

ชุดทดลองการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างง่าย ตัวตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นเอง และสมาร์ทโฟน

สมพร บัวประทุม

สาขาวิชาฟิสิกส์ โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ นครปฐม 73170

E-mail: somporn.bpt@mwit.ac.th

รับบทความ: 15 เมษายน 2562 แก้ไขบทความ: 18 พฤศจิกายน 2562 ยอมรับตีพิมพ์: 6 ธันวาคม 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดทดลองการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกสำหรับการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่แบบตลกอิสระของวัตถุ โดยใช้ตัวตรวจวัดอย่างง่ายที่สร้างขึ้นเอง ร่วมกับการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างง่าย (Arduino Uno) เพื่อวัดระยะเวลาตกของวัตถุจากความสูงต่างๆ โดยอัตโนมัติ พร้อมทั้งแสดงค่าที่ได้ผ่านทางสมาร์ทโฟนที่ผู้ทำการทดลองสามารถอ่านค่าได้ เวลาที่วัดได้ถูกวิเคราะห์โดยกราฟเพื่อหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ผลการทดสอบพบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่วัดได้จากชุดการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมาก โดยมีความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานเพียงร้อยละ 3.55 จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้ทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในการศึกษาเรื่องการตกอย่างอิสระของวัตถุได้ค่อนข้างแม่นยำ นอกจากนี้ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นยังใช้ต้นทุนในการพัฒนาถูกมากด้วยงบประมาณที่ต่ำกว่า 300 บาท อีกทั้งยังมีขนาดกะทัดรัดและใช้งานง่าย ดังนั้นรูปแบบของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ทุกโรงเรียนสามารถนำไปสร้างเพื่อให้นักเรียนใช้ในการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่แบบตลกอิสระได้

คำสำคัญ: ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก การเคลื่อนที่แบบตลกอิสระ การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

A Set of Gravitational Acceleration Measurement Using Simple Microcontroller, DIY Sensors and Smartphone

Somporn Buaprathoom

Department of Physics, Mahidol Wittayanusorn School, Nakhon Pathom 73170, Thailand

E-mail: somporn.bpt@mwit.ac.th

Received: 15 April 2019 Revised: 18 November 2019 Accepted: 6 December 2019

Abstract

An experimental set for measuring the gravitational acceleration to study free falling motion was developed in this research. It used DIY sensors controlled by a simple microcontroller (Arduino Uno) to automatically measure the falling time of the object. The measured falling time was displayed on a general smartphone which the user could read it. Recorded falling time at different falling height were analyzed to get the gravitational acceleration. The results showed that the value of measured gravitational acceleration was very close to the standard value. Its percentage of deviation from the standard value was 3.55. This experimental set demonstrates that it can be used to measure the gravitational acceleration effectively. Moreover, it is very cheap with a price of less than 300 baht. It is also compact and easy to use. Therefore, the presented experimental set can be applied to any schools for students to study free falling motion.

Keywords: Gravitational acceleration, Free fall motion, Microcontroller application

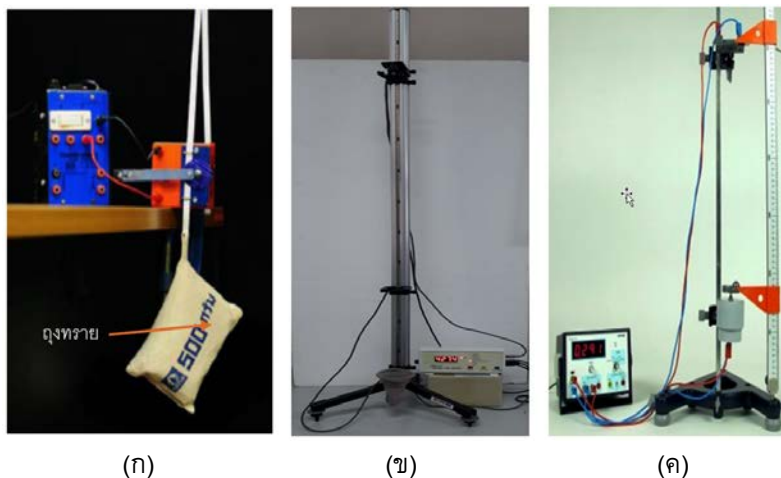
บทนำ

การศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2561 ในส่วนของสาระฟิสิกส์ ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แนวตรง มีสาระการเรียนรู้หนึ่งที่คาดหวังว่านักเรียนสามารถทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ (Office of the Basic Education Com-

mission [OBEC], 2017) ซึ่งในการจัดการเรียนการสอนในเรื่องการเคลื่อนที่แนวตรงนั้น เริ่มจากนักเรียนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่ และศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2018) ซึ่งเมื่อวัตถุเคลื่อนที่โดยมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำเพียงอย่างเดียว และไม่พิจารณาแรงต้านอากาศเนื่องจากมีค่าน้อย

มาก ๆ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งโดยมีผลมาจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่านั้น เรียกการเคลื่อนที่ของวัตถุในลักษณะนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบตกอิสระ (free fall) ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (Firdaus *et al.*, 2019; Priyadharshini *et al.*, 2018) ในการเรียนการสอนนักเรียนจะได้ทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งในโรงเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาส่วนใหญ่ในประเทศไทยการทดลองวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ใช้ชุดทดลองในแบบเรียนที่พัฒนาโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) โดยชุดทดลองนี้ใช้หลักการให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลากระทำเครื่องหมายบนแถบกระดาษที่ติดอยู่กับตุ้มน้ำหนักที่เคลื่อนที่แบบตกอิสระ (IPST, 2011) ดังในภาพที่ 1ก จากนั้นใช้ระยะทางที่แถบกระดาษเคลื่อนที่และเวลาจากจุดบนแถบกระดาษคำนวณหาขนาดของความเร็ว และความเร่งของตุ้มน้ำหนักที่ตกแบบอิสระต่อไป ในบางครั้งการทำงานของเครื่องเคาะสัญญาณในชุดทดลองนี้เกิดการเคาะซ้ำ หรือเคาะ

ข้ามแต่ละจุด มีผลทำให้เวลาที่วัดได้โดยเครื่องเคาะสัญญาณเวลามีความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้แถบกระดาษที่ติดกับตุ้มน้ำหนักไม่ได้เคลื่อนที่ตกอย่างอิสระอย่างแท้จริง เนื่องจากมีแรงจากหมุดปักของเครื่องเคาะสัญญาณเวลากกระทำ ปัจจัยเหล่านี้มีผลให้การวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีความคลาดเคลื่อน ในปัจจุบันมีหลายบริษัทที่พัฒนาและจำหน่ายอุปกรณ์การเรียนการสอนได้นำระบบบันทึกข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ (data logger) ร่วมกับระบบตรวจจับโดยแสง (photo gate) มาใช้ในการตรวจวัดและบันทึกเวลาเพื่อนำไปหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยชุดทดลองมีลักษณะดังในภาพที่ 1ข และ 1ค (Gammaco, 2018; Phywe, 2018) ผลที่ได้จากชุดทดลองนี้มีความแม่นยำค่อนข้างสูง โดยสามารถวัดค่าได้คลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้ไม่เกินร้อยละ 6 อย่างไรก็ตามชุดทดลองดังกล่าว มีราคาสูง ทำให้โรงเรียนทั่วไปไม่สามารถจัดหาชุดทดลองดังกล่าวมาใช้งานได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ



ภาพที่ 1 ชุดทดลองหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก พัฒนาโดย (ก) สสวท. (ข) บริษัท แกมมาโก้ และ (ค) บริษัท Phywe

ในปัจจุบันได้มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวบรวมฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ไว้ภายในตัวของมันเอง โดยมีโครงสร้างใกล้เคียงกับคอมพิวเตอร์ คือ ภายในประกอบด้วยหน่วยรับข้อมูลและโปรแกรมหน่วยประมวลผลหน่วยความจำ หน่วยแสดงผล ที่สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เชื่อมต่อกับตัวมัน ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน (Kingmungkut's University of Technology Thonburi, 2009) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ได้ถูกใช้งานในหลากหลายสาขา และมีราคาถูกลงมาก ใช้งานง่าย และสะดวกขึ้นมากกว่าในอดีต นอกจากนี้ในปัจจุบันสมาร์ตโฟนมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเกือบทุกคนมีสมาร์ตโฟนใช้งาน ซึ่งแอปพลิเคชันที่ใช้กับสมาร์ตโฟนก็สามารถพัฒนาขึ้นได้ง่ายขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีราคาถูกร่วมกับตัวตรวจวัดที่สร้างขึ้นอย่างง่ายโดยผู้วิจัย (DIY sensor) ร่วมกับสมาร์ตโฟนที่ใช้แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นอย่างง่ายโดยผู้วิจัย เพื่อสร้างชุดทดลองสำหรับทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีความแม่นยำและราคาถูก

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 การออกแบบและสร้างชุดทดลอง ซึ่งกล่าวถึงส่วนประกอบและหลักการทำงานของชุดทดลอง และส่วนที่ 2 วิธีการทดสอบ โดยส่วนนี้แสดงถึงขั้นตอนการทดลอง วิธีการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้น

นี้เทียบกับชุดทดลองเชิงพาณิชย์ และค่ามาตรฐานที่วัดโดยสถาบันมาตรวิทยา

การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

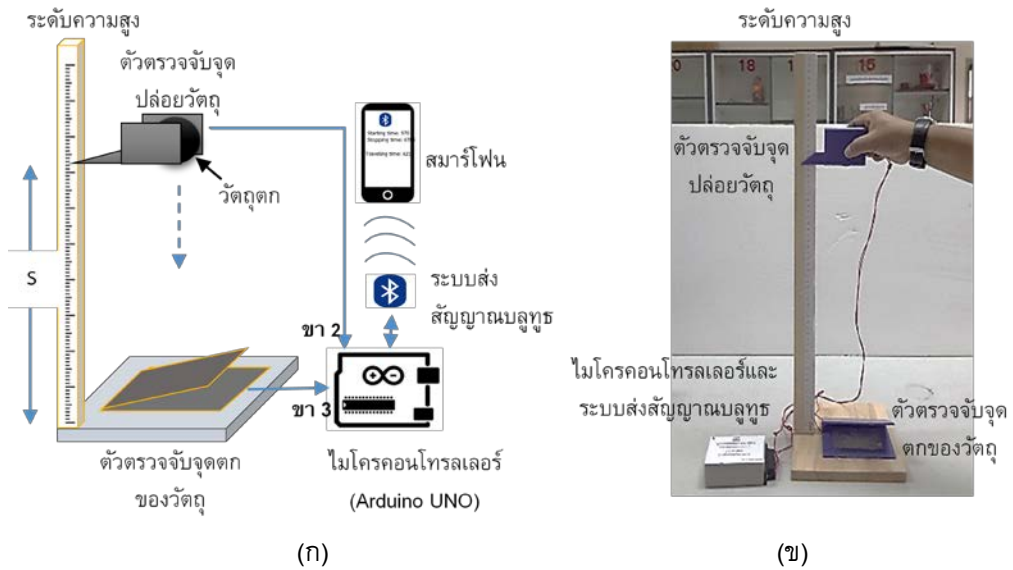
ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ ออกแบบมาให้ใช้งานง่าย ราคาไม่แพง และสามารถเผยแพร่ได้อย่างถูกต้องโดยไม่จำเป็นต้องซื้อใบอนุญาตต่าง ๆ ชุดทดลองนี้ออกแบบมาให้สามารถวัดเวลาที่วัตถุตกลงมาที่ตำแหน่งต่าง ๆ อย่างแม่นยำ โดยใช้ตัวตรวจจับอย่างง่ายที่สร้างขึ้นเอง และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบง่าย ราคาถูก ในการควบคุมรับ-ส่งค่าต่าง ๆ เพื่อกำหนดการเริ่มและหยุดเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมา โดยเวลาที่วัดได้จะถูกส่งผ่านมาทางสัญญาณบลูทูธเพื่อส่งค่าบนสมาร์ตโฟน โดยสมาร์ตโฟนที่ใช้เป็นสมาร์ตโฟนทั่วไปที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ผู้วิจัยพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อรับค่าและแสดงค่าเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมา ดังในภาพที่ 2

ส่วนประกอบชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้น มีรายละเอียด ดังนี้

- (1) วัตถุตก เป็นวัตถุที่มีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อแผ่นสัมผัสของตัวตรวจจับจุดปล่อย โดยในการทดลองนี้ใช้ก้อนมวลเหล็กที่ใช้สำหรับเพิ่มมวลในการทดลองทั่ว ๆ ไปในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ (ภาพที่ 3)



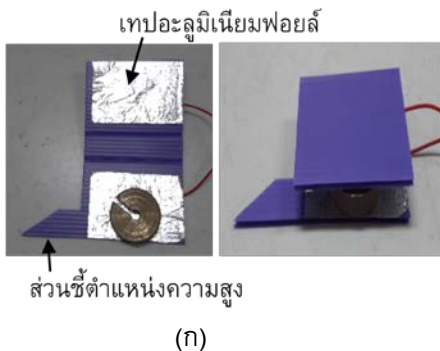
ภาพที่ 3 วัตถุตก



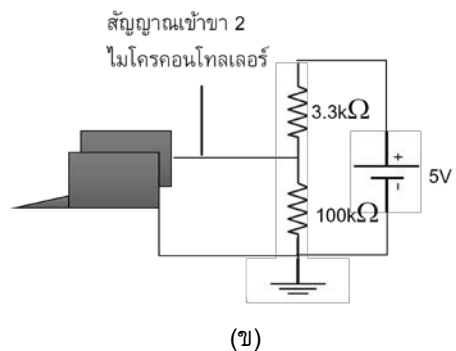
ภาพที่ 2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบชุดทดลอง (ก) และภาพถ่ายของชุดทดลอง (ข)

(2) ตัวตรวจจับจุดปล่อยวัตถุ เป็นตัวตรวจจับแบบสัมผัส โดยมีส่วนประกอบเป็นแผ่นสัมผัส 2 แผ่น ทำจากพลาสติกลูกฟูกและติดด้วยเทปอะลูมิเนียมฟอยล์ (ภาพที่ 4ก) โดยมีวงจรเพื่อกำหนดสัญญาณดิจิทัล "0" และ "1" (ภาพที่ 4ข) ซึ่งสัญญาณจากแผ่นสัมผัสจะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งสัญญาณให้เริ่มนับเวลาที่วัตถุเริ่มตกลงมา โดยเมื่อวัตถุตกยังไม่ได้ถูกปล่อย วัตถุตกจะเชื่อมต่อกับแผ่นสัมผัสทั้ง

สอง ซึ่งจะให้สัญญาณดิจิทัล "0" กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และเมื่อใดก็ตามปล่อยวัตถุตก แผ่นสัมผัสจะไม่ต่อกัน และจะส่งสัญญาณดิจิทัล "1" ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณบอกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มนับเวลาการตกของวัตถุ นอกจากนี้ในส่วนแผ่นสัมผัสยังมีส่วนชี้ตำแหน่งความสูงเพื่อความสะดวกในการกำหนดความสูงของระยะที่วัตถุตกลงมาจากตำแหน่งต่าง ๆ



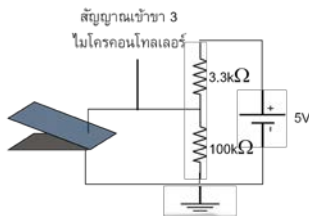
ภาพที่ 4 ตัวตรวจจับจุดปล่อยวัตถุ (ก) แผ่นสัมผัสสองแผ่นติดด้วยเทปอะลูมิเนียมฟอยล์ (ข) วงจรเพื่อกำหนดสัญญาณดิจิทัล



(3) ตัวตรวจจับจุดตกวัตถุ มีส่วนประกอบคล้ายกับตัวตรวจจับจุดปล่อยวัตถุ ซึ่งมีแผ่นสัมผัสสองแผ่น และวงจรกำหนดสัญญาณดิจิทัล (ภาพที่ 5) โดยเมื่อยังไม่มีวัตถุตกลงมาถึงตัวตรวจจับจุดตกวัตถุ แผ่นสัมผัสยังไม่สัมผัสกันทำให้มีสัญญาณดิจิทัล “1” ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสัญญาณนี้โปรแกรมกำหนดให้ยังไม่หยุดเวลา แต่เมื่อวัตถุตกลงมาถึงตัวตรวจจับจุดตกวัตถุ ทำให้แผ่นสัมผัสสัมผัสกันทำให้ได้สัญญาณดิจิทัล “0” ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสัญญาณนี้โปรแกรมที่เขียนไว้กำหนดให้หยุดเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมา



(ก)

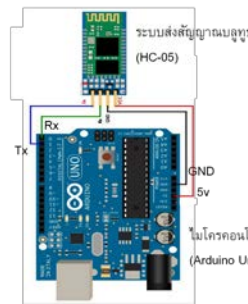


(ข)

ภาพที่ 5 ตัวตรวจจับจุดตกวัตถุ (ก) แผ่นสัมผัสสองแผ่นติดด้วยเทปอะลูมิเนียมฟอยล์ และ (ข) วงจรกำหนดสัญญาณดิจิทัล

(4) ไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบส่งสัญญาณบลูทูธ ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno ในการควบคุมการตรวจวัดเวลาการตกของวัตถุโดยอัตโนมัติ โดยรับสัญญาณจากตัวตรวจจับจุดปล่อยวัตถุและตัวตรวจจับจุดตกวัตถุ ซึ่งเวลาที่ Arduino UNO สามารถวัดได้มีความละเอียดสุดในระดับมิลลิวินาที Arduino Uno เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างง่ายที่ดำเนินการตามคำสั่งโปรแกรมภาษา C++ และมีราคาถูก ราคาไม่เกิน 160 บาท (Arduino All, 2018) นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์

Arduino UNO ยังใช้สำหรับควบคุมการเชื่อมต่อกับสมาร์ตโฟนผ่านทางระบบส่งสัญญาณบลูทูธ เพื่อส่งค่าเวลาที่ตกของวัตถุที่วัดได้ไปแสดงบนสมาร์ตโฟนด้วย ซึ่งระบบส่งสัญญาณบลูทูธที่ใช้ในชุดทดลองนี้เป็นรุ่น HC-05 Master/Slave การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบส่งสัญญาณบลูทูธแสดงดังในภาพที่ 6



(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 การต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบส่งสัญญาณบลูทูธ (ก) และภาพถ่ายกล่องใส่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบส่งสัญญาณบลูทูธ และวงจรกำหนดสัญญาณดิจิทัล (ข)

(5) ระบบแสดงผล การแสดงค่าเวลาที่วัตถุตกที่วัดได้เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านค่าที่ได้นั้นและนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้นั้น จะใช้สมาร์ตโฟนที่ใช้อยู่แล้วในชีวิตประจำวัน โดยรับส่งสัญญาณผ่านทางบลูทูธ โดยผู้วิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นในการรับค่าและแสดงค่าบนหน้าจอมือถือ โดยหน้าจอที่แสดงบนสมาร์ตโฟน ดังในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 หน้าจอสมาร์ตโฟนแสดงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมา

การใช้งานและหลักการทำงานของชุดทดลอง

ชุดทดลองนี้ใช้สำหรับวัดเวลาโดยอัตโนมัติจากที่วัตถุตกลงมาจากตัวตรวจจับจุดปล่อยวัตถุไปจนถึงตัวตรวจจับจุดตกของวัตถุ การใช้งานและหลักการทำงานของชุดทดลองพิจารณาจากภาพที่ 2ก โดยเริ่มจากการกำหนดความสูงที่ให้วัตถุตก แล้วใช้ตัวตรวจจับจุดปล่อยจับวัตถุที่ตำแหน่งความสูงที่กำหนดไว้ โดยให้ตัวชี้ตำแหน่งชี้บนสเกลระดับความสูง ในขณะที่ยังไม่ปล่อยวัตถุแผ่นสัมผัสจะเชื่อมต่อกัน กำหนดสัญญาณสัญญาณดิจิทัล "0" ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะส่งสัญญาณ "READY" แสดงความพร้อมไปที่สมาร์ตโฟนเพื่อให้ผู้ทดลองทราบ และเมื่อปล่อยวัตถุตกแผ่นสัมผัสของตัวตรวจจับจุดปล่อยวัตถุจะไม่ต่อกันส่งสัญญาณดิจิทัล "1" ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้เริ่มนับเวลาการตกของวัตถุ จากนั้นเมื่อวัตถุตกลงมาถึงตัวตรวจจับจุดตก ทำให้แผ่นสัมผัสต่อกันส่งสัญญาณดิจิทัล "0" ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้หยุดเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมา เวลาที่วัดได้จะถูกแสดงค่าบนสมาร์ตโฟน ซึ่งผู้ที่ทำการทดลองสามารถอ่านและนำไปบันทึกผลได้

การทดสอบ

(1) ทดสอบการใช้งานชุดทดลองที่สร้างขึ้นทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยใช้การวัดเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ตกลงมาจากความสูงที่แตกต่างกันจาก 25 30 35 40 ... 60 เซนติเมตร และในแต่ละความสูงทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ต่อไปเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองนี้

ได้ทดสอบเปรียบเทียบกับชุดทดลองเชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังภาพที่ 1ข ซึ่งมีราคาประมาณ 18,000 บาท (Gammaco, 2018) โดยใช้เวลาที่วัตถุตกลงมาเช่นเดียวกันชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น ซึ่งชุดทดลองเชิงพาณิชย์ดังกล่าวใช้ประตูแสง (photo gate) ในการหยุดเวลา และใช้เครื่องนับเวลา (timer counter) ในการแสดงและบันทึกเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมา โดยในชุดทดลองเชิงพาณิชย์นี้จะใช้ความสูงในการทดสอบระหว่าง 30 ถึง 90 เซนติเมตร ซึ่งเป็นความสูงที่แนะนำในคู่มือการใช้งานของชุดทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูล

(1) จากที่วัตถุตกลงมาอย่างอิสระ ความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (S) เวลาที่วัตถุตกลงมา (t) ความเร็วเริ่มต้น (u) และความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) แสดงได้ดังสมการที่ (1) (Serway *et al.*, 2004)

$$S = ut + \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{--- (1)}$$

ในการทดลองนี้วัตถุถูกปล่อยออกจากหยุดนิ่ง ความเร็วเริ่มต้นจึงมีค่าเท่ากับศูนย์ ($u = 0$) ดังนั้น จากสมการที่ (1) จะได้

$$S = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{--- (2)}$$

จากสมการที่ (2) เมื่อพล็อตกราฟระหว่างความสูง (S) เป็นแกน y และเวลาที่วัตถุตกลงมายกกำลังสอง (t^2) เป็นแกน x กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นตรง โดยมีความชันของกราฟ (Slope) เป็น $\frac{1}{2}g$ ซึ่งสามารถใช้ในการคำนวณความเร่งโน้มถ่วงตามที่แสดงในสมการที่ (3)

$$g = 2 (\text{Slope}) \quad \text{---- (3)}$$

(2) ทดสอบวัดความพึงพอใจในการใช้งาน งานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความพึงพอใจในการ

ใช้งานชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นเทียบกับชุดทดลองเชิงพาณิชย์ โดยให้นักเรียนที่กำลังเรียนในเรื่องการตกแบบอิสระ จำนวน 48 คน ทดสอบใช้งานชุดทดลองทั้งชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นและชุดทดลองเชิงพาณิชย์ แล้วทำแบบประเมินความพึงพอใจ โดยมีหัวข้อการประเมินดังนี้ 1) ความง่ายและความสะดวกในการใช้งาน 2) สามารถใช้ทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงได้ และ 3) สามารถใช้งานได้เทียบเท่าชุดทดลองเชิงพาณิชย์

ผลการวิจัย

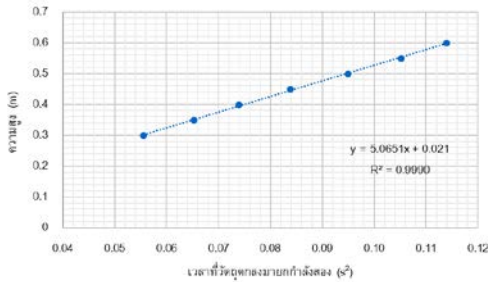
การทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีผลการทดลองวัดเวลาที่วัตถุตกลงมาที่ระดับความสูงต่าง ๆ เพื่อนำไปหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นและชุดทดลองเชิงพาณิชย์ แสดงในตาราง 1-2 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นำมาพล็อตเป็นกราฟระหว่างความสูง (S) และเวลาที่วัตถุตกลงมายกกำลังสอง (t^2) ดังกราฟในภาพที่ 8 สำหรับชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น และกราฟในภาพที่ 9 สำหรับชุดทดลองเชิงพาณิชย์

ตาราง 1 ผลการทดลองวัดเวลาที่วัตถุตกลงมาที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้น

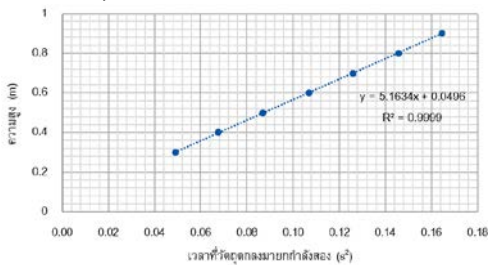
ความสูง: S (m)	เวลาที่วัตถุตกลงมา: t (ms)					เฉลี่ย	เวลาที่วัตถุตกลงมายกกำลังสอง: t^2 (s^2)
	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ทดลองครั้งที่ 4	ทดลองครั้งที่ 5		
0.25	208.0	211.0	212.0	211.0	213.0	211.0	0.0445
0.30	234.0	239.0	235.0	238.0	233.0	235.8	0.0556
0.35	255.0	253.0	258.0	253.0	258.0	255.4	0.0652
0.40	273.0	266.0	272.0	273.0	276.0	272.0	0.0739
0.45	293.0	287.0	286.0	293.0	289.0	289.6	0.0838
0.50	313.0	309.0	306.0	307.0	306.0	308.2	0.0949
0.55	325.0	320.0	328.0	324.0	325.0	324.4	0.1052
0.60	335.0	347.0	336.0	332.0	338.0	337.6	0.1139

ตาราง 2 ผลการทดลองวัดเวลาที่วัตถุตกลงมาที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากชุดทดลองเชิงพาณิชย์

ความสูง: S (m)	เวลาที่วัตถุตกลงมา: t (ms)					เฉลี่ย	เวลาที่วัตถุตกลงมายกกำลังสอง: t^2 (s^2)
	ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2	ทดลองครั้งที่ 3	ทดลองครั้งที่ 4	ทดลองครั้งที่ 5		
0.3	220.5	221.4	221.5	221.5	220.9	221.2	0.0489
0.4	259.7	258.7	260.0	260.2	259.9	259.7	0.0674
0.5	294.1	294.8	295.4	295.1	294.7	294.8	0.0869
0.6	327.0	326.4	326.9	327.1	326.6	326.8	0.1067
0.7	354	355.5	355.5	355.2	353.9	354.8	0.1258
0.8	381.8	382.2	381.4	381.2	382.1	381.7	0.1457
0.9	405.2	405.9	404.6	405.7	406.4	405.6	0.1644



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (S) และเวลาที่ตกลงมายกกำลังสอง (t^2) จากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (S) และเวลาที่ตกลงมายกกำลังสอง (t^2) จากชุดทดลองเชิงพาณิชย์

จากกราฟในภาพที่ 8 และ 9 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกราฟกับสมการ (curve fitting) พบว่าสมการที่สอดคล้องกับกราฟที่ได้จากผลการทดลองชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้น แสดงดังสมการที่ 4 และสมการที่สอดคล้องกับกราฟจากผลการทดลองชุดการทดลองเชิงพาณิชย์ ดังสมการที่ 5

$$y = 5.0651x + 0.021 \quad \text{---- (4)}$$

$$y = 5.1634x + 0.049 \quad \text{---- (5)}$$

ผลการเปรียบเทียบกราฟกับสมการที่ได้นี้มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (coefficient of determination) (R -squared) คือ 0.9990 และ 0.9999 ซึ่งหมายความว่าผลการเปรียบเทียบมีความสอดคล้องดีมาก จากความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

ของโลกสามารถคำนวณได้จากความชันของกราฟตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (3) ซึ่งจากสมการที่ (4) และ (5) ความชันของกราฟคือ 5.0651 m/s^2 และ 5.1634 m/s^2 ดังนั้นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่วัดได้จากชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้น คือ 10.1302 m/s^2 และ 10.3268 m/s^2 สำหรับชุดทดลองเชิงพาณิชย์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่วัดโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ณ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ซึ่งมีขนาด 9.7829 m/s^2 (Priruenrom, 2000) พบว่าความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการทดลองที่ใช้ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นเทียบกับค่ามาตรฐาน เท่ากับร้อยละ 3.55 ส่วนความคลาดของค่าที่ได้จากชุดทดลองเชิงพาณิชย์ขึ้นเทียบกับค่ามาตรฐานเท่ากับร้อยละ 5.56 ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำสูงในการใช้ทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก สำหรับการศึกษาเรื่องการตกแบบอิสระของวัตถุ

ผลการทดสอบวัดความพึงพอใจในการใช้งานชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นโดยนักเรียน ได้ผลการทดสอบดังในตาราง 3 โดยการประเมินมีระดับคะแนนเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ 5 หมายถึง ดีมาก

ระดับ 4 หมายถึง ดี

ระดับ 3 หมายถึง ปานกลาง

ระดับ 2 หมายถึง พอใช้

ระดับ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

จากตาราง 3 พบว่า การประเมินความคิดเห็นของนักเรียน ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานมีคะแนนในระดับ 4.79 (คิดเป็นร้อยละ 95.8) ด้านความสามารถในการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกใน

ตาราง 3 ผลการทดสอบวัดความพึงพอใจในการใช้งานโดยนักเรียน

หัวข้อการประเมิน	จำนวนผู้แสดงความคิดเห็นในแต่ละระดับคะแนน (คน)					คะแนนเฉลี่ย
	5	4	3	2	1	
ความง่ายและความสะดวกในการใช้งาน	40	6	2	–	–	4.79
สามารถใช้ทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงได้	43	5	–	–	–	4.90
สามารถใช้งานได้เทียบเท่าชุดทดลองเชิงพาณิชย์	37	8	3	–	–	4.71
คะแนนรวมเฉลี่ย			4.80 (คิดเป็นร้อยละ 96 ของคะแนนเต็ม)			

ระดับ 4.90 (คิดเป็นร้อยละ 98.0) และดำเนินการใช้งานเทียบเท่าชุดทดลองเชิงพาณิชย์ในระดับ 4.71 (คิดเป็นร้อยละ 94.0) จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าผู้ทดลองใช้งานชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น ให้คะแนนการประเมินอยู่ในระดับมากกว่าร้อยละ 94 ของคะแนนเต็มในทุก ๆ ด้าน ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าผู้ทดลองใช้งานชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น มีความพึงพอใจและมั่นใจต่อการใช้งานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาชุดทดลองสำหรับวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อใช้ศึกษาเรื่องการตกแบบอิสระ (free fall) โดยชุดทดลองนี้จะใช้การจับเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ตกลงมาที่ระยะต่างๆ แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้โดยการเขียนกราฟ เพื่อนำไปสู่การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หลักการทำงานของชุดทดลองในการวัดระยะเวลาที่วัตถุตกลงมาใช้ตัวตรวจวัดแบบสัมผัสที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเองในการส่งสัญญาณให้เริ่มนับและหยุดเวลาโดยอัตโนมัติ โดยจะทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างง่ายที่มีราคาถูกในการควบคุม

การทำงานและส่งข้อมูลที่วัดได้ผ่านทางระบบส่งสัญญาณบลูทูธไปแสดงค่าบนสมาร์ตโฟน ซึ่งสมาร์ตโฟนที่ใช้จะเป็นสมาร์ตโฟนทั่วไปที่ใช้ในชีวิตประจำวัน โดยผู้วิจัยได้พัฒนาแอปพลิเคชันขึ้นเอง ทำให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านและบันทึกค่าเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ตกลงมา และนำไปวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ ในการทดสอบการใช้งานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นได้ทดสอบวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเปรียบเทียบกับชุดทดลองเชิงพาณิชย์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด และเทียบกับค่ามาตรฐาน (9.7829 m/s^2) ผลการทดลองได้ว่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่วัดได้จากชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นและชุดการทดลองเชิงพาณิชย์ คือ 10.1302 และ 10.3268 m/s^2 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานร้อยละ 3.55 สำหรับชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น และร้อยละ 5.56 สำหรับชุดการทดลองเชิงพาณิชย์ ซึ่งผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้อย่างแม่นยำ และชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้นมานี้ยังมีขนาดกะทัดรัดซึ่งมีความสูง 65 เซนติเมตร มีมวลรวมแค่ 0.65 กิโลกรัม ใน

ขณะที่ชุดทดลองเชิงพาณิชย์ มีความสูง 120 เซนติเมตร มีมวล 2.5 กิโลกรัม นอกจากนี้ชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ยังมีราคาถูกกว่าชุดทดลองเชิงพาณิชย์มาก ซึ่งมีราคารวมน้อยกว่า 300 บาท (ไม่รวมสมาร์ตโฟนเพราะเป็นอุปกรณ์ที่คนส่วนใหญ่มีใช้ในชีวิตประจำวัน) ในขณะที่ชุดทดลองเชิงพาณิชย์มีราคาไม่ต่ำกว่า 18,000 บาท และผลการทดสอบใช้งานชุดทดลองนี้โดยนักเรียนพร้อมมีการประเมินเกี่ยวกับความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ความสามารถในการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และการใช้งานเทียบเท่าชุดทดลองเชิงพาณิชย์มีผลคะแนนประเมินเฉลี่ยร้อยละ 96 ของคะแนนเต็ม ซึ่งแสดงว่าผู้ทดลองใช้งานมีความพึงพอใจต่อการใช้งานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น

ดังนั้นรูปแบบของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ทุกโรงเรียนสามารถนำไปสร้างเพื่อให้นักเรียนใช้ในการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบตกอิสระของวัตถุได้ โดยในการนำไปใช้มีข้อเสนอแนะที่ควรระวังเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำ ดังนี้ 1) ก้อนมวลควรมีขนาดมวลมากพอที่จะทำให้ตัวตรวจจับสัมผัสกันในทันทีที่ก้อนมวลตกกระทบ 2) ระยะที่วัดความสูงควรวัดจากตำแหน่งล่างสุดของก้อนวัตถุถึงแผ่นล่างของตัวตรวจวัด และ 3) ระยะปล่อยตกควรสูงไม่น้อยกว่า 25 เซนติเมตร เพื่อลดร้อยละความคลาดเคลื่อนจากค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดต่อค่าที่วัดได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุกด้านทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ และสถานที่ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Arduino All. (2018). **Arduino Uno R3**. Retrieved from <https://www.arduinoall.com/category/2/arduino-compatible-board>, December 17, 2018. (in Thai)
- Firdaus, T., Erwin, E., and Rosmiati, R. (2019). Learning media free fall motion to reduce misconceptions and improve students' understanding of the concept. **Journal of Physics: Conference Series** 1157: 032072.
- Gammaco. (2018). **Free-Falling Demonstrator**. Retrieved from <https://www.gammaco.com/gammaco/th/20173443>, December 15, 2018. (in Thai)
- Kingmongkut's University of Technology Thonburi, Mechanical Engineering (2009). **MI-CROCONTROLLER PIC 16F684, Fish Robot Camp 2**. Retrieved from <http://nstda.or.th/sciencecamp/th/file/74669288HF4GJSO36.pdf>, February 18, 2019. (in Thai)
- Office of the Basic Education Commission: OBEC. (2017). **Indicators and Core Content in Science Learning (Revised B.E. 2017) in Accordance with the Core Curriculum of Basic Education B.E. 2008**. Bangkok: Author. (in Thai)
- Phywe. (2018). **Free Fall with the 2-1 Timer**. Retrieved from <https://www.phywe.com/en/free-fall-with-the-2-1-timer.html>, December, 15, 2018. (in Thai)
- Priruenrom, T. (2000). **Using Relative Gravi-**

- meter to Determine Vertical Gravity Gradients at NIMT, National Institute of Metrology (Thailand).** Retrieved from https://indico.cern.ch/event/336199/contributions/787729/attachments/657190/903546/Gravity_gradient_at_NIMT.pdf, February 22, 2019. (in Thai)
- Priyadharshini, S., Shanjeena, M., Basheer, Kaushalya, R., and Sneka, M. (2018). A study on motion of a free falling body in kinematic equation. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)** 6(1): 3318–3124.
- Serway, R. A., Jewett, J. W., and Serway, R. A. (2004). **Physics for Scientists and Engineers.** Belmont, CA: Thomson–Brooks/Cole.
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2011). **Science Program Guide for Secondary Level.** Bangkok: Author. (in Thai)
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2018). **Teacher Manual in Science (Physics) Grade 10, Volume 1.** Bangkok: Author. (in Thai)