

การพัฒนาชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi
The Development of a Simple and Low-Cost Pendulum Clock Experimental
Set via Wi-Fi System

อารียา จิตกระเสริม¹, อีรธวัลย์ ปานกลาง², รัตนสุดา สุกदनัยสร³ และ อมรรัตน์ คำบุญ^{4*}
Areeya Jitkasroem¹, Theerathawan Panklang², Rattanasuda Supadanaison³ and Amonrat Khambun^{4*}

^{1,2,3,4*} สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600

^{1,2,3,4*} Physical Program, Faculty of Sciences and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University 10600

Received : 2023-08-10 Revised : 2023-09-18 Accepted : 2023-11-16

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำผ่านระบบ Wi-Fi ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย (1) ชุดลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย (2) เซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ (3) ชุดสื่อสารไร้สาย ระบบ Wi-Fi (4) Arduino board และ (5) คอมพิวเตอร์ การทดลองเริ่มจากทำให้ลูกตุ้มนาฬิกาเคลื่อนที่แล้วจับเวลาการแกว่งด้วยเซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ จากนั้นส่งข้อมูล (เวลา) ที่วัดได้ไปยัง Google Sheet ผ่านระบบ Wi-Fi เพื่อคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) งานวิจัยนี้ใช้ความยาวของลูกตุ้มนาฬิกา 5 ค่าเพื่อวัดคาบการเคลื่อนที่ (T) โดยค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 9.87 m/s^2 . ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีราคาถูก มีขั้นตอนการทดลองที่ง่ายต่อความเข้าใจ เหมาะสำหรับการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน

คำสำคัญ: ฟิสิกส์, ลูกตุ้มนาฬิกา, บอร์ดอาduino

Abstract

The objective of research was to create a simple and low-cost pendulum clock experimental set by using wireless fidelity as follow: (1) a simple pendulum clock set, (2) a motion sensor, (3) wireless fidelity set, (4) Arduino board, and (5) a computer. The experiment began by making a pendulum clock move and monitoring its oscillation with motion detector. After that, employing a Wi-Fi for transferring the data (time)

to a google sheet to determine the acceleration due to Earth's gravity (g).

This research applied the length of five pendulum clocks to measure the period of movement (T) by g-value obtained from the experimental set created was equal to 9.87 m/s^2 . The experimental set was created simply at a fair price. Moreover, It is a suitable learning material for the Fundamental Physics subject. by make a pendulum clock move and monitoring its oscillation with motion detector next, using Wi-Fi, transfer the data (time) to a Google Sheet to determine the acceleration due to Earth's gravity (g).

Keywords: Physics, simple pendulum, Arduino board

1.บทนำ

ฟิสิกส์จัดเป็นวิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์สำคัญที่เน้นศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติและยังถูกจัดให้เป็นหนึ่งในวิชาหลักในการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิชาฟิสิกส์ยังช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติผ่านการสังเกต การวัดและการคำนวณค่าต่าง ๆ จากการทดลอง ทั้งนี้ โดยทั่วไปการสอนวิชาฟิสิกส์แบบดั้งเดิมมักใช้วิธีบรรยายซึ่งบางเนื้อหาอาจมีความยากและซับซ้อนต่อการทำความเข้าใจของผู้เรียน นอกจากนี้การสอนด้วยวิธีบรรยายยังไม่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิด วิเคราะห์และแยกแยะด้วยตัวเองในการศึกษาปรากฏการณ์ในธรรมชาติและแก้ปัญหาต่าง ๆ

* อมรรัตน์ คำบุญ

E-mail address: amonrat.kh@bsru.ac.th

อย่างไรก็ตามการสอนวิชาฟิสิกส์แบบดั้งเดิมในบางหัวข้ออาจจัดให้มีการทดลองประกอบเพื่อเสริมเนื้อหาในส่วนบรรยาย โดยการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นลักษณะที่ผู้เรียนต้องลงมือทำการทดลองด้วยตัวเอง จะทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียน ซึ่งช่วยเสริมให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหามากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การให้ผู้เรียนมีโอกาสลงมือทำการทดลองหรือการศึกษาด้วยตัวเอง ยังช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาและสามารถจดจำกฎทางฟิสิกส์ได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยทำให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดทางฟิสิกส์ช่วยพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์ซึ่งทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย [1,2]

ช่วงเวลาที่ผ่านมามีนักวิชาการจำนวนมากได้ออกแบบสร้างชุดทดลองทางฟิสิกส์ที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เป็นส่วนประกอบ เช่น อมรรัตน์ คำบุญ [3] ได้พัฒนาชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ด้วยระบบปรับมุมอัตโนมัติที่สามารถเลือกปรับมุมการยิงมวลที่ใช้ทดลองได้มากถึง 8 ระดับ ส่วน มณี จันทะรัง และจินดาพร สืบขันเพชร [4] พัฒนาชุดทดลองการตกแบบอิสระโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์การควบคุมการทำงานของชุดทดลองหรือสมพร บัวประทุม [5] พัฒนาตัวตรวจวัดระยะเวลาการตกของวัตถุจากความสูงต่าง ๆ แบบอัตโนมัติอย่างง่ายที่ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อวัดระยะและเวลาตกของวัตถุพร้อมแสดงค่าผ่านทางสมาร์ตโฟน ทำให้ผู้ทดลองสามารถอ่านค่าเวลาที่ตรวจวัดได้และนำค่าที่ได้จากการทดลองมาเสนอแบบกราฟ เพื่อคำนวณหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ได้ด้วยตัวเอง ชุดทดลองเหล่านี้ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหาทางฟิสิกส์มากขึ้น

นอกจากชุดทดลองที่ใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบแล้ว การใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อหลักในชุดทดลองก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและน่าสนใจ เนื่องจากชุดทดลองลักษณะนี้จะช่วยเสริมและกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจเนื้อหาทางฟิสิกส์มากขึ้น รวมถึงยังช่วยให้ผู้เรียนคุ้นชินกับการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งช่วยเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาทางฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยพัฒนาแนวคิดและทักษะการวิจัยแก่ผู้เรียนอีกด้วย [6,7]

ทั้งนี้ในวิชาฟิสิกส์ “การเคลื่อนที่” จัดว่าเป็นหัวข้อพื้นฐานสำคัญของการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในทุกระดับ โดยเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับแนวคิดสำคัญของ ตำแหน่ง เวลา ความเร็วและความเร่ง โดยมีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) ซึ่งเป็น

ปริมาณทางฟิสิกส์สำคัญที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ ทั้งนี้การทดลองสำคัญเรื่องหนึ่งที่สามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุและคำนวณหาค่า g ได้ คือ การทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย (simple pendulum) โดยมีนักวิชาการและนักวิจัยจากหลายสถาบันได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายแบบใช้คอมพิวเตอร์ร่วมหลายเรื่อง เช่น ภาณุกร วัฒนจิงและวีระ บุญผุด [8] ได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายด้วยอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่แบบอินฟราเรด และ ใช้ NodeMCU ESP8266 สำหรับเชื่อมต่อและส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต โดยการแสดงผลคาบเวลาเฉลี่ยและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกที่ได้ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk โดยผลการทดลองพบว่าค่าการวัดคาบเวลาการแกว่งของลูกตุ้มจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีความแม่นยำสูงกว่าการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาของผู้เรียน นอกจากนี้ยังมี กฤษฎา สังกรณี และรัชณุ กัดมัน [9] ได้พัฒนาชุดทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายโดยใช้เซนเซอร์ฮอลล์ ตรวจวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาและนำไปคำนวณหาค่าแรงโน้มถ่วงอัตโนมัติและส่งค่าที่ได้จากการทดลองมาแสดงผลการทดลองผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองพบว่าค่าแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเพียง 0.82%

บทความวิจัยนี้เป็นรายงานผลการพัฒนาชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อหลัก โดยชุดทดลองประกอบด้วยลูกตุ้มเหล็กขนาดเล็กที่ผูกติดเชือกคาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาจะแปรตามความยาวของเชือกและใช้ Arduino board ร่วมกับอินฟราเรดเซนเซอร์ (infrared sensors) ตรวจจับการเคลื่อนที่ จากนั้นจึงส่งค่าเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาผ่าน Wi-Fi เพื่อบันทึกในกูเกิลชีต (Google sheet) ซึ่งมีโค้ด (code) สำหรับคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) โดยแสดงผลข้อมูลทั้งหมดด้วยเว็บแอปพลิเคชัน ชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีราคาถูก มีขั้นตอนการทดลองที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจเหมาะสำหรับใช้ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานทุกระดับ

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 หลักการของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

ชุดทดลองลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยมวล m ทำจากลูกตุ้มเหล็กขนาดเล็ก ผูกติดกับเชือกเบายาว L ปลายอีกด้านหนึ่งตรึงอยู่กับที่ให้เป็นจุดหมุน

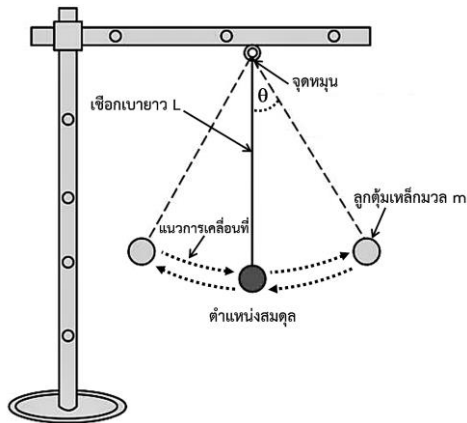
เมื่อดึงลูกตุ้มออกจากตำแหน่งสมดุลเป็นมุม θ แล้วปล่อย ลูกตุ้มจะเคลื่อนที่ไป-มารอบตำแหน่งสมดุล คาบการแกว่ง (T) ของลูกตุ้มนาฬิกา ที่มุม θ ค่าน้อย ๆ (น้อยกว่า 10 องศา) จะแปรค่าตามความยาวเชือกเบา (L) และพิกัดทางภูมิศาสตร์ของ ที่ติดตั้งชุดทดลอง ตามสมการที่ (1)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

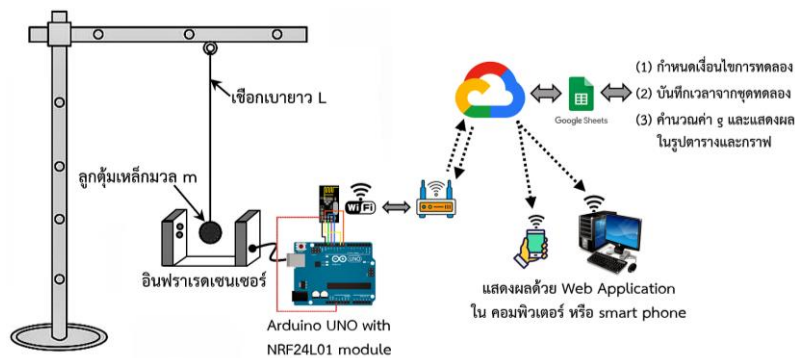
เมื่อ T คาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา (s)

L ความยาวเชือกเบา (m)

g ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (m/s^2)



รูปที่ 1 ไดอะแกรมหลักการของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย



รูปที่ 2 ผังแนวคิดของชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายที่สร้างขึ้นในงานวิจัย

2.3 การทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

การคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) การทดลอง และ (2) การคำนวณ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การทดลอง เป็นการเก็บข้อมูลคาบการแกว่งของลูกตุ้มเมื่อใช้ความยาวเชือกต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

2.2 การออกแบบและสร้างชุดทดลองลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย

ชุดทดลองลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายที่สร้างในงานวิจัยนี้มีแนวคิดดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้ลูกตุ้มเหล็กมวล m ผูกติดกับเชือกเบายาว L ปลายอีกด้านหนึ่งติดกับจุดหมุน ใช้เซนเซอร์อินฟราเรดนับจำนวนรอบการเคลื่อนที่และเวลาในการแกว่ง ซึ่งต่อกับบอร์ดอาดุยโน จากนั้นส่งข้อมูลที่ผ่านระบบ Wi-Fi ขึ้นอินเทอร์เน็ต ไปเก็บที่ Google Sheet ซึ่งจะเขียนชุดคำสั่งด้วย Google Apps Script เพื่อการกำหนดเงื่อนไขการทดลอง และใช้รับค่าจากชุดทดลองรวมถึงคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) โดยมีการแสดงผลในรูปแบบตารางและกราฟ ทั้งนี้ผู้ทดลองสามารถดูข้อมูลหรือผลการชุดทดลองได้ด้วยเว็บแอปพลิเคชันผ่านคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน

1) กำหนดค่าเริ่มต้นในการทดลองโดย ให้ความยาวเชือกของลูกตุ้มเท่ากับ 0.5 m มุมการแกว่งเท่ากับ 5° และจำนวนรอบการแกว่งเท่ากับ 20 รอบ

2) จากนั้นแกว่งลูกตุ้ม (ให้ผ่านอินฟราเรดเซนเซอร์) เมื่อลูกตุ้มแกว่งเคลื่อนที่ครบตามที่กำหนด ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งจากบอร์ดอาดุยโน ผ่านระบบ Wi-Fi ไปเก็บที่ Google Sheet

3) เปลี่ยนความยาวเชือกของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย โดยเพิ่มความยาวครึ่งละ 0.1 m แล้วทำซ้ำ ข้อ 1 และ ข้อ 2 จนความยาวเชือกเท่ากับ 0.9 m

2.3.2 การคำนวณ เป็นการคำนวณค่า g ด้วยข้อมูลที่เก็บใน Google Sheet จากชุดคำสั่งที่เขียนด้วย Google Apps Script มีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลคาบ (T) ของการแกว่งเมื่อใช้ความยาวของเชือก (L) ต่าง ๆ จากชุดทดลอง โดยคาบ คือ เวลาและจำนวนรอบการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มเหล็ก หรือ $T = \text{จำนวนรอบ/เวลา}$ และ ข้อมูลความยาวเชือก (L)

2) สมการที่ใช้คำนวณค่า g ซึ่งเขียนเป็นชุดคำสั่งด้วย Google Apps Script จากสมการที่ (1) เมื่อจัดรูปสมการเพื่อหาค่า g จะได้สมการที่ (2)

$$g = \frac{4 L \pi^2}{T^2} \quad (2)$$

ถ้า นำข้อมูลจากชุดทดลอง (ความยาวเชือก L และคาบ T) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวเชือก (L) และคาบยกกำลังสอง (T^2) จะทำให้สมการที่ (2) เปลี่ยนรูปเป็นสมการที่ (3) โดยใช้ค่าความชัน (slope) ของกราฟมาใช้ในการคำนวณค่า g ตามสมการที่ (3)

$$g = \frac{4 \pi^2}{\text{slope}} \quad (3)$$

จากนั้นนำค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับค่า g จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งได้แก่

1. ค่า g ที่ได้จากชุดทดลองปกติ
2. ค่า g ทางทฤษฎี (9.81 m/s^2)
3. ค่า g จากสถาบันมาตรวิทยา (9.7829 m/s^2) [10]
4. ค่า g จาก เว็บไซต์ SensorsONE (9.7832 m/s^2) [11]

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะของชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ชุดทดลองเรื่องลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายที่ออกแบบสร้างในงานวิจัยนี้ ในส่วนของชุดลูกตุ้มนาฬิกาใช้ขาตั้งแบบสามขา ขนาดความสูง 0.16 m สำหรับใช้ยึดชุดลูกตุ้มนาฬิกาที่ทำจากลูกตุ้มเหล็กขนาดเล็กที่ตรึงติดกับจุดหมุนด้วยเชือกยาวมวลเบาที่สามารถปรับขนาดความยาวได้ในช่วง 0.3–1.0 m และติดตั้งแผ่นบอกมุมที่ทำจากพลาสติกไว้บริเวณใกล้จุดหมุน

บนขาตั้งแบบสามขา (สำหรับกำหนดมุมของการแกว่งลูกตุ้ม) ในส่วนของชุดตรวจจับการเคลื่อนที่เพื่อจับเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกาใช้อินฟราเรดเซนเซอร์เป็นตัวตรวจจับรอบการเคลื่อนที่ ส่วนนี้ประกอบด้วย LED ชนิดอินฟราเรดเป็นตัวส่งแสงไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ที่วางไว้ตรงกันข้ามซึ่งวางห่างกันประมาณ 2.0 cm (ห่างพอให้ลูกตุ้มนาฬิกาเคลื่อนที่ผ่านได้) การทำงานส่วนนี้เริ่มจากฉายอินฟราเรดจาก LED ไปยังโฟโตทรานซิสเตอร์ สถานะนี้ศักย์ไฟฟ้าขาออกจะเท่ากับ 0 V และเมื่อลูกตุ้มเคลื่อนที่ผ่านไปตัดลำแสงจาก LED จะไม่มีแสงไปตกที่โฟโตทรานซิสเตอร์ สถานะนี้ ศักย์ไฟฟ้าขาออกของโฟโตทรานซิสเตอร์จะเท่ากับ 5 V การจับเวลาและจำนวนรอบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาในส่วนนี้จะใช้สัญญาณ (ศักย์ไฟฟ้า) จากโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มด้วยโปรแกรมที่บอร์ดอาดุยโน ก่อนส่งข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi ไปเก็บที่ Google Sheet แล้วคำนวณค่า g ซึ่งสามารถดูผลการทดลองผ่านคอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน

3.2 การทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

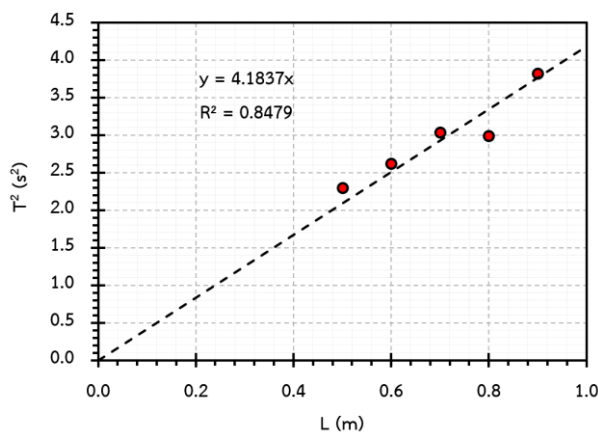
สำหรับการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการทดลองแบบปกติ (ใช้นาฬิกาจับเวลาหาคาบการแกว่ง) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยใช้เงื่อนไขในการทดลองเหมือนกันคือ กำหนดให้รอบของการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาเท่ากับ 20 รอบ และแปรค่าความยาวเชือกของลูกตุ้มนาฬิกา ตั้งแต่ 0.50 m ถึง 0.90 m โดยใช้มุมการแกว่งเท่ากับ 5° ในขั้นตอนการทดลองทุกครั้งหลังการแกว่งลูกตุ้มนาฬิกา ชุดทดลองจะส่งค่าเวลาการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มไปยัง Google Sheet ซึ่งจะคำนวณค่าคาบ (T) การแกว่งและค่าคาบยกกำลังสอง (T^2) แล้วนำไปพลอตกราฟเพื่อหาค่า g ต่อไป

จากการทดลองทั้ง 2 วิธี จะได้ค่าคาบการแกว่ง (T) การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาและค่าคาบการแกว่งยกกำลังสอง (T^2) สรุปดังตารางที่ 1 โดยพบว่าเมื่อความยาวเชือกของลูกตุ้มนาฬิกาเพิ่มขึ้นค่าคาบการแกว่งก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยในส่วนของชุดทดลองปกติ จะมีค่าคาบการแกว่งในช่วง 1.51–1.95 s ส่วนของชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าคาบการแกว่งมีค่าในช่วง 1.40–1.90 s

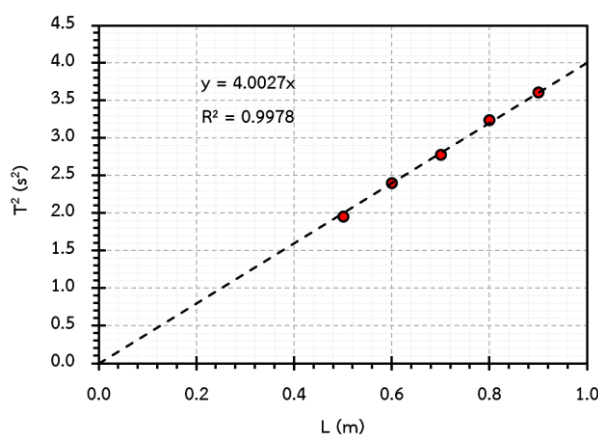
ตารางที่ 1 ค่าค่ากำลังสองจากชุดทดลองปกติและชุดทดลองที่สร้างขึ้น

ความยาวเชือก (m)	ชุดทดลองปกติ		ชุดทดลองที่สร้างขึ้น	
	T (s)	T ² (s ²)	T (s)	T ² (s ²)
0.50	1.51	2.29	1.40	1.96
0.60	1.62	2.62	1.55	2.40
0.70	1.74	3.03	1.67	2.78
0.80	1.73	2.99	1.80	3.24
0.90	1.95	3.82	1.90	3.61

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการแกว่งทั้ง 2 วิธีไปพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาบการแกว่ง (T) ของลูกตุ้มนาฬิกาและค่าคาบการแกว่งยกกำลังสอง (T²) จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 3 จากชุดทดลองปกติ ซึ่งได้ค่าความชันของกราฟเท่ากับ 4.1837 และกราฟรูปที่ 4 จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยได้ค่าความชันของกราฟเท่ากับ 4.0027



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า T² และ ค่า L ของชุดทดลองปกติ มีความชันเท่ากับ 4.1837



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า T² และ ค่า L ของชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีความชันเท่ากับ 4.0027

เมื่อนำค่าความชันของกราฟจากในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แทนค่าในสมการที่ (2) พบว่าค่า g จากชุดทดลองปกติที่ได้มีค่าเท่ากับ 9.4267 m/s² ส่วนค่า g จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่ามีค่าเท่ากับ 9.8529 m/s² สรุปดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับความคลาดเคลื่อนของค่า g ที่ได้จากชุดทดลองปกติและชุดทดลองที่สร้างขึ้นเมื่อนำไปเทียบกับ (1) ค่าทางทฤษฎี (9.8067 m/s²) (2) ค่าที่ได้จากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ณ จังหวัดกรุงเทพมหานคร (9.7829 m/s²) [10] เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ได้พัฒนาขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2 ประกอบด้วย โรงเรียนนายเรือ [11] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร [12] มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี [13] มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา [14] และมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา [15] โดยค่า g ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 9.3100 - 9.8420 m/s² (3) มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.111% - 5.831% ทั้งนี้ค่าที่ได้จากเว็บไซต์ SensorsONE [16] ซึ่งใช้ข้อมูลสถิติและความสูงของสถานที่ต้องการทราบค่า กรณีนี้ใช้พิกัดของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาที่ละติจูด 13.73 และความสูง 20 m จะได้ค่า g เท่ากับ 9.7829 m/s² โดยพบว่าค่า g ที่ได้จากชุดทดลองปกติมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.641%-3.875% ส่วนค่า g จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่าคือมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.471%-0.716% ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำกว่าชุดทดลองปกติ

ทั้งนี้จากผลการทดลองพบว่าค่า g จากชุดทดลองปกติจะมีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี (3.875%) สูงกว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้น (0.471%) ส่วนหนึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการขั้นตอนการหาค่าคาบการแกว่ง (T) การสั่นของลูกตุ้มนาฬิกาเนื่องจากการจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาด้วยระบบที่สร้างขึ้นจะให้ความแม่นยำมากกว่าการจับเวลาโดยผู้ทดลองด้วยนาฬิกาจับเวลา (พิจารณาได้จากค่า g ที่ทดลองได้) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ภาณุกร วัฒนจันและ วีระ บุญผุด [8] ซึ่งพบว่าเวลาการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายของผู้ทดลองจะคลาดเคลื่อนสูงและแม่นยำน้อยกว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยจิรายุส มณีพรหม มรีนา มะหิ และนิคม ชูศิริ [17] ได้ให้ความเห็นว่าการจับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาอาจได้ค่าที่ไม่เท่ากันเนื่องจากลูกตุ้มนาฬิกาไม่ได้แกว่งในระนาบเดิมเสมอแต่อาจมีการบิดตัว

ที่จุดหมุนทำให้เกิดการเสียพลังงานบางส่วนซึ่งส่งผลต่อการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่ได้

นอกจากนี้ค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างในงานวิจัยนี้ ยังช่วยสนับสนุนผลการศึกษาคำตรววัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ของพื้นที่ในบริเวณต่าง ๆ บนโลก เช่น Sinacore and Takai ใช้ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ในการตรวจวัดค่า g ในนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา และได้ค่า g เท่ากับ 9.774 m/s^2 [18] หรือ การศึกษาของ Khairurrijal และคณะ ซึ่งศึกษาการวัดค่า g ในประเทศอินโดนีเซียพบว่าค่า g ที่ได้มีค่าเท่ากับ $9.77 \pm 0.03 \text{ m/s}^2$ [19] หรือ การศึกษาของ Yulkifli และคณะ ซึ่งได้ศึกษาและวัดค่า g ในประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้ทั้งแบบปกติ

และแบบดิจิทัล โดยค่า g ที่ได้มีค่าเท่ากับ 9.762 m/s^2 และ 9.797 m/s^2 ตามลำดับและยังพบว่าค่า g ที่วัดได้จากวิธีปกติ และการวัดแบบดิจิทัลจะมีความถูกต้องแม่นยำที่ต่างกัน โดยการวัดแบบดิจิทัลจะมีความแม่นยำสูงและมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าวิธีปกติ [20] หรือ Pili and Violanda ได้วัดค่า g ในประเทศฟิลิปปินส์โดยใช้อัลตราโซนิคส์เซนเซอร์ต่อพ่วงกับบอร์ดอาดุยโนในการวัดค่าและพบว่าค่า g ที่ได้มีค่าเท่ากับ $9.82 \pm 0.10 \text{ m/s}^2$ [21] ผล ครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า นอกจากเครื่องมือและวิธีวัดค่า g แล้ว พิกัดหรือตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ยังมีผลต่อค่า g อีกด้วย

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับค่า g จากวิธีการและแหล่งต่าง ๆ

วิธีการหรือแหล่งข้อมูล	ค่า g (m/s^2)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%) เปรียบเทียบกับแหล่งต่าง ๆ	
		ชุดทดลองปกติ	ชุดทดลองที่สร้างขึ้น
1. ชุดทดลองปกติ	9.4267	-	-
2. ชุดทดลองที่สร้างขึ้น	9.8529	-	-
3. ค่าทางทฤษฎี	9.8067	3.875	0.471
4. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	9.7829	3.641	0.716
5. เว็บไซต์ SensorsONE	9.7832	3.644	0.712
6. โรงเรียนนายเรือ	9.3100	1.253	5.831
7. มรท. พระนคร	9.6170	1.979	2.453
8. มรภ. ราไพลร์	9.7970	3.780	0.571
9. มรภ. นครราชสีมา	9.7600	3.415	0.952
10. มรภ. สอนสุนันทา	9.8420	4.220	0.111

4.สรุป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่ายต้นทุนต่ำที่สื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านระบบ Wi-Fi ได้สำเร็จ โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานนี้ประกอบด้วย (1) ชุดลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย (2) เซนเซอร์จับการเคลื่อนที่ (3) ชุดสื่อสารไร้สาย ระบบ Wi-Fi (4) บอร์ดอาดุยโน และ (5) คอมพิวเตอร์ การใช้งานชุดทดลองเริ่มจากแกว่งลูกตุ้มนาฬิกาให้เคลื่อนที่ผ่านเซนเซอร์สำหรับการเคลื่อนที่ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับบอร์ดอาดุยโน จากนั้นส่งข้อมูลที่วัดได้ขึ้นอินเทอร์เน็ตไปเก็บไว้ที่ Google Sheet ผ่าน Wi-Fi จากนั้นคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก (g) ด้วย

Google Apps Script โดยค่า g ที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 9.8529 m/s^2 ต่างจากค่าทางทฤษฎี (9.8066 m/s^2) ประมาณ 0.471% อีกทั้งยังต่างจากค่าที่วัดโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ณ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.7829 m/s^2 ประมาณ 0.716% และต่างจากค่าจากเว็บไซต์ SensorsONE (9.7832 m/s^2) ประมาณ 0.712% เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ได้พัฒนาขึ้นในประเทศไทยในหลายพื้นที่พบว่าค่า g ใกล้เคียงกันโดยเฉพาะมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา (9.8420 m/s^2) ที่อยู่ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครเช่นกันสามารถหาค่า g จากชุดที่สร้างขึ้นมากกว่า (9.8529 m/s^2) เล็กน้อยมีความคลาดเคลื่อนเพียง

0.111% ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ความถูกต้องและมีความแม่นยำสูง ค่า g ที่ได้มีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานนี้ยังมีราคาถูก มีขั้นตอนการทดลองที่ง่ายต่อความเข้าใจ ซึ่งช่วยเสริมหรือเพิ่มแรงจูงใจให้แก่ผู้เรียนศึกษาในหัวข้อการเคลื่อนที่แบบการแกว่ง ทำให้เหมาะสำหรับใช้ในการเรียนวิชาฟิสิกส์พื้นฐานทุกระดับ นอกจากนี้ยังอาจนำชุดทดลองนี้ไปใช้ตรวจวัดค่า g ของสถานที่หรือจุดตรวจวัดพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศอีกด้วย

5.เอกสารอ้างอิง

- [1] Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M. and Hopkins, J. "Are Virtual Labs as Effective as Hands on Labs for Undergraduate Physics?. A Comparative Study at Two Major Universities". *Journal of Science Education and Technology*. 23(6): 803–814, 2014.
- [2] Sari, U., Pektaş, H. M., Çelik, H. and Kirindi, T. "The Effects of Virtual and Computer Based Real Laboratory Applications on the Attitude Motivation and Graphic Skills of University Students". *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*. 27(1): 1–17, 2019.
- [3] Khambun, A. 2018. "The Development with Projectile Experimental Set by Automatic Angle". *Advanced Science*. 18(1): 81-96. (in Thai)
- [4] Chantarank, M. and Suebkumpet, J. Development of Experimental Equipment for Observation the Freefall Action. Thesis, Rajabhat Mahasarakham University, 2018. (in Thai)
- [5] Buapratoom, S. "A Set of Gravitational Acceleration Measurement Using Simple Microcontroller, DIY Sensors and Smartphone". *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*. 10(2): 288-299, 2019. (in Thai)
- [6] David, R. S., Priscilla, W. L. and Ronald, K. T. "Real Time Physics: Active Learning Labs Transforming the Introductory Laboratory". *European Journal of Physics*. 28: S83–S94, 2007.
- [7] Amrani, D. and Paradis, P. "Use of Computer-Based Data Acquisition to Teach Physics Laboratories: Case Study-Simple Harmonic Motion". *Latin American Journal of Physics Education*. 4: 511–514, 2010.
- [8] Wattanajung, P. and Boonphud, V. "Design and Development of Time Period and Gravitational Acceleration Measurement Equipment for Simple Pendulum Oscillation Apparatus". *Journal of Science and Technology*. 5(1): 93 – 104, 2022. (in Thai)
- [9] Sangkaranee, K., and Katman, R. "The Operational Set of Simple Pendulum Equipment by Hall Sensor". In: *Proceedings of the 3th National Conference of Muban Chombueng Rajabhat University*, 1 March 2015. Ratchaburi, Thailand, 2015. (in Thai)
- [10] Pirunrom, T. and Woradech, N. 2018. "The Measurement of Gravity in Thailand and Its Importance". <https://www.nimt.or.th/main/?p=21307> (Accessed 14 February 2023). (in Thai)
- [11] Boonphud, V. "Development of an Apparatus for Determination of Gravitational Acceleration with Digital Timer with IoT AutoPlay Program on a Smartphone for Physical Laboratory, Royal Thai Naval Academy". 5(1). 158-169, 2022.
- [12] Sirathanakul, S. Development of Gravity Acceleration Measurement. Thesis, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, 2018. (in Thai)

- [13] Nuangnun, C. The Determination of Centripetal Force and the Gravitational Force by Using Conical Pendulum. Thesis, Rambhai Barni Rajabhat University, 2017. (in Thai)
- [14] Meemangkang, S. Economical Experimental Kit for Measuring the Gravitational Acceleration by Free Fall. Thesis, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, 2010. (in Thai)
- [15] Vorahan, N., Voongdee, S. and Sangwaranatee, N. "A Study Acceleration due to Gravity from Experiment Set on Simple Pendulum by PICMicrocontroller". *the 7th Academic Meeting National and International Conference of Suan Sunandha Rajaphat University*. 1(1). 2,966-2,977, 2016.
- [16] SensorsONE. 2021. Local gravity calculator, available at: <https://sensorsone.com/local-gravity-calculator/#height>. (Accessed 14 February 2023).
- [17] Muneeprom, J., Mani, M. and Chusiri, N. "Using Tracker Video Analysis Tool on Simple Pendulum Motion". In: Proceedings of the 29th National Conference of Thaksin University, 9-10 May 2019. Songkhla, Thailand, 2019. (in Thai)
- [18] Sinacore, J. and Takai, H. "Measuring g Using a Magnetic Pendulum and Telephone Pickup". *The Physics Teacher*. 48: 448-449, 2010.
- [19] Khairurrijal, K., Widiatmoko, E., Srigutomo, W. and Kurniasih, N. 2012. "Measurement of Gravitational acceleration using a computer microphone port". *Physics Education*. 47: 709-714.
- [20] Yulkifli, Y., Afandi, Z. and Yohandri, Y. "Development of Gravity Acceleration Measurement using Simple Harmonic Motion Pendulum Method Based on Digital Technology and Photogate Sensor". *Materials Science and Engineering*. 335: 1-8, 2018.
- [21] Pili, U. and Violanda, R. "Measurement of the Gravitational Acceleration using a Simple Pendulum Apparatus Ultrasonic Sensor and Arduino". *Physics Education*. 54: 1-5, 2019.