



การพัฒนาชุดทดลองสำหรับหาค่ามอดูลัสเฉือนด้วยอาดุยโนพร้อมแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW The Development of an Experimental Setup for Determinations of Shear Modulus Using Arduino with LabVIEW Display

กัมปนาท พรรณราย¹, วิศรุต พวยพุง² และ นุชนาฏ สุชาติพงศ์^{2*}
Khampanart Phannarai¹, Wissarut Puypung² and Nutchanat Suchatpong^{2*}

Received: March 9, 2026

Revised: June 26, 2026

Accepted: July 7, 2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำบอร์ดอาดุยโนมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาชุดทดลองเพื่อหาค่ามอดูลัสเฉือนของลวดทองเหลือง โดยอาศัยหลักการวัดคาบการสั่นแบบบิด (Torsional Oscillation) ของแผ่นจานโลหะที่หมุนกลับไปกลับมารอบแกนของเส้นลวดทองเหลือง การตรวจวัดการเคลื่อนที่ที่ใช้เซนเซอร์อินฟราเรดร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ดอาดุยโน จากนั้นส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลผ่านโปรแกรม LabVIEW ผลการวิจัยพบว่าค่ามอดูลัสเฉือนที่ได้จากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเพียง 1.20% แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองดังกล่าวมีความแม่นยำสูงและมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเรียนการสอนปฏิบัติการทางฟิสิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เพนดูลัมแบบบิด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทอร์ก คาบการบิด มอดูลัสเฉือน

¹นักวิทยาศาสตร์ หลักสูตรฟิสิกส์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Scientist, Division of Physical Science, Faculty of Science Prince of Songkla University.

²นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ หลักสูตรฟิสิกส์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
Scientist Senior Professional level, Division of Physical Science, Faculty of Science Prince of Songkla University.

*Corresponding Author Email: nutchanat.su@psu.ac.th

Abstract

This study presents the Arduino-based system in the development of an experimental apparatus for determining the shear modulus of a brass wire. The experimental method is based on measuring the period of torsional oscillation of a disk undergoing angular displacement about the axis of the brass wire. An infrared sensor was employed to detect the oscillatory motion and was interfaced with the Arduino microcontroller for data acquisition. The measured data were subsequently transmitted to a computer and processed using LabVIEW for visualization and analysis. The experimental results demonstrate that the shear modulus obtained from the developed apparatus exhibits a percentage error of only 1.20% relative to the accepted standard value. This level of agreement indicates that the proposed system provides reliable and accurate measurements. Therefore, the developed apparatus is considered suitable for laboratory applications, particularly in physics education and experimental instruction.

Keywords: Torsional Pendulum, Microcontroller, Torque, Period of Torsional Oscillation, Shear Modulus

1. บทนำ

ฟิสิกส์เป็นศาสตร์พื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อการเข้าใจธรรมชาติและเทคโนโลยี โดยเฉพาะในหัวข้อกลศาสตร์ของวัสดุ ซึ่งเป็นหนึ่งในเนื้อหาที่สำคัญในหลักสูตรฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายและอุดมศึกษา แนวคิดเกี่ยวกับแรงเฉือน (Shear Force) และมอดูลัสเฉือน (Shear Modulus) เป็นหัวข้อที่มีนามธรรมสูง ทำให้นักเรียนประสบปัญหาในการทำความเข้าใจ แม้ว่าจะมีการเรียนการสอนเชิงทฤษฎี แต่การขาดกิจกรรมทดลองที่จับต้องได้และอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย มักส่งผลต่อการเรียนรู้เชิงลึกของนักเรียน [1] การจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลอง (Experimental-based Learning) มีส่วนช่วยในการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดทางฟิสิกส์ เนื่องจากเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สังเกต ตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานการณ์จริง [2] อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ทดลองมาตรฐานที่ใช้ในการวัดค่ามอดูลัสเฉือน มีราคาสูงและซับซ้อนในการใช้งาน ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในห้องเรียนทั่วไปได้อย่างแพร่หลาย Arduino ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโอเพนซอร์ส ได้รับความนิยมในวงการฟิสิกส์ศึกษา เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ใช้งานง่ายและสามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดแรงหรือการเปลี่ยนรูปได้อย่างยืดหยุ่น [3] การนำ Arduino มาใช้ในการพัฒนาชุดทดลองฟิสิกส์จึงเป็นทางเลือกที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Hands-on Learning) และสร้างโอกาสในการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Inquiry) อีกทั้งการนำเทคโนโลยีสำหรับสร้างเครื่องมือวัดค่าต่าง ๆ ทางฟิสิกส์จะช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลได้เที่ยงตรง ลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำในการทดลองได้อีกด้วย

สำหรับห้องเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานและปฏิบัติการฟิสิกส์ขั้นสูงได้ให้ความสำคัญในการพัฒนาชุดทดลองของแต่ละปฏิบัติการเป็นอย่างมาก เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีฟิสิกส์กับปรากฏการณ์จริง เพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้และส่งเสริมความเข้าใจในแนวคิดด้านแรงเฉือนอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้เลือกหัวข้อการพัฒนาชุดทดลองสำหรับการวัดค่ามอดูลัสเฉือนของลวดทองเหลืองโดยใช้ Arduino วัดค่าคาบของเพนดูลัมที่ออสซิลเลตภายใต้แรงคืนตัวจากการบิดของวัสดุที่มีความยืดหยุ่น เรียกว่าเพนดูลัมแบบบิด (Torsion Pendulum) [4] ซึ่งในการทดลองนี้ใช้แผ่นจานโลหะทรงกระบอกกลมติดเข้ากับปลายเส้นลวดที่แขวนไว้ในแนวดิ่ง เมื่อบิดแผ่นจานให้ออกจากแนวสมดุลเล็กน้อยแล้วปล่อย แรงคืนตัวตามแนวการบิดจากเส้นลวดจะทำให้แผ่นจานหมุนแบบกลับไปกลับมารอบแกนของเส้นลวด คาบการหมุนกลับไปกลับมาหรือการออสซิลเลตของเพนดูลัมแบบบิดจะขึ้นกับความยืดหยุ่นของเส้นลวด ความยาวของเส้นลวด รัศมีของเส้นลวดและโมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นจาน สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 1 โดยที่ T คือคาบการหมุนของเพนดูลัมแบบบิด I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นจาน L คือความยาวของเส้นลวด r คือรัศมีของเส้นลวด และ S คือค่ามอดูลัสเฉือนของวัสดุที่ใช้ทำเส้นลวด

$$T = \sqrt{\frac{8\pi IL}{Sr^4}} \quad (1)$$

จากความสัมพันธ์ของคาบกับความยาวของเส้นลวดตามสมการที่ (1) ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชุดทดลองสำหรับวัดคาบการหมุนของเพนดูลัมแบบปิดโดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของเพนดูลัมแทนการใช้นาฬิกาจับเวลา จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังบอร์ดอาดุยโนเพื่อประมวลผลและแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม LabVIEW อีกทั้งยังสามารถบันทึกและส่งออกค่าการทดลองไปโปรแกรม Excel ได้ด้วย

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบออสซิลเลตของเพนดูลัมแบบปิด
- 2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดทดลองสำหรับหาค่ามอดูลัสเฉือนด้วยอาดุยโนพร้อมแสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW
- 2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่ามอดูลัสเฉือนจากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นกับค่ามาตรฐาน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อาริยา จิตกระเสริม และคณะ [5] ได้ออกแบบสร้างชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ชุดลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย เซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ ชุดสื่อสารไร้สาย ระบบ Wi-Fi Arduino board และคอมพิวเตอร์ โดยการทดลองเริ่มจากทำให้ลูกตุ้มนาฬิกาเคลื่อนที่แล้วจับเวลาการแกว่งด้วยเซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ จากนั้นส่งข้อมูลเวลาที่วัดได้ไปยัง Google Sheet ผ่านระบบ Wi-Fi เพื่อคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ความยาวของลูกตุ้มนาฬิกา 5 ค่า เพื่อวัดคาบการเคลื่อนที่ (T) โดยค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 9.87 m/s^2 ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีราคาถูกและมีขั้นตอนการทดลองที่ง่ายต่อความเข้าใจเหมาะสำหรับใช้ในการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน

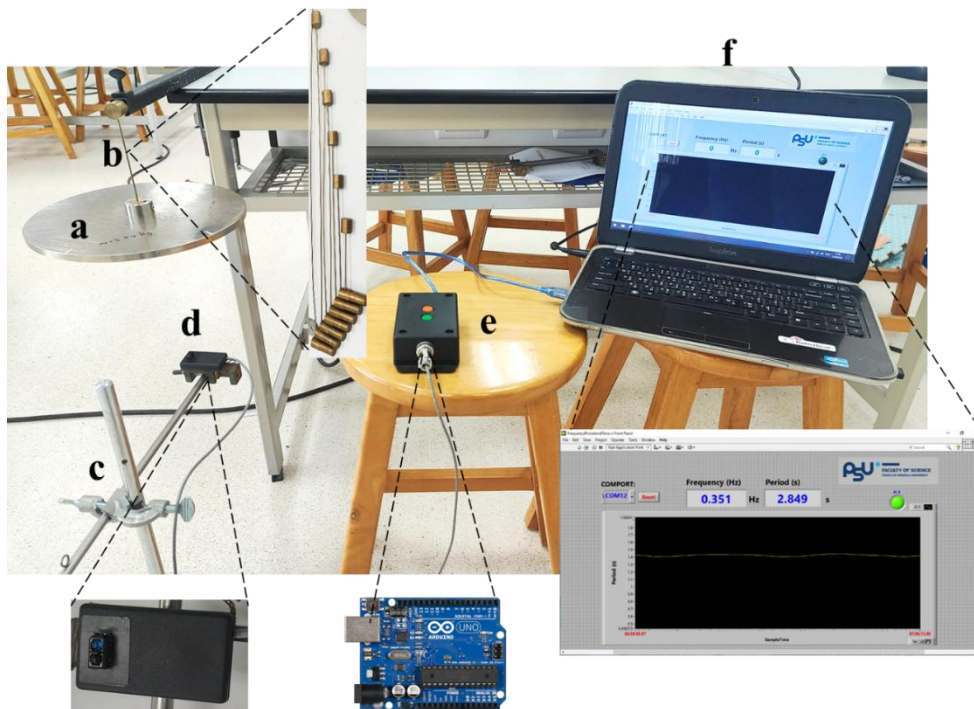
วีระ บุญผุด [6-7] ได้ออกแบบและพัฒนาชุดทดลองการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยตัวตรวจวัดเวลาแบบดิจิทัลพร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone โดยใช้ตัวตรวจวัดเปียโซอิเล็กทริกวัดค่าเวลาและใช้ตัวตรวจวัดอัลตราโซนิกวัดค่าการกระจัดรวมกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด Arduino Mega2560 R3 ควบคุมและแสดงผลอัตโนมัติบนจอภาพชนิดสัมผัส อีกทั้งยังใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งควบคุมและแสดงผลบนสมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชันบลิงค์ จากการศึกษาพบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่วัดได้จากชุดทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานโดยมีความแม่นยำถึงร้อยละ 99.51 นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาชุดทดลองเซนเซอร์วัดคาบการสั่นของมวลติดสปริงสำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ โรงเรียนนายเรือ ซึ่งได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์เซนเซอร์วัดระยะทางแบบอัลตราโซนิกเซนเซอร์โมดูลผ่านการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการวิจัยพบว่าค่าคงที่ของสปริงที่วัดได้จากชุดทดลองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียงร้อยละ 2.625

Phayphung et al. [8] ได้ประยุกต์ใช้อาดุยโนในการวัดค่ายังมอดูลัสของไม้บรรทัดเหล็กโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุแล้วส่งสัญญาณไปยังบอร์ดอาดุยโนเพื่อประมวลผลและแสดงผลเป็นค่าความถี่บนจอ LCD ซึ่งผลการทดลองพบว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่ายังโมดูลัสได้ $227 \pm 14 \text{ GPa}$ โดยที่ค่ายังมอดูลัสของสแตนเลสมีค่าประมาณ 200 GPa ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่วัดได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมาก

Suchatpong and Suknui [9] ได้ประยุกต์ใช้อาดุยโนในการวัดค่าความถี่การแกว่งของวัตถุฟิสิกส์เพนดูลัมโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุแล้วส่งสัญญาณไปยังบอร์ดอาดุยโนเพื่อประมวลผลและแสดงผลบนจอ LCD โดยพบว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถวัดค่าความถี่ได้ใกล้เคียงกับค่าจริงทางทฤษฎี มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 2.5%

4. วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้นำอุปกรณ์ในห้องเรียนปฏิบัติการฟิสิกส์ดังรูปที่ 1 มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาชุดทดลองสำหรับหาค่ามอดูลัสเฉือน ซึ่งชุดทดลองประกอบด้วยแผ่นจานโลหะรูปทรงกระบอกกลมประกอบกับวงแหวนสแตนเลสที่มีปลอกยึดแกนทองเหลือง เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 19 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของปลอกยึด และแผ่นจานโลหะ 32.1 mm และ 253 mm โดยน้ำหนักของปลอกยึด และแผ่นจานโลหะคือ 63 g และ 3518 g ยึดติดกับลวดทองเหลืองที่มีความยาวตั้งแต่ 0.1 - 0.7 m ในแนวตั้ง โดยมีบอร์ดควบคุมและประมวลผล (Arduino UNO R3) ที่ทำงานร่วมกับอินฟราเรดเซนเซอร์ (IR Sensor) ซึ่งติดกับขาตั้งจับเซนเซอร์ที่เป็นระบบการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลผ่านโปรแกรมแสดงผลค่าคาบเวลาด้วยโปรแกรม LabVIEW [10]



รูปที่ 1 ชุดทดลองเพนดูลัมแบบบิดสำหรับหาค่ามอดูลัสเฉือน

a. แผ่นจานโลหะ b. ลวดทองเหลือง c. ขาตั้งจับเซนเซอร์ d. อินฟราเรด เซนเซอร์ (IR Sensor)
e. บอร์ดควบคุมและประมวลผล (Arduino UNO R3) f. คอมพิวเตอร์

4.1 การออกแบบชุดทดลองเพนดูลัมแบบบิดสำหรับหาค่ามอดูลัสเฉือน

อุปกรณ์ชุดทดลองเพนดูลัมแบบบิดสำหรับวัดค่ามอดูลัสเฉือนในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการตรวจจับการเคลื่อนที่ของแผ่นจานโลหะแสดงดังรูปที่ 1a ซึ่งยึดติดกับลวดทองเหลืองที่มีความยาวต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 1b ซึ่งเมื่อบิดจานให้ออกจากแนวสมดุลเล็กน้อย แผ่นจานจะเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาหรือเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก ซึ่งการเคลื่อนที่นี้จะถูกตรวจจับโดยอินฟราเรดเซนเซอร์ (IR Sensor) ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้โมเดล TCRT5000L เป็นเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) แบบสะท้อนกลับ ภายในประกอบด้วยตัวส่งสัญญาณอินฟราเรด (ความยาวคลื่น 950 nm) และโฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) บรรจุอยู่ในแพ็คเกจแบบมีขา ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อช่วยบล็อกแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) ไม่ให้รบกวนการทำงานและส่งสัญญาณเมื่อมีวัตถุเคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์โดยมีระยะการทำงานอยู่ในช่วง 0.2 - 15 mm แสดงดังรูปที่ 1d จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกส่งไปยังบอร์ดควบคุมและประมวลผล Arduino UNO R3 ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิป ATmega328P เป็นหลัก ภายในบอร์ดประกอบด้วยพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตดิจิทัล (Digital I/O) จำนวน 14 พิน (ซึ่งในจำนวนนี้มี 6 พินที่สามารถใช้งานเป็นเอาต์พุตแบบ PWM หรือ Pulse Width Modulation ได้) พอร์ตอินพุตอะนาล็อก 6 พิน คริสตัลควอตซ์ความถี่ 16 MHz และ

พอร์ตเชื่อมต่อ USB แสดงดังรูปที่ 1e ซึ่งบอร์ดจะประมวลผลและคำนวณเป็นค่าคาบเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุ จากนั้นจะส่งค่าคาบเวลาผ่านการติดต่อสื่อสารแบบ RS232 บนพอร์ต USB เพื่อแสดงผลค่าคาบเวลาไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมแสดงผลค่าคาบที่เขียนด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ LabVIEW community edition ซึ่งเป็นเวอร์ชันที่ใช้งานได้แบบฟรี แสดงดังรูปที่ 1f นอกจากนี้ค่าคาบเวลาทั้งหมดที่ตรวจจับได้สามารถบันทึกและส่งออกค่าเป็นไฟล์ Excel ได้อีกด้วย

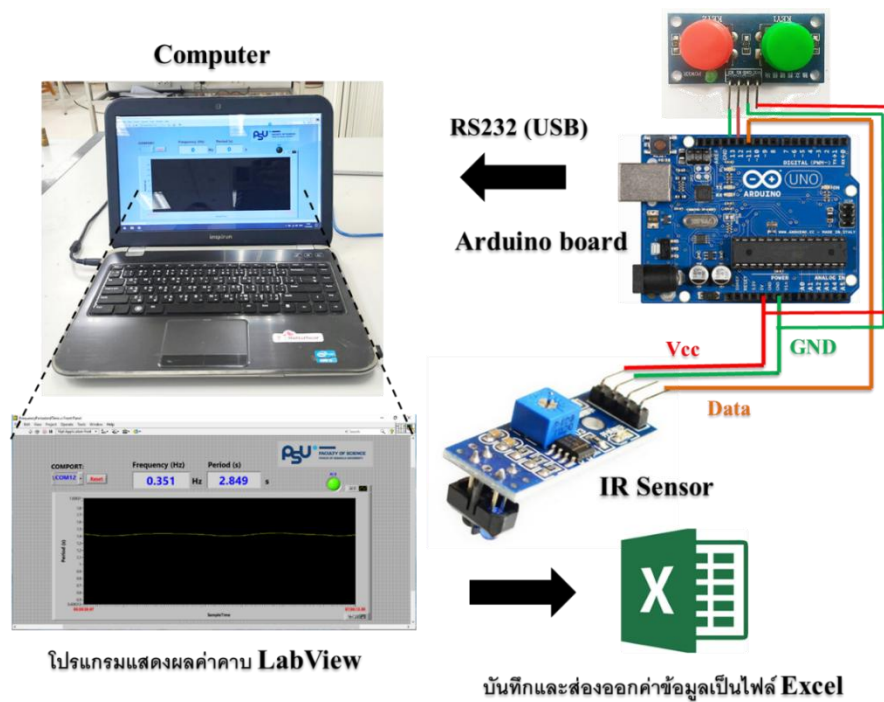
4.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์ของระบบวัดในชุดทดลองสำหรับหาค่ามอดูลัสเฉือน

ในงานวิจัยนี้มีการออกแบบและมีขั้นตอนการประดิษฐ์ของระบบวัดในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของงานที่เคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาหรือการเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก โดยใช้อินฟราเรดเซนเซอร์ (IR Sensor) ที่ทำงานและเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมและประมวลผล Arduino UNO R3 ซึ่งวิธีเชื่อมต่อจะเริ่มจากขา Vcc (ขาไฟเลี้ยง), GND (ขาราวด์) และ Data (ขาสัญญาณ) ของอินฟราเรดเซนเซอร์ (IR Sensor) จะถูกเชื่อมต่อกับ 5V (ไฟ 5 โวลต์), GND (กราวด์) และ D11 (ดิจิทัลอินพุตและเอาต์พุตขาที่ 11) ของบอร์ดอาดูยโนตามลำดับ โดยบอร์ดอาดูยโนจะทำการอ่านค่าเวลาในสถานะ Active-HIGH (สถานะสูง 5V) เมื่อจุดอ้างอิงของงานเคลื่อนที่ตัดผ่านอินฟราเรดเซนเซอร์และอ่านค่าเวลาอีกเมื่อจุดอ้างอิงของงานเคลื่อนที่ไม่ตัดผ่านอินฟราเรดเซนเซอร์ซึ่งจะอยู่ในสถานะ LOW (สถานะต่ำ 0V) และนำเวลามารวมกันก็จะได้คาบเวลาของการเคลื่อนที่ โดยการใช้ฟังก์ชัน pulseIn ของบอร์ดอาดูยโนในการตรวจจับค่าเวลาดังกล่าวซึ่งมีค่าความละเอียดในตรวจจับค่าเวลามากสุดได้ถึง 6 ตำแหน่งแต่ใช้จริงแค่ 3 ตำแหน่ง ผ่านสัญญาณดิจิทัลอินพุตขาที่ 11 (D11) ที่ได้รับสัญญาณมาจากอินฟราเรดเซนเซอร์ จากนั้นค่าคาบของเวลาที่ตรวจจับได้และส่งออกค่าดังกล่าวผ่านการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม RS232 บนพอร์ต USB เพื่อส่งค่าไปแสดงผลค่าคาบเวลาที่คอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมแสดงผลค่าคาบที่เขียนด้วยโปรแกรม LabVIEW

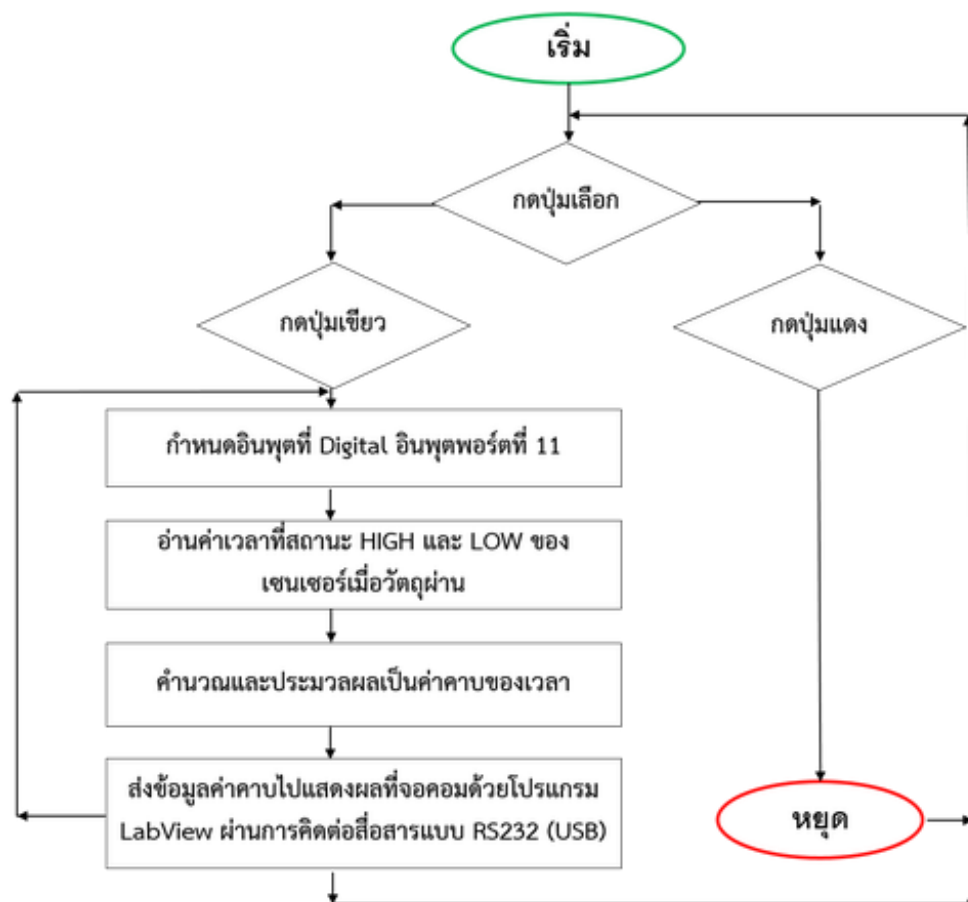
นอกจากนี้ยังมีโมดูลสวิตช์สองปุ่มแบบกดติด/กดดับที่ทำงานร่วมกับชุดบอร์ดควบคุมและประมวลผล ซึ่งโมดูลดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมในการส่งค่าข้อมูล (กดปุ่มสีเขียว) และหยุดส่งค่าข้อมูล (กดปุ่มสีแดง) ไปยังโปรแกรมแสดงผล LabVIEW ซึ่งวิธีเชื่อมต่อจะเริ่มจากขา Vcc (ขาไฟเลี้ยง), GND (ขาราวด์), K1 (ปุ่มสีเขียว) และ K2 (ปุ่มสีแดง) ของโมดูลสวิตช์จะถูกเชื่อมต่อกับ 5V (ไฟ 5 โวลต์), GND (กราวด์), D12 (ดิจิทัลอินพุตและเอาต์พุตขาที่ 12) และ D13 (ดิจิทัลอินพุตและเอาต์พุตขาที่ 13) ของบอร์ดอาดูยโนแสดงดังรูปที่ 2 ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าคาบเวลาที่ตรวจจับได้ทั้งหมดจะถูกบันทึกและส่งออกค่าเป็นไฟล์ Excel เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป โดยโปรแกรมควบคุมการทำงานในงานวิจัยนี้ได้ใช้ภาษา C/C++ ในการพัฒนาบนแพลตฟอร์ม Arduino IDE ซึ่งเป็นฟรีแวร์ (Freeware) โดยแผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3

4.3 ดำเนินการทดสอบและทดลองหาค่ามอดูลัสเฉือนโดยชุดทดลอง

วิธีการทดลองจะเริ่มจากนำแผ่นงานโลหะยึดติดกับลวดทองเหลืองในแนวดิ่ง ทำการบิดแผ่นงานให้ออกจากแนวสมดุลเล็กน้อยไปด้านซ้ายหรือขวาก็ได้ เพื่อให้แผ่นงานเกิดการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาหรือเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิก เนื่องจากแรงบิดของลวดทองเหลือง จากนั้นนำอินฟราเรดเซนเซอร์ (IR Sensor) มาตรวจจับการเคลื่อนที่ของงานที่มีจุดอ้างอิงบนงานที่เคลื่อนที่ตัดผ่านและไม่ตัดผ่านเซนเซอร์และส่งสัญญาณ Active-HIGH (สถานะสูง 5V) และสถานะ LOW (สถานะต่ำ 0V) ไปยังบอร์ด Arduino UNO R3 เพื่ออ่านและคำนวณค่าคาบของเวลาในการเคลื่อนที่และส่งออกข้อมูลไปยังโปรแกรมแสดงผล LabVIEW โดยผ่านการกดปุ่มสีเขียวเพื่อส่งค่า เมื่อเก็บค่าคาบเวลาเป็นจำนวนที่เพียงพอแล้วก็กดปุ่มสีแดงเพื่อหยุดส่งค่า งานวิจัยนี้ได้ใช้ลวดทองเหลืองที่มีความยาวต่างกัน ตั้งแต่ 0.1 - 0.7 m ซึ่งค่าคาบเวลาที่ตรวจจับได้ทั้งหมดทุกความยาวของลวดทองเหลืองจะถูกบันทึกและส่งออกค่าเป็นไฟล์ Excel เพื่อนำไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคาบยกกำลังสอง (T^2) กับความยาวของลวดทองเหลือง (L) โดยที่ค่าความชันจากกราฟจะเทียบได้กับ $8\pi I/Sr^4$ สามารถนำไปหาค่ามอดูลัสเฉือนได้ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองแบบนาฬิกาจับเวลาและจากชุดทดลองการวัดคาบเวลาแบบดิจิทัล เปรียบเทียบหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนกับค่ามอดูลัสเฉือนมาตรฐาน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการประดิษฐ์และออกแบบอุปกรณ์สำหรับวัดและแสดงผลค่าคาบเวลาในการทดลองหาค่ามอดูลัสเฟส



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

5. ผลการศึกษา

เปรียบเทียบค่ามอดูลัสเฉือนที่ได้จากการทดลองแบบนาฬิกาจับเวลาและชุดทดลองการวัดคาบเวลาแบบดิจิทัล กับค่ามาตรฐานโดยในการทดลองนี้ใช้ลวดทองเหลืองที่มีค่ามอดูลัสเฉือนประมาณ 3.7 GPa ซึ่งอ้างอิงจาก C36000 Brass (C360 Brass) เว็บไซต์ Sequoia Brass and Copper [11] เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

5.1 หาค่าโมเมนต์ของความเฉื่อย

ในชุดการทดลองใช้แผ่นจานที่มีรูที่มีปลอกตรงกลางสำหรับยึดเข้ากับแกนยึดทองเหลืองและแกนทองเหลือง ดังนั้นโมเมนต์ความเฉื่อยที่เกี่ยวข้องกับการบิดรวม I_{tot} จึงประกอบไปด้วยโมเมนต์ความเฉื่อยของแผ่นจาน I_d ปลอกยึด I_c และแกนทองเหลือง I_r ดังแสดงในสมการที่ 2

$$I_{tot} = I_d + I_c + I_r = \frac{1}{2} M_d (R_{d1}^2 + R_{d2}^2) + \frac{1}{2} M_c (R_{c1}^2 + R_{c2}^2) + \frac{1}{2} M_r R_r^2 \quad (2)$$

โดยที่ M คือมวล และ R คือรัศมี

ตารางที่ 1 ค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยรวม

รายการ	มวล (g)	รัศมี (mm)		โมเมนต์ของความเฉื่อย (kg·m ²)
		ภายใน	ภายนอก	
แผ่นจาน	3,518 ± 1	9.50 ± 0.01	126.50 ± 0.01	0.02831 ± 0.00005
ปลอกยึด	62 ± 1	9.50 ± 0.01	16.05 ± 0.01	0.0000108 ± 0.0000002
แกนทองเหลือง	57 ± 1	9.35 ± 0.01		0.00000249 ± 0.00000004
รวม				0.02832 ± 0.00005

จากองค์ประกอบต่าง ๆ ของชุดการทดลองสามารถหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่เกี่ยวข้องกับการบิดรวมได้เท่ากับ 0.02832 ± 0.00005 kg·m²

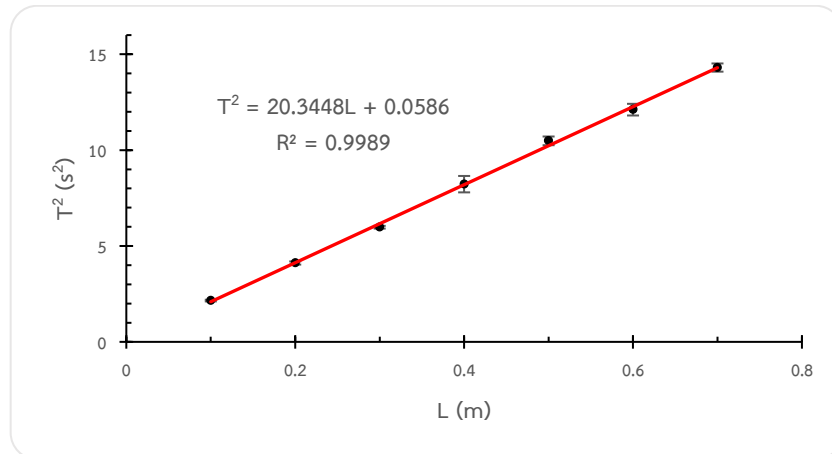
5.2 ผลการทดลองจับเวลาหาค่าคาบด้วยนาฬิกาจับเวลา

ทำการทดลองวัดเวลาที่ใช้ในการบิดกลับไปกลับมา 10 รอบ ซ้ำ 4 ครั้ง โดยใช้เส้นลวดทองเหลืองรัศมี 1 mm ที่ความยาว 0.1 - 0.7 m จากนั้นเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบยกกำลังสอง (T^2) กับความยาวของเส้นลวด (L) เพื่อหาค่าความชันและนำไปหาค่ามอดูลัสเฉือน

ตารางที่ 2 ผลการวัดเวลาที่ใช้ในการบิดกลับไปกลับมา 10 รอบของเส้นลวดที่มีความยาวต่าง ๆ ด้วยนาฬิกาจับเวลา

L (m)	t (s)						T (s)	σ_T (s)	T^2 (s ²)	σ_{T^2} (s ²)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	t_{avg}	σ_t				
0.10	14.87	14.70	14.53	14.59	14.673	0.149	1.467	0.015	2.153	0.044
0.20	20.47	20.28	20.38	20.00	20.283	0.204	2.028	0.020	4.114	0.083
0.30	24.46	24.28	24.44	24.63	24.453	0.143	2.445	0.014	5.979	0.070
0.40	27.59	28.82	29.09	29.22	28.680	0.746	2.868	0.075	8.225	0.428
0.50	32.85	32.41	32.03	32.23	32.380	0.350	3.238	0.035	10.485	0.226
0.60	34.36	35.24	35.11	34.50	34.803	0.437	3.480	0.044	12.112	0.304
0.70	37.43	38.06	37.99	37.82	37.825	0.282	3.783	0.028	14.307	0.213

หมายเหตุ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบกำลังสองกับความยาวของเส้นลวดด้วยวิธีจับเวลาด้วยนาฬิกา

จากรูปที่ 4 สามารถหาค่าความชันจากกราฟได้เท่ากับ $20.34 \pm 0.30 \text{ s}^2/\text{m}$ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่ามอดูลัสเฉือนที่ทำการทดลองด้วยวิธีจับเวลาด้วยนาฬิกาได้ค่าเท่ากับ 34.98 GPa

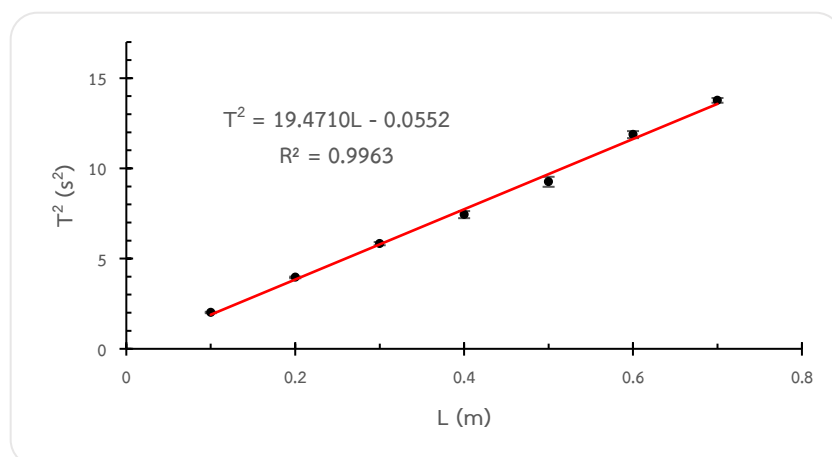
5.3 ผลการทดลองวัดคาบเวลาโดยใช้ชุดทดลองแบบดิจิทัล

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 5.2 เพียงแต่เปลี่ยนจากการจับเวลาด้วยนาฬิกาเป็นวัดค่าคาบด้วยชุดทดลองแบบดิจิทัล

ตารางที่ 3 ผลการวัดคาบที่ใช้ในการบิดกลับไปกลับมาด้วยชุดทดลองแบบดิจิทัล

$L \text{ (m)}$	$T \text{ (s)}$						$T^2 \text{ (s}^2\text{)}$	$\sigma_{T^2} \text{ (s}^2\text{)}$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	T_{avg}	σ_T		
0.10	1.42857	1.40449	1.41243	1.43266	1.4195	0.0133	2.0151	0.0378
0.20	1.99601	1.97239	1.99601	1.99203	1.9891	0.0113	3.9566	0.0450
0.30	2.41546	2.40385	2.39808	2.43902	2.4141	0.0181	5.8279	0.0875
0.40	2.68097	2.76243	2.71739	2.74725	2.7270	0.0359	7.4366	0.1961
0.50	3.03951	3.09598	3.04878	2.98507	3.0423	0.0455	9.2558	0.2768
0.60	3.48432	3.42466	3.44828	3.42466	3.4455	0.0282	11.8713	0.1942
0.70	3.70370	3.73134	3.69004	3.71747	3.7106	0.0178	13.7688	0.1319

หมายเหตุ σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบกำลังสอง กับ ความยาวของเส้นลวด ด้วยวิธีชุดทดลองแบบดิจิทัล

จากรูปที่ 5 สามารถหาค่าความชันจากกราฟได้เท่ากับ $19.47 \pm 0.53 \text{ s}^2/\text{m}$ และนำค่าความชันไปคำนวณหาค่ามอดูลัสเฉือนได้ค่าเท่ากับ 36.55 GPa

5.4 เปรียบเทียบค่ามอดูลัสเฉือน

ตารางที่ 4 แสดงค่ามอดูลัสเฉือนมาตรฐานเปรียบเทียบกับค่าได้จากการทดลอง

มาตรฐาน	จับเวลาด้วยนาฬิกา	ชุดทดลองแบบดิจิทัล
37 GPa	34.98 GPa	36.55 GPa
%Error	5.46 %	1.20 %

6. สรุปและอภิปรายผล/ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดทดลองการหาค่ามอดูลัสเฉือนโดยใช้oaducyโนเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาบการบิดกับความยาวของเส้นลวด พบว่าการใช้oaducyโนในการวัดค่าคาบการบิดจากชุดทดลองนี้ช่วยลดขั้นตอนการทดลองได้มากและเมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่ามอดูลัสเฉือนของลวดทองเหลืองได้เท่ากับ 36.55 GPa เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคือ 37 GPa พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเพียง 1.20% และค่าที่ได้จากการทดลองโดยใช้นาฬิกาจับเวลาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 5.45 % โดยมีความแม่นยำร้อยละ 98.80 ซึ่งผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่ได้พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำกว่าการใช้นาฬิกาจับเวลา โดยจะเห็นได้ว่าชุดทดลองแบบดิจิทัลสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ดีกว่าวิธีการจับเวลาด้วยนาฬิกา เนื่องจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการจับเวลามีค่ามากกว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชุดทดลองแบบดิจิทัล ดังนั้นชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์เป็นอย่างมาก

ข้อควรระวังในการทดลองนี้คือการบิดจนเหล็กออกจากแนวสมดุลควรบิดไม่เกิน 5 องศา เพื่อให้เป็นไปตามกฎของฮุกที่พฤติกรรมยืดหยุ่นเชิงเส้นจะแสดงคุณสมบัติการคืนตัวเมื่อถูกบิดด้วยมุมเล็ก ๆ รวมถึงลดการแกว่งสะบัดในทิศทางอื่น ๆ และต้องให้เกิดการหมุนแบบกลับปกลับไปกลับมาในแนวราบ เพื่อความแม่นยำในการทดลอง นอกจากนี้ระยะห่างของเซนเซอร์อินฟราเรดกับวัตถุที่ต้องการตรวจจับไม่ควรห่างหรือใกล้เกินไปเนื่องจากจะทำให้เกินช่วงทำงานของเซนเซอร์

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาชุดทดลองนี้อาจใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ (Image Processing) ตรวจสอบการเคลื่อนของวัตถุผ่านกล้องและโปรแกรมไพทอน (Python) ที่มีความไวและแม่นยำในการตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ หรือการเลือกใช้อินเตอร์โมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์รุ่นอื่นที่สามารถลดความคลาดเคลื่อนของการแปลงค่าสัญญาณได้เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] McDermott LC, Redish EF. Resource letter: PER-1: Physics education research. Am J Phys 1999;67:755-67.
- [2] Wieman C, Perkins K. Transforming physics education. Phys Today 2005;58:36-41.
- [3] Organtini G. Arduino as a tool for physics experiments. Journal of Physics: Conference Series. 2018;1076:012026.
- [4] กฤษดา รวีศรีวัฒนา. เพนดูลัมแบบบิด [คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์]. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2568.
- [5] อาริยา จิตกระเสริม, อธิวัฒน์ ปานกลาง, รติณสุดาสุกนัยสร, อมรรัตน์ คำบุญ. การพัฒนาชุดทดลองเรื่อง ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi. วารสารวิจัยและนวัตกรรมการศึกษา. 2566;7(2):23-30.

- [6] วีระ บุญผุด. การพัฒนาชุดทดลองการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกด้วยตัวตรวจวัดเวลาแบบดิจิทัล พร้อมโปรแกรมแสดงผลอัตโนมัติด้วย IoT บน Smartphone สำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์โรงเรียนนายเรือ. วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2565;5:158-69.
- [7] วีระ บุญผุด. การพัฒนาชุดทดลองเซนเซอร์วัดคาบการสั่นของมวลติดสปริงสำหรับห้องปฏิบัติการฟิสิกส์โรงเรียนนายเรือ.วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2568;8:87-9
- [8] Phayphung W, Rakkapao S, Prasitpong S. Young's modulus determination for a vibrated metal ruler using Arduino. Phys Educ 2022;57:045023.
- [9] Suchatpong N, Suknui V. Photogate sensor for compound physical pendulum experiments. Journal of Physics: Conference Series. 2018;1144:012127.
- [10] Phayphung W, Prasitpong S, Rakkapao S. Analysing the acoustic Doppler effect using an Arduino sensor. Phys Educ 2024;59:045019.
- [11] Thomas Marketing Services. C36000 Brass (C360 Brass) [Internet]. California: Sequoia Brass and Copper; 2026 [cited 2026 Feb 27]. Available from: <https://www.sequoia-brass-copper.com/brass-supplier/360-brass/>.