



## ชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

### Free Falling Experiment Controlled by Microcomputer

ชนกนันท์ บางเลียง<sup>1</sup> จรัส บุญขรรพมา<sup>1</sup> และ จันทน์ อุทธิสินธุ์<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

\*E-mail: janthanee\_a@rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างและพัฒนาชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้คือ ตอนที่ 1 สร้างและพัฒนาชุดทดลอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้ ออกแบบการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สร้างชุดทดลอง และ เขียนโปรแกรมควบคุม จากนั้นนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปทำการทดลองเก็บข้อมูล เพื่อคำนวณหา ค่า  $g$  แก้ไขข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องที่ตรวจพบ ทั้งในส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ และตอนที่ 2 ศึกษาความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีต่อชุดทดลอง

ผลการใช้ชุดทดลองที่สร้างและพัฒนาขึ้นหาค่า  $g$  ได้เท่ากับ 8.798 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีต่อชุดทดลองทั้ง 4 ด้าน พบว่าด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.70 อยู่ในระดับดีมาก ด้านลักษณะการใช้งานมี ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.20 อยู่ในระดับดี ด้านการติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษา มีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.34 อยู่ในระดับดี และ ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน มีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.58 อยู่ในระดับดีมาก

**คำสำคัญ :** ชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์, ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

Received: November 18, 2018

Revised: January 22, 2019

Accepted: May 14, 2019

### Abstract

The purpose of this research are to construct and to develop a free falling experiment controlled by microcomputer for observing the acceleration due to gravity of the earth (g). There are two parts for conducting the research. Part 1: Constructing and developing the experimental set. Part 2: Study the satisfaction of Physics specialists. The process of constructing and developing experimental set, the researcher have designed the computer programming by Microcontroller Arduino, invented experimental set and write the controlling program. The invented experimental set is used to test the data. Then, Calculating g value and the bug fixing both for the software and hardware are conducted. Results were the satisfaction of the developed experimental set by 4 Physics specialists.

Based on the experimental set developed, the observed g value was  $8.798 \text{ m/s}^2$ . The results of the satisfaction of the experimental set were developed in four aspects. On the general physical aspect, the average score of 4.70 which was very good was obtained. In term of usage, the average score of 4.20 which was good was found. The average score of construction installing and maintenance was 4.34 which was in good level. Also, the appropriateness of the implementation of teaching average score was 4.58 which was very good.

**Keywords:** free falling experiment controlled by microcomputer, acceleration due to gravity of the earth.

### 1. บทนำ

การเรียนการสอนฟิสิกส์สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือทักษะกระบวนการทดลองเพื่อช่วยเพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองเป็นการจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติที่นำมาศึกษาในชั้นเรียน เมื่อทำการทดลองผู้เรียนต้องลงมือปฏิบัติจริงในการวัดและการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูลได้ถูกต้องและชัดเจน การใช้ชุดทดลองอย่างง่ายในการจัดการเรียนการสอน จะช่วยทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจแนวคิดในทางฟิสิกส์ ทั้งนี้การใช้ชุดทดลองจะช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนสนใจในบทเรียนมากขึ้น ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ เพราะเราสามารถสร้างเครื่องมือขึ้นได้เองโดยใช้

วัสดุในประเทศที่มีราคาถูกกว่า ซึ่งช่วยประหยัดงบประมาณของประเทศได้อีกทางหนึ่ง

ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสนามโน้มถ่วงของโลก เป็นปริมาณที่ใช้มากทั้งทางฟิสิกส์และวิศวกรรม และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของทุกคน เกิดจากการที่โลกและวัตถุบนโลกมีแรงดึงดูดกระทำซึ่งกันและกัน ค่า g มีค่าแตกต่างกันตามตำแหน่งต่าง ๆ บนโลก เพราะแต่ละตำแหน่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกไม่เท่ากัน ยิ่งสูงจากพื้นโลกขึ้นไปเท่าใด ค่า g จะมีค่าน้อยลง ในทางปฏิบัติ ค่า g บนผิวโลกมีค่าคงที่ ใช้ค่าเฉลี่ยเป็น  $9.80 \text{ เมตร/วินาที}^2$  [1] สำหรับค่า g ในประเทศไทย สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติได้ทำการทดลองหาค่า g

ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ค่าดังนี้ ที่กรุงเทพมหานครมีค่าเท่ากับ 9.78297 เมตร/วินาที<sup>2</sup> จังหวัดปทุมธานี มีค่าเท่ากับ 9.78312 เมตร/วินาที<sup>2</sup> [2] เป็นต้น

การทดลองเพื่อหาค่า  $g$  มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การสร้างเครื่องมือเพื่อพิสูจน์ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างง่ายด้วยวิธีตกอิสระโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการปล่อยวัตถุ และใช้นาฬิกาดิจิตอลจับเวลาเมื่อวัตถุถูกปล่อยนาฬิกาจะเริ่มทำงาน และเมื่อวัตถุตกถึงพื้นนาฬิกาจะหยุด [3] มีการสร้างต้นแบบชุดทดลองการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแบบประหยัดที่สามารถใช้งานได้ง่ายจริง โดยการจับเวลาการตกของลูกกลมเหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ระดับความสูงต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มา หาค่า  $g$  เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากชุดทดลองที่ซื้อจากบริษัทเอกชนที่ใช้งานอยู่ [4] นอกจากนี้ยังมีการออกแบบและสร้างชุดทดลองการตกอิสระของวัตถุโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ มีการจำลองกราฟความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามทฤษฎีด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอิสระ ระหว่างชุดจำลองที่สร้างขึ้นกับการจำลองทางทฤษฎี [5]

การทดลองให้วัตถุตกอย่างอิสระ เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการหาค่า  $g$  เสมอ เพราะเป็นการทดลองที่เข้าใจได้ง่าย สมการที่ใช้ในการคำนวณไม่ซับซ้อน และใช้เวลาในการทดลองไม่นาน แต่ชุดการทดลองส่วนใหญ่จะถูกนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง นอกจากนี้ชุดทดลองที่นำเข้าจากต่างประเทศยังพบปัญหาการซ่อมบำรุง

สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้เคยซื้อชุดทดลองสำเร็จรูปมาใช้งานเช่นกัน โดยชุดทดลองประกอบด้วยนาฬิกาจับ

เวลา มีสายต่อกับสวิตช์ด้านบน เมื่อวัตถุตกสวิตช์นี้จะไปกระตุ้นให้นาฬิกาจับเวลาเดิน เมื่อวัตถุตกมากระทบกับสวิตช์สัมผัส (ประกอบด้วยโลหะ 2 แผ่นประกบกัน โดยปกติจะอยู่ในสถานะ ๐V) ซึ่งวางอยู่ที่พื้น แผ่นโลหะทั้งสองแตะกัน ทำให้นาฬิกาหยุดเดิน ผู้ทดลองต้องวัดความสูง และอ่านค่าเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ปัญหาที่พบคือเมื่อชุดทดลองชำรุดจะทำการซ่อมบำรุงยุ่งยาก ขาดความสะดวกในการบำรุงรักษาและต้องใช้งบประมาณส่วนหนึ่งในการซ่อมบำรุง

ด้วยเหตุดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจออกแบบ สร้าง และพัฒนาชุดการทดลอง ที่มีประสิทธิภาพ และคุณภาพดี สามารถใช้ในการเรียนการสอนและทำการทดลองได้อย่างถูกต้องตรงตามทฤษฎีและเห็นผลการทดลองที่ชัดเจน และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายงบประมาณในการจัดซื้อชุดทดลอง และสามารถซ่อมบำรุงได้ด้วยตัวเองอีกด้วย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและพัฒนาชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับใช้ในการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีต่อชุดทดลอง

### 2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง สร้างชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ ตอนที่ 1 การสร้างและพัฒนาชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ และตอนที่ 2 ศึกษาความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีต่อชุดทดลองตกอิสระควบคุม

ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ  
ทางด้านฟิสิกส์จำนวน 4 ท่าน

#### ตอนที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลองการตกอย่างอิสระ

การสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของ  
ชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์  
ที่พัฒนาขึ้น มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง  
เกี่ยวกับการเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัย  
เลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino [6] [7] [8]  
ซึ่งเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR  
ที่ได้รับการพัฒนาให้ใช้งานได้ง่ายอีกทั้งยังมีการ  
เปิดเผยข้อมูลทั้งทางด้าน software และ hardware  
รวมทั้งสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง  
พอร์ต USB ได้ง่ายจึงเหมาะกับการนำไปพัฒนาต่อ  
ยอดเป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

อุปกรณ์ของชุดควบคุมการทำงาน  
ประกอบไปด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ด  
ขับรีเลย์ ชุดจ่ายไฟ ชุดแม่เหล็กไฟฟ้า ชุดเซนเซอร์  
ตรวจจับแรงกระแทก

ชุดจ่ายไฟ ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้า  
กระแสสลับ AC 220V ให้เป็นแรงดันไฟฟ้า  
กระแสตรง DC 12V เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์  
อิเล็กทรอนิกส์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่  
เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB ซึ่งจะ  
ใช้โปรแกรมในการจำลอง USB ให้เป็นพอร์ต  
อนุกรม (serial port) ผ่านทาง COM พอร์ตซึ่งเมื่อ

ผู้ใช้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับพอร์ต USB แล้ว  
เปิด โปรแกรม StopWatch ต้องทำการเลือก  
หมายเลข COM พอร์ตที่อุปกรณ์ต่อเชื่อมอยู่กับไม  
โคร คอนโทรลเลอร์

บอร์ดขับรีเลย์และชุดแม่เหล็กไฟฟ้า ทำ  
หน้าที่ในการเปิด-ปิดการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้า  
ซึ่งทำงานผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจาก  
วัตถุที่ใช้ในการทดลองคือ ลูกเหล็กทรงกลม ดังนั้น  
ผู้ทดลองจึงเลือกใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ใน  
การปล่อยวัตถุ เมื่อมีการสั่งงานให้แม่เหล็กไฟฟ้า  
หยุดการทำงาน นาฬิกาจับเวลาจะเริ่มทำงาน จนกว่า  
วัตถุจะตกกระแทกถาดอะลูมิเนียมจึงหยุดทำงาน

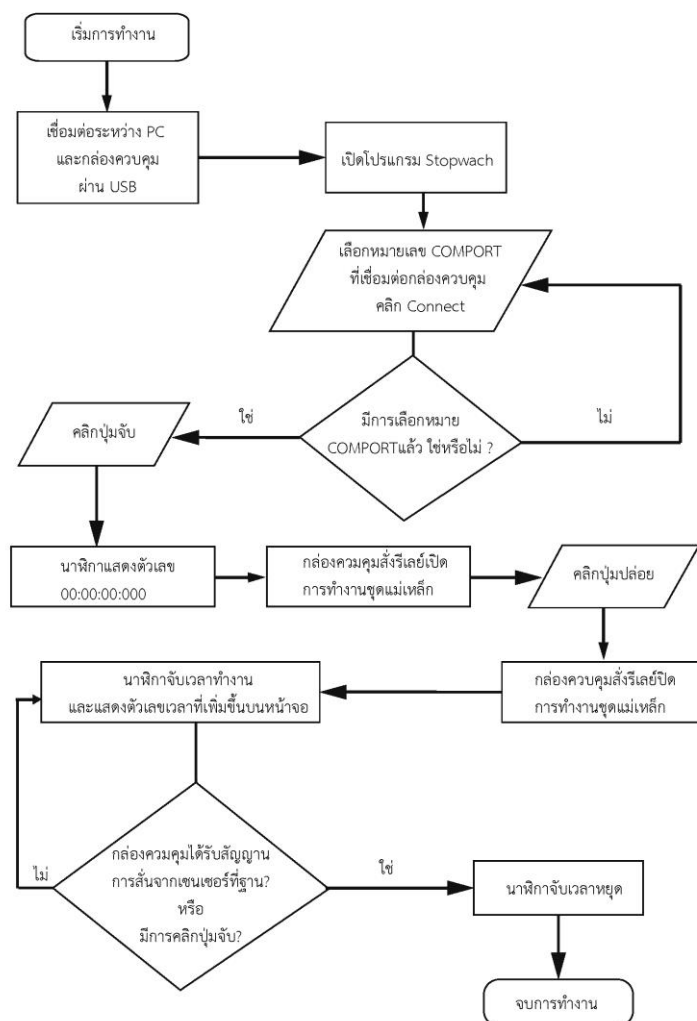
เซนเซอร์ตรวจจับแรงกระแทก ติดตั้งอยู่ที่  
ถาดอะลูมิเนียมเพื่อตรวจจับการสิ้นสุดเมื่อมี  
ลูกเหล็กมากระทบจะส่งสัญญาณไปหยุดการทำงาน  
ของนาฬิกาจับเวลา

2. ออกแบบการทำงานของโปรแกรมและ  
วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เชื่อมต่อกับพอร์ต USB

3. สร้างชุดทดลอง และ เขียนโปรแกรม  
ควบคุมชุดทดลองตกอย่างอิสระ จนกระทั่งได้ชุด  
ทดลองที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน ขั้นตอนการทำงานของ  
ชุดทดลอง เป็นตามผังดังรูปที่ 1

4. นำชุดทดลองไปทำการทดลองเพื่อ  
ตรวจวัดค่า g เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับชุด  
การทดลองที่มีอยู่แล้ว

5. แก้ไขข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องที่  
ตรวจพบ ทั้งในส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์



รูปที่ 1 ผังการทำงานของชุดทดลองที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน

## ตอนที่ 2 ศึกษาความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีต่อชุดทดลอง

การประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีต่อชุดทดลอง ผู้วิจัยนำชุดทดลองตกอิสระที่พัฒนาขึ้นและได้ปรับปรุงแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ไปให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ จำนวน 4 ท่านประเมิน โดยผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินประเมินความพึงพอใจจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น หนังสือเกี่ยวกับการวิจัย งานวิจัย และปริญญานพนธ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้าง

แบบประเมินความพึงพอใจของชุดทดลอง โดยแบบประเมินความพึงพอใจที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับตามวิธีของ Likert [9] กำหนดให้มีระดับการประมาณค่าดังนี้ดีมาก ดี พอใช้ ต้องปรับปรุง และใช้ไม่ได้ โดยมีคะแนนเป็น 5, 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งการประเมินครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินความพึงพอใจของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นใน 4 ด้าน คือ

1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไป จำนวน 4 ข้อ
2. ลักษณะการใช้งาน จำนวน 5 ข้อ

3. การจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม จำนวน 7 ข้อ

4. ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน จำนวน 8 ข้อ

นอกจากนั้นแล้วในการประเมินยังได้มีส่วนให้ผู้เชี่ยวชาญได้แสดงความคิดเห็น และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอีกด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นโดยนำคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 4 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) [9] 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

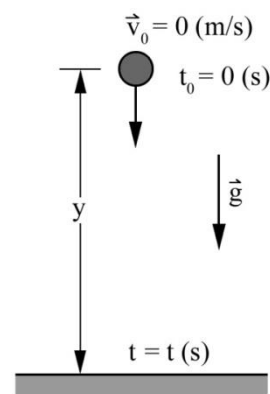
### 3. ผลการทดลอง

#### 3.1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเก็บข้อมูล โดยการปล่อยให่วัตถุตกที่ระยะความสูงที่ระดับต่าง ๆ แล้วนำค่าระยะความสูงและเวลาที่บันทึกได้ไปหาค่า  $g$  โดยอ้างอิงทฤษฎีการตกอิสระ [10] สมการการ

เคลื่อนที่สำหรับวัตถุการตกอย่างอิสระในสนามโน้มถ่วงของโลก คือ

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (1)$$



รูปที่ 2 แผนภาพการตกอย่างอิสระ

เมื่อปล่อยให่วัตถุตกอย่างอิสระ ความเร็วเริ่มต้น  $v_0 = 0$  (รูปที่ 2) ได้

$$y = \left( \frac{g}{2} \right) t^2 \quad (2)$$

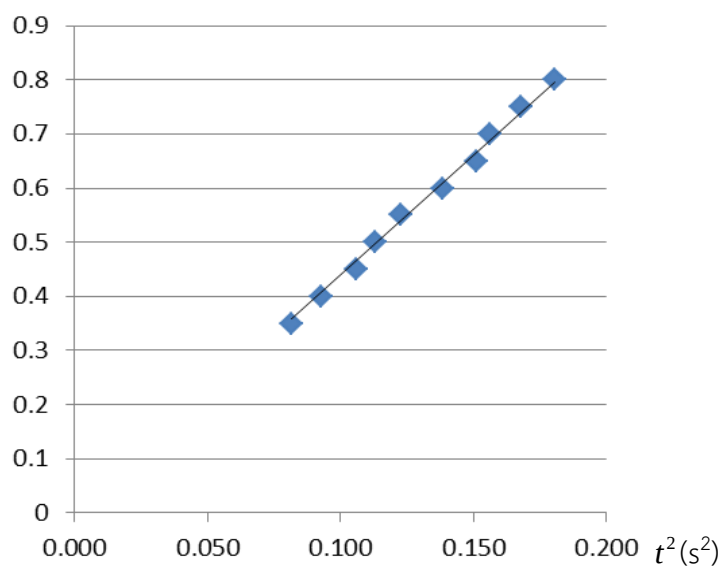
ที่ระยะความสูงต่างๆ ( $y$ ) และเวลา ( $t$ ) ณ ช่วงความสูงนั้น ๆ ก็สามารถคำนวณหาค่า  $g$  จากสมการ (2) ได้ และเขียนกราฟใน Microsoft Excel ผลการทดลองดังตารางบันทึกผลการทดลองดังนี้

จากผลการทดลองตามตารางที่ 1 คำนวณได้ค่า  $g$  เฉลี่ย 8.759 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาค่า  $g$  โดยใช้ชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

| ครั้งที่   | ความสูง<br>$y(m)$ | เวลาที่ลูกเหล็กตก $t$ (s) |       |       | $t$ เฉลี่ย<br>(s) | $t^2$ ( $s^2$ ) | $2y$<br>(m) | $g$ ( $m/s^2$ ) |
|------------|-------------------|---------------------------|-------|-------|-------------------|-----------------|-------------|-----------------|
|            |                   | $t_1$                     | $t_2$ | $t_3$ |                   |                 |             |                 |
| 1          | 0.35              | 0.292                     | 0.276 | 0.288 | 0.285             | 0.081           | 0.7         | 8.598           |
| 2          | 0.40              | 0.307                     | 0.303 | 0.303 | 0.304             | 0.093           | 0.8         | 8.638           |
| 3          | 0.45              | 0.327                     | 0.331 | 0.318 | 0.325             | 0.106           | 0.9         | 8.503           |
| 4          | 0.50              | 0.334                     | 0.345 | 0.329 | 0.336             | 0.113           | 1           | 8.858           |
| 5          | 0.55              | 0.346                     | 0.35  | 0.354 | 0.350             | 0.123           | 1.1         | 8.980           |
| 6          | 0.60              | 0.378                     | 0.366 | 0.373 | 0.372             | 0.139           | 1.2         | 8.656           |
| 7          | 0.65              | 0.388                     | 0.394 | 0.384 | 0.389             | 0.151           | 1.3         | 8.606           |
| 8          | 0.70              | 0.392                     | 0.402 | 0.392 | 0.395             | 0.156           | 1.4         | 8.958           |
| 9          | 0.75              | 0.405                     | 0.413 | 0.411 | 0.410             | 0.168           | 1.5         | 8.938           |
| 10         | 0.80              | 0.423                     | 0.425 | 0.427 | 0.425             | 0.181           | 1.6         | 8.858           |
| $g$ เฉลี่ย |                   |                           |       |       |                   |                 |             | 8.759           |

จากผลการทดลองตามตารางที่ 1 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $y$  และ  $t^2$  เป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $y$  และ  $t^2$

เมื่อนำค่า  $y$  และ  $t^2$  ไปเขียนกราฟ จะได้ค่าความชันเท่ากับ 4.399

$$\text{จากสมการ(2) ค่าความชัน (Slope)} = \frac{1}{2} g$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นจะได้ค่า } g &= 2(\text{ค่าความชัน}) \\ &= 2(4.399) \\ &= 8.798 \text{ เมตร/วินาที}^2 \end{aligned}$$

ค่า  $g$  ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ คือ 8.798 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ซึ่งในทางทฤษฎีค่า  $g$  มีค่าเท่ากับ 9.80 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของค่า  $g$  ที่ได้จากการทดลองคือร้อยละ 10.22

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยดำเนินการนำผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์จำนวน 4 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และค่าความเบี่ยงเบน

มาตรฐาน (S.D.) ซึ่งเป็นการประเมินความพึงพอใจใน 4 ด้าน มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

จากตารางที่ 2 สรุปผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.70)

จากตารางที่ 3 สรุปผลการประเมินลักษณะการใช้งานของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.20)

จากตารางที่ 4 สรุปผลการประเมินการจัดสร้าง การติดตั้ง โปรแกรม การบำรุงรักษา และการซ่อมแซมของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.34)

จากตารางที่ 5 สรุปผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นเมื่อพิจารณาโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก (ค่าเฉลี่ย 4.58)

ตารางที่ 2 ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพทั่วไปของชุดทดลอง

| รายการ                                     | $\bar{X}$ | S.D. | ความหมาย |
|--------------------------------------------|-----------|------|----------|
| มีความแข็งแรงทนทาน                         | 4.60      | 0.89 | ดีมาก    |
| การออกแบบชิ้นส่วนเหมาะสมสามารถสร้างได้ง่าย | 4.80      | 0.45 | ดีมาก    |
| การออกแบบเหมาะสม มีขนาดพอเหมาะ             | 4.40      | 0.89 | ดี       |
| การติดตั้งอุปกรณ์มีความมั่นคง              | 5.00      | 0.00 | ดีมาก    |
| ภาพรวม                                     | 4.70      | 0.56 | ดีมาก    |

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินลักษณะการใช้งานของชุดทดลอง

| รายการ                                                                                                                       | X    | S.D. | ความหมาย |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|----------|
| การเตรียมอุปกรณ์และปฏิบัติการทดลองทำได้สะดวก                                                                                 | 4.60 | 0.55 | ดีมาก    |
| มีการประสิทธิภาพในการทดลอง ค่าต่างๆที่ต้องการวัดสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ทำให้อ่านค่าได้ง่าย ผลการวัดมีความถูกต้อง เชื่อถือได้ | 4.20 | 0.45 | ดี       |
| ปลอดภัยในขณะที่ปฏิบัติการทดลอง                                                                                               | 4.40 | 0.89 | ดี       |
| มีความคล่องตัวในการใช้ และปฏิบัติการทดลองไม่เกะกะเคลื่อนย้ายได้สะดวก                                                         | 3.80 | 0.84 | ดี       |
|                                                                                                                              | 4.00 | 0.71 | ดี       |
| ภาพรวม                                                                                                                       | 4.20 | 0.69 | ดี       |

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินการจัดสร้าง การติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมของชุดทดลอง

| รายการ                                                                                 | X    | S.D. | ความหมาย |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------|------|----------|
| การจัดสร้างเครื่องมือทำได้ง่าย สามารถกระทำได้ด้วยอาจารย์และบุคลากรที่มีอยู่ในสถานศึกษา | 4.20 | 0.45 | ดี       |
| การติดตั้งโปรแกรมลงในคอมพิวเตอร์ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก                                    | 4.00 | 0.71 | ดี       |
| การบำรุงรักษาทำได้ง่าย                                                                 | 4.20 | 0.45 | ดี       |
| สะดวกในการใช้และเก็บรักษา                                                              | 4.20 | 0.45 | ดี       |
| การจัดหาอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมทำได้สะดวก                                                  | 4.60 | 0.55 | ดีมาก    |
| วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทำมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย                                           | 4.60 | 0.55 | ดีมาก    |
| การซ่อมแซมในแต่ละส่วนทำได้สะดวกไม่ทำให้อุปกรณ์อื่น ๆ เสียหาย                           | 4.60 | 0.55 | ดีมาก    |
| ภาพรวม                                                                                 | 4.34 | 0.53 | ดี       |

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนของชุดทดลอง

| รายการ                                                | X    | S.D. | ความหมาย |
|-------------------------------------------------------|------|------|----------|
| การกำหนดและเปลี่ยนค่าความถี่ทำได้ง่ายมีความละเอียด    | 4.20 | 0.45 | ดี       |
| ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจในเนื้อหาเป็นรูปธรรม   | 4.60 | 0.55 | ดีมาก    |
| ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่าย เป็นการให้ประสบการณ์ตรง | 4.60 | 0.55 | ดีมาก    |
| ผู้เรียนมีโอกาสปฏิบัติและมีส่วนร่วม                   | 5.00 | 0.00 | ดีมาก    |
| ผู้เรียนสามารถใช้เรียนเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มได้    | 5.00 | 0.00 | ดีมาก    |
| ใช้เวลาในการทดลองน้อย และได้ผลการทดลองถูกต้องเหมาะสม  | 4.40 | 0.55 | ดี       |
| กับระดับผู้เรียน                                      |      |      |          |
| กิจกรรมต่างๆในการทดลองมีส่วนเสริมความรู้              | 4.60 | 0.55 | ดีมาก    |
| ความสามารถและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์             |      |      |          |
| คู่มือการติดตั้งโปรแกรมและคู่มือการใช้เครื่องมือและ   | 4.20 | 0.45 | ดี       |
| โปรแกรม ให้รายละเอียดเหมาะสมและชัดเจน                 |      |      |          |
| ภาพรวม                                                | 4.58 | 0.39 | ดีมาก    |

#### ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์

สำหรับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ คือเมื่อใช้ไประยะหนึ่ง อำนาจแม่เหล็กจะแรงมากจนมวลไม่ตกหรือตกช้า ควรทำให้อำนาจแม่เหล็กลดลงเพื่อให้มวลหล่นได้ตามปกติควรปรับปรุงระบบการปล่อยมวลให้ดีขึ้น เพื่อการทดลองที่แม่นยำขึ้น

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาชุดทดลองตกอิสระควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับใช้ในการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกและได้นำชุดทดลองไปหาค่า  $g$  ได้ 8.798 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ซึ่งค่าทฤษฎี  $g$  เท่ากับ 9.80 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของค่า  $g$  ที่ได้จากการทดลองก็ร้อยละ 10.22

ศึกษาความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์ที่มีต่อชุดทดลอง จำนวน 4 ท่าน โดยทำการประเมินความพึงพอใจ 4 ด้านคือ 1)ด้านลักษณะทางกายภาพทั่วไป พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.70 อยู่ในระดับดีมาก 2)ด้านลักษณะการใช้งาน พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.20 อยู่ในระดับดี 3)ด้านการจัดสร้างการติดตั้งโปรแกรม การบำรุงรักษาและการซ่อมแซม พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.34 อยู่ในระดับดี และ 4)ด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน พบว่ามีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.58 อยู่ในระดับดีมาก

#### 5. การอภิปรายผล

ในการสร้างชุดทดลองตกอิสระนี้ทำงานบรรลุผลครบถ้วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยทุกประการ กล่าวคือใช้วัดค่าความเร่งเนื่องจากแรง

โน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) ได้เท่ากับ 8.798 เมตร/วินาที<sup>2</sup> มีข้อสังเกตดังนี้

1. สัญญาณนาฬิกา (Timer) วัดได้ละเอียด 1/1000 วินาที หรือทศนิยม 3 ตำแหน่ง ผลที่ตามมาคือสามารถวัดค่า  $g$  ได้ละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 เท่านั้น

2. ในการทดลองให้วัตถุอย่างอิสระนี้ ไม่มีการคิดแรงต้านจากอากาศ และไม่ได้คำนึงถึงการหน่วงเวลาของสัญญาณจากเซนเซอร์ และการแสดงผลของโปรแกรมบนจอภาพแต่อย่างใด การกำหนดให้วัตถุมีความเร็วต้นเป็นศูนย์หรือตกจากหยุดนิ่ง

3. จุดที่ปล่อยมวล (ลูกเหล็ก) เมื่อทดลองไปนาน ๆ จะเกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้ามากขึ้น ลูกเหล็กจะถูกดูดด้วยแรงแม่เหล็กมาก ทำให้ตกหล่นช้ากว่าปกติ ควรแก้ปัญหาโดยการปิดสวิตช์เพื่อคายแรงแม่เหล็กก่อนแล้วค่อยทำการทดลองต่อไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีงบประมาณเงินรายได้ ปีงบประมาณ 2558 และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดจนสถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Jerry D. Wilson and Cecilia A. Hernandez-Hall. Physics Laboratory Experiments. (7<sup>th</sup>ed). Brooks/cole cenage learning. USA. 2010.
- [2] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ. Using Relative Gravimeter to Determine Vertical Gravity Gradient at NIMT. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.ngs.noaa.gov/GRD/GRAVITY/ABSG.html>. 12 ตุลาคม 2561.
- [3] สาขันธ์ โสดาจันทร์. การสร้างเครื่องมือเพื่อพิสูจน์ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างง่าย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2552.
- [4] สิริพงษ์ มีมั่งคั่ง.ชุดทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแบบประหยัดโดยวิธีตกเสรี. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [www.rdi.nrru.ac.th/rdi/index\\_neu.php?f=show\\_research\\_detail&show\\_research\\_id=4](http://www.rdi.nrru.ac.th/rdi/index_neu.php?f=show_research_detail&show_research_id=4). 12 ตุลาคม 2561.
- [5] ภาวณี รัตนสมบูรณ์.การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ชุดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://space.nstru.ac.th:8080/dspace/handle/123456789/2073>. 14 ตุลาคม 2561.

- [6] ดอนสัน ปงผาบ. ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการประยุกต์ใช้งาน 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ. 2549.
- [7] ประจัน พลังสันติสุข.การประยุกต์ใช้ภาษา C สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เล่ม 2. แอฟซอพพ์เทค. กรุงเทพฯ . 2551.
- [8] สมชาย เปียนสูงเนิน. สร้างและพัฒนา อุปกรณ์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. ทริปเพิ้ลเอ็ดดูเคชั่น. กรุงเทพฯ. 2557.
- [9] ยุทธ ไกยวรรณ(ผศ.ดร.) และ กุสุมา ผลาพรม(ผศ.ดร.). พื้นฐานการวิจัย.พิมพ์ครั้งที่ 5. ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.กรุงเทพ. 2553.
- [10] สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ สำหรับวิศวกร 1. พิมพ์ครั้งที่ 4 .แอนด์.พี.ปรีนติ้ง พรีเมส. นนทบุรี. 2558.