลคูณของแรงกับระยะตั้งฉากจากแนวแรงถึงจุดหมุน ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ถ้ามีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุนั้นอยู่ในภาวะสมดุลจะได้ว่า “ผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา”



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาและโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

ถ้าของเหลวมีความหนาแน่น ρ และปริมาตร V แล้วจะได้น้ำหนัก $W = \rho gV$ ดังนั้นจะได้โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเป็น ρgVL_1 และโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา $I\ell BL_2$ ทั้งนี้ในภาวะสมดุลจะได้ว่าผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา นั่นคือ

$$\rho gVL_1 = I\ell BL_2 \tag{2.2}$$

ดังนั้นจะได้

$$\rho = \frac{I\ell BL_2}{gVL_1} \tag{2.3}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kgm^{-3})

g คือ ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก (ms^{-2})

V คือ ปริมาตรของของเหลว (m^{-3})

I คือ กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำ (A)

ℓ คือ ความยาวของลวดตัวนำบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก (m)

B คือ สนามแม่เหล็ก (Wbm^{-2})

L_1 และ L_2 คือระยะจากจุดหมุดถึงแรง W และ F_B (m)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เมื่อกำหนดให้ ℓ = 0.09 m $L_1 = L_2$ = 0.100 m B =0.055 Wbm^{-2} และ g = 9.81 ms^{-2} ดังนั้นจะได้ $\gamma = \frac{\ell B L_2}{g L_1}$ = 5.04 x 10^{-4} $Wbs^2\text{-}m^{-2}$ ดังนั้นสมการ (2.3) จึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\rho = \gamma \frac{I}{V} \tag{2.4}$$

เมื่อนำปริมาณกระแสไฟฟ้า I และปริมาตร V ไปเขียนกราฟโดยกำหนดให้ กระแสไฟฟ้า I อยู่บนแกน y และปริมาตร V อยู่บนแกน x จะได้กราฟเป็นกราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ

$$slope = \frac{I}{V} \tag{2.5}$$

ดังนั้นจะได้ความหนาแน่นของของเหลว ρ เป็น

$$\rho = \gamma slope \tag{2.6}$$

นั่นคือ เราจะสามารถหาความหนาแน่นของสารได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของสารและปริมาณกระแสไฟฟ้า

2.3.ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (density) ซึ่งเขียนแทนด้วย ρ หมายถึง อัตราส่วนของมวลต่อปริมาตรของสาร ในระบบหน่วยนานาชาติ (S.I unit) มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($kg\text{-}m^{-3}$) หาได้จากผลหารระหว่างมวลรวมกับปริมาตรรวม ดังสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2.7}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($kg\text{-}m^{-3}$)

m คือ มวลรวมของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m^3)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

สำหรับน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้เป็นค่ามาตรฐานของความหนาแน่นน้ำ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างความหนาแน่นของของเหลว

ของเหลว	ความหนาแน่น ρ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	อุณหภูมิ T (องศาเซลเซียส)
กรดอะซิติก	1,049	25
อะซิโตน	784.6	25
เอทิลแอลกอฮอล์	785.1	25
เมทิลแอลกอฮอล์	786.5	25
เบนซิน	873.8	25
น้ำมันละหุ่ง	956.1	25
น้ำมันมะพร้าว	924	15
น้ำมันมะกอก	800 - 920	20
น้ำทะเล	1,025	25
น้ำมันถั่วเหลือง	924 - 928	15
น้ำมันทานตะวัน	920	20
น้ำ	1,000	4

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.4 ความคลาดเคลื่อนของการวัด

ความคลาดเคลื่อน หมายถึง ปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราวัด (Expected Value) และค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Measured Value)

1. ความคลาดเคลื่อนจากผู้วัด (Gross Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขณะใช้เครื่องวัด เช่น การอ่านค่าจากเครื่องวัดผิดพลาด การบันทึกข้อมูลในการทดสอบผิดพลาด หรือการใช้เครื่องวัดผิดวิธี

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ในกระบวนการใช้เครื่องวัด ประกอบด้วย

- ความคลาดเคลื่อนในเครื่องวัด (Instrument Errors) ความคลาดเคลื่อนเกิดจากการเสียดสีภายในของเดือยกับแบริ่ง หรือการคายตัว หรือการตึงตัวสปริงก้นหอย สามารถลดได้โดยการบำรุงรักษา การควบคุมเครื่องวัดอย่างถูกวิธี

- ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม (Environmental Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมขณะใช้เครื่องวัด เช่น บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง หรือบริเวณที่มีความชื้นไม่เหมาะสม ซึ่งอาจทำให้การทำงานของเครื่องวัดเกิดความคลาดเคลื่อนได้

- ความคลาดเคลื่อนในการสังเกตเพื่ออ่านค่าจากสเกล (Observational Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากการสังเกตของผู้อ่านค่ามองไม่ตั้งฉากกับเข็มและสเกล การแก้ไขทำได้โดยการใช้กระจกหรือแถบสะท้อนแสงติดอยู่ในระนาบเดียวกับสเกล สำหรับการอ่านค่าที่ถูกต้องมองเห็นเข็มกับภาพของเข็มทับซ้อนกันสนิท

3 ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบจะมีความสำคัญเฉพาะกรณีที่ต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้น

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏราไพพรรณี

2.5 การหาค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน

การหาประสิทธิภาพของเครื่องมือโดยนำค่าที่ได้ไปเทียบกับค่าที่แท้จริงหรือค่าที่ได้จากทฤษฎี นั้นเรียกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าความผิดพลาด (error) โดยถ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย แสดงว่า เครื่องมือมีประสิทธิภาพสูง แต่ถ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากแสดงว่าเครื่องมือนั้น มีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งเราจะหาค่าความคลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาด ($error$) จากการวัด ได้จาก

$$error = |E - T| \qquad (2.8$$

ทั้งนี้ โดยทั่วไปแล้วนิยมเปรียบเทียบเป็นค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อน นั่นคือ

$$\text{ร้อยละของความคลาดเคลื่อน } (\%error) = \frac{|E - T|}{T} \times 100\ \% \qquad (2.9)$$

เมื่อ $error$ คือ ความคลาดเคลื่อนของการวัด

T คือ ค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัดหรือค่าจากทฤษฎี

E คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดหรือค่าที่วัดได้

2.6 การหาค่าร้อยละของความแตกต่าง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดต่างชนิดกันในการวัดปริมาณเดี่ยวกันทางฟิสิกส์ นิยมเปรียบเทียบโดยการหาค่า ร้อยละของความแตกต่าง (% diff) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\text{ร้อยละของความแตกต่าง } (\%diff) = \frac{|E_1 - E_2|}{\overline{E}} \times 100\ \% \qquad (2.10)$$

เมื่อ $\%diff$ คือ ค่าร้อยละของความแตกต่าง

E_1 แล E_2 คือ ค่าที่วัดด้วยเครื่องมือ 1 และ 2 ตามลำดับ

$\overline{E}$ คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด จากเครื่องมือ 1 และ 2 นั่นคือ $\overline{E} = \frac{E_1 + E_2}{2}$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศุภกร กตาธิการกุล และคณะ (2556) ได้จัดทำชุดทดลองแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อลวดตัวนำ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าในลวดตัวนำและสนามแม่เหล็ก พบว่า ความสัมพันธ์แรงแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลในลวดตัวนำและขนาดความยาวของลวดตัวนำกระแสเมื่อสนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ คำนวณหาค่าสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำที่ความยาวต่างๆ โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และสามารถนำไปใช้ในเป็นอุปกรณ์การเรียนวิชาฟิสิกส์ได้ อีกทั้งยังมีราคาถูก ใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพและความคล่องตัวในการใช้งานสูง

K N Chattopadhyay (2012) ทำการวัดความหนาแน่นของของเหลวโดยใช้ไม้เมตรซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่จำเป็นต้องใช้มวลหรือปริมาตรของของเหลว โดยขั้นแรกเตรียมหลอดทดสอบเปล่าและสารที่เป็นของแข็งแขวนอยู่บนไม้เมตรที่มีลักษณะเหมือนคาน เมื่อคานสมดุลกันและโมเมนของแขนของหลอดทดลอง จะเท่ากันแล้วทำการปรับตำแหน่งของของแข็งที่แขวนอยู่ทั้งสองฝั่งให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน จากนั้นทดสอบกับของเหลวที่ทราบความหนาแน่นโดยใส่ของเหลวในหลอดทดสอบแล้วทำการปรับตำแหน่งของของแข็งที่แขวนอยู่ให้คานสมดุล ทำเครื่องหมายและวัดโมเมนต์ของแขน จากนั้นทดสอบวัดกับของเหลวที่ไม่ทราบค่าความหนาแน่นโดยการทำเครื่องหมายหลังจากที่คานอยู่ในภาวะสมดุลและวัดโมเมนต์ของแขนและหาค่าความหนาแน่นของของเหลว

Terry Quin และคณะ (2013) ได้จัดทำเครื่องชั่งกำลังไฟฟ้าอย่างง่าย เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าหน่วยของมวลมาตรฐานโดยใช้ค่าคงที่ของพลังค์ตามมาตรฐานนานาชาติ โดยได้สร้างเครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างง่ายซึ่งทำงานได้ในระดับร้อยละ 10 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงหลักการอันจะทำให้สามารถเข้าใจนิยามหน่วยของมวล ที่มีพื้นฐานมาจากค่าคงที่ของพลังค์ได้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี