การออกแบบและพัฒนาชุดยิงโพรเจกไทล์ด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

ถาวร เรืองบุญ[1] และสุระ วุฒิพรหม[1,2,3*]

[1]ภาควิชาฟิสิกส์ และ [2]ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190 และ [3]ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ เชียงใหม่ 50200
[*]E-mail: sura.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 6 เมษายน 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 28 พฤษภาคม 2559

บทคัดย่อ

Tracker เป็นฟรีโปรแกรมใช้สำหรับวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอและสร้างแบบจำลอง สร้างจากภาษาคอมพิวเตอร์จาวา ออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้ในการสอนฟิสิกส์ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการพัฒนาชุดยิงโพรเจกไทล์และวิเคราะห์การเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Tracker ประสิทธิภาพของชุดยิงโพรเจกไทล์ที่พัฒนาขึ้นวัดโดยการคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากการวิเคราะห์กราฟตำแหน่งในแนวดิ่งกับเวลา กราฟความเร็วในแนวดิ่งกับเวลา และ กราฟความเร่งในแนวดิ่งกับเวลา ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยเท่ากับ –9.678 เมตร/วินาที^{2} ร้อยละความคลาดเคลื่อน คือ 1.25 แสดงให้เห็นว่า ชุดยิงโพรเจกไทล์มีประสิทธิภาพสำหรับใช้ในการเรียนการสอนฟิสิกส์

คำสำคัญ: ชุดยิงโพรเจกไทล์ โปรแกรม Tracker การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอ

Designing and Developing Electromagnetic Induction Projectile Launcher

Thaworn Ruangbun[1] and Sura Wuttiprom[1,2,3*]

[1]Department of Physics, and [2]Research and Innovation in Science Education Center,
Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand
[3]Thailand Center of Excellence in Physics, Chiang Mai 52000, Thailand
[*]E-mail: sura.w@ubu.ac.th

Received: 6 April 2016 Accepted: 28 May 2016

Abstract

Tracker is a freeware video analysis and modeling tool built on the Java framework. It is designed to be used in teaching and learning physics. This paper aimed to present the development of projectile launcher and analyze the motion with Tracker. The effectiveness of this our projectile launcher was measured by calculation the value of gravitational acceleration (g) from three different graphs; vertical position and time graph, vertical velocity and time graph and vertical acceleration, as well as time graph. The results showed the average gravitational acceleration is –9.678 m/s^2. The percentage error was 1.25. It indicated that this projectile launcher is an effective tool that can be used in teaching and learning physics.

Keywords: Projectile launcher, Tracker program, Video analysis

บทนำ

การทดลองในการเรียนการสอนฟิสิกส์เป็นสิ่งสำคัญเพราะการทดลองเป็นการตรวจสอบสมมติฐานหรือทฤษฎีที่นักวิทยาศาสตร์ค้นพบ การทดลองเป็นกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ด้วยการลงมือทำที่สอดคล้องกับธรรมชาติของวิชาวิทยาศาสตร์ (Wuttiprom, 2013) ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้การทดลองในการเรียนการสอนฟิสิกส์เปลี่ยนไป เช่น ในปี ค.ศ 2009 David Brown ได้พัฒนาโปรแกรม Tracker ขึ้น โปรแกรมนี้ช่วยทำให้การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ทำได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น เพราะไม่ต้องใช้เครื่องมือในการวัดที่ซับซ้อนและมีราคาสูง เช่น ตัวตรวจจับการเคลื่อนที่ (motion sensor) ตัวตรวจจับแรง (force sensor) โดยมีอุปกรณ์หลัก คือ กล้องถ่ายภาพความเร็วสูงเท่านั้น Tracker สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาในรูปของกราฟ เช่น กราฟตำแหน่งกับเวลา ความเร็วกับเวลา ความเร่งกับเวลา ทำให้เห็นความสัมพันธ์ของปริมาณทางฟิสิกส์ทันทีที่ทำการทดลอง นอกจากนี้ Tracker ยังสามารถสร้างแบบ

จำลองการเคลื่อนที่ด้วยการสร้างสมการการเคลื่อนที่เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองจริง ๆ ได้ (Keawsutti, 2013; Wattanakasiwich, 2012)

การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอเป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้ในการเก็บข้อมูลทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา และเริ่มนำมาใช้ในการเรียนการสอนฟิสิกส์อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการทดลองเกี่ยวกับกลศาสตร์ เนื่องจากเทคโนโลยีด้านการผลิตกล้องวิดีโอที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นแต่ราคาถูกลง ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอร่วมกับโปรแกรม Tracker เช่น การสร้างแบบจำลองการตกของถ้วยเค้กกระดาษที่เพิ่มมวลด้วยคลิปหนีบกระกระดาษ (Brown and Cox, 2009) การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของบาสเกตบอล ซึ่งค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 1.48 (Junpichai, 2009) การศึกษาความหนืดของน้ำในภาชนะขนาดต่างกันจากการเคลื่อนที่ของลูกเหล็กทรงกลมห้อยกับปลายสปริงในน้ำ พบว่า ค่าความหนืดของน้ำในภาชนะขนาดใหญ่และขนาดเล็กไม่เท่ากัน (Keawsutti, 2013)

การประยุกต์ใช้ Tracker ในการทดลองฟิสิกส์ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาฟิสิกส์มากขึ้น และเป็นการฝึกทักษะการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ของผู้เรียน ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์การเคลื่อนที่จากเหตุการณ์จริงและสร้างสมการอธิบายการเคลื่อนที่นั้นว่ามีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ เป็นอีกหนึ่งการทดลองที่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย เช่น Hayeebaka et al. (2014) วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวดขวดน้ำโดยการยิงที่มุม 45 องศาที่ความดันแตกต่างกัน พบว่า ระยะทางในแนวราบของจรวดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความดันที่ใช้ เป็นไปตามสมการ S_x=18.72P+9.35 (S_xคือ ระยะทางในแนวราบ P คือ ความดัน)

การพัฒนาของโปรแกรม Tracker เป็นก้าวสำคัญที่จะทำให้ผู้เรียนสามารถทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลจริงทางกลศาสตร์ได้ด้วยตนเองและตามความสนใจ (Wee et al., 2012) เพราะในปัจจุบันแม้แต่วิดีโอที่ถ่ายจากโทรศัพท์มือถือหรือแท็บเลต ก็สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker ได้ เช่น Klein et al. (2014) บันทึกการเคลื่อนที่ของการโยนลูกบอลขึ้นในแนวดิ่งขณะที่ผู้โยนกำลังเคลื่อนที่บนสเกต เมื่อเทคโนโลยีมีความก้าวหน้ามากขึ้นและการทดลองตามแบบเรียนฟิสิกส์เพิ่มเติม 1 มีข้อจำกัดเรื่องมุมยิง ผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวคิดออกแบบชุดการทดลองที่สามารถยิงวัตถุให้เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยวัตถุสามารถเคลื่อนที่จากพื้นสู่พื้น ปรับมุมยิงได้ ความเร็วต้นของวัตถุมีค่าเท่าเดิมเมื่อทำการทดลองซ้ำ ค่าวัสดุอุปกรณ์มีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับผลการทดลองที่มีความแม่นยำ

วัตถุประสงค์

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาชุดยิงโพรเจกไทล์ สำหรับการวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอด้วยโปรแกรม Tracker ให้มีประสิทธิภาพ และนำไปใช้ในการเรียนการสอนเพื่อเสริมการทดลองเดิมของของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามแบบเรียนรายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม 1 ที่มีข้อจำกัดเรื่องมุมในการยิงค่าเดียว

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 วัสดุ อุปกรณ์และการประกอบชุดยิงโพรเจกไทล์

วัสดุและอุปกรณ์ของชุดยิงโพรเจกไทล์ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นในครั้งนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ ฐานยิงโพรเจกไทล์ และปืนยิงโพรเจกไทล์ รายละเอียดวัสดุอุปกรณ์และการประกอบมีดังนี้

1. ฐานยิงโพรเจกไทล์ประกอบด้วย แผ่นรองพื้นเอียง พื้นเอียง และครึ่งวงกลมฉากวัดมุม (ภาพที่ 1)

2. การประกอบฐานยิงโพรเจกไทล์

2.1 ยึดแผ่นไม้พื้นเอียงเข้ากับแผ่นไม้รองพื้นเอียงด้วยบานพับ

2.2 เจาะรูด้านข้างแผ่นไม้พื้นเอียงสำหรับยึดน็อตที่ระยะ 18.5 เซนติเมตร จากนั้นยึดแผ่นไม้ครึ่งวงกลมฉากเข้ากับแผ่นไม้รองพื้นเอียง โดยให้ช่องรัศมีความโค้งตรงกับรูด้านข้างพื้นเอียง ยึดน็อตเข้ากับรูด้านข้างพื้นเอียง ผ่านแผ่นไม้ครึ่งวงกลมฉากเพื่อปรับพื้นเอียงให้ได้มุมตามต้องการ (ภาพที่ 2)

3. ปืนยิงโพรเจกไทล์ ประกอบด้วย

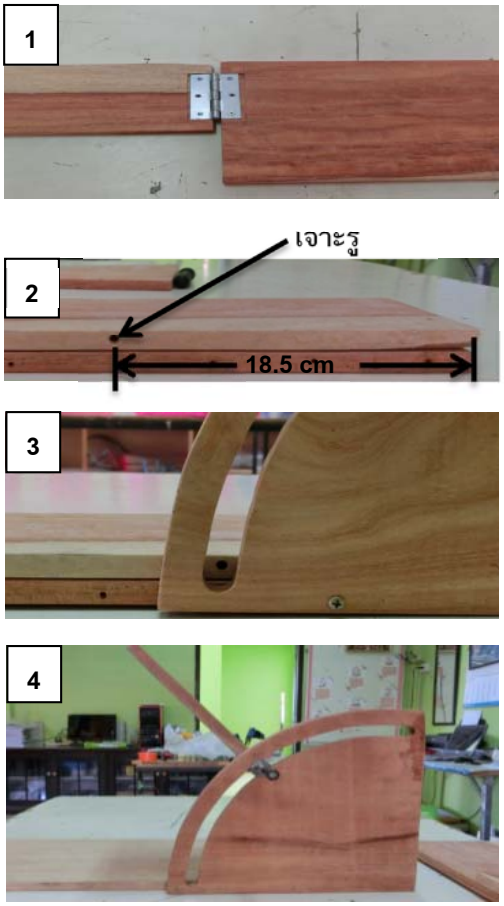
(1) สวิตซ์กดติดปล่อยดับ จำนวน 1 ตัว

(2) ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร ยาวประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร จำนวน 1 ท่อน

(3) ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร ยาวประมาณ 15 – 20 เซนติเมตร พันด้วยลวดทองแดงเบอร์ 20 จำนวน 240 รอบ จำนวน 1 ท่อน

(4) หม้อแปลงไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าเข้า 220 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าออก +31 โวลต์ และ –31 โวลต์ จำนวน 1 เครื่อง

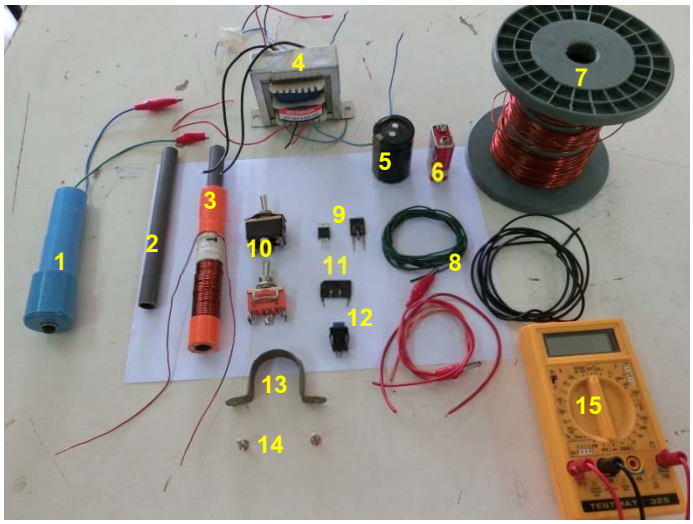
ภาพที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์ของฐานยิงโพรเจกไทล์



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการประกอบฐานยิงโพรเจกไทล์

(5) ตัวเก็บประจุ 100V 10000μF จำนวน 1 ตัว

(6) แบตเตอรี่ 9 โวลต์ จำนวน 1 ก้อน



ภาพที่ 3 วัสดุและอุปกรณ์ของปืนยิงโพรเจกไทล์

(7) ลวดทองแดง เบอร์ 20 ยาวประมาณ 10 เมตร

(8) สายไฟต่อวงจรสีต่าง ๆ

(9) เอสซีอาร์ (SCR) เบอร์ 2N4444 จำนวน 1 ตัว

(10) สวิตซ์โยกเปิด–ปิด จำนวน 1 ตัว

(11) วงจรเรียงกระแส (bridge rectifyers) จำนวน 1 ตัว

(12) สวิตซ์กดติดปล่อยดับ จำนวน 1 ตัว

(13) โครงครึ่งวงกลมยึดท่อพีวีซี จำนวน 2 อัน

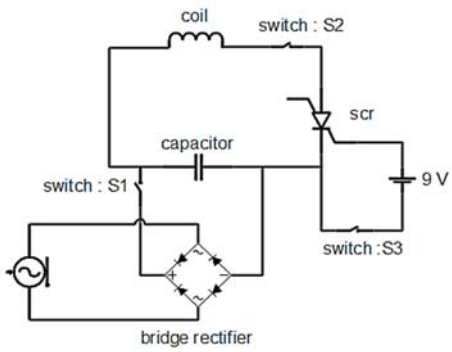
(14) สกรูสำหรับยึด จำนวน 4 ตัว

(15) มัลติมิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง

4. การประกอบปืนยิงโพรเจกไทล์

4.1 ศึกษาและออกแบบวงจรอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ (ภาพที่ 4)

4.2 ทดสอบขาเอสซีอาร์ (SCR) เบอร์ 2N4444 โดยขั้วบวกของมัลติมิเตอร์วัดที่ขา K ขั้วลบวัดที่ขา G ความต้านทานที่วัดได้จะมีค่าต่ำ (ภาพที่ 5)

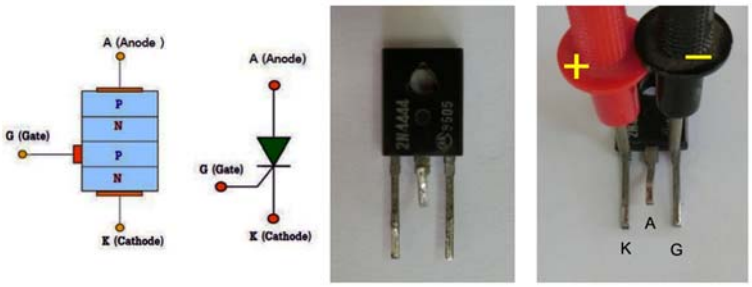


ภาพที่ 4 วงจรอีเอ็มเอฟเหนี่ยวนำ

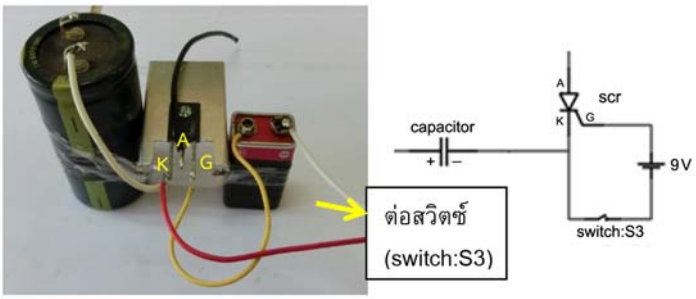
4.3 ต่อเอสซีอาร์ (SCR) เข้ากับตัวเก็บประจุและแบตเตอรี่ 9 โวลต์ ตามวงจรย่อย (ภาพที่ 6)

4.4 ต่อสวิตซ์ (switch:S2) และขดลวด (coil) ที่มีจำนวนรอบของขดลวด 240 รอบ เพื่อให้ครบวงจร (ภาพที่ 7)

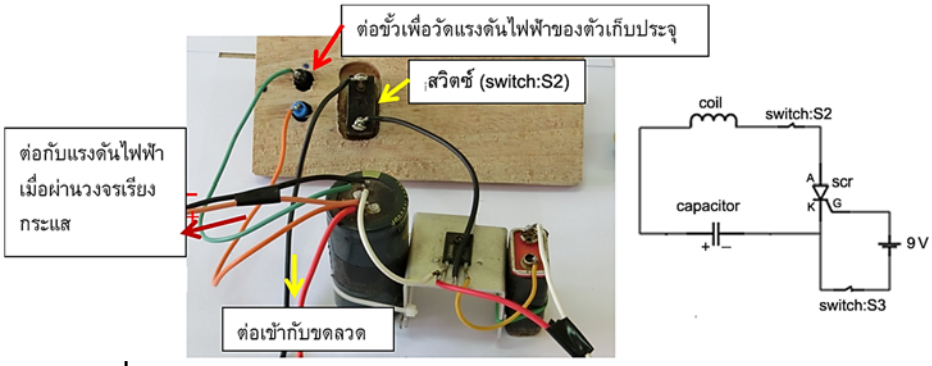
4.5 นำหม้อแปลงไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าเข้า 220 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าออก +31 โวลต์และ –31 โวลต์ ต่อกับวงจรเรียงกระแส และสวิตซ์ (switch: S1) (ภาพที่ 8)



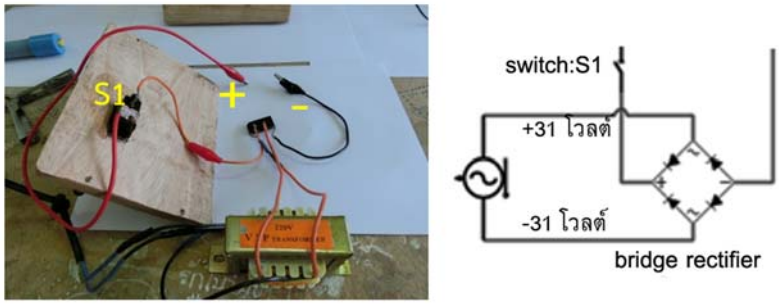
ภาพที่ 5 โครงสร้าง สัญลักษณ์ และการทดสอบขาเอสซีอาร์ (SCR) เบอร์ 2N4444



ภาพที่ 6 การต่อขาเอสซีอาร์ (SCR)

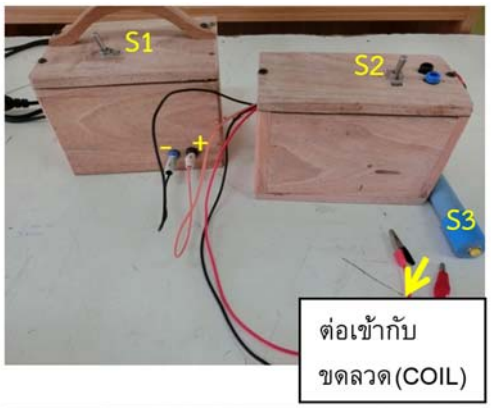


ภาพที่ 7 การต่อเอสซีอาร์ (SCR) ตัวเก็บประจุ ขดลวด และสวิตช์ (S2) เปิด-ปิด



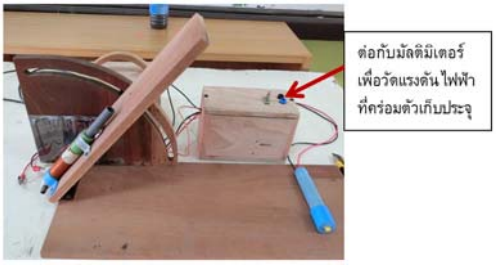
ภาพที่ 8 แรงดันไฟฟ้าเมื่อผ่านวงจรเรียงกระแส

4.6 นำวงจรที่ในข้อ 4.4 และ 4.5 เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ต่อวงจรผ่านจุดเชื่อมให้ครบวงจร

4.7 จัดทำกล่องไม้สำหรับใส่ชุดอุปกรณ์ที่ต่อวงจรเสร็จเรียบร้อย เพื่อความสวยงามและความปลอดภัยขณะทำการทดลอง



ภาพที่ 10 ชุดยิงโพรเจกไทล์ที่เสร็จสมบูรณ์

ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดยิงโพรเจกไทล์

ขั้นตอนการทดลองด้วยชุดยิงโพรเจกไทล์ มีดังนี้

1 จัดวางชุดยิงโพรเจกไทล์บนพื้นราบสูงประมาณ 1 เมตร และตั้งกล้องถ่ายภาพวิดีโอโดยให้แนวของกล้อง ขนานกับแนวการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็ก พร้อมปรับขาตั้งกล้องให้ภาพของแท่งเหล็กอยู่ตรงกลาง (ภาพที่ 11)

2. ตั้งพื้นเอียงของชุดยิงโพรเจกไทล์ให้เอียงทำมุม 45 องศา กับพื้นราบที่เตรียมไว้ และใช้กล่อง (ความยาวอ้างอิงเท่ากับ 57 เซนติเมตร) วางบนพื้นราบ

3. นำแท่งเหล็กขนาด 16 กรัม ใส่ในท่อพีวีซี ที่พันด้วยขดลวดทองแดง

4. ปิดสวิตซ์ S1 เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้กับตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 85 โวลต์ จากนั้นเปิดสวิตซ์

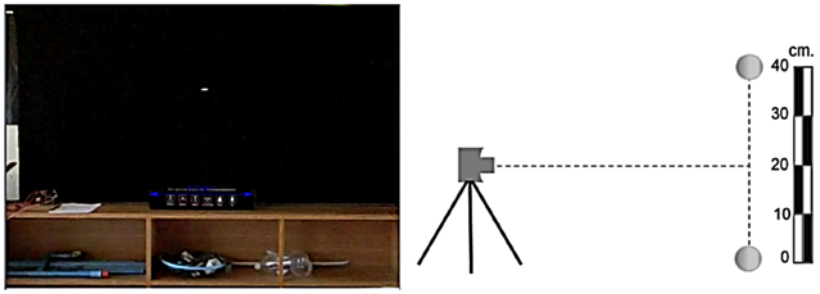
5. ปิดสวิตซ์ S2 เพื่อให้ไฟฟ้าครบวงจร

6. ปิดสวิตซ์ S3 เพื่อยิงแท่งเหล็กออกไป พร้อมบันทึกการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยการถ่ายภาพวิดีโอความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที

7. นำไฟล์วิดีโอที่ได้ไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Tracker

การติดตั้งโปรแกรม Tracker และโปรแกรมร่วม

ก่อนการติดตั้งโปรแกรม Tracker ให้ติดตั้งโปรแกรม Java Runtime Environment (JRE) และโปรแกรม QuickTime เป็นโปรแกรมสำหรับเปิด/เล่นไฟล์วิดีโอนามสกุล .mov .avi .mp4 ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ฟรี (Tracker: www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker; JRE: http://java.sun.com/javase/downloads; QuickTime; http://www.apple.



ภาพที่ 11 แนวการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กอยู่กึ่งกลางของกล้อง

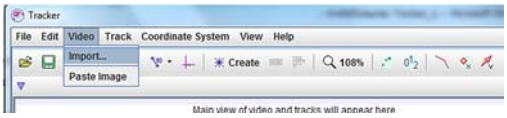
com/quicktime/download)

การตั้งค่าโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์

1. นำไฟล์วิดีโอที่ได้จากการบันทึกการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยการถ่ายภาพวิดีโอมาไว้ในคอมพิวเตอร์

2. เปิดโปรแกรม Tracker ที่อยู่ในคอมพิวเตอร์

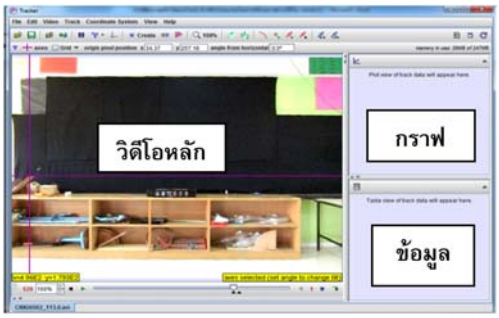
3. เปิดวิดีโอการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ต้องการวิเคราะห์ โดยเลือกที่ Video > Import > เลือกไฟล์ที่ต้องการวิเคราะห์ > Open (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การเปิดไฟล์วิดีโอ

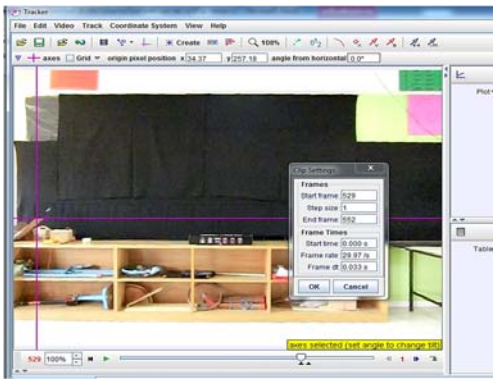
4. เมื่อเปิดวิดีโอ จะปรากฏหน้าต่างวิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์ จากตัวอย่างเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแท่งเหล็ก CIMG0562.avi (ภาพที่ 13) ซึ่งในหน้าต่างของโปรแกรม Tracker นี้มีหน้าต่างย่อย 3 ส่วน ได้แก่ หน้าต่างวิดีโอหลัก หน้าต่างกราฟ และหน้าต่างตารางข้อมูล

5. กำหนดเฟรมโดยใช้ปุ่ม (Clip setting) จะปรากฏหน้าต่างหลักของโปรแกรม (ภาพที่ 14) จากนั้นสามารถกำหนด Start frame และ End frame คือ เฟรมเริ่มต้นและเฟรมสุดท้ายที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ ในภาพที่ 14 กำหนดให้



ภาพที่ 13 วิดีโอที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

Start frame คือ 529 และ End frame คือ 552 มีค่า Step size คือ 1 หรือเลื่อนลำดับเฟรมทีละหนึ่งเฟรม ดังนั้นลำดับเฟรมที่วิเคราะห์คือ 529, 530, 531,..., 552 ตามลำดับ ค่าสำคัญที่ต้องให้ถูกต้องคือ Frame rate ซึ่งวิดีโอนี้บันทึกมีความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาที

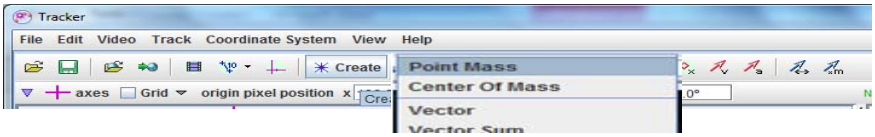


ภาพที่ 14 หน้าต่างของโปรแกรม Tracker ที่ทำการวิเคราะห์วิดีโอ CIMG0562.avi

7. กำหนดแกนอ้างอิง เพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของวัตถุที่พิจารณา โดยกดที่*ปุ่มแกนอ้างอิง* ( ) หรือเลือก Tracks > Axis > Visible จะปรากฏเส้นตั้งฉากกัน แกนในแนวนอนจะมีขีดสั้นหนึ่งขีดบอกให้ทราบว่าเป็นแกน +x

8. กำหนดความยาวอ้างอิง ให้กด*ปุ่มกำหนดความยาวอ้างอิง* ( ) หรือเลือก Tracks > Tape > Visible จะปรากฏลูกศรหัวท้ายสีน้ำเงินพร้อมช่องระบุตัวเลขความยาว เราสามารถเลื่อนตำแหน่งของลูกศรโดยกดเลือกที่ลูกศรแล้วลากไปวางยังตำแหน่งที่ทราบความยาว หากเราต้องการระบุความยาวใหม่สามารถเปลี่ยนได้ที่ช่อง scaled length โดยระบุเป็นหน่วยเมตร เช่น ความยาวของวัตถุ (กล่องสีดำตรงกลางภาพ) อ้างอิงจริง 57 เซนติเมตร ให้ใส่ 0.57 ลงไป

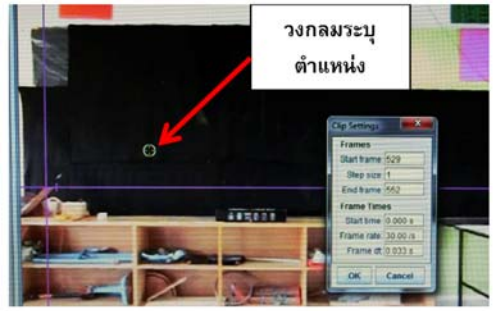
9. กดที่ปุ่ม Create เป็นการระบุตำแหน่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ในแต่ละเฟรม จากนั้นเลือก Point Mass (ภาพที่ 15)



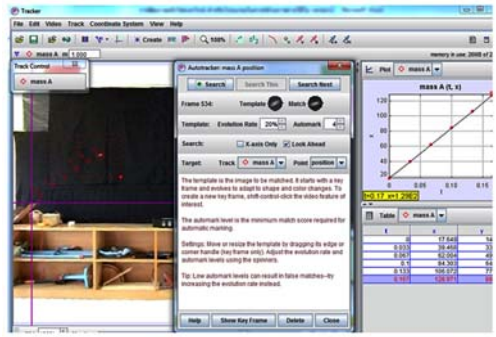
ภาพที่ 15 หน้าต่างการระบุตำแหน่งของโปรแกรม Tracke

10. เมื่อปรากฏปุ่ม mass A เราสามารถกำหนดตำแหน่งของวัตถุโดยการกดคีย์ ctrl + Shift ค้างไว้ จะปรากฏวงกลมระบุตำแหน่งสีขาว (ภาพที่ 16) จากนั้นใช้เมาส์ลากไปกดตรงตำแหน่งของวัตถุ จะปรากฏหน้าต่างการระบุตำแหน่งของวัตถุ (ภาพที่17) สามารถเลือกระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้ปุ่ม Search หรือ Search Next เมื่อกดเลือกตำแหน่งแรกแล้วตำแหน่งของวัตถุจะเลื่อนตำแหน่งในเฟรมถัดไปโดยอัตโนมัติ และเมื่อเรากดระบุตำแหน่งจะปรากฏจุดเพื่อแสดงแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุ ส่วนทางด้านขวามือ จะปรากฏกราฟการเคลื่อนที่ตำแหน่งในแนวแกน x กับเวลา และตารางแสดงเวลาและตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน x และ y จนได้แนวการเคลื่อนที่ของวัตถุ

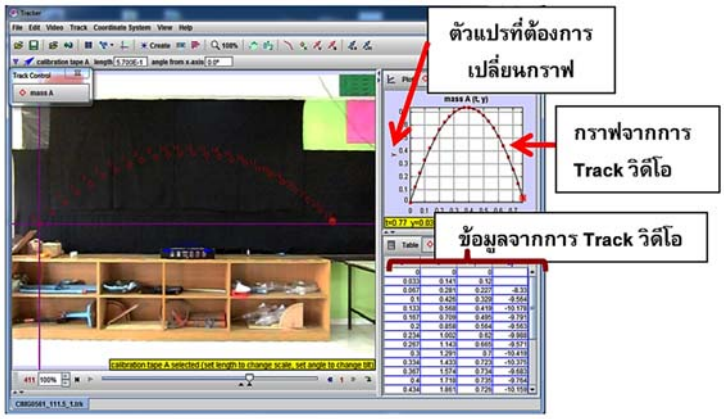
11. เมื่อ Track วิดีโอถึงตำแหน่งสุดท้าย (End frame) จะปรากฏกราฟและข้อมูล (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 16 วงกลมระบุตำแหน่งของวัตถุ



ภาพที่ 17 ปุ่ม Search หรือ Search Next เพื่อเลื่อนตำแหน่งของวัตถุ

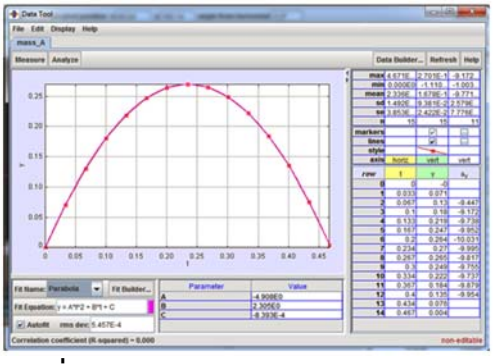


ภาพที่ 18 กราฟและการเลือกตัวแปรกราฟ

การวิเคราะห์ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g)

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอ การเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กด้วยโปรแกรม Tracker สามารถหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) ด้วยการหา 3 วิธี ได้แก่

1. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งตามแนวแกน y กับเวลา (y vs. t) ที่แสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กที่มีลักษณะเป็นพาราโบลา ดังนั้นในการหาค่า g จึงหาได้จากการ fit curve โดยใช้สมการพาราโบลา (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 ตำแหน่งตามแนวแกน y ของแท่งเหล็ก

จะได้สมการของกราฟพาราโบลาเป็น $y = At^2 + Bt + C$ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟดังนี้

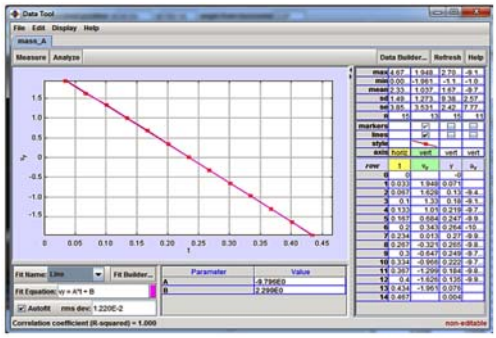
A = – 4.908 มีหน่วยเป็น m/s^2

B = 2.305 มีหน่วยเป็น m/s

C = 0 มีหน่วยเป็น m

เมื่อนำสมการ $y = At^2 + Bt + C$ ที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟเทียบกับสมการการเคลื่อนที่กรณีความเร่งคงตัว ดังสมการ $S_y = ½ gt^2 + u_y t$ พบว่า เมื่อใช้วิธีการเทียบสัมประสิทธิ์ จะได้ว่าค่า $g = 2A$ เมื่อ A คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร t^2 ดังนั้นค่า $g = –9.818\ m/s^2$

2. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา (v_y vs. t) ที่แสดงความเร็วในการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นในการหาค่า g จึงหาได้จากการ fit curve โดยใช้สมการของเส้นตรงดังในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ความเร็วตามแนวแกน y ของแท่งเหล็ก

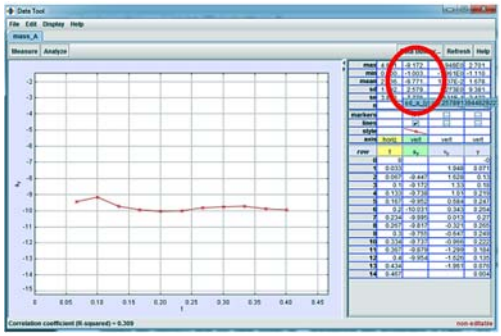
จะได้สมการของกราฟเส้นตรงเป็น v_y = At + B ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟดังนี้

A = –9.796 มีหน่วยเป็น m/s^2

B = 2.299 มีหน่วยเป็น m/s

เมื่อนำสมการ v_y = At + B ที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟเทียบกับสมการการเคลื่อนที่กรณีความเร่งคงตัวดังสมการ $v_y = gt + u_y$ พบว่า เมื่อใช้วิธีการเทียบสัมประสิทธิ์ จะได้ว่า ค่า g = A เมื่อ A คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร t ดังนั้นค่า g = –9.796 m/s^2

3. จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งตามแนวแกน y กับเวลา (a_y vs. t) ที่แสดงความเร่งในการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็ก ดังนั้นในการหาค่า g จึงพิจารณาได้จากค่าเฉลี่ยของความเร่งตามแนวแกน y ดังในภาพที่ 21 ดังนั้นค่า g = –9.771 m/s^2



ภาพที่ 21 ความเร่งตามแนวแกน y ของแท่งเหล็ก

ผลการวิจัย

จากการทดลองยิงแท่งเหล็กให้เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้ชุดยิงโพรเจกไทล์ที่มุมต่าง ๆ กัน เมื่อแรงดันไฟฟ้าเท่ากันคือ 85 โวลต์ ได้ผลการทดลองดังตาราง 1

ตาราง 1 ผลการทดลองค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g)

ครั้งที่	องศา	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็ก (m/s^2)			เฉลี่ย (m/s^2)	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
		y vs. t	v_y vs. t	a_y vs. t		
1	30	–9.580	–9.562	–9.523	–9.555	2.50
2	30	–9.670	–9.666	–9.653	–9.663	1.40
3	45	–9.818	–9.796	–9.771	–9.795	0.051
4	45	–9.808	–9.777	–9.702	–9.762	0.388
5	60	–9.620	–9.600	–9.550	–9.590	2.14
6	60	–9.718	–9.710	–9.670	–9.700	1.02
เฉลี่ย		–9.702	–9.685	–9.645	–9.678	1.25

เมื่อวิเคราะห์ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) จากการเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กทั้ง 3 วิธี คือ 1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งตามแนวแกน y กับเวลา (y vs. t) 2. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา (v_y vs. t) และ 3. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งตามแนวแกน y กับเวลา (a_y vs. t) พบว่า ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ –9.678 m/s^2 ร้อยละความคลาดเคลื่อน คือ 1.25 แสดงให้เห็นว่า ผลการทดลองเป็นไปตามกฎการ

เคลื่อนที่ บ่งชี้ได้อย่างชัดเจนว่าชุดยิงโพรเจกไทล์ที่สร้างและพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์ สามารถใช้เป็นสื่อการทดลองเพื่อจัดการเรียนการสอนในระดับห้องเรียนหรือการสาธิตทดลองได้

อภิปรายผลการวิจัย

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุอย่างอิสระ (free fall) ภายใต้แรงดึงของโลกเพียงอย่างเดียว วิถีการเคลื่อนที่เป็นโค้งพาราโบลา ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ทั้งแนวระดับและแนวดิ่งพร้อมกัน จึงเป็นหัวข้อยากในการทำความเข้าใจของนักเรียน ถึงแม้ว่านักเรียนจะเห็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ในชีวิตประจำวันได้ง่าย เช่น การเคลื่อนที่ของลูกบอลที่ถูกเตะโด่ง การเคลื่อนที่ของลูกบาสเกตบอลที่ถูกโยนเข้าห่วง การเคลื่อนที่ของน้ำพุ่งออกจากสายยาง แต่การจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนจำเป็นต้องเห็นทั้งปรากฏการณ์และข้อมูลเชิงตัวเลขเพื่อให้เข้าใจฟิสิกส์อย่างลึกซึ้ง (Wee et al., 2012) ดังนั้น การออกแบบและพัฒนาชุดยิงโพรเจกไทล์ที่สามารถกำหนดปริมาณได้เหมือนเดิมทุกครั้งที่ทดลองซ้ำจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ผู้วิจัยจึงออกแบบและพัฒนาชุดยิงโพรเจกไทล์ขึ้น โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อออกแรงกระทำกับแท่งแม่เหล็กที่อยู่ในขดลวดให้เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งชุดยิงโพรเจกไทล์นี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดยิงโพรเจกไทล์ที่ใช้สปริงออกแรงกระทำโดยตรงกับแท่งแม่เหล็ก (วัตถุที่ถูกแรงกระทำให้เคลื่อนที่) เนื่องจากการยืดของสปริง

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กจากภาพถ่ายวิดีโอและอาศัยโปรแกรม Tracker พบว่า การเคลื่อนที่ของแท่งเหล็กมีเส้นทางการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งพาราโบลาหรือการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์โดยตลอด สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ด้วยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ความเร่งเนื่อง-จากแรงโน้มถ่วงของโลกเฉลี่ยเท่ากับ –9.678 m/s^2 ร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.25 ซึ่งอาจเกิดจากการกำหนดระยะอ้างอิง (Wattanakasiwich, 2012) และระยะห่างในการบันทึกภาพ (Hayeebaka et al., 2014) แสดงให้เห็นว่า ชุดยิงโพรเจกไทล์ด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนานั้นสามารถใช้เป็นสื่อในการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอและโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอที่เรียกว่า Tracker ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่ในสาขาวิชาฟิสิกส์ โดยเฉพาะงานวิจัยด้านกลศาสตร์ ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้โปรแกรม Tracker ซึ่งเหมาะสมกับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ใน 2 มิติ เช่น การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ที่ผู้วิจัยได้สร้างและพัฒนาชุดยิงโพรเจกไทล์โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กภายในขดลวด และสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะออกแรงกระทำกับแท่งเหล็กที่อยู่ในขดลวด ให้เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ Tracker วิเคราะห์ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) พบว่า ผลการทดลองเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ แสดงว่า ชุดยิงโพรเจกไทล์มีประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์ จากบทความนี้ผู้วิจัยหวังว่า ชุดยิงโพรเจกไทล์และการใช้โปรแกรม Tracker วิเคราะห์ผลการทดลองจะเป็นประโยชน์ในกระบวนการเรียนการสอนสำหรับห้องเรียนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุนสนับสนุนของโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระยะที่ 3 (พ.ศ. 2556 – 2561) จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

เอกสารอ้างอิง

Brown, D., and Cox, A. J. (2009). Innovative uses of video analysis. **The Physics Teacher** 47(3): 145–150.

Hayeebaka, A., Jarong, I., and Dasaesamoh, A. (2014). Studies of projectile motion using digital video analysis: a case study of water rocket. **Princess of Narathiwas University Journal** 6(3): 83–91.

Junpichai, N. (2009). Teaching physics with basketball. **Master Thesis of Teaching Physics. Faculty of Graduate Studies, Chiangmai University**. (in Thai)

Keawsutti, D. (2013). Development of experimental modules on drag using video analysis technique. **Master's Thesis of Teaching Physics, Faculty of Graduate Studies. Chiangmai: Chiangmai University**. (in Thai)

Klein, P., Gröber, S., Kuhn, J., and Müller, A. (2014). Video analysis of projectile motion using tablet computers as experimental tools. **Physics Education** 49(1): 37–40.

Patchima, S. (2010). Using 5E teaching method incorporate with projectile learning package to develop learning achievement. **Master's Thesis of Science Education. Faculty of Graduate Studies. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University**. (in Thai)

Wattanakasiwich, P., and Poonyawatpornkul, J. (2012). High speed video analysis in mechanics. **Srinakharinwirot Science Journal** 28(2): 211–232. (in Thai)

Wee, L. K., Chew, C., Goh, G. H., Tan, S., and Lee, T. L. (2012). Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. **Physics Education** 47(4): 448.

Wuttiprom, S. (2013). A comparison of teaching experiments between videotaped and demonstrative approaches in developing scientific concepts about buoyant force. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 4(1): 7–17. (in Thai)