

การพัฒนาสื่อการสอนชุดปฏิบัติการทดลองทางฟิสิกส์เรื่องการตกอย่างอิสระ

กนกวรรณ มารักษ์¹, ฉันทบูรณ์ ถาวรวรรณ^{1,*}, ฐานิต พ่วงศิริ² และ ณัฏพล คำพา²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์

²หลักสูตรสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์

บทคัดย่อ

หลักการตกอย่างอิสระ (Free Fall) เป็นรูปแบบลักษณะที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องมีการตกของวัตถุจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามแนวดิ่ง โดยเป็นผลมาจากความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีค่าอ้างอิงมาตรฐานโดยประมาณ คือ 9.81 m/s^2 และในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบชุดการทดลองการตกอย่างอิสระ โดยใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล AVR รุ่นวงจรราย Arduino Uno (Arduino UNO) เพื่อการประมวลผลตรวจวัดการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบอิสระด้วยระบบเซ็นเซอร์ตรวจวัดแบบอินฟราเรดและแสดงผลการตรวจวัดเป็นผลต่างของเวลาที่วัตถุใช้เคลื่อนที่ (Δt) ตั้งแต่เริ่มปล่อยจากแท่นปล่อยจนกระทั่งตกลงถึงพื้นในกระบอกทดสอบ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้วัตถุทดสอบรูปร่างทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.56 cm และมีมวลที่ 1 ขนาด 14.90 g (ลูกบอลไม้) และ มวลที่ 2 ขนาด 30.88 g (ลูกบิลเลียด) และมีการกำหนดระดับความสูงในการปล่อยวัตถุ 4 ระดับ ได้แก่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 m ตามลำดับ และจากผลการทดลองได้เวลาที่วัตถุใช้ในการตกที่แปรผันตรงกับระดับความสูงที่เพิ่มมากขึ้น และนำไปคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเฉลี่ย สำหรับมวลที่ 1 คือ 9.76 m/s^2 โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.41 และค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเฉลี่ยสำหรับมวลที่ 2 คือ 9.72 m/s^2 โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.81

*ผู้เขียนหลัก : Tawonwan@live.ur.ac.th

คำสำคัญ: การตกอย่างอิสระ, ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

SCIENCE AND TECHNOLOGY
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

The Development for Instructional Media of Physics in Free Fall Experiment

Kanokwan Marak¹, Tanyaboon Tawonwan^{1,*}, Thanit Pongsiri² and Nattapon Kumpa²

¹Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

²Department of Physics Educations, Faculty of Education, Uttaradit Rajabhat University

Abstract

The free fall is a movement under acceleration of gravity influence. The approximate gravitational acceleration on the earth is 9.81 m/s^2 which is used as a reference for the free fall experiment. This purpose of the research is to study and design instructional media of physics in the free fall experiment using AVR Arduino UNO microcontrollers circuit and IR sensors for time counting (Δt) by the object falling. The free fall experiment has a station for testing object movement of four heights (0.2, 0.4, 0.6 and 0.8 m). The testing spherical objects are 3.56 cm in diameter and two different masses 14.90 g for No.1 (Wood ball) and 30.88 g for No.2 (Billiards ball). It is found that for the counting time of object falling will be increased by a distance height. The testing with object No.1 and No.2 have the average gravitational acceleration of 9.76 m/s^2 and 9.72 m/s^2 with the percentile of error is 0.41 % and 0.81 % respectively in comparison to the approximate gravitational acceleration on the earth.

***Corresponding Author :** Tawonwan@live.ur.ue.ac.th

Keywords : Physics of Free Falling, Acceleration of gravity

SCIENCE AND TECHNOLOGY
UTTARADIT RAJABHAT UNIVERSITY

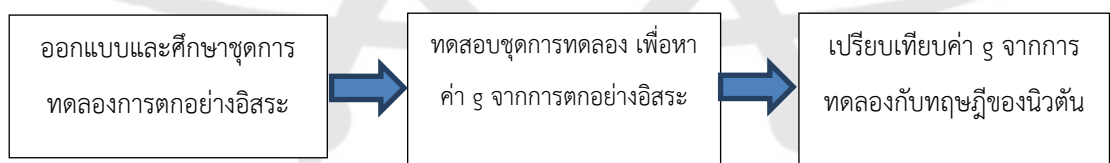
1. บทนำ

การตกอย่างอิสระ (Free Fall) เป็นรูปแบบลักษณะที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องมีการตกของวัตถุจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำตามแนวดิ่ง โดยเป็นผลมาจากความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งรูปแบบและลักษณะของการตกของวัตถุนั้นได้รับความสนใจศึกษา มาตั้งแต่สมัยกรีก โดยมีอริสโตเติล (384-322 ก่อนคริสต์ศักราช) ที่ได้อธิบายการตกของวัตถุโดยอาศัยหลักทางตรรกศาสตร์ โดยกล่าวไว้ว่าไว้ว่าวัตถุที่มีน้ำหนักมากจะตกถึงพื้นเร็วกว่าวัตถุที่มีน้ำหนักน้อย และคำสอนนี้เป็นที่ยอมรับกันมาร่วม 2,000 ปี จนกระทั่งศตวรรษที่ 16 ซึ่งเป็นยุคที่ข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์อยู่บนพื้นฐานของการสังเกตและการทดลองรวมถึงการใช้เหตุผลและตรรกศาสตร์ควบคู่กันไป โดยกาลิเลโอ (ค.ศ. 1564-1642) นักดาราศาสตร์และนักฟิสิกส์ชาวอิตาลีได้ทดลองปล่อยวัตถุที่น้ำหนักต่าง ๆ กันให้ตกจากยอดหอเอนที่เมืองปิซา ประเทศอิตาลีและทำการเปรียบเทียบการตก ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าก้อนหินที่หนักกว่าอีกก้อนเป็นสองเท่าไม่ได้ตกเร็วกว่าเป็นสองเท่าตามแนวของอริสโตเติล^[1] และยังพบอีกว่าถ้าไม่นับผลกระทบจากแรงต้านอากาศวัตถุหลาย ๆ ก้อนที่น้ำหนักต่าง ๆ กันถูกปล่อยในเวลาเดียวกันตกกระทบพื้นพร้อม ๆ กัน ดังนั้นจึงถือว่าแรงต้านของอากาศมีขนาดน้อยมาก วัตถุจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำเพียงแรงเดียว จัดเป็นการตกของวัตถุอย่างอิสระ เพราะฉะนั้นในการศึกษาทางสาขาวิชาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นการศึกษาธรรมชาติหรือการศึกษาและรวบรวมปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยจะมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการทดลองเพื่อค้นหาถึงสาเหตุหรือผลที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ธรรมชาตินั้น ๆ และนำไปสู่การสร้างทฤษฎีขึ้นมา

ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องมีการศึกษาเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติการ เพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นภาพของปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่กำลังศึกษา แต่ในการเรียนการสอนปฏิบัติการจะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่ครบถ้วน และพบว่าบางโรงเรียนในเขตชนเมืองส่วนใหญ่มักจะขาดแคลนอุปกรณ์ในการทดลองและอุปกรณ์ในการทดลองก็จะมีราคาสูงด้วย ซึ่งการเรียนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาออกแบบและพัฒนาชุดทดลองการเรื่องการตกอย่างอิสระโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ถูกศึกษาโดย สุเจนต์ พรหมเหมือน พร้อมคณะ^[2] และผลการศึกษาพบว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.78 m/s^2 มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.47% ค่าความสามารถในการทำซ้ำมีค่าเท่ากับ 0.88% ค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ นอกจากชุดทดลองนี้มีต้นทุนต่ำ ง่ายต่อการใช้งานและซ่อมแซม ดังนั้น สามารถนำไปใช้เป็นชุดปฏิบัติการทดลองในวิชาฟิสิกส์ได้ เพื่อส่งเสริมให้ผู้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และพบว่าอุปกรณ์สำคัญในการสร้างชุดทดลองการตกแบบอิสระนี้คือชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ซึ่งภาวิณี บุญวิเชียร^[3] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างชุดตรวจจับการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยส่วนของอินพุตใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวแล้วส่งสัญญาณที่ตรวจจับได้ไปยังชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC16F628A เพื่อไปควบคุมการทำงานของเอาท์พุท จากการทดลองหาประสิทธิภาพการของชุดตรวจจับการเคลื่อนไหวเมื่อมีสิ่งมีชีวิตเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ ผลปรากฏว่าชุดตรวจจับการเคลื่อนไหวดังกล่าวสามารถทำงานได้ถูกต้องทุกครั้ง

ปัจจัยของแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นในระบบชุดทดลองก็เป็นปัจจัยหลัก ๆ ที่จะทำให้อัตราที่ใช้ทดสอบมีการเคลื่อนที่เป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ โดยมีการศึกษาผลของอากาศพลศาสตร์ของวัตถุในอุโมงค์ลมความเร็วลมต่ำ ซึ่งได้ศึกษาโดยตะวัน ต้นตึกุล^[4] ได้ศึกษาคุณลักษณะทางอากาศพลศาสตร์ ของลูกตะกร้อเมื่อเคลื่อนที่ในอากาศ การทดสอบได้ใช้อุโมงค์ลมความเร็วต่ำแบบเปิดขนาดหน้าตัดช่องทดสอบเป็น 0.5 เมตร x 1.0 เมตร ลูกตะกร้อที่ใช้ในการทดสอบเป็นลูกตะกร้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.137 เมตร ในการทดสอบได้วัดแรงต้าน โดยอุปกรณ์วัดแรงการแสดงผลภาพไหลได้ใช้วิธีลดน้ำหนัก วิธีจุดหมึกและวิธีเส้นไหม การวัดจุดแยกตัวของอากาศออกจากผิวตะกร้อกระทำได้โดยการวิเคราะห์สัญญาณจากอุปกรณ์วัดระดับเสียง เนื่องจากสภาพของพื้นผิวบนลูกตะกร้อ และการวางตัวของรูมีลักษณะไม่สมมาตร ดังนั้นในการแสดงผลการไหลด้วยวิธีลดน้ำหนัก วิธีจุดหมึกและวิธีเส้นไหมจึงสามารถแยกการทดสอบเป็น 4 ลักษณะผลการศึกษาพบว่ารูปทรงของลูกตะกร้อมีผลต่อแรงต้านและรูปแบบการไหลในตำแหน่งทดสอบที่รูทางด้านหน้าและด้านหลังวางตัวอยู่ในแนวเดียวกัน พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านต่ำที่สุด และสามารถเห็นอากาศที่เป่าผ่านรูทางด้านหลังออกมาได้อย่างชัดเจนการไหลในตำแหน่งดังกล่าวพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านใกล้เคียงกับทรงกลมผิวเรียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านที่สูงสุดที่วัดได้พบว่ามีค่า 1.25 ของค่าต่ำสุด ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมองเห็นปัญหาการขาดอุปกรณ์การทดลอง จึงได้ออกแบบและศึกษาชุดทดลองการตกอย่างอิสระโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมและประมวลผล เพื่อสร้างชุดการทดลองจากอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่ายและนำมาทดแทนสื่อการสอนให้กับทางโรงเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์การทดลองได้และสามารถแสดงกรอบแนวคิดในการวิจัยได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

2. วิธีดำเนินการ

การตกอย่างอิสระ (Free Fall) เป็นการตกของวัตถุในแนวตั้งด้วยความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น ปล่อยก้อนหินจากที่สูงให้ตกสู่พื้นโลก เมื่อถือว่าแรงต้านของอากาศมีขนาดน้อยมาก วัตถุจะมีแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำเพียงแรงเดียว จัดเป็นการตกของวัตถุอย่างอิสระ

2.1 การศึกษาการตกแบบอิสระที่มีระยะห่างใกล้กับพื้นผิวโลก

การตกอย่างอิสระภายใต้อิทธิพลของสนามโน้มถ่วงของโลกเป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติด้วยความเร่งคงที่ ความเร่งของการเคลื่อนที่ในกรณีนี้เรียกว่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง ซึ่งนิยมใช้สัญลักษณ์เป็น g ซึ่งค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลกจะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางของโลกเสมอ โดยจะมีค่ามาตรฐานโดยประมาณเท่ากับ 9.81 m/s^2 แต่ถ้าระยะการตกแบบอิสระของวัตถุนั้นมีความสูงจากพื้นผิวโลกไม่มากจะไม่จำเป็นต้องคิดแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้น ดังนั้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$y = ut - \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

โดยที่ y คือ ระยะทางในการเคลื่อนที่ (m)
 u คือ ความเร็วเริ่มต้น (m/s) ถ้าวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งกำหนดให้ $u = 0 \text{ m/s}$
 g คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$
 t คือ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (s)

2.2 การศึกษาการตกแบบอิสระที่มีระยะห่างจากพื้นผิวโลกในระดับสูง

การตกแบบอิสระที่มีระยะห่างจากพื้นผิวโลกในระดับสูงนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงผลของแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นจากอากาศที่กระทำต่อวัตถุที่กำลังเกิดการเคลื่อนที่เป็นผลทำให้อากาศจะถูกบีบอัดในบริเวณด้านหน้าของวัตถุที่สัมผัสกับกระแสอากาศและสร้างแรงเสียดทานที่พื้นผิวของวัตถุด้วย ดังนั้นอากาศจึงกลายเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวข้องกับรูปแบบและผลของการตกกระทบพื้นของวัตถุ ซึ่งวัตถุในแต่ละรูปทรงก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Coefficient of Drag; C_D) ที่แตกต่างกันออกไป และในงานวิจัยนี้ได้ใช้วัตถุทดสอบเป็นแบบรูปทรงกลมจึงมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_D) ที่ $0.47^{[5]}$ ดังนั้นการเคลื่อนที่แบบการตกอย่างอิสระที่มีวัตถุตกลงมาภายใต้ของแรงโน้มถ่วงที่เป็นแรงกระทำเพียงแรงเดียวสามารถแสดงได้ในสมการที่ (2) แต่ในความเป็นจริงการตกแบบอิสระนั้นถ้าไม่ได้ทำการทดลองภายในสภาวะสุญญากาศ จะต้องพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดจากแรงต้านของอากาศด้วย ซึ่งแรงต้านของอากาศจะเป็นปริมาณที่แปรผันตามความเร็วกำลังสองของวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ดังแสดงในสมการ (3)^[6, 7, 8]

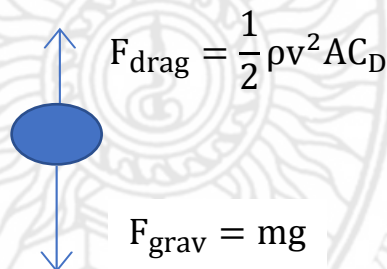
$$F_{\text{grav}} = mg \quad (2)$$

เมื่อ F_{grav} คือ แรงกระทำต่อวัตถุภายใต้ของแรงโน้มถ่วง (N)
 m คือ มวลของวัตถุที่ตก (kg)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)

$$F_{\text{drag}} = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_D \quad (3)$$

- เมื่อ C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศของวัตถุ (รูปทรงกลม $C_D = 0.47$)
 v คือ ความเร็วในการตกของวัตถุ (m/s)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)
 ρ คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

$$\Sigma F = F_{\text{grav}} - F_{\text{drag}} = mg - \left(\frac{1}{2} \rho v^2 A C_D\right) \quad (4)$$



ภาพที่ 2 แรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตกแบบอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกโดยมีแรงต้านอากาศมากระทำ

สมการสมดุลของแรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตกแบบอิสระภายใต้ผลของแรงโน้มถ่วงของโลกแบบมีแรงต้านอากาศในสมการที่ (4) และ ภาพที่ 2 ซึ่งเมื่อวัตถุตกไปได้ระยะหนึ่งจะพบว่าจะมีจุดที่เกิดความสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงของโลก (F_{grav}) และแรงต้านอากาศ (F_{drag}) ซึ่งเป็นผลทำให้วัตถุนั้นอยู่ภายใต้แรงลัพธ์ที่เป็นศูนย์และตกลงด้วยความเร็วคงที่หรือที่เราเรียกว่าความเร็วสุดท้าย (Terminal Velocity) แต่เนื่องด้วยการทดลองการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของวัตถุในรูปแบบการตกแบบอิสระภายใต้อิทธิพลแรงโน้มถ่วงของโลกในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองที่ใช้ระดับความสูงของวัตถุที่ใช้ในการตกที่ไม่สูงมากซึ่งได้แสดงรูปแบบของการทดลองในภาพที่ 6 ดังนั้นจึงสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าผลกระทบจากแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นต่อวัตถุทดสอบมีค่าน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญต่อการนำมาคำนวณ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 3 (ก) วงจรมicroคอนโทรลเลอร์ประมวลผลตระกูล AVR รุ่นอาร์ดูโน ยูโน^[9], (ข) เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนที่ของวัตถุ^[10] และ (ค) การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์อินฟราเรดกับวงจรมicroคอนโทรลเลอร์

2.3 การประยุกต์ใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนที่

การประยุกต์ใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจวัดการเคลื่อนที่ของการทดลองการตกของวัตถุแบบอิสระในตระกูล AVR รุ่นวงจรมicroคอนโทรลเลอร์ ยูโน (Arduino UNO) ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีการพัฒนาแบบเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทำให้อุปกรณ์ประกอบวงจรและรหัสโปรแกรมมีราคาถูกและหาได้ง่าย ซึ่งวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน ยูโน สามารถถูกนำมาให้ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดแบบอินฟราเรด (IR Sensor) และสามารถพัฒนาโปรแกรมประมวลผลได้ด้วยตนเองตามความต้องการและเหมาะสมของผู้ใช้ โดยคุณสมบัติของวงจรมicroคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน ยูโน สามารถแสดงได้ในตารางที่ 1 และมีการใช้รูปแบบคำสั่งพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนและสามารถพัฒนาโปรแกรมประมวลผลบนระบบปฏิบัติการและแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ได้ทุกระบบด้วยการเขียนรหัสบนโปรแกรมอาร์ดูโน ไอดีอี (Arduino IDE) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ www.arduino.cc/en/Main/Software? ซึ่งเป็นการเขียนรหัสโปรแกรมในรูปแบบภาษา C แบบมาตรฐานที่สามารถเขียนลงบนวงจรมicroคอนโทรลเลอร์

AVR GCC (โปรแกรมภาษา C ที่มีการคอมไพล์แบบ GCC สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR) โดยแสดงรหัสโปรแกรมได้ในภาพที่ 4

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวงจบบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ยูโน่ UNO

อุปกรณ์	คุณสมบัติ
ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20 V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM Output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40 mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3 V	50 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32 kB พื้นที่โปรแกรม, 500 B ใช้โดย Bootloader
พื้นที่แรม	2 kB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1 kB
ความถี่คริสตัล	16 MHz
ขนาด	68.6x53.4 mm
น้ำหนัก	25 g

```
int sensor1 = 13;
int sensor2 = 12;
unsigned long start, finished, elapsed;
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(sensor1, INPUT);
    pinMode(sensor2, INPUT);
}
void loop()
{
    if (digitalRead(sensor1) == LOW)
    {
        start = millis();
        delay(196);
    }
    if (digitalRead(sensor2) == LOW)
    {
        finished = millis();
        elapsed = finished - start;
        Serial.print("Time: ");
        Serial.print(elapsed);
        Serial.println(" ms");
        delay(1000);
    }
}
```

ภาพที่ 4 โครงสร้างโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR รุ่นอาร์ดูโน ยูโน

2.4 การออกแบบชุดการทดลองการตกอย่างอิสระ

ในงานวิจัยการพัฒนาสื่อการสอนชุดปฏิบัติการทดลองการตกอย่างอิสระนี้เป็นการศึกษาและออกแบบชุดการทดลองเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) จากการตกอย่างอิสระ โดยใช้วัตถุทดสอบเป็นวัตถุทรงกลมจำนวน 2 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีขนาดเดียวกันเพื่อลดความแตกต่างระหว่างผลกระทบของแรงต้านอากาศ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.56 cm และวัตถุชนิดที่ 1 (ลูกบอลไม้) มีมวล 14.90 g และวัตถุชนิดที่ 2 (ลูกบิลเลียด) มีมวล 30.88 g ซึ่งสามารถแสดงในภาพที่ 5



(ก)



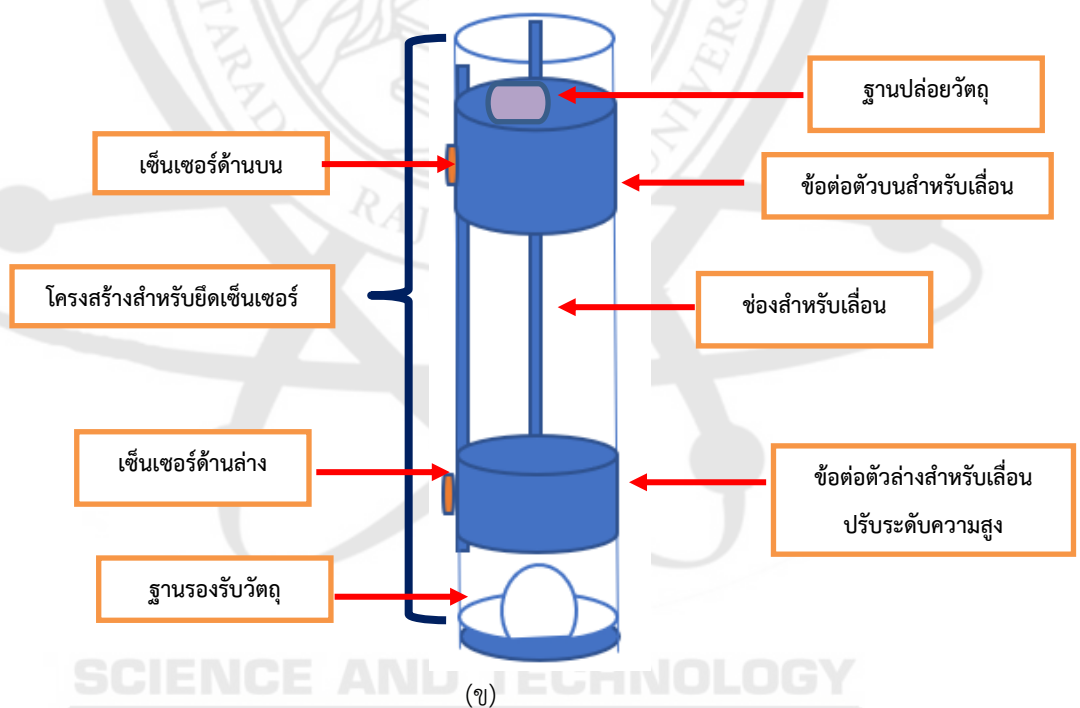
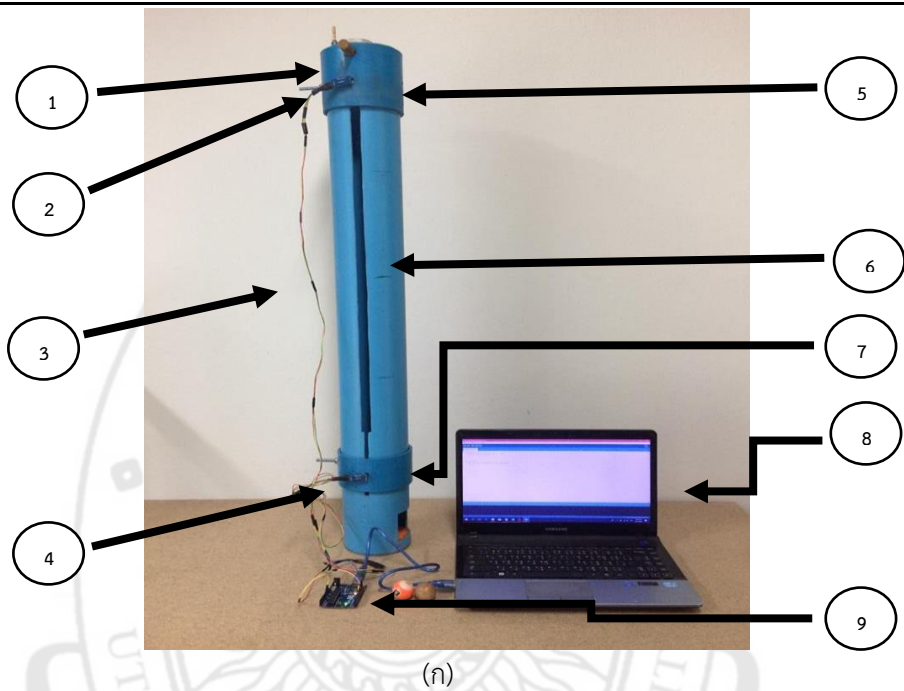
(ข)

ภาพที่ 5 วัตถุทดสอบการตกแบบอิสระรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.56 cm (ก) วัตถุชนิดที่ 1 (ลูกบอลไม้) มีมวล 14.90 g และ (ข) วัตถุชนิดที่ 2 (ลูกบิลเลียด) มีมวล 30.88 g

การปฏิบัติการทดลองการตกอย่างอิสระในงานวิจัยนี้จะมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินงานที่มุ่งเน้นในการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ราคาถูกและสามารถหาได้ทั่วไป ซึ่งมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 6 ได้แก่ หมายเลข 1 ฐานปล่อยวัตถุจะทำหน้าเป็นตัวยึดสำหรับปล่อยวัตถุให้ตกลงภายในกระบอกทดสอบเพื่อลดผลกระทบจากแรงต้านอากาศภายนอก หมายเลข 2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ตำแหน่งด้านบนมีหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนที่เพื่อเริ่มการนับเวลา หมายเลข 3 สายไฟนำสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อตัวเซ็นเซอร์ตรวจวัดเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุและเซ็นเซอร์หยุดเวลาแล้วนำส่งข้อมูลไปยังวงจรบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ อาร์ดูโน้ ยูโน้ (Arduino UNO) เพื่อการประมวลผลแล้วแสดงผลข้อมูลที่ได้นบนคอมพิวเตอร์ หมายเลข 4 เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ด้านล่างมีหน้าที่เป็นตัวเซ็นเซอร์หยุดนับเวลา หมายเลข 5 ขั้วต่อท่อสำหรับยึดเซ็นเซอร์กับโครงสร้างฐานปล่อยวัตถุ หมายเลข 6 โครงสร้างท่อ PVC สำหรับยึดเซ็นเซอร์และบังคับให้วัตถุตกแบบอิสระเพื่อลดผลกระทบของแรงต้านอากาศ หมายเลข 7 ฐานรองรับวัตถุขณะตกถึงพื้นเพื่อป้องกันวัตถุไม่ให้ออกจากฐานรองรับ หมายเลข 8 คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดเวลาจากวงจรไมโครคอนโทรเลอร์อาร์ดูโน้ ยูโน้ และ หมายเลข 9 วงจรบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ ยูโน้ (Arduino UNO) เพื่อการประมวลผลนับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุในการตกแบบอิสระ

3. ผลการวิจัย

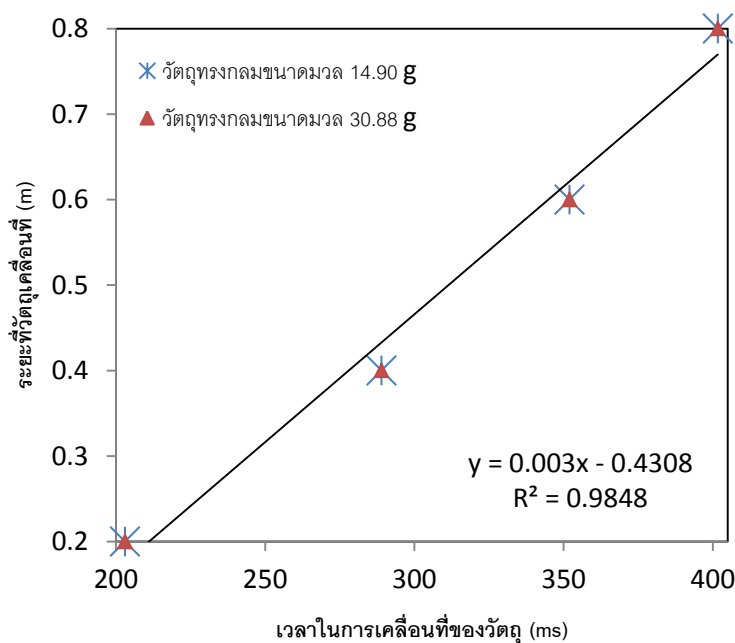
จากการทดสอบชุดการทดลองการตกอย่างอิสระ โดยมีวงจรบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้ ยูโน (Arduino UNO) เพื่อการประมวลผลการตรวจวัดเวลาจากการปล่อยวัตถุให้ตกอย่างอิสระที่ระดับความสูง 4 ระดับ ได้แก่ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 m ตามลำดับ ได้ใช้วัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.56 cm ขนาดมวล 14.90 g และวัตถุทรงกลมขนาดมวล 30.88 g ซึ่งได้นำวัตถุทรงกลมสองขนาดมาทดลองโดยการปล่อยให้ตกอย่างอิสระในกระบอกทดสอบ โดยให้วัตถุนั้นมีการเคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์ตรวจวัดในตำแหน่งที่ 1 หรือตำแหน่งตรวจวัดด้านบนที่มีหน้าที่ในการเริ่มการนับเวลาและวัตถุนั้นจะตกกระทบไปสู่ตำแหน่งเซ็นเซอร์ตรวจวัดที่ 2 หรือเซ็นเซอร์ด้านล่างที่ทำหน้าที่หยุดการนับเวลาแล้วนำผลการตรวจวัดที่ได้มาประมวลผลและหาค่าผลต่างของเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Δt_{avg}) แล้วนำไปแทนค่าในสมการที่ (1) โดยกำหนดให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ของวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากวัตถุทดสอบในชุดทดลองมีการเคลื่อนที่เริ่มต้นจากหยุดนิ่ง จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) และนำค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการคำนวณมาหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานโดยประมาณคือที่ 9.81 m/s^2 ดังแสดงผลการทดสอบได้ในตารางที่ 2 ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะมีค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าระยะทางและเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่จะมีขนาดที่มากขึ้น ทำให้มีผลของร้อยละความคลาดเคลื่อนของมวลที่ใช้ทดสอบขนาด 14.90 g อยู่ในช่วง 0.30 ถึง 2.04 และร้อยละความคลาดเคลื่อนของมวลที่ใช้ทดสอบขนาด 30.88 g อยู่ในช่วง 0.95 ถึง 2.26



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบชุดการทดลองการตกอย่างอิสระและร่างแบบรายละเอียดชุดการทดลอง

ตารางที่ 2 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของชุดการทดลองค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) ที่ระยะต่าง ๆ (ค่า g มาตรฐานโดยประมาณคือที่ 9.81 m/s^2)

ระยะที่วัตถุเคลื่อนที่ (m)	วัตถุทรงกลมขนาดมวล 14.90 g	วัตถุทรงกลมขนาดมวล 30.88 g
เวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ Δt_{avg} (ms)	ค่า g ที่ได้จากชุดการทดลอง (m/s ²)	ค่า g ที่ได้จากชุดการทดลอง (m/s ²)
	ร้อยละความคลาดเคลื่อน (%)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน (%)
0.2	202.33	203.00
0.4	288.67	289.00
0.6	350.67	352.00
0.8	401.67	401.67



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบอิสระภายใต้อิทธิพลของสนามโน้มถ่วงของโลก

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบอิสระภายใต้อิทธิพลของสนามโน้มถ่วงของโลก สามารถแสดงได้ในภาพที่ 7 ซึ่งมีสมการเส้นแนวโน้มคือ $y = 0.003x - 0.4308$ และ ค่า $R^2 = 0.9848$ และจะสังเกตได้ว่าเป็นเส้นกราฟในลักษณะแปรผันโดยตรง

ระหว่างระยะทางของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบอิสระกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของวัตถุทดสอบทั้ง 2 ขนาดมวลที่แสดงว่ามีลักษณะของการเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันที่เป็นผลมาจากขนาดของแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุที่มีขนาดเท่ากัน ถึงแม้ว่าวัตถุทั้งสองนั้นจะมีมวลต่างกันซึ่งเป็นไปตามข้อสรุปและผลการทดลองการตกแบบอิสระของวัตถุของกาลิเลโอและนิวตัน โดยจากผลการทดลองวัตถุขนาด 14.90 g และ 30.88 g จะใช้เวลาประมาณ 200 ms ในการเคลื่อนที่ที่ระยะ 0.2 m และจะมีเวลาในการเคลื่อนที่ที่เพิ่มขึ้นตามระยะความสูงที่ 0.4 m ใช้เวลาประมาณ 290 ms ที่ความสูง 0.6 m ใช้เวลาประมาณ 320 ms และที่ระยะความสูง 0.8 จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ประมาณ 400 ms

4. อภิปรายผล

จากการออกแบบและศึกษาชุดการทดลองการตกอย่างอิสระ เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) จากการตกอย่างอิสระ ซึ่งมีค่าอ้างอิงโดยประมาณที่ 9.81 m/s^2 โดยผลการทดสอบชุดการทดลองได้ใช้วัตถุทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.56 cm โดยมีมวลขนาด 14.9 g (ลูกบอลไม้) และ 30.88 g (ลูกบิลเลียด) และได้ทำการปล่อยวัตถุตกให้ตกอย่างอิสระที่ระยะ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 m และสามารถสรุปได้ว่าวัตถุทรงกลมทดสอบทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.56 cm โดยวัตถุที่ 1 มีมวล 14.9 g มีค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยเท่ากับ 9.76 m/s^2 และมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 และวัตถุทรงกลมทดสอบที่ 2 มีมวล 30.88 g มีค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยเท่ากับ 9.72 m/s^2 และมีร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.81

จากผลการทดสอบที่ได้จากชุดทดลองจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเล็กน้อยเป็นผลเนื่องมาจากผลของแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นในกระบอกทดลอง ซึ่งพบว่าแรงต้านอากาศที่กระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่แบบการตกแบบอิสระจะเป็นปฏิกิริยาผกผันกำลังสองของความเร็วของวัตถุในการเคลื่อนที่ตามรายละเอียดในสมการที่ (3) ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงชุดทดลองให้มีค่าของความคลาดเคลื่อนที่ลดลงได้ เพื่อให้สามารถนำชุดการทดลองการตกอย่างอิสระก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนและพัฒนาชุดการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสามารถทำได้ 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การออกแบบชุดทดลองการตกแบบอิสระที่มีการสร้างระบบสุญญากาศภายในกระบอกทดลอง ซึ่งจะต้องเพิ่มระบบการควบคุมสุญญากาศเข้ากับชุดทดลอง และกรณีที่ 2 การออกแบบชุดทดลองที่สามารถคำนวณค่าแรงต้านของอากาศของวัตถุทดสอบตามรูปแบบในสมการที่ (2) ถึง (4)

ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบโครงสร้างชุดการทดลองการตกอย่างอิสระ ควรมีการออกแบบให้เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากแรงต้านอากาศ จะมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งโน้มถ่วงของการเคลื่อนที่ของวัตถุเทียบกับค่ามาตรฐานที่ลดลง เพื่อความเป็นมาตรฐานในการนำอุปกรณ์ชุดทดลองนี้มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ในการศึกษาวิชาการทดลองทางฟิสิกส์ และปัจจัยที่เป็นผลอย่างมากในงานวิจัย

ที่ควรให้ความสำคัญคือวิธีการและแนวทางการใช้โปรแกรมอาดูโน่ (Arduino) เพื่อการเขียนรหัสควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์ตรวจวัดเวลาให้มีความเที่ยงตรงและมีเสถียรภาพในการประมวลผลที่คงที่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ สาขาวิชาฟิสิกส์ ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการทดลอง สถานที่ในการศึกษา และทดลองในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฟิสิกส์ราชมงคล. แนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่. สืบค้นเมื่อ 15 มิ.ย. 2561. สืบค้นจาก www.rmutphysics.com/charud/PDF-learning/2/physics1/chapter2.pdf
- [2] สุเจนต์ พรหมเหมือน และคณะ. การพัฒนาต้นแบบชุดทดลองการตกอย่างอิสระ. สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยทักษิณ. หน้า 27-28, 2554.
- [3] ภาวิณี บุญวิเชียร. การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว. สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์), คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. สืบค้นเมื่อ 20 มิ.ย. 2561. สืบค้นจาก <http://www.elecnet.chandra.ac.th/paper/255703.pdf>.
- [4] ตะวัน ตันติกุล. อากาศพลศาสตร์ของลูกตะกร้อ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2544.
- [5] มนตรี พิรุณเกษตร. กลศาสตร์ของไหลม. พิมพ์ครั้งที่ 2. วิทยพัฒน์, กรุงเทพฯ. หน้า 402. 2547.
- [6] อิติ บวรรัตนารักษ์. คู่มือการสอนวิชาฟิสิกส์ โดยความร่วมมือระหว่างสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานและคณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การตกแบบมีแรงต้านอากาศ. หน้า 19. 2560.
- [7] ทวี ฉิมอ้อย และ มนุ เพื่องฟุ้ง. หนังสือฟิสิกส์พื้นฐานระดับมหาวิทยาลัย 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. หน้า 49-50. 2546.
- [8] ประเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. หนังสือฟิสิกส์ 1, พิมพ์ครั้งที่ 15. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีปทุม. หน้า 42. 2552.
- [9] เรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์กับ Arduino และบอร์ด Unicon. บทที่ 3 โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino. 26 กรกฎาคม 2560. จากเว็บ : <http://www.uniconboard.com/2013/index.php/download/category/6book>.
- [10] ioxhop.com. 2560. เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ. 6 พฤศจิกายน 2560. จากเว็บ : <https://www.ioxhop.com/product/63เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ-reflective-photoelectric>.