

Development Free Fall Motion teaching aid with Metal Detection sensor

*Leardpan Piansangsan, Pooncharat Yangnok and Samran Lertkonsarn

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Pitchayabundit College

*Corresponding author: piansangsan@yahoo.com

Received
22/12/2023

Reviewed
09/02/2024

Revised
16/02/2024

Accepted
22/02/2024

Abstract

This paper presents the development of a low-cost microcontroller based free-fall motion experimental devices. The free full time results was printed on LCD display. The purpose is to improve a free-fall experimental device performance by considering cost reduction, simple to use, high both accuracy and precision results. The control algorithm was implemented in an Arduino Uno R3 , which is an inexpensive microcontroller unit (mcu). The height is measured from the lowest point of the metal ball to the strike plate using HC-SR04 ultrasonic sensor. To reduce the impact force on a strike plate, a method for detecting a fallen metal ball using metal detection systems. The experimental result shown that the gravity measured using the Free-Fall prototype is 10.0 m/s^2 . Compared to the value of g measured at the nearby Udon Thani province by the National Institute of Metrology (Thailand) as 9.784156709 , the value from the experiment device differs from the standard value by 2.206 %.

Keyword: Free-fall motion experimental device; Arduino Uno R3; Metal detection

การพัฒนาชุดสื่อการสอนการตกอิสระตรวจรู้การตกด้วยการตรวจจับโลหะ

*เลิศพันธ์ เพียรสร้างสรรค์, ปุณฺณศรี ยางนอก และ สำราญ เลิศคอนสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพินิจบัณฑิต
*ผู้นิพนธ์หลัก: piansangsan@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาชุดทดลองการตกอิสระราคาประหยัดที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลลัพธ์เวลาการตกอิสระผ่านจอแอลซีดี ด้วยการออกแบบพัฒนาชุดทดลองให้มีราคาประหยัด ใช้งานง่าย ได้ผลการทดลองที่มีความแม่นยำ เทียบตรง โดยใช้อาดุยโนยูโน อาร์ดี (Arduino Uno R3) ซึ่งเป็นชุดประกอบไมโครคอนโทรลเลอร์ (mcu) ราคาถูกเป็นตัวควบคุมการทำงาน ความสูงวัดจากจุดปล่อยต่ำสุดของบอลโลหะไปถึงแผ่นตรวจรับรู้การตกด้วยอัลตราโซนิกส์ เซนเซอร์รุ่น HC-SR04 ตรวจจบบการตกของวัตถุด้วยวิธีการตรวจจับความเป็นโลหะ (Metal detections) เพื่อช่วยลดผลของแรงกระแทกลงบนเซนเซอร์โดยตรง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองการตกอิสระที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้ 10.0 เมตร/วินาที² เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากชุดทดลองกับค่าแรงโน้มถ่วงมาตรฐานที่ตรวจสอบได้โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย) ณ บริเวณจังหวัดอุดรธานีซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.784156709 เมตรต่อวินาที² พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.206

คำสำคัญ: ชุดทดลองการตกอิสระ; อาดุยโน ยูโน อาร์ดี; การตรวจจับความเป็นโลหะ

บทนำ

แรงโน้มถ่วง (Gravitational force) เป็นแรงต่างร่วม (Mutual force) เพื่อดึงดูดกันระหว่างวัตถุใด ๆ 2 ชนิดในเอกภพ (Raymond A. et al., 2009) เช่น แรงดึงดูดที่มวลของโลกกระทำต่อวัตถุและสิ่งมีชีวิตรอบข้าง โดยการดึงเข้าหาจุดศูนย์กลางหรือแกนของโลก ไม่ว่าจะเป็นต้นไม้ ใบหญ้า สัตว์ สิ่งของ มนุษย์ หรือแม้แต่อากาศ ทั้งหมดล้วนถูกแรงโน้มถ่วงของโลกดึงดูดไว้ไม่ให้กระจายตัวออกไปในอวกาศ

การตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก เป็นการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติด้วยความเร่งคงที่ที่เรียกว่า ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (Gravity : g) ซึ่งเป็นความเร่งที่มีทิศเข้าสู่จุดศูนย์กลางของโลกเสมอ โดยค่า g นี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ตำแหน่งละติจูด ลักษณะทางธรณีวิทยา แต่ที่บริเวณใกล้ผิวเปลือกโลกค่า g จะมีขนาดประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที² (ไม่คิดถึงผลจากแรงต้านอากาศ) (McDougal, D.W., 2012) ในการทดลองการตกอิสระเพื่อการเรียนรู้พื้นฐานฟิสิกส์นั้นมีเครื่องมือทดลองที่ออกแบบมาจำหน่ายในท้องตลาดแต่จะมีราคาแพงจากการสำรวจพบว่ามีราคาถูกกว่าในหลักหมื่นบาท จึงมีงานทดลองเพื่อพัฒนาชุดการเรียนรู้เกี่ยวกับการตกอิสระของวัตถุภายใต้แรงดึงดูดของโลกขึ้นอย่างหลากหลายโดยวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนที่มีราคาถูกและมีความเหมาะสมเพียงพอต่อการใช้งานในการเรียนรู้เรื่องการตกอิสระ ยกตัวอย่างเช่น ชุดตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Janthanee A., et al, 2019) สำหรับการทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน ยูโน (Arduino Uno) เป็นตัวกลางเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับชุดกำเนิดแม่เหล็กไฟฟ้าและเซนเซอร์ตรวจจับแรงกระแทก มีลักษณะการทำงานคือ ควบคุมการปล่อยตกของวัตถุแม่เหล็กและจับเวลาด้วยโปรแกรม STOPwatch ที่ติดตั้งลงบนคอมพิวเตอร์ สามารถใช้ผลการทดลองคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้เท่ากับ 8.798 เมตรต่อวินาที² แต่ข้อสังเกตของชุดตกอิสระนี้คือ ต้องมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งการ รวมทั้งในกระบวนการทดลองต้องมีการใช้เครื่องมือวัดระยะความสูงของวัตถุทำให้เกิดความไม่สะดวก อีกทั้งมวลของวัตถุต้องมีมากเพียงพอที่จะทำให้ตัวเซนเซอร์ตรวจจับแรงกระแทกได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดด้านการใช้งาน

การพัฒนาชุดวัดความเร่งโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลลัพธ์ผ่านสมาร์ทโฟน (Somporn B., 2019) ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน ยูโน ควบคุมการรับส่งค่าต่าง ๆ เพื่อกำหนดการเริ่มและหยุดเวลาการตกอิสระของวัตถุ แสดงผลลัพธ์เวลาที่ใช้ในการตกของวัตถุผ่านโปรแกรมประยุกต์ (application) บนสมาร์ทโฟนด้วยการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสัญญาณบลูทูธ (Bluetooth) สามารถนำผลการทดลองเพื่อคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้เท่ากับ 10.1302 เมตรต่อวินาที² ข้อสังเกตของงานวิจัยนี้คือ ในขั้นตอนการทดลองยังจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดความสูงของวัตถุ และต้องให้ผู้ทดลองเป็นผู้ปล่อยมวลวัตถุให้ตกลงบนเซนเซอร์ตัวจับแรงกระแทก ผลการทดลองจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนจากจังหวะของการปล่อยวัตถุ อีกทั้งยังต้องติดตั้งโปรแกรมประยุกต์เพิ่มเติมลงในสมาร์ทโฟน

Suchane P. et al., (2014) ได้พัฒนาชุดทดลองการตกอิสระโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA1280 เป็นตัวควบคุมการปล่อยตกและจับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุ ใช้อัลตราโซนิกส เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดระยะความสูงและใช้เซนเซอร์แสงจำนวน 2 ตัว เพื่อตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ แสดงผลเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านจอแอลซีดี (Liquid Crystal Display: LCD) ผลการทดลอง คำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้เท่ากับ 9.78 เมตรต่อวินาที² ข้อสังเกตของงานวิจัยนี้คือ การใช้เซนเซอร์แสง 2 ตัว ทำให้ต้องจัดวางตำแหน่งในแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุเดียวกัน ถ้าไม่ตรงกัน จะเกิดการกระแทกของวัตถุกับเซนเซอร์แสงตัวล่างเกิดความเสียหายได้ ไม่สะดวกในการใช้งาน

Patrik V. et al, (2012) ได้ศึกษาการตกอิสระด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งบนสมาร์ตโฟนที่ได้รับการติดตั้งโปรแกรมประยุกต์ SPARKvue ทดลองโดยการปล่อยสมาร์ตโฟนให้ร่วงตกอย่างอิสระที่มีความ สูง 1.575 เมตร ได้ผลลัพธ์คือค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ $10.0 \pm 0.2\%$ เมตรต่อวินาที² ข้อสังเกต ของงานวิจัยนี้คือ ความเสี่ยงต่อความเสียหายจากแรงกระแทกของสมาร์ตโฟนที่ใช้ทดลอง

Direk B., et al, (2013) ได้พัฒนาอุปกรณ์ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อติดตามการตกอิสระของวัตถุ โดยอาศัยเปียโซอิเล็กทริกสเป็นเซนเซอร์ตรวจรู้การตกของวัตถุ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876A เป็นตัวประมวลผลข้อมูลแล้วแสดงผลของเวลาที่ใช้ด้วยจอแอลซีดี ผลการทดสอบได้ค่าเฉลี่ยความเร่ง โโน้มถ่วงของโลก 9.78298 เมตรต่อวินาที² ข้อสังเกตของงานวิจัยนี้คือ ในกระบวนการทดลองยังต้องใช้ เครื่องมือวัดความสูง และการปล่อยวัตถุให้ตกกระทบลงบนแผ่นเปียโซอิเล็กทริกสอาจจะทำให้แผ่น เปียโซอิเล็กทริกสพังเสียหาย อีกทั้ง มวลของวัตถุตกกับระยะความสูงต้องมีน้ำหนักเพียงพอที่จะทำให้ เปียโซอิเล็กทริกสรับรู้แล้วตรวจวัดได้

การศึกษาการตกอิสระของวัตถุโดยใช้ภาพที่ถ่ายได้ด้วยกล้องดิจิทัลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ (Pagamas G. et al, 2011) โดยใช้ภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของวัตถุในทุก ๆ 33 มิลลิวินาที มาใช้ประมวลผล จากการทดสอบพบว่าคำนวณความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้เท่ากับ 9.8 เมตรต่อวินาที² ข้อสังเกตของการทดลองนี้คือ ความลำบากในการจัดวางตำแหน่งของกล้องดิจิทัล ที่ต้องจัดวางให้สัมพันธ์กับความสูงของการปล่อยวัตถุ รวมทั้งความยุ่งยากในกระบวนการทดลอง

จากงานวิจัยที่สืบค้นมาจะพบว่าการพัฒนาชุดทดลองการตกอิสระโดยส่วนมากจะเลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีราคาสูง แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องอุปกรณ์ที่นำมาใช้ประกอบชุดการทดลอง ได้แก่ การวัดระยะด้วยไม้มบรรทัดหรือตลับเมตร การให้เซนเซอร์รับแรงกระแทกโดยตรงจากการตกของวัตถุ การปล่อยวัตถุด้วยมือ การใช้เซนเซอร์แสง 2 ตัว การติดตั้งโปรแกรมหรือโปรแกรมประยุกต์เพิ่มเติม ล้วนส่งผลต่อวิธีการทดลองที่ยุ่งยากและอายุการใช้งานของชุดทดลอง ในบทความนี้จึงนำเสนอ แนวทางการพัฒนาชุดตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีความแม่นยำ สะดวกต่อการใช้งาน และมีราคาประหยัด ออกแบบโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน ยูโน อาร์ที (Arduino Uno R3) ตรวจวัดระยะความสูงด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกส และใช้การตรวจจับโลหะสำหรับรับรู้การตกเพื่อลด ผลกระทบจากการกระแทกลงบนตัวเซนเซอร์โดยตรง เปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าความเร่งโน้มถ่วง มาตรฐาน วิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์ด้วยการประเมินผลความพึงพอใจในด้าน คุณลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ต้นแบบและความเหมาะสมด้านการนำไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่สำคัญในการพัฒนาชุดทดลองตกอิสระมีรายละเอียดดังนี้

1) การตกอย่างอิสระ

ถ้าความเร่งของอนุภาคหรือวัตถุใดๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาจะทำให้เกิดความซับซ้อนและยากต่อการวิเคราะห์ วิธีที่ง่ายและสะดวกในการพิจารณาการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติก็คือการวิเคราะห์โดยกำหนดให้ความเร่งมีค่าคงตัว ซึ่งการตกอิสระก็เป็นรูปแบบหนึ่งของการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้

หากไม่คิดถึงความต้านของอากาศแล้วจะพบว่าวัตถุต่างๆ จะตกลงลงบนพื้นผิวโลกด้วยความเร่งเดียวกัน คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (Gravity : g)

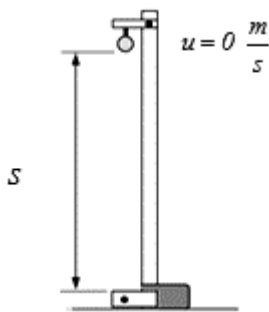


Figure 1 Principle laws of Free fall.

จาก Figure 1 เมื่อความเร็วเริ่มต้นที่จุดปล่อยตกของอนุภาคมีค่าเท่ากับ 0 เมตรต่อวินาที จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีสมการเป็น

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

โดย s คือ ระดับความสูงในการปล่อยวัตถุ มีหน่วย เมตร

t คือ เวลาสุดท้ายของการเคลื่อนที่วัตถุ มีหน่วย วินาที

g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก

ดังนั้นแล้ว เมื่อคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงได้จากสมการที่ (1) จะสามารถคำนวณความเร็ว ณ จุดตกของวัตถุได้ด้วยสมการ

$$v = gt \quad (2)$$

ซึ่งหากคำนึงถึงกฎการอนุรักษ์พลังงาน เมื่อพลังงานศักย์เริ่มต้นของอนุภาคเท่ากับพลังงานจลน์ที่จุดวัตถุตกกระทบ จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่จุดตกกับระดับความสูง เป็นไปตามสมการ

$$v^2 = 2gs \quad (3)$$

โดย v คือ ความเร็วที่จุดตกของวัตถุ มีหน่วย เมตรต่อวินาที

2) บอร์ดอาduino ยูโน อาร์ที

ใน Figure 2 บอร์ดอาduino ยูโน อาร์ที เป็นบอร์ดที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เรียนรู้การโปรแกรมภาษา (Coding) และเรียนรู้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยบอร์ดรุ่นนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ด ATmega328P ในการทำงาน มีจำนวนขาดีจิทัลอินพุต/เอาต์พุต 14 ขา ในจำนวนนี้มี 6 ขาซึ่งสามารถใช้ฟังก์ชันการทำงานเป็นเอาต์พุตมอดูเลตความกว้างพัลส์ PWM ได้ มีพอร์ตอะนาล็อกอินพุตจำนวน 6 ขา ใช้ตัวสร้างความถี่ซินติเซรามิก 16 เมกะเฮิร์ตซ์ สามารถเชื่อมต่อแบบยูเอสบีได้ ในกรณีที่บอร์ดเกิดปัญหาที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถถอดเปลี่ยนตัวใหม่ทดแทนได้ด้วยราคาไม่แพง



Figure 2 Arduino UNO R3 board.
(Radionics Ltd., Arduino datasheet)

3) การตรวจจับโลหะ

เครื่องตรวจจับโลหะ (Metal detectors : MD) ถูกออกแบบและนำมาใช้ในงานรักษาความปลอดภัย ทั้งทางด้านงานทหารและพลเรือน เพื่อค้นหาวัตถุโลหะ เช่น วัตถุระเบิด เหยี่ยวยาเสพติด ตะปู เป็นต้น ด้วยหลักการทำงานพื้นฐานตามกฎกระแสของแอมแปร์ (Ampere's laws) และกฎของฟาราเดย์ (Faraday's laws) คือ

$$\oint B_T dl = \mu_0 I \quad (4)$$

โดย μ_0 คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของสุญญากาศ

l คือ ความยาวของตัวนำเส้นโค้งวงรอบปิด

I คือ กระแสไฟฟ้า

และสมการสนามไฟฟ้า คือ

$$\oint E dl = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (5)$$

โดย E คือ สนามไฟฟ้า

ϕ_B คือ ฟลักซ์ (เส้นแรง) แม่เหล็ก

ซึ่งอธิบายว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic fields : B_T) ถูกสร้างขึ้นจากการผ่านกระแสในขดลวด จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy current) ในโลหะที่อยู่ใกล้เคียง กระแสไหลวนนี้จะไปสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเดิม การตรวจรู้ถึงเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กเดิมนี้อาจทำให้ทราบได้ว่าการตรวจพบโลหะในบริเวณใกล้เคียง

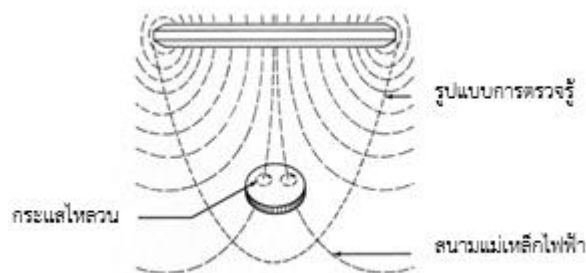


Figure 3 Eddy currents flow over metal surface.

4) อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์

อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ (Ultrasonic sensor) เป็นการนำหลักการสะท้อนของคลื่นความถี่สูงราว 40 กิโลเฮิร์ตซ์ มาประยุกต์ใช้งานดัง Figure 4 โดยเซ็นเซอร์หนึ่งชุดจะประกอบด้วยตัวส่งคลื่นและตัวรับคลื่น ระยะทาง s ที่คำนวณได้มีสมการเป็นไปตามหลักการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ดังที่คือ

$$s = v \frac{t}{2} \quad (6)$$

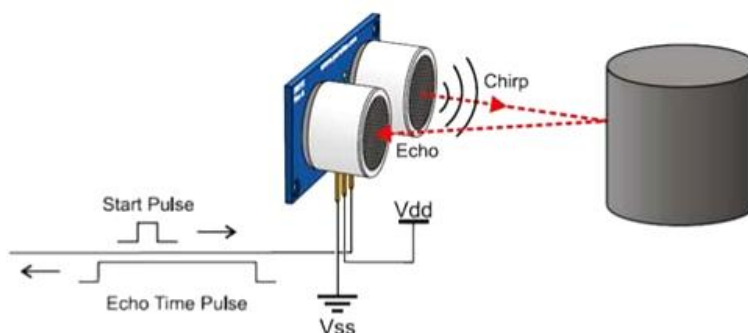


Figure 4 The Reflective of Ultrasonic Sensor.

(Rahul N. Dhole, 2014)

วิธีการวิจัย

แบ่งการดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบชุดทดลองการตกอิสระ การทดสอบชุดทดลอง และการประเมินผลความพึงพอใจการใช้งานชุดทดลองต้นแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การออกแบบชุดทดลอง

องค์ประกอบของชุดทดลองตกอิสระต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้แสดงตาม Figure 5 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนจะเชื่อมต่อกับตัวตรวจจับอัลตราโซนิกที่ขา A0 และ A1 กำหนดให้รับสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจจับโลหะผ่านขา D1 และกำหนดให้ขา D2 ส่งสัญญาณออกขับรีเลย์เพื่อควบคุมการปล่อยตกบอลโลหะของชุดสร้างสนามแม่เหล็ก แสดงผลของเวลาที่ใช้นานจอแอลซีดีที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวิธี i^2C

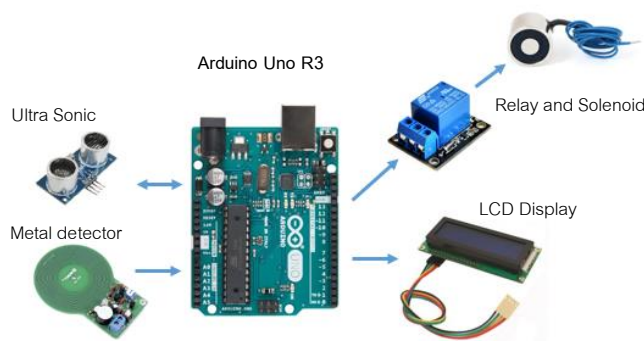


Figure 5 Generalized diagram of the proposed system.

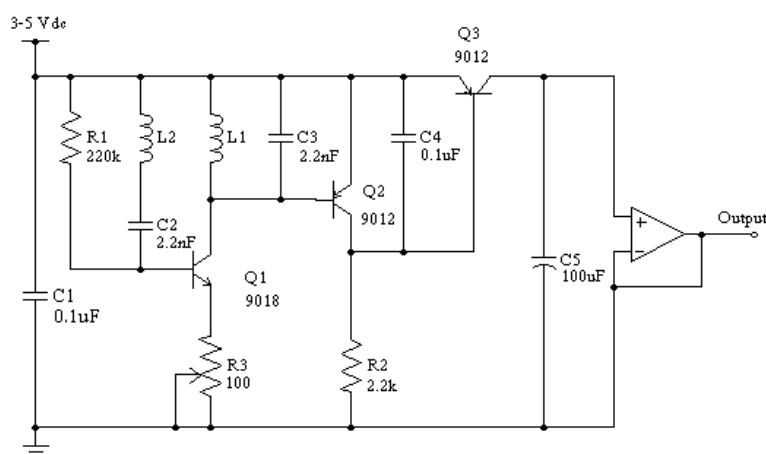


Figure 6 Metal Detector circuit.

ใน Figure 6 แสดงวงจรตรวจจับโลหะที่ใช้ในงานต้นแบบ วงจรใช้แรงดันขับตั้งแต่ 3-5 โวลต์ ชุดกำเนิดความถี่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ L1 L2 และ C2 โดยตัวเหนี่ยวนำ L1 และ L2 จะถูกพิมพ์เป็นลายวงจรอยู่บนกระดาษเดียวกัน ในขณะที่ยังตรวจไม่พบโลหะ ขดลวด L1 จะยังคงมีแรงดันเฟสเดียวกันเฟสที่ขดลวด L2 แต่เมื่อวงจรตรวจพบโลหะ ก็จะมีกระแสไหลวนบนเนื้อโลหะ ทำให้เกิดความต่างเฟสกันระหว่าง L1 และ L2 ความต่างเฟสนี้จะผ่านเข้าสู่วงจรขยายที่ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q3 ก่อนจะป้อนสัญญาณให้กับวงจรพัลส์แล้วส่งสัญญาณต่อไปยังขาคิจิทัลอินพุตของอาดูโย ยูโน อาร์ทรีเพื่อกำหนดรูปแบบการทำงานต่อไป

ในส่วนของชุดทดลองต้นแบบ ประดิษฐ์ขึ้นด้วยกล่องพลาสติก ก้านวัดระยะกระจัดใช้เหล็กกล่องสแตนเลสขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 1 เมตร ติดตั้งอัลตราโซนิกและตัวสร้างอำนาจแม่เหล็กที่ขุดเลื่อนตำแหน่ง ติดตั้งชุดตรวจจับโลหะที่บริเวณด้านหลังของแผ่นไม้ที่รองรับการตก จอแอลซีดีสำหรับแสดงผลเวลาการตกและสวิตช์ควบคุม ติดตั้งบริเวณด้านข้างของชุดรับรู้การตกอิสระ แสดงชุดต้นแบบดัง Figure 7

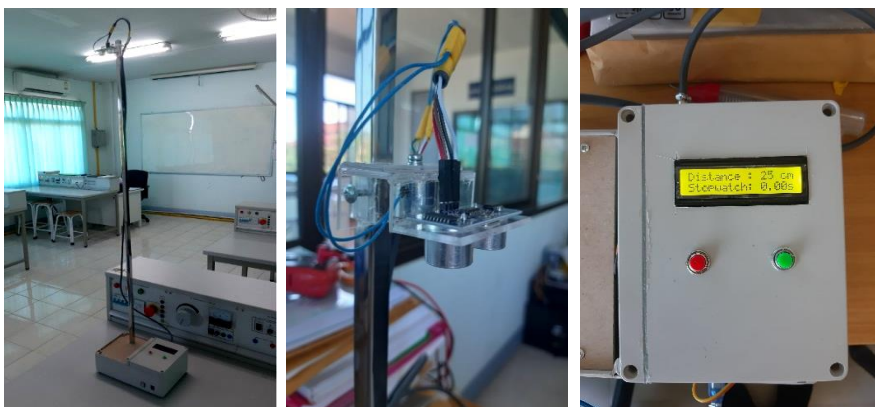


Figure 7 Free-fall motion experiment device.

2) การทดสอบชุดตกอิสระ

ออกแบบขั้นตอนวิธีการทำงานของชุดตกอิสระ ตามผังงานใน Figure 8 เขียนโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ ตรวจสอบความถูกต้องของการแสดงผล และนำไปทดสอบการทำงาน

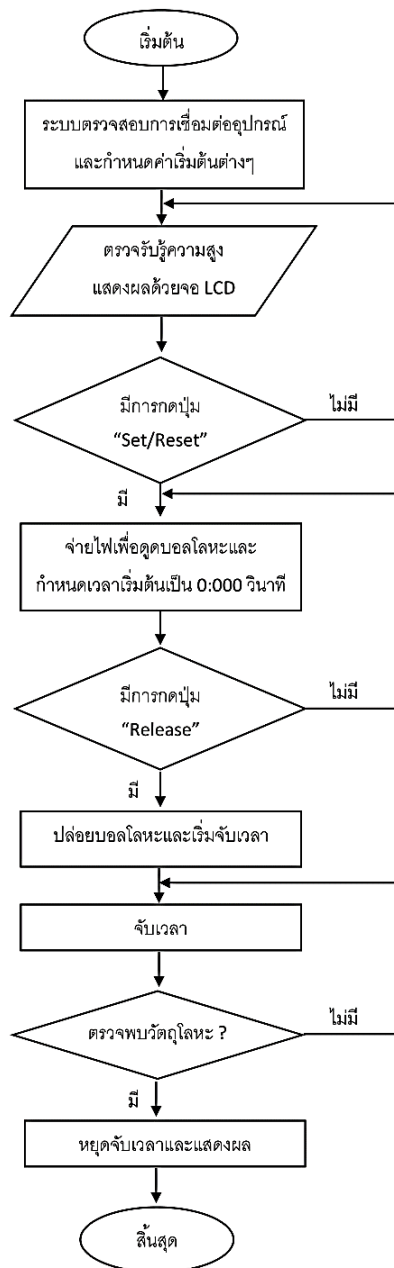


Figure 8 Flowchart of Free fall Algorithm.

ในการทดสอบการทำงาน จะเริ่มด้วยการทดสอบเพื่อหาความคลาดเคลื่อนจากการวัดระยะด้วยการกำหนดความสูงของการปล่อยบอลเหล็ก 5 ตำแหน่ง ได้แก่ 0.10 0.20 0.30 0.40 และ 0.50 เมตร เปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จากตัวตรวจรู้อัลตราโซนิกกับค่าที่วัดได้ด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐาน (ตลับเมตร)

การทดสอบเพื่อหาค่าความเร่งโน้มถ่วง จะใช้จุดปล่อยวัตถุ 5 ตำแหน่งเดียวกันกับการทดสอบที่ผ่านมา บันทึกเวลาที่อ่านได้จากจอแสดงผลเพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงตามสมการที่ (1) โดยในการทดลองนี้จะทำซ้ำที่ตำแหน่งทดสอบเดิม 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้กับค่าความเร่งโน้มถ่วงมาตรฐาน

3) การประเมินชุดทดลอง

ประเมินโดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาที่เรียนในรายวิชาฟิสิกส์ ปีการศึกษา 2565-2566 วิทยาลัยพณิชยบัณฑิต จังหวัดหนองบัวลำภู จำนวนรวม 20 คน ประเมินผลความพึงพอใจในด้านลักษณะการใช้งานของชุดทดลองและความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน โดยความหมายของการประเมินคุณภาพที่สอดคล้องกับคะแนนเฉลี่ยเป็นดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายถึง ดีมาก

ค่าเฉลี่ย 3.50 - 4.49 หมายถึง ดี

ค่าเฉลี่ย 2.50 - 3.49 หมายถึง ปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50 - 2.49 หมายถึง น้อย

ค่าเฉลี่ย 0.00 - 1.49 หมายถึง น้อยมาก

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองวัดค่าความสูงที่อ่านได้ในระยะ 0.5 เมตร จากตัวตรวจรู้อัลตราโซนิกส์ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากตลับเมตรมาตรฐาน แสดงใน Table 1 ซึ่งจะพบว่ามีความผิดพลาดร้อยละ 0.00

Table 1 Comparison of height between the ultrasonic sensor and the ruler.

Ruler (metre)	HC-SR04 (metre)	Error (%)
0.10	0.10	0.00
0.20	0.20	0.00
0.30	0.30	0.00
0.40	0.40	0.00
0.50	0.50	0.00

การทดสอบเพื่อหาค่าเวลาเฉลี่ยในการตกของวัตถุแสดงใน Table 2 ซึ่งพบว่าเวลาเฉลี่ยที่วัดได้ในระยะความสูงที่ 0.10 0.20 0.30 0.40 และ 0.50 เมตร มีค่าเท่ากับ 0.14 0.20 0.25 0.29 และ 0.32 วินาทีตามลำดับ

เมื่อนำผลของค่าเวลาเฉลี่ยกำลังสองไปพล็อตกราฟจะได้ดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งพบว่าเส้นถดถอย R^2 เท่ากับ 1.0 โดยมีค่าความชันเท่ากับ 5 และเมื่อนำค่าความชันนี้ไปพิจารณาตามสมการที่ (1) จะสามารถคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกได้เท่ากับ 10.0 เมตรต่อวินาที² ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าที่ตรวจสอบได้โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (ประเทศไทย) ณ บริเวณจังหวัดอุดรธานี (Tasanee P., 2018) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.784156709 เมตรต่อวินาที² หรือมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.206

Table 2 The Square of the average time for a free fall experimental result 3 times.

Height (metre)	Time (second)				t_{av}^2
	t_1	t_2	t_3	t_{av}	
0.10	0.14	0.14	0.14	0.14	0.02
0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.04
0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.06
0.40	0.28	0.29	0.29	0.29	0.08
0.50	0.32	0.32	0.32	0.32	0.10

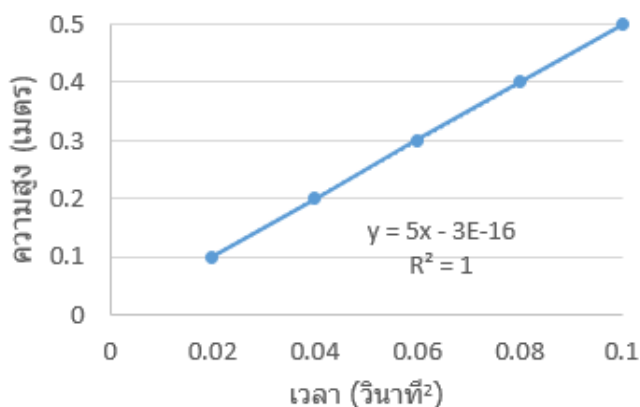


Figure 9 Plot the measuring points in a coordinate system with time² and height.

ผลการประเมินความพึงพอใจในด้านลักษณะการใช้งานของชุดทดลองสามารถสรุปได้ดัง Table 3 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.89 อยู่ในระดับดีมาก และผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนสามารถสรุปได้ดัง Table 4 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.92 อยู่ในระดับดีมาก

Table 3 Evaluation of student response regarding the application of learning materials developed.

รายการ	X	S.D.
ความสะดวกในการเตรียมอุปกรณ์และการปฏิบัติการทดลอง	4.90	0.30
ผลการวัดมีความถูกต้อง เชื่อถือได้	4.75	0.43
ปลอดภัยในขณะปฏิบัติการทดลอง	4.95	0.22
เคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.95	0.22
รวมคะแนนเฉลี่ย	4.89	0.29

Table 4 Evaluation of student response regarding practicality of the Free fall Experimental Device.

รายการ	X	S.D.
สามารถเรียนรู้และเข้าใจเนื้อหาเป็นรูปธรรม	4.80	0.40
สามารถเรียนรู้ได้ง่าย เป็นการให้ประสบการณ์ตรง	5.00	0.00
สามารถใช้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่ม	4.90	0.30
ใช้เวลาในการทดลองน้อย	5.00	0.00
ได้ผลการทดลองถูกต้องเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.90	0.30
รวมคะแนนเฉลี่ย	4.92	0.233

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องมือทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกด้วยวิธีการตกอิสระ ที่มีราคาถูก ความเที่ยงตรงสูง ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโน ยูโน อาร์ที โดยใช่วิธีการตรวจจับโลหะ (Metal Detection) เป็นตัวตรวจรู้การตกอิสระของวัตถุโลหะ และวัดความสูงด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ ผลการทดลองการวัดความสูงด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์เทียบกับตลับเมตรมาตรฐาน พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.00 และผลการทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าได้ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 10.0 เมตรต่อวินาที² ซึ่งเมื่อนำชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นไปใช้เป็นสื่อการสอนนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ในรายวิชาฟิสิกส์กลุ่มพื้นฐานทางวิศวกรรม ปีการศึกษา 2565 -2566 วิทยาลัยพณิชยบัณฑิต จังหวัดหนองบัวลำภู จำนวน 20 คน แล้วประเมินผลความพึงพอใจในการใช้งานและความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน พบว่า มีความพึงพอใจในด้านลักษณะการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 4.89 และมีความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนเฉลี่ยเท่ากับ 4.92 อยู่ในระดับดีมาก จึงแสดงให้เห็นว่าชุดทดลองการตกอิสระที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมเพียงพอต่อการใช้เป็นสื่อการสอน

References

- Direk B., Santipap S., Aphichard P., Udomdej P. and Chutima O., (2013). Development of Experimental Equipment for Observation the Freefall Action by Piezoelectric Device. *Thai Science and Technology Journal*. 21(1). 41-47.
- Janthanee A., Chanoknan B., and Charud B., (2019). Free Falling Experiment Controlled by Microcomputer. *Science and Technology RMUTT Journal*. 9(1). 54-65.
- McDougal, D.W., (2012) *Newton's Gravity: An Introductory Guide to the Mechanics of the Universe*. Springer and Associates, Berlin
- Pagamas G., Suwimol R., Chitnarong S., Chairote Y. and Yaowarat S. (2011). Studies of Free Falling Object and Simple Pendulum Using Digital Video Analysis, *Walailak J Sci & Tech*, 8(1). 63-69.
- Patrik Vogt and Jochen Kuhn. (2012). Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher*. 50(3). 182-183.
- Rahul N. Dhole, Vishal S. Undre, Chetan R. Solanki, Satish R. Pawale, (2014). Smart traffic signal using ultrasonic sensor, *International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCCE)*, Coimbatore, India, 1-4
- Raymond A. Serway, Chris Vuille, and Jerry S. Faughn, (2009). *College Physics* 8thed., Cengage Learning: Canada
- Somporn B., (2019). A Set of Gravitational Acceleration Measurement Using Simple Microcontroller, DIY Sensors and Smartphone. *J. Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning*. 10(2). 288-299.
- Suchane P., (2014). *Development of the Prototype of Free fall Experiment*. (Research report). Songkhla: Thaksin University
- Tasanee P., (2018). *The measurement of gravity in Thailand and its importance*, National Institute of Metrology (Thailand).