การหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกผ่านการทดลองการเคลื่อนที่แบบตกอิสระโดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox บนสมาร์ตโฟน

กนกอร คำผุย[1] และจารุณี เข็มพิลา[2*]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ และ [2]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาสารคาม 44000
[*]E-mail: jarunee.kh@rmu.ac.th

รับบทความ: 6 กันยายน 2566 แก้ไขบทความ: 6 กุมภาพันธ์ 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 5 มีนาคม 2567

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าความเร่งโน้มถ่วงที่คำนวณได้จาก 3 ชุดทดลอง คือ ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ ชุดทดลองที่ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch และชุดทดลองที่ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g* ซึ่งเป็นฟังก์ชันในแอปพลิเคชัน Phyphox บนสมาร์ตโฟน โดยทดลองปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่แบบตกอิสระที่การกระจัดมีค่าในช่วง 0.2 ถึง 0.8 เมตร และวิเคราะห์ความเร่งโน้มถ่วงโดยตรงจากสมการการเคลื่อนที่หนึ่งมิติ และคำนวณจากความชันของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการกระจัดและเวลายกกำลังสอง ผลการศึกษาพบว่า ความเร่งโน้มถ่วงที่ใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ ที่ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch และฟังก์ชัน acceleration with *g* มีค่า 9.909 9.8496 และ 9.8984 เมตร/วินาที^{2} คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.32 0.71 และ 1.21 ตามลำดับ จากการทดสอบทางสถิติพบว่า ความเร่งโน้มถ่วงเฉลี่ยที่ได้จากทั้ง 3 ชุดทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ชุดทดลองที่ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน Acoustic stopwatch สามารถทดลองได้ง่ายกว่าเหมาะสมกับระดับมัธยมศึกษา

คำสำคัญ: ความเร่งโน้มถ่วง การเคลื่อนที่หนึ่งมิติ การตกอิสระ แอปพลิเคชัน

Determining the Acceleration of Gravity through a Free–Falling Motion Experiment using Phyphox Application based on Smartphone

Kanok–on Khampui[1] and Jarunee Khempila[2*]

[1]Program of Science, Faculty of Education and [2]Program of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand

[*]E-mail: jarunee.kh@rmu.ac.th

Received: 6 September 2023 Revised: 6 February 2024 Accepted: 5 March 2024

Abstract

This research focuses on investigating and comparing the acceleration of gravity derived from three distinct experimental setups: a commercial kit, an experiment utilizing the acoustic stopwatch function, and another using the acceleration with g function available in the Phyphox smartphone application. These experiments involved dropping objects from heights within the range of 0.2 to 0.8 m. To determine the acceleration of gravity, two methods were employed: direct calculation using one–dimensional motion equation and computation based on the slope of the linear relationship between displacement and time squared. The findings revealed the acceleration of gravity obtained through three distinct methods: using a commercial experimental kit, the acoustic stopwatch function, and the acceleration with *g* function, resulting in values of 9.909, 9.8496, and 9.8984 m/s^2, respectively. These values corresponded to the percentage error of 1.32%, 0.71%, and 1.21%, respectively. When comparing these results, it became an evidence that the average acceleration of gravity obtained from all three experimental setups did not exhibit differences statistically. However, the experimental setup employing the acoustic stopwatch function is better suited for secondary school settings due to its simplicity and ease of use.

Keywords: Acceleration of gravity, One–dimensional motion, Free–falling, Application

บทนำ

การศึกษากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2561 ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายระบุว่าในส่วนของสาระฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แนวตรงได้ยกการตกของวัตถุแบบอิสระให้เป็นตัวอย่างหนึ่งของการศึกษาการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติที่มี

ความเร่งเท่ากับความเร่งโน้มถ่วงของโลก โดยความคาดหวังของการเรียนรู้สาระนี้คือ ผู้เรียนสามารถทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ (Ministry of Education, 2017) ซึ่งการทดลองวัดค่าความเร่งโน้มถ่วงในระดับชั้นมัธยมศึกษาส่วนใหญ่ในประเทศไทย ได้ใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาเป็นชุดทดลองตามแบบเรียนที่สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) พัฒนาขึ้น ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องเคาะสัญญาณเวลาจะทำการเคาะเพื่อให้เกิดจุดบนแถบกระดาษที่ติดอยู่กับถุงทรายที่เคลื่อนที่แบบตกอิสระ นำค่าระยะทางที่แถบกระดาษเคลื่อนที่และเวลาจากจุดบนแถบกระดาษมาคำนวณหาความเร็วและความเร่งของถุงทรายที่ตกแบบอิสระ การใช้ชุดทดลองนี้พบปัญหาการเคาะซ้ำ หรือเคาะข้ามแต่ละจุด มีผลทำให้การวัดช่วงเวลาการตกอิสระของวัตถุมีความคลาดเคลื่อน อีกทั้งมีแรงจากหมุดปักของเครื่องเคาะสัญญาณเวลากระทำกับแถบกระดาษทำให้ถุงทรายมิได้เคลื่อนที่ตกอิสระอย่างแท้จริง เนื่องจากนี้ยังมีแรงจากหมุดปักของเครื่องเคาะสัญญาณเวลากระทำ ปัจจัยเหล่านี้มีผลให้การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีความคลาดเคลื่อน

ปัจจุบันอุปกรณ์การเรียนการสอนได้รับการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ ทำให้มีการนำระบบบันทึกข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ (data logger) ร่วมกับโฟโตเกต (photo gate) มาใช้ในการตรวจวัดและบันทึกเวลา ส่งผลให้การทดลองเพื่อหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีความแม่นยำค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามชุดทดลองดังกล่าว มีราคาสูง ทำให้บางโรงเรียนไม่สามารถจัดหาชุดทดลองดังกล่าวมาใช้งานได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ จึงประสบปัญหาการขาดแคลนชุดทดลองที่ใช้เพื่อส่งเสริมและฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานอย่างทั่วถึง นอกจากปัจจัยด้านงบประมาณที่โรงเรียนได้รับการจัดสรรแล้ว แม้กระทั่งสื่อการสอนที่ได้ยังไม่ตรงตามความต้องการของผู้สอนอีกด้วย (Jaruekthiti, 2018) ดังนั้นจึงมีการศึกษาและสร้างชุดอุปกรณ์วิทยาศาสตร์อย่างง่ายที่สามารถใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาซื้อได้ภายในประเทศ เช่น การใช้โฟโตเกตซึ่งเป็นระบบตรวจจับโดยใช้แสงเข้ามาช่วยในการวัดเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุและคำนวณความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้ 9.64 เมตรต่อวินาที^{2} คิดเป็นความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.41 (Suwanpayak *et al*., 2018) และพบการพัฒนาเครื่องมือวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ระบบประมวลผลความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วยคอมพิวเตอร์และโปรแกรม Measurement ร่วมกับชุดอินเตอร์เฟส Cobra3 Timer และอุปกรณ์ชุดเซนเซอร์แสง ผลการคำนวณพบว่า ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.617 เมตรต่อวินาที^{2} คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.697 (Sirathanakul, 2018) การพัฒนาชุดทดลองการตกอิสระโดยเขียนชุดคำสั่งควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์จับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุในช่วงการกระจัดที่กำหนดพบว่า ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.836 เมตรต่อวินาที^{2} คิดเป็นความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.265 (Chantarank and Suebkumpet, 2018) นอกจากนี้ยังพบการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับเวลาตกของวัตถุแบบตรวจจับการสั่นสะเทือนและตัวตรวจวัดความสูงของวัตถุแบบอัลตราโซนิกส์ (ultrasonics) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมเพื่อวัดค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกซึ่งคำนวณค่าได้เท่ากับ 9.522 เมตรต่อวินาที^{2} โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน

ร้อยละ 2.68 (Boonphud and Paenyoorat, 2021) และการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO มาใช้ในการควบคุมการรับและส่งค่าต่าง ๆ เพื่อกำหนดการเริ่มและหยุดเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ โดยเวลาที่วัดได้จะถูกส่งผ่านสัญญาณบลูทูธ (bluetooth) เพื่อแสดงค่าบนสมาร์ตโฟน พบว่าได้ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 10.1302 เมตรต่อวินาที^{2} โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 3.55 (Buaprathoom, 2019) นอกจากนี้ยังพบการศึกษาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกโดยวัดค่าเวลาด้วยตัวตรวจวัดเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric) และค่าการกระจัดด้วยตัวตรวจวัดอัลตราโซนิกส์ร่วมกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บนบอร์ด Arduino Mega2560 R3 โดยควบคุมและแสดงผลอัตโนมัติบนจอภาพชนิดสัมผัส พบว่าได้ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกคือ 9.310 เมตร/วินาที^{2} มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.83 (Boonphud, 2022)

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น การศึกษาและพัฒนาชุดอุปกรณ์เพื่อใช้ทดลองและคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกล้วนอาศัยองค์ความรู้ด้านวงจรและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อีกทั้งการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงาน โดยมุ่งหมายให้ค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรงแม่นยำและคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปสร้างเป็นชุดอุปกรณ์ใช้ในห้องปฏิบัติการระดับอุดมศึกษาเนื่องจากมีความพร้อมทั้งบุคลากรและงบประมาณในการจัดซื้อและซ่อมบำรุง เมื่อพิจารณาถึงเป้าประสงค์ของการนำเสนอแนวคิดเพื่อออกแบบกระบวนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่โรงเรียนสามารถจัดหาได้เอง จะได้เห็นว่าการเรียนรู้ไม่จำเป็นต้องใช้สื่ออุปกรณ์ที่มีราคาสูง แต่สามารถเรียนรู้จากสิ่งที่มีอยู่รอบตัวได้ ในปัจจุบันถึงแม้โรงเรียนขนาดกลางค่อนข้างขาดความพร้อมด้านอุปกรณ์วิทยาศาสตร์พื้นฐาน แต่นักเรียนส่วนใหญ่มีสมาร์ตโฟน (smartphone) ดังนั้นการคิดและออกแบบให้มีการนำสมาร์ตโฟนมาเป็นหนึ่งในอุปกรณ์เสริมการเรียนรู้ (learning partner) สำหรับจัดการเรียนการสอนและใช้ในการทดลองต่าง ๆ เพื่อทดแทนอุปกรณ์การทดลองทางวิทยาศาสตร์บางอย่างจะช่วยให้ผู้เรียนมีความสุขและสนุกกับการใช้อุปกรณ์เหล่านั้นในการเรียนรู้ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้เรียนในยุคที่เทคโนโลยีสารสนเทศมีบทบาทกับการดำเนินชีวิตในปัจจุบันเป็นอย่างมาก ซึ่งพบการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเข้ามาช่วยในการทดลอง เช่น การศึกษาปรากฏการณ์เสียง (Nuryantini *et. al*, 2023) การทดลองเพื่อหาค่าความเร็วเสียง (Hellesund, 2019) การเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม (Pierratos and Polatoglou, 2018)

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดประยุกต์ใช้แอปพลิเคชัน Phyphox บนสมาร์ตโฟนที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีเข้ามาช่วยในการวัดช่วงเวลาในการเคลื่อนที่แบบตกอิสระของวัตถุเพื่อนำไปคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากชุดทดลองมาตรฐานและจากผลการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมาตรฐานโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Priruenrom and Woradech, 2018) ซึ่งชุดทดลองอย่างง่ายนี้ผู้สอนสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้โดยอาศัยเพียงสมาร์ตโฟนและอุปกรณ์เครื่องเขียน จึงช่วยลดช่องว่างของความเหลื่อมล้ำทางการศึกษาเนื่องจากผู้เรียนในโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์สามารถทำการทดลองแบบเดียว

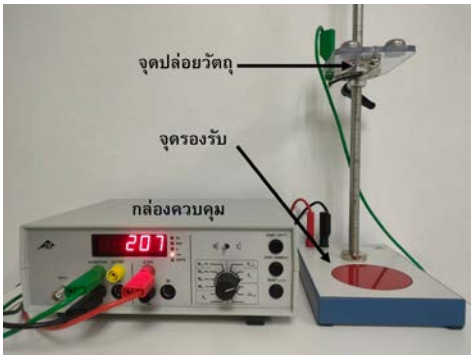
กันได้ อีกทั้งสามารถทำการทดลองได้เองอย่างปลอดภัยด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน โดยไม่จำเป็นต้องใช้ชุดทดลองที่นำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งแต่ละชุดทดลองมีราคาสูง และอีกทั้งไม่ต้องอาศัยความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในการสร้างชุดทดลอง

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองการตกอิสระของวัตถุเพื่อคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ตอนคือ ตอนที่ 1 ศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ ตอนที่ 2 ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch และตอนที่ 3 ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g* ในแอปพลิเคชัน Phyphox บนสมาร์ตโฟน และเปรียบเทียบความเร่งโน้มถ่วงกับค่ามาตรฐาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์

ชุดทดลองการตกอิสระเชิงพาณิชย์แสดงดังภาพที่ 1 วิธีการทดลองเริ่มต้นจากการปรับระดับความสูงของจุดปล่อยวัตถุซึ่งคือ การกระจัดของการเคลื่อนที่ ในการศึกษานี้ใช้ลูกเหล็กทรงกลมเป็นวัตถุ แล้วทำการปรับฟังก์ชันตรวจจับเวลาที่แผงของกล่องควบคุมให้อยู่ในหน่วยมิลลิวินาที เพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองที่ปล่อยวัตถุให้ตกอิสระที่ขนาดของการกระจัดมีค่าน้อยจึงใช้เวลาสั้นในการตกถึงพื้น หลังจากนั้นกดปุ่มเริ่ม (start) บนแผงควบคุมเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่ตำแหน่งปล่อยลูกเหล็กซึ่งเมื่อนำลูกเหล็กไปติดที่ตำแหน่งปล่อยวัตถุจะทำให้วงจรไฟฟ้าครบวงจร โดยลูกเหล็กยึดติดที่ตำแหน่งนี้ได้ด้วยแรงแม่เหล็ก ทำการปล่อยลูกเหล็กโดยกดที่คันโยกเพื่อปล่อยลูกเหล็กให้หลุดจากจุดปล่อย เมื่อลูกเหล็ก



ภาพที่ 1 ชุดทดลองการตกอิสระเชิงพาณิชย์

ตกจากจุดปล่อย ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในกล่องควบคุมจะตรวจพบการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่ไม่ครบวงจร นั่นคือเป็นสัญญาณเพื่อสั่งงานให้วงจรนาฬิกาจับเวลาบนไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มจับเวลาทันที กระทั่งลูกเหล็กตกถึงพื้นรองรับซึ่งด้านล่างของจุดนี้จะใช้กลไกตัวตรวจจับเวลาแบบเพียโซอิเล็กทริกซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแรงกลต่าง ๆ เช่น แรงดัน ความเร่ง การสั่น แรงเครียด แรงกระทำอื่น ๆ โดยเปลี่ยนพลังงานกลต่าง ๆ เหล่านี้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อลูกเหล็กตกกระทบจุดรองรับจะเกิดแรงกดลงที่ตัวตรวจจับนี้ทำให้เกิดการส่งสัญญาณไฟฟ้าควบคุมการหยุดวงจรนาฬิกาจับเวลา บันทึกค่าเวลาที่ลูกเหล็กใช้ในการเคลื่อนที่ (มิลลิวินาที) ที่แสดงบนแผงควบคุม และการกระจัด (เมตร) เนื่องจากชุดการทดลองควบคุมการทำงานด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงมีความแม่นยำในการตรวจจับเวลา ดังนั้นจึงทดลองซ้ำ 5 ครั้ง แล้วเปลี่ยนการกระจัดเป็น 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 และ 0.8 เมตร ตามลำดับ

นำข้อมูลการกระจัดและเวลาในการเคลื่อนที่จากการทดลองมาคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงตามสมการที่ (1) ซึ่งเป็นสมการคำนวณการเคลื่อนที่หนึ่งมิติ เมื่อปรับรูปสมการจะได้

สมการใหม่ดังสมการที่ (2) ซึ่งพจน์ด้านซ้ายของเครื่องหมายเท่ากับคือ “ค่าการกระจัด” ซึ่งหมายถึงความสูงที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่จากจุดปล่อยจนกระทั่งถึงพื้น เนื่องจากเป็นการเคลื่อนที่แบบตกอิสระ ดังนั้นความเร็วต้นของวัตถุจึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสมการที่ (2) จึงลดรูปได้เป็นดังสมการที่ (3) เมื่อแทนค่าพจน์ $\vec{s}(t)-\vec{s}_0$ ในสมการที่ (3) ด้วยค่าการกระจัดที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ถึงพื้น และแทนค่า $t-t_0$ ด้วยระยะเวลาที่วัตถุตกถึงพื้น จะสามารถคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงได้

$$\vec{s}(t)=\vec{s}_0+\vec{v}_{0y}(t-t_0)+\frac{1}{2}g(t-t_0)^2 \quad \text{- - - (1)}$$

$$\vec{s}(t)-\vec{s}_0=\vec{v}_{0y}(t-t_0)+\frac{1}{2}g(t-t_0)^2 \quad \text{- - - (2)}$$

$$\vec{s}(t)-\vec{s}_0=\frac{1}{2}g(t-t_0)^2 \quad \text{- - - - (3)}$$

เมื่อ $\vec{s}(t)$ = ตำแหน่งของวัตถุที่เวลาใด ๆ (เมตร)

$\vec{s}_0$ = ตำแหน่งของวัตถุที่เวลาเริ่มต้น (เมตร)

$\vec{v}_{0y}$ = ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุในแนวแกน y (เมตรต่อวินาที)

t_0 = เวลาเริ่มต้นที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ (วินาที)

t = เวลาสุดท้ายที่วัตถุเคลื่อนที่ตกถึงพื้น (วินาที)

นอกจากการคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงโดยใช้สมการที่ (3) แล้ว ยังสามารถคำนวณได้จากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\vec{s}(t)-\vec{s}_0$ และ $(t-t_0)^2$ ซึ่งแนวโน้มของกราฟเป็นเชิงเส้น เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (3) กับสมการรูปแบบมาตรฐานของเส้นตรงที่เขียนอยู่ในรูป $y=mx+c$ จะได้ความชันของเส้นกราฟซึ่งคือค่า m เท่ากับ $0.5g$ และ c คือจุดตัดบนแกน y ซึ่งในกรณีนี้มีค่าเท่ากับศูนย์

นำค่าความเร่งโน้มถ่วงที่ได้จากการคำนวณดังสมการที่ (3) และจากการคำนวณโดยใช้ค่าความชันของกราฟเชิงเส้น เปรียบเทียบกับผลการวัดค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐาน โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ดังในตาราง 1 เพื่อวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนของการทดลองโดยอ้างอิงค่าความเร่งโน้มถ่วง ณ จังหวัดอุดรธานี เนื่องจากเป็นตำแหน่งตรวจวัดที่ใกล้กับสถานที่ทดลองมากที่สุด

ตาราง 1 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย

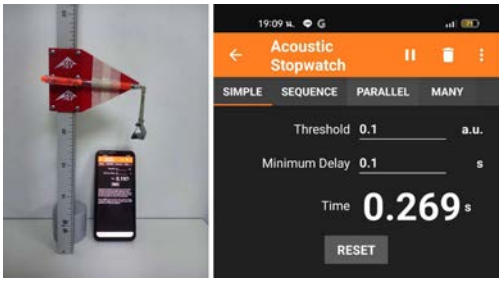
สถานที่	ค่าความเร่งที่ตรวจวัดได้ (เมตรต่อวินาที^{2})	ค่าความไม่แน่นอน ($\times10^{-7}$ เมตรต่อวินาที^{2})
กรุงเทพฯ มว. (พระราม 6)	9.782970341	9.00
ปทุมธานี มว. (คลอง 5)	9.783124318	1.77
เชียงใหม่	9.784261950	0.39
อุดรธานี	9.784156709	2.59
อุบลราชธานี	9.783228319	0.81
ชุมพร	9.781987957	0.90
สงขลา	9.781205686	2.68

ที่มา: Priruenrom and Woradech, 2018

ตอนที่ 2 ศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch

Acoustic stopwatch เป็นฟังก์ชันหนึ่งในแอปพลิเคชัน Phyphox ที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีทั้งในระบบแอนดรอยด์ (Android) และไอโอเอส (iOS) ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัย RWTH Aachen University ประเทศเยอรมัน ฟังก์ชัน acoustic stopwatch เป็นฟังก์ชันที่ใช้ตรวจจับช่วงเวลาโดยใช้เสียงเป็นสัญญาณเริ่มต้นและหยุดเวลา จึงสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจจับช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ซึ่งคือ การตกอิสระของลูกเหล็กจากจุดปล่อยจนกระทบพื้นได้ โดยออก-

แบบชุดการทดลองให้เกิดเสียงดังครั้งที่หนึ่งเป็นสัญญาณเริ่มจับเวลา และเมื่อลูกเหล็กตกกระทบพื้นจะทำให้เกิดเสียงดังครั้งที่สองเป็นสัญญาณให้หยุดเวลา ทำให้ทราบช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเป็นอุปกรณ์เครื่องเขียนเพียง 2 ชนิด ได้แก่ ปากกาลูกลื่นแบบกด และคลิปหนีบกระดาษ ดังในภาพที่ 2 วิธีการทดลองเริ่มต้นจากนำปากกายึดติดเข้ากับตัวเลื่อนที่สามารถเลื่อนขึ้นและลงตามสเกลไม้บรรทัดได้ กดที่หัวปากกาและนำคลิปหนีบกระดาษไปแขวนไว้ที่ไส้ปากกาที่ยื่นออกจากปลอกปากกา เลื่อนปากกาขึ้นหรือลงให้ขอบล่างของคลิปสูงจากพื้น 0.2 เมตร กดปุ่ม Play ในฟังก์ชัน acoustic stopwatch ที่ติดตั้งในสมาร์ตโฟน แล้วกดปุ่มที่ปากกาเพื่อปล่อยให้ไส้ปากกาดีดตัวกลับและเกิดเสียงดังจากที่ไส้ปากกาดีดตัวกระทบปลอกปากกา ฟังก์ชันตรวจวัดเวลาจะเริ่มทำงานจากเสียงดังครั้งแรกนี้ เมื่อคลิปหนีบกระดาษตกถึงพื้นและกระทบพื้นเกิดเสียงดังครั้งที่สอง ส่งผลทำให้ฟังก์ชันตรวจวัดเวลาหยุดทำงาน ดังตัวอย่างผลการตรวจวัดเวลาจากแอปพลิเคชันในภาพที่ 2 บันทึกค่าเวลาที่คลิปใช้ในการเคลื่อนที่และการกระจัด เนื่องจากผลการตรวจวัดเวลาด้วยฟังก์ชัน acoustic stopwatch มีความไม่เที่ยงตรง (precision) จึงทดลองซ้ำ 15 ครั้ง แล้วจึงเปลี่ยนความสูงเป็น 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 และ 0.8 เมตร ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงตามสมการที่ (3) และคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงจากความชันของเส้นกราฟดังเช่นการคำนวณในการศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ พร้อมทั้งวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐาน ณ ตำแหน่งจังหวัดอุดรธานี



ภาพที่ 2 ชุดทดลองการตกอิสระโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch

ตอนที่ 3 ศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g*

Acceleration with *g* เป็นฟังก์ชันหนึ่งในแอปพลิเคชัน Phyphox ที่ใช้ตรวจวัดความเร่งของวัตถุ โดยเซนเซอร์ในสมาร์ตโฟนจะวัดแรงที่กระทำต่อมวล รวมถึงแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นขณะที่สมาร์ตโฟนอยู่นิ่ง เซนเซอร์นี้จะรายงานผลความเร่งของวัตถุเป็นความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่ 9.81 เมตรต่อวินาที^{2} ในทางตรงกันข้าม เมื่อสมาร์ตโฟนเกิดการเคลื่อนที่แบบตกอิสระ สมาร์ตโฟนจะรายงานค่าความเร่งสัมพัทธ์ของวัตถุเป็นศูนย์เมื่อสมาร์ตโฟนหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จึงสามารถใช้ฟังก์ชันนี้ในการตรวจจับช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่แบบตกอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกได้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ไม้เมตร และสมาร์ตโฟน โดยใช้สมาร์ตโฟน เป็นวัตถุที่ใช้ทดลองการตกอิสระ วิธีการทดลองเริ่มต้นจากใช้มือจับสมาร์ตโฟนให้วางตัวในแนวดิ่ง วัดขอบล่างของสมาร์ตโฟนให้สูงจากพื้น 0.2 เมตร กดปุ่ม Play ในฟังก์ชัน acceleration with *g* แล้วปล่อยมือให้สมาร์ตโฟนตกกระทบพื้นที่มีวัสดุรองรับป้องกันความเสียหาย กดปุ่ม stop ในแอปพลิเคชัน หลังจากนั้นใช้ฟังก์ชัน Export data เพื่อส่งออกข้อมูลการทด-

ลองในรูปแบบไฟล์ .xls ซึ่งสามารถใช้โปรแกรม MS Excel เปิดไฟล์ข้อมูลการทดลองและคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงได้ เนื่องจากผลการตรวจวัดเวลาด้วยฟังก์ชัน acceleration with *g* อาจสร้างความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้กับสมาร์ตโฟนจากการกระทบกับพื้น จึงทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วจึงเปลี่ยนความสูงเป็น 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 และ 0.8 เมตร ตามลำดับ นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟแล้วคำนวณช่วงเวลาที่วัตถุตกอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยพิจารณาจากช่วงกราฟที่ความเร่งสัมพัทธ์ของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ดังในภาพที่ 3 นำค่าช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่และการกระจัด แทนในสมการที่ (3) เพื่อคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงพร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐาน ณ ตำแหน่งจังหวัดอุดรธานี

ภาพที่ 3 ชุดทดลองการตกอิสระโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g*

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยของความเร่งโน้มถ่วงที่ระดับความสูงต่างๆ จะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองด้วยวิธี DMRT ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์

ตาราง 1 แสดงระยะเวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่แบบตกอิสระที่ขนาดการกระจัด 0.2 ถึง 0.8 เมตร โดยใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ พบว่า ระยะเวลาเฉลี่ยที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.200 ถึง 0.402 วินาที ซึ่งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าเป็น 0.00 เมื่อนำค่าเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่แบบตกอิสระไปคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงโดยใช้สมการที่ (3) ที่การกระจัด 0.2 ถึง 0.8 เมตร พบว่ามีค่าในช่วง 9.889 ถึง 10.020 เมตรต่อวินาที^{2} และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐาน ณ ตำแหน่งจังหวัดอุดรธานี (9.784156709 เมตรต่อวินาที^{2}) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.11 ถึง 2.46 ดังในตาราง 2 จากการพิจารณาทางสถิติพบว่า ค่าความเร่งโน้มถ่วงเฉลี่ยที่การกระจัด 0.2 ถึง 0.3 เมตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความเร่งโน้มถ่วงเฉลี่ยที่การกระจัด 0.4 ถึง 0.8 เมตร อีกทั้งที่การกระจัด 0.2 ถึง 0.3 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.21 ถึง 2.46 ซึ่งสูงกว่าความคลาดเคลื่อนในช่วงการกระจัด 0.4 ถึง 0.8 เมตร ที่มีค่าลดลงเป็นร้อยละ 1.11 ถึง 1.41 กล่าวได้ว่า การกระจัดที่เหมาะสมในการทดลองศึกษาการตกอิสระของวัตถุที่ใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.4 เมตร อาจเนื่องมาจากการตกที่ระดับต่ำทำให้เกิดแรงกระแทกที่เพียโซอิเล็กทริกในขนาดที่ไม่มากนัก

ตาราง 1 ระยะเวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่แบบตกอิสระเมื่อใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์

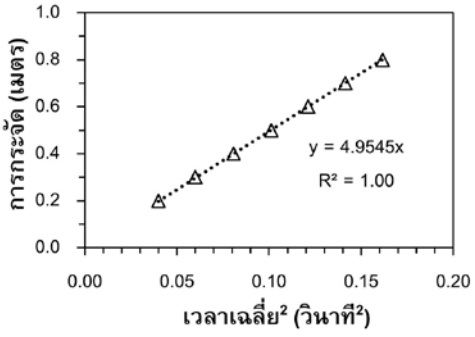
การทดลองซ้ำ	การกระจัด (เมตร)						
ครั้งที่	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**
1	0.199	0.245	0.284	0.318	0.349	0.376	0.402
2	0.200	0.245	0.284	0.318	0.348	0.376	0.402
3	0.200	0.245	0.284	0.318	0.347	0.376	0.402
4	0.200	0.245	0.284	0.318	0.348	0.376	0.402
5	0.200	0.245	0.284	0.318	0.348	0.376	0.402
ค่าเฉลี่ย	**0.200**	**0.245**	**0.284**	**0.318**	**0.348**	**0.376**	**0.402**
SD	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

ตาราง 2 ค่าความเร่งโน้มถ่วงที่คำนวณได้จากการทดลองตกอิสระเมื่อใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์

การทดลองซ้ำ	การกระจัด (เมตร)						
ครั้งที่	**0.2**	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**
1	10.101	9.996	9.919	9.889	9.852	9.903	9.901
2	10.000	9.996	9.919	9.889	9.909	9.903	9.901
3	10.000	9.996	9.919	9.889	9.966	9.903	9.901
4	10.000	9.996	9.919	9.889	9.909	9.903	9.901
5	10.000	9.996	9.919	9.889	9.909	9.903	9.901
ค่าเฉลี่ย	**10.020**[a]	**9.996**[a]	**9.919**[b]	**9.889**[b]	**9.909**[b]	**9.903**[b]	**9.901**[b]
SD	**0.045**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.040**	**0.000**	**0.000**
%Error	**2.46**	**2.21**	**1.42**	**1.11**	**1.32**	**1.25**	**1.23**

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำค่าระยะเวลาเฉลี่ยที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มายกกำลังสองแล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์กับการกระจัดดังในภาพที่ 4 พบความสัมพันธ์เชิงเส้นของชุดข้อมูลตามสมการ y = 4.9545x โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 1.00 และค่าความชันของกราฟคือ 4.9545 คำนวณความเร่งโน้มถ่วงจากความชันของกราฟตามสมการความสัมพันธ์ ความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับสองคูณค่าความชันพบว่า ได้ค่าความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับ 9.909 เมตรต่อวินาที^{2} คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.32



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดและกำลังสองของเวลาเมื่อใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์

ผลการศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch

ตาราง 3 แสดงระยะเวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่แบบตกอิสระที่ขนาดการกระจัด 0.2 ถึง 0.8 เมตร โดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch ในแอปพลิเคชัน Phyphox พบว่า ระยะเวลาเฉลี่ยที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.199 ถึง 0.405 วินาที ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าเป็น 0.00 เมื่อนำค่าเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่แบบตกอิสระไปคำนวณความเร่งโน้มถ่วงที่ระดับความสูง 0.2 ถึง 0.8 เมตร พบว่ามีค่าในช่วง 9.771 ถึง 10.135 เมตรต่อวินาที^{2} และเมื่อเทียบกับค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐาน ณ ตำแหน่งจังหวัดอุดรธานี พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.01 ถึง 3.63 ดังในตาราง 4

ตาราง 3 ระยะเวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่แบบตกอิสระซึ่งตรวจวัดโดยฟังก์ชัน acoustic stopwatch

การทดลองซ้ำ ครั้งที่	การกระจัด (เมตร)						
	0.2	**0.3**	**0.4**	**0.5**	**0.6**	**0.7**	**0.8**
1	0.197	0.247	0.282	0.318	0.349	0.379	0.404
2	0.198	0.246	0.283	0.320	0.349	0.378	0.404
3	0.200	0.245	0.284	0.319	0.348	0.375	0.406
4	0.200	0.244	0.282	0.320	0.347	0.378	0.405
5	0.199	0.245	0.282	0.319	0.349	0.380	0.406
6	0.199	0.245	0.284	0.319	0.346	0.379	0.404
7	0.199	0.245	0.282	0.319	0.350	0.378	0.404
8	0.198	0.246	0.284	0.318	0.346	0.378	0.405
9	0.199	0.243	0.283	0.318	0.347	0.379	0.405
10	0.198	0.247	0.284	0.319	0.347	0.378	0.404
11	0.199	0.246	0.283	0.318	0.348	0.380	0.404
12	0.198	0.249	0.282	0.319	0.348	0.378	0.405
13	0.198	0.247	0.283	0.310	0.346	0.378	0.402
14	0.199	0.245	0.282	0.310	0.348	0.379	0.406
15	0.199	0.244	0.285	0.317	0.347	0.378	0.406
ค่าเฉลี่ย	**0.199**	**0.246**	**0.283**	**0.318**	**0.348**	**0.378**	**0.405**
SD	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

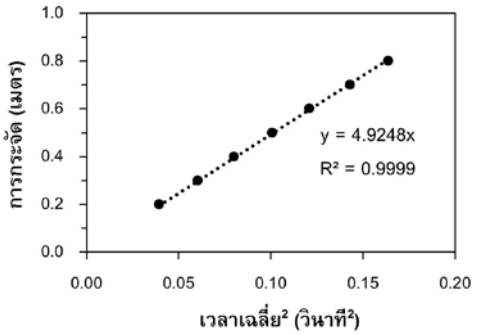
จากการพิจารณาทางสถิติพบว่าค่าความเร่งโน้มถ่วงเฉลี่ยที่การกระจัด 0.2 เมตร มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับค่าความเร่งโน้มถ่วงเฉลี่ยที่การกระจัด 0.3 ถึง 0.8 เมตร อีกทั้งที่การกระจัด 0.2 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 3.63 ซึ่งสูงกว่าความคลาดเคลื่อนในช่วงการกระจัด 0.3 ถึง 0.8 เมตร ที่มีค่าลดลงเป็นร้อยละ 0.01 ถึง 2.14 กล่าวได้ว่า การกระจัดที่เหมาะสมในการทดลองศึกษาการตกอิสระของวัตถุที่ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Boonphud (2022) ซึ่งได้เสนอให้ระยะปล่อยตกของวัตถุควรสูงไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน

ตาราง 4 ค่าความเร่งโน้มถ่วงที่คำนวณได้จากการใช้ประยุกต์ฟังก์ชัน Acoustic stopwatch

การทดลองซ้ำ	การกระจัด (เมตร)						
ครั้งที่	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
1	10.307	9.835	10.060	9.889	9.852	9.747	9.803
2	10.203	9.915	9.989	9.766	9.852	9.798	9.803
3	10.000	9.996	9.919	9.827	9.909	9.956	9.707
4	10.000	10.078	10.060	9.766	9.966	9.798	9.755
5	10.101	9.996	10.060	9.827	9.852	9.695	9.707
6	10.101	9.996	9.919	9.827	10.024	9.747	9.803
7	10.101	9.996	10.060	9.827	9.796	9.798	9.803
8	10.203	9.915	9.919	9.889	10.024	9.798	9.755
9	10.101	10.161	9.989	9.889	9.966	9.747	9.755
10	10.203	9.835	9.919	9.827	9.966	9.798	9.803
11	10.101	9.915	9.989	9.889	9.909	9.695	9.803
12	10.203	9.677	10.060	9.827	9.909	9.798	9.755
13	10.203	9.835	9.989	10.406	10.024	9.798	9.901
14	10.101	9.996	10.060	10.406	9.909	9.747	9.707
15	10.101	10.078	9.849	9.951	9.966	9.798	9.707
ค่าเฉลี่ย	**10.135**[a]	**9.948**[b]	**9.989**[b]	**9.921**[b]	**9.928**[b]	**9.781**[c]	**9.771**[c]
SD	**0.083**	**0.121**	**0.070**	**0.203**	**0.070**	**0.061**	**0.054**
%Error	**3.63**	**1.72**	**2.14**	**1.44**	**1.52**	**0.01**	**0.09**

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำค่าระยะเวลาเฉลี่ยที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มายกกำลังสองแล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์กับการกระจัดดังในภาพที่ 5 พบความสัมพันธ์เชิงเส้นของชุดข้อมูลตามสมการ y = 4.9248x โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9999 ความชันของกราฟเท่ากับ 4.9248 นำไปคำนวณความเร่งโน้มถ่วงจากความสัมพันธ์ ความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับสองคูณค่าความชัน พบว่าได้ค่าความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับ 9.8496 m/s^2 คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.71

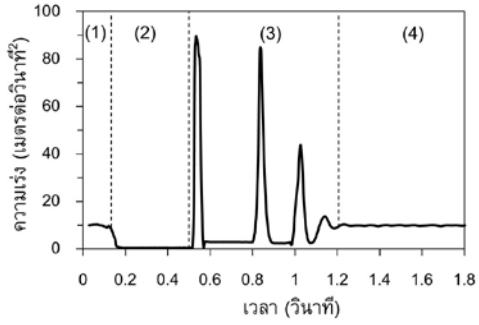


ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดและกำลังสองของเวลาเมื่อใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch

ผลศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน Acceleration with *g*

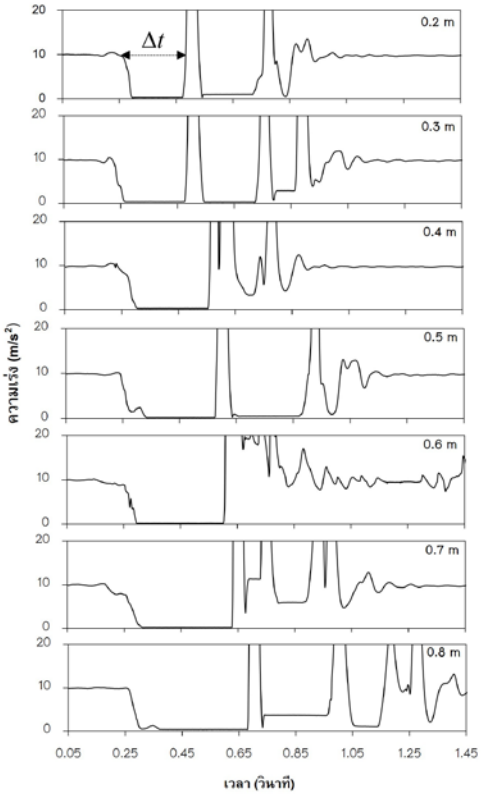
ความเร่งขณะที่วัตถุเคลื่อนที่แบบตกอิสระที่ระดับความสูง 0.2 ถึง 0.8 เมตร ซึ่งตรวจวัดได้จากการประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g* ดังในภาพที่ 6 สามารถแบ่งการเคลื่อนที่

เป็น 4 ช่วง ตามการพิจารณาค่าความเร่ง ช่วงที่ 1 มีค่าความเร่งคงตัวประมาณ 10 เมตรต่อวินาที^{2} เนื่องจากเป็นช่วงที่วัตถุยังไม่ถูกปล่อย (วัตถุอยู่นิ่ง) ช่วงที่ 2 มีค่าความเร่งคงตัวประมาณ 0 เมตรต่อวินาที^{2} เนื่องจากเป็นความเร่งสัมพัทธ์กับความเร่งโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นฟังก์ชันการแสดงผลจึงแสดงเส้นกราฟทับกับแกน x ช่วงที่ 3 พบว่าเส้นกราฟมีความผันผวนอย่างมาก เนื่องจากเป็นช่วงที่วัตถุตกถึงพื้นและกระทบพื้นรองรับจึงทำให้เกิดการกระดอนขึ้นและลงก่อนที่จะอยู่นิ่ง และช่วงที่ 4 มีค่าความเร่งคงตัวประมาณ 10 เมตรต่อวินาที^{2} เนื่องจากเป็นช่วงที่วัตถุอยู่นิ่งอีกครั้งบนพื้นรองรับ เมื่อนำกราฟการตกอิสระของวัตถุโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g* ที่ระดับความสูง 0.2 ถึง 0.8 เมตร มาเปรียบเทียบกันดังในภาพที่ 7 จะพบว่า ระยะเวลาเฉลี่ยที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (Δt) มีค่ามากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของการกระจัด



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบตกอิสระของสมาร์ตโฟนที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร

ระยะเวลาเฉลี่ยที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่แบบตกอิสระจากการประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g* ในแอปพลิเคชัน Phyphox ที่ระดับความสูง 0.2 ถึง 0.8 เมตร พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.202 ถึง 0.405 วินาที โดยส่วนเบี่ยงเบนมาตร-



ภาพที่ 7 กราฟความเร่งของสมาร์ตโฟนที่เคลื่อนที่ตกอิสระที่ขนาดการกระจัด 0.2 ถึง 0.8 เมตร

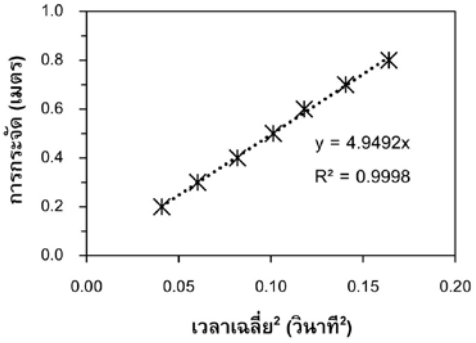
ฐานของทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าในช่วง 0.09 ถึง 0.35 ดังในตาราง 5 เมื่อนำค่าเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่แบบตกอิสระไปคำนวณความเร่งโน้มถ่วงที่ระดับความสูง 0.2 ถึง 0.8 เมตร พบว่ามีค่าในช่วง 9.756 ถึง 10.161 เมตรต่อวินาที^{2} และเมื่อเทียบกับค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐาน ณ ตำแหน่งจังหวัดอุดรราชธานี พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.21 ถึง 3.90 ดังในตาราง 5 นำค่าระยะเวลาเฉลี่ยที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มายกกำลังสองแล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์กับการกระจัดดังในภาพที่ 8 พบความสัมพันธ์เชิงเส้นของชุดข้อมูลตามสมการ y = 4.9492x โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9998 นำค่าความชันของกราฟซึ่ง

คือ 4.9492 ไปคำนวณความเร่งโน้มถ่วงจากความสัมพันธ์ ความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับสองคูณค่าความชัน พบว่าได้ค่าความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับ 9.8984 เมตรต่อวินาที^{2} คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.21

ตาราง 5 ระยะเวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่แบบตกอิสระและค่าความเร่งโน้มถ่วงซึ่งตรวจวัดโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g*

การกระจัด (เมตร)	เวลาที่ใช้เคลื่อนที่ (วินาที)				ความเร่งของวัตถุขณะตกอิสระ (เมตรต่อวินาที^{2})					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย^{NS}	SD	% Error
0.2	0.203	0.198	0.205	0.202	9.707	10.203	9.518	9.809	0.35	0.30
0.3	0.246	0.243	0.248	0.246	9.915	10.161	9.755	9.944	0.20	1.67
0.4	0.286	0.289	0.284	0.286	9.780	9.578	9.919	9.759	0.17	0.21
0.5	0.320	0.318	0.317	0.318	9.766	9.889	9.951	9.869	0.09	0.91
0.6	0.349	0.347	0.346	0.347	9.852	9.966	10.024	9.947	0.09	1.71
0.7	0.377	0.372	0.375	0.375	9.850	10.117	9.956	9.974	0.13	1.99
0.8	0.406	0.401	0.408	0.405	9.707	9.950	9.612	9.756	0.17	0.24

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษ NS หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งมีค่าไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระจัดและกำลังสองของเวลาเมื่อใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g*

ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งโน้มถ่วง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเร่งโน้มถ่วงที่การกระจัด 0.4 ถึง 0.8 เมตร โดยละผลการคำนวณการกระจัดในช่วง 0. 2 ถึง 0.3 เมตร เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าที่การกระจัดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ จากผลการคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงโดยใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ โดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch และประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acceleration with *g* พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 9.889 ถึง 9.919 เมตรต่อวินาที^{2} 9.771 ถึง 9.989 เมตรต่อวินาที^{2} และ 9.756 ถึง 9.974 เมตรต่อวินาที^{2} ซึ่งสอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงร้อยละ 1.11 ถึง 1.42 ร้อยละ 0.01 ถึง 2.14 และร้อยละ 0.21 ถึง 1.99 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเร่งโน้มถ่วงเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน นั่นหมายถึงชุดทดลองที่ประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch และฟังก์ชัน acceleration with *g* ในแอปพลิเคชัน Phyphox ช่วยในการตรวจวัดเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่แบบตกอิสระ ทั้งสองวิธีมีความแม่นยำใกล้เคียงกับการทดลองที่ใช้ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นการออกแบบการทดลองโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch จึงมีความเหมาะสมในการนำไปจัดการเรียนการสอนในระดับต่ำกว่าอุดมศึกษาได้เนื่องจากใช้อุปกรณ์เครื่องเขียนแทนอุปกรณ์วิทยา-

ศาสตร์อีกทั้งได้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำ ขณะที่การประยุกต์ใช้ acceleration with *g* เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ผลการคำนวณความเร่งโน้มถ่วงมีความแม่นยำแต่มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนได้มากกว่าเนื่องจากต้องทำการเลือกช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่แบบตกอิสระโดยการประมาณค่าจากกราฟและการใช้สมาร์ตโฟนเป็นวัตถุในการทดลองตกอิสระ อาจทำให้เกิดความเสียหายได้จึงต้องใช้ความระมัดระวังและไม่สามารถทดลองซ้ำในจำนวนครั้งที่มากได้เมื่อเทียบกับวิธีอื่น

สรุปผลการทดลอง

การออกแบบชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบตกอิสระโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch ในแอปพลิเคชัน Phyphox บนสมาร์ตโฟนร่วมกับอุปกรณ์เครื่องเขียน ได้แก่ คลิปหนีบกระดาษ และปากกาลูกลื่น เป็นการทดลองที่ทำได้ง่ายเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบตกอิสระของวัตถุและนำมาคำนวณความเร่งโน้มถ่วงได้แม่นยำ ซึ่งพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเร่งโน้มถ่วงที่ได้จากชุดทดลองเชิงพาณิชย์ จึงสรุปได้ว่า การจัดการเรียนการสอนและออกแบบชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบตกอิสระโดยประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน acoustic stopwatch สามารถทดลองตรวจวัดความเร่งโน้มถ่วงได้ง่ายและสะดวกขึ้นโดยผู้สอนสามารถออกแบบชุดการทดลองด้วยการใช้อุปกรณ์เครื่องเขียนอย่างง่าย ส่งผลให้เกิดความสะดวก และช่วยลดงบประมาณในการจัดซื้อชุดทดลองที่มีราคาสูง อีกทั้งสร้างความสนใจให้กับผู้เรียนเนื่องจากใช้สมาร์ตโฟนเป็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งในการทดลอง แต่มีข้อจำกัด คือ ควรทดลองการตกอิสระที่ระยะกระจัดไม่น้อยกว่า 40 เซนติเมตร เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่สนับสนุนครุภัณฑ์วิทยาศาสตร์และห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Boonphud, V. (2022). 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. **Royal Thai Naval Academy Journal of Science and Technology** 5(1): 158–169. (in Thai)

Boonphud, V., and Paenyoorat, P. (2021). Development of experimental equipment for observation the freefall, royal Thai naval academy, using a simple microcontroller and smart phone. **National Defence Studies Institute Journal** 12(3): 102–115. (in Thai)

Buaprathoom, S. (2019). 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. (in Thai)

Chantarank, M., and Suebkumpet, J. (2018). **Development of Experimental Equipment for Observation the Freefall Action**. Mahasarakham: Rajabhat Mahasarakham

University. (in Thai)

Hellesund, S. (2019). Measuring the speed of sound in air using a smartphone and a cardboard tube. **Physics Education** 54(3): 035015.

Jaruekthiti, N. (2018). A study of the implementation of gifted program curriculum of school in the secondary educational service area office 1. **An Online Journal of Education** 13(4): 244–254. (in Thai)

Ministry of Education. (2017). **Basic Education Core Curriculum B.E. 2551**. Retrieved from https://academic.obec.go.th/web/news/view/75, July 10, 2023.

Nuryantini, A. Y., Zakwandi, R., and Ariayuda, M. A. (2023). Use your smartphone to observe sound phenomenon and understand the concepts. **AIP Conference Proceedings** 2572(040007):1–6.

Pierratos, T., and Polatoglou, H.M. (2018). Study of the conservation of mechanical energy in the motion of a pendulum using a smartphone. **Physics Education** 53(1): 015021.

Priruenrom, T., and Woradech, N. (2018). **The Measurement of Gravity in Thailand and Its Importance**. Retrieved from https://www.nimt.or.th/main/?p=21307, July 3, 2023.

Sirathanakul, S. (2018). **Development of Gravity Acceleration Measurement**. Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)

Suwanpayak, N., Sutthiyan, S., Kulsirirat, K., Srisongkram, P., Teeka, C., and Buranasiri, P. (2018). A comparison of gravitational acceleration measurement methods for undergraduate experiment. **Journal of Physics: Conference Series** 1144: 1–6.