การพัฒนาชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ ด้วยระบบปรับมุมอัตโนมัติ

อมรรัตน์ คำบุญ*

*สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ

*Corresponding author e-mail: amonratja@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยได้ศึกษาการพัฒนาชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ด้วยระบบปรับมุมอัตโนมัติ โดยได้ออกแบบชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ให้สามารถมีระดับแรงยิงได้หลายระดับ และพัฒนาการปรับมุมยิงด้วยปุ่มกดอัตโนมัติ เพื่อสร้างชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์สำหรับประกอบการเรียนการสอนเกี่ยวกับการเคลื่อนโปรเจคไทล์ได้ โดยชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรคเจคไทล์สามารถปรับมุมแบบอัตโนมัติได้ 8 มุม ด้วยระบบ Servo motor มาควบคุมการปรับเปลี่ยนมุมของชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ ได้มีการติดตั้งสวิตช์ไว้ที่ฐานของชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ นั่นคือเมื่อกดสวิตช์ปรับเปลี่ยนมุมสัญญาณจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผล และส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และทำให้ Servo motor หมุน เพื่อทำให้กระบอกยิงโปรเจคไทล์มีการเปลี่ยนมุมตามคำสั่ง จากการทดสอบการปรับมุมระบบสามารถปรับมุมได้ถูกต้องทุกครั้งที่ได้ทำการทดลอง นอกจากนี้ยังสามารถแปรค่าแรงยิงได้ทั้งหมด 4 ระดับ ซึ่งจากการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์โดยการแปรค่าแรงยิงที่มุมเดียวกันพบว่าความเร็วต้น (u) และระยะทางในแนวระดับ (S_x) ที่ได้จากการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์/ ชุดการทดลอง/ ระบบปรับมุมอัตโนมัติ

The Development with Projectile Experimental Set by Automatic Angle

Amonrat Khambun*

*Physics Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok

*Corresponding author e-mail: amonratja@hotmail.com

Abstract

The research was studied to develop a projectile motion experiment set with the angle adjustment automatic system. It has designed a projectile motion experiment set can provide multiple levels of shooting force, and developed of shooting angle with automatic button for learning and teaching. In the projectile experiment set can be automatically adjusted 8 angles by using a servo motor system to control the positional angles of projectile experiment set. It has been installed a switch at the base of the machine when push the switch occurs adjusted angle to transform the signal to the microcontroller. It will do processing to transmit the signal to electronic board occurred a servo motor operation. To make the projectile shoot, the angle is changed by the command. From the angle adjustment test can be corrected every time the experiment. Moreover, it can provide of shooting force with 4 levels that can vary by shooting force at the same angle founded a velocity (u) and distance (S_x) in the same level have increased from the experiment.

Keywords: an automatic projectile/ experiment set/ projectile

บทนำ

การศึกษาในประเทศไทยเกิดขึ้นมาเป็นเวลานาน และได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์ที่เน้นการเรียนรู้ที่เจาะลึกและมีความจริงที่สามารถพิสูจน์ได้ ซึ่งการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์เป็นอีกหัวข้อหนึ่งในรายวิชาฟิสิกส์ที่ไม่สามารถอธิบายเพียงตัวหนังสือหรือสมการแล้วเข้าใจได้จริง ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองควบคู่กันไปด้วย เพื่อที่จะทำให้ผู้เรียนได้เข้าใจในเนื้อหาอย่างแท้จริง

แผนพัฒนาการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ฉบับที่ 11 พ.ศ. 2555 - 2559 ได้กล่าวไว้ คือการเรียนมุ่งพัฒนาคุณภาพการศึกษาทุกระดับทุกประเภท เพื่อให้ผู้เรียนได้รับการศึกษาที่มีคุณภาพมาตรฐานและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น สามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง และสามารถดำรงชีวิตในสังคมได้อย่างมีความสุข ศิริกุล และคณะ (2557) และสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (2550) ได้กล่าวว่าการสอนแบบปฏิบัติการ มีการกำเนิดมาจากการศึกษาค้นคว้าด้วยวิธีทดลองในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ที่ต้องใช้สารเคมีในการตรวจสอบ วิเคราะห์ ต่อมากลายเป็นกระบวนการสอนที่อาศัยการทดลองด้วยเครื่องมือและวัสดุต่าง ๆ ในปัจจุบันการสอนแบบปฏิบัติการมิได้ใช้เฉพาะวิชาวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังใช้ในวิชาคหกรรมศาสตร์ ศิลปปฏิบัติ สังคมศาสตร์ ภาษาอังกฤษ คณิตศาสตร์ อาชีวศึกษา และธุรกิจศึกษาด้วย ปัจจุบันการสอนแบบวิธีการปฏิบัติการเป็นการสอนที่ให้ผู้เรียนได้เรียนจากการปฏิบัติจริง เป็นการเรียนจากประสบการณ์ตรง ผู้เรียนได้ทดลองทำปฏิบัติ เสาะหาข้อมูล จัดระเบียบข้อมูล พิจารณาหาข้อสรุป ค้นคว้าหาวิธีการกระบวนการด้วยตนเอง หรือร่วมกันเป็นกลุ่ม โดยเฉพาะการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ในแต่ละหัวข้อนั้นยากต่อการเข้าใจ ผู้สอนจึงต้องอาศัยการทดลองหรือการปฏิบัติจริงเพื่อประกอบการสอนให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจมากขึ้น

รายวิชาฟิสิกส์ทุกหัวข้อเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน และหัวข้อที่ทุกคนเกี่ยวข้องอย่างเห็นได้ชัดเจนคือการเคลื่อนที่ในลักษณะต่าง ๆ และสิ่งที่เข้าใจยากคือการเคลื่อนที่ในหลายมิติไปพร้อม ๆ กัน คือ การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ (Projectile)

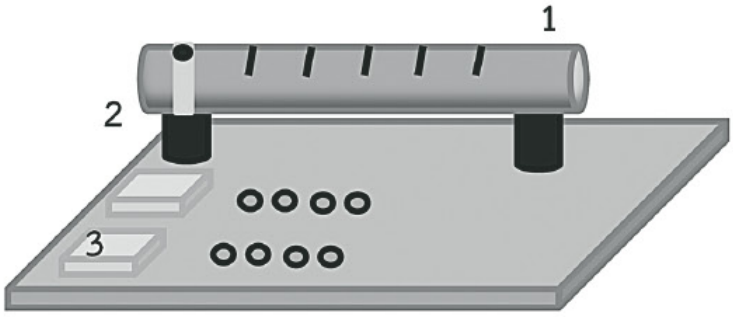
การเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์สามารถพบได้บ่อยในกิจกรรมในชีวิตประจำวัน เช่น การเคลื่อนที่ของลูกบอล การขี่จักรยานผาดโผนจากเนินด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง การแข่งขันยิงจรวจขวดน้ำ เป็นต้น องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ (อพวช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เล็งเห็นความสำคัญในการนำเอาทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์มาประยุกต์ใช้ โดยได้เริ่มจัดการแข่งขันจรวจขวดน้ำขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2546 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมให้เยาวชนไทยได้ใช้ความรู้และ

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผสมผสานกับจินตนาการแล้วนำมาประยุกต์ใช้ผ่านกิจกรรมการแข่งขันจรวจขวดน้ำและยังสามารถนำเอาทฤษฎีเรื่องการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์มาประยุกต์ใช้ในการแข่งขันจรวจขวดน้ำได้ ทำให้เห็นภาพว่าการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์เป็นอย่างไร จึงทำให้สื่อการสอนจึงมีความสำคัญควบคู่ไปกับเนื้อหาในบทเรียน

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาเครื่องยิงโปรเจคไทล์เพื่อเป็นสื่อการสอนให้มีความทันสมัยและมีความสามารถมากยิ่งขึ้น โดยตัวยิงจะสามารถกำหนดแรงยิงที่จะยิงออกไปได้ ส่วนการปรับเปลี่ยนมุมจะใช้ Servo motor เป็นตัวควบคุมซึ่งมุมที่ได้ออกมาจะมีค่าที่ตรง ซึ่งจะดีกว่าการปรับเปลี่ยนมุมด้วยมือ และผู้วิจัยหวังว่าเครื่องยิงโปรเจคไทล์นี้จะนำไปสู่การพัฒนาของผู้เรียนให้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบเครื่องต้นแบบการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ให้สามารถมีระดับการยิงได้หลายระดับ และพัฒนาการปรับมุมการเคลื่อนที่ด้วยปุ่มกดอัตโนมัติได้



ภาพที่ 1 แบบโครงสร้างของเครื่องยิงโปรเจคไทล์
(1) กระบอกยิงปรับแรงยิง 4 ระดับ (2) Servo motor ควบคุมมุม (3) ปุ่มกดปรับเปลี่ยนมุม

วิธีการทดลอง

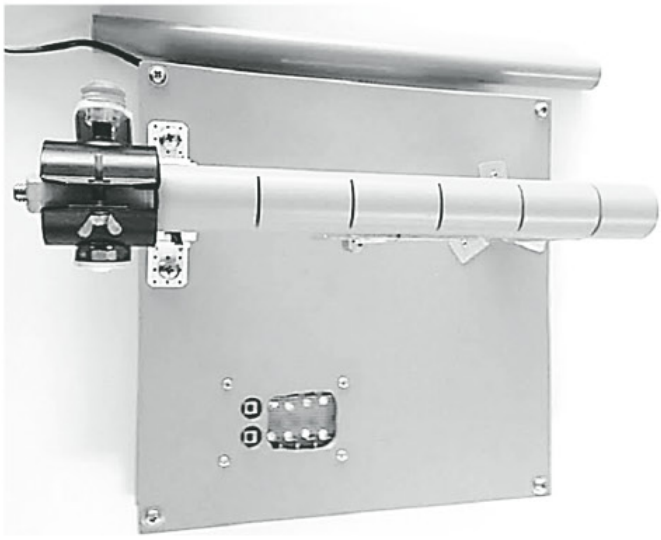
งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างต้นแบบการพัฒนาเครื่องยิงโปรเจคไทล์โดยกำหนดแรงยิงและมีการควบคุมมุมด้วยระบบอัตโนมัติ โดยขั้นตอนการสร้างเครื่องยิงและกำหนดแรงยิงได้ ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องยิงโปรเจคไทล์
2. ขั้นตอนการหาค่านิจของสปริงเพื่อกำหนดระดับแรงยิง
3. ขั้นตอนการพัฒนาระบบการควบคุม Servo motor
4. ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องยิงโปรเจคไทล์

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องยิงโปรเจคไทล์นี้ได้มีการพัฒนาให้มีระดับของแรงยิง โดยได้มีการออกแบบให้เครื่องยิงโปรเจคไทล์ให้มีความสะดวกในการทดลองในห้องปฏิบัติการ ดังภาพที่ 1

จากภาพที่ 2 เครื่องยิงโปรเจคไทล์สามารถปรับระดับแรงยิงได้ 4 ระดับ และสามารถปรับมุมได้ 8 มุม โดยใช้ Servo motor เป็นตัวควบคุม



ภาพที่ 2 เครื่องยิงโปรเจคไทล์

ขั้นตอนที่ 2 การหาค่านิจของสปริงเพื่อกำหนดแรงยิง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการหาค่านิจของสปริง เพื่อกำหนดระดับการยิงของเครื่องยิงโปรเจคไทล์ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. การทดลองการหาค่านิจของสปริงโดยวิธีการยืดสปริง ดังภาพที่ 3

1.1 จัดตั้งอุปกรณ์โดยแขวนสปริงให้อยู่ในแนวดิ่ง วัดระยะของสปริงแล้วบันทึกค่า (x_0)

1.2 นำมวล 100 g แขวนที่ปลายของสปริงด้านล่าง วัดระยะที่สปริงยืดออกแล้วบันทึกค่า (x_{100g})

1.3 นำ ($x_{100g} - x_0$) บันทึกค่าโดยใช้หน่วยเป็น เมตร (m)

1.4 หา $|\bar{F}|$ โดยนำค่ามวลที่แขวนสปริงมาคำนวณจากสมการ $|\bar{F}| = mg$ โดยค่า $|\bar{g}| = 10$ m/s^2

เมื่อ $|\bar{F}|$ คือ แรงที่ยืดสปริง (N)

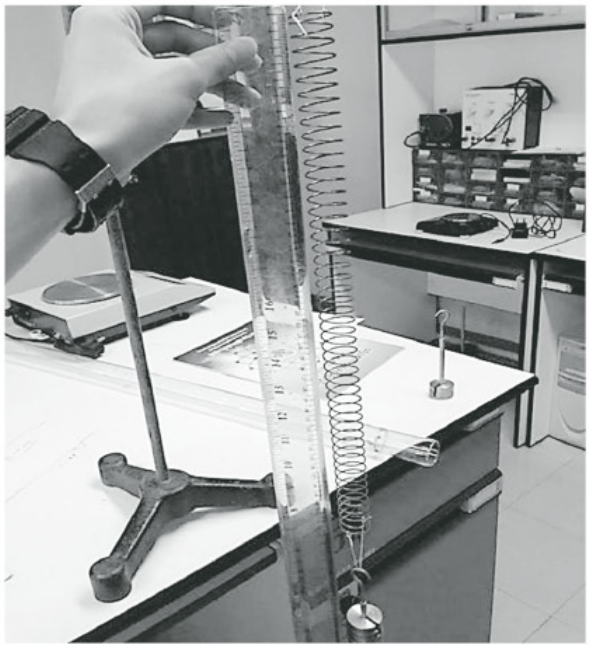
m คือ มวลที่แขวน (kg)

$|\bar{g}|$ คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

1.5 นำค่าแรงและระยะยืดของสปริงที่ได้จากข้อ 1.3 และ 1.4 มาคำนวณหาค่า k จากสมการ

$$k = \frac{|\bar{F}|}{|\Delta\bar{x}|}$$

เมื่อ $|\Delta\bar{x}|$ คือ ผลต่างของระยะยืดของสปริง (m)



ภาพที่ 3 ทดลองหาค่านิจของสปริงโดยวิธียืดสปริง

1.6 ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มมวลเป็น 200 g, 300 g, 400 g และ 500 g ตามลำดับ

2. การทดลองการหาค่านิจของสปริงโดยวิธีการกดสปริงดังภาพที่ 4

2.1 จัดตั้งอุปกรณ์โดยวางสปริงลงบนเครื่องชั่งน้ำหนัก

2.2 กดสปริงลงไป 3 cm เท่ากับ 0.03 m ดูน้ำหนักบนเครื่องชั่ง บันทึกค่ามวล หน่วยเป็น kg ทำซ้ำ 3 ครั้ง

2.3 หา $|\bar{F}|$ โดยนำค่ามวลจากการกดสปริงมาคำนวณจาก $|\bar{F}| = m|\bar{g}|$ โดยค่า $|\bar{g}| = 10$ m/s^2

2.4 คำนวณหาค่า k จากสมการ

$$k = \frac{|\bar{F}|}{|\Delta\bar{x}|}$$

2.5 ทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มระยะการกดเป็น 0.06 m, 0.09 m, 0.12 m และ 0.15 m ตามลำดับ

3. การทดลองการหาระดับแรงยิง

3.1 กำหนดแรงไว้ 4 ระดับ คือ 2 N, 4 N, 6 N และ 8 N

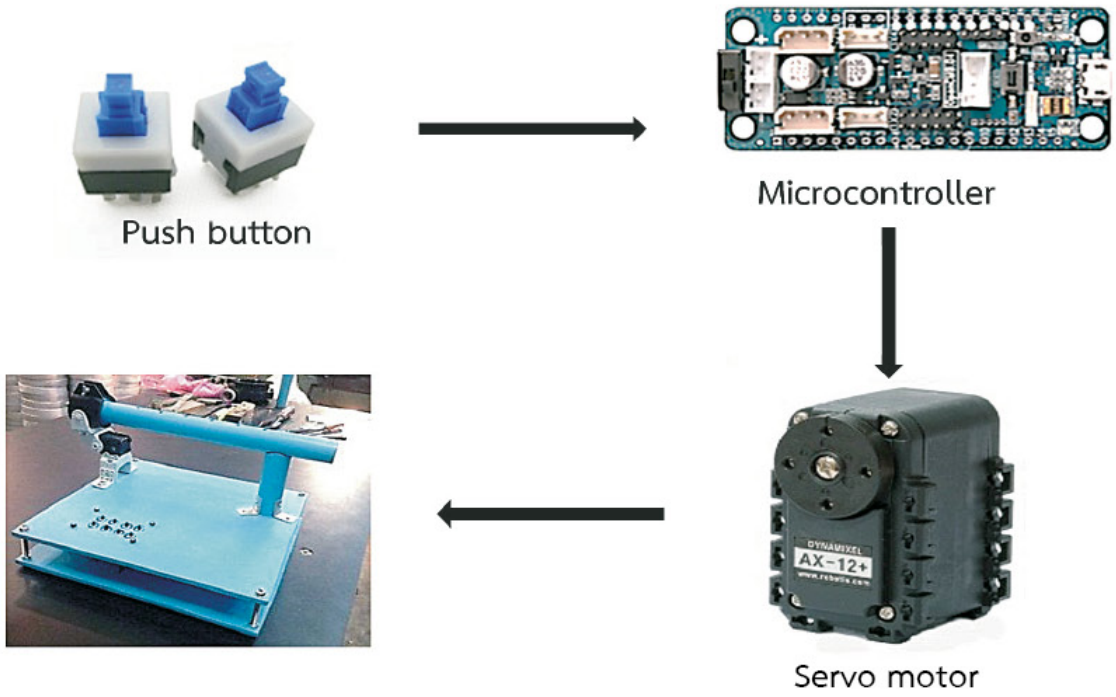
3.2 นำค่าแรงจากข้อ 3.1 และค่านิจของสปริงที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาระยะเพื่อกำหนดตำแน่งของกระบอกยิง

3.3 จากการคำนวณพบว่าแรง 2 N ได้ระยะ 0.05 m แรง 4 N ได้ระยะ 0.10 m แรง 6 N ได้ระยะ 0.15 m และแรง 8 N ได้ระยะ 0.20 m จากระยะปกติของสปริง

ภาพที่ 4 ทดลองหาค่านิจของสปริงโดยวิธีกดสปริง

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาระบบการควบคุมการเปลี่ยนมุมโดย Servo motor

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการนำ Servo motor มาควบคุมการปรับเปลี่ยนมุมของเครื่องยิงโปรเจคไทล์ โดยมีการติดตั้งสวิตช์ไว้ที่ฐานของเครื่องยิงโปรเจคไทล์ หลักการทำงานของระบบ คือ เมื่อเรากดสวิตช์ปรับเปลี่ยนมุมสัญญาณจะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผล และส่งสัญญาณไปยังอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และทำให้ Servo motor หมุน เพื่อทำให้กระบอกยิงของเครื่องยิงโปรเจคไทล์มีการเปลี่ยนมุมตามคำสั่ง ดังภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรม



ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรมการพัฒนาระบบการควบคุม

การทำงานของบล็อกไดอะแกรม

1. ระบบการควบคุม Servo motor โดยสั่งการด้วยสวิตช์ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) Push botton 2) Microcontroller 3) Servo motor

2. หลักการทำงานของการควบคุม Servo motor เพื่อปรับเปลี่ยนมุม เราจะทำการเขียนโค้ดในโปรแกรม ROBOTIS Open CM

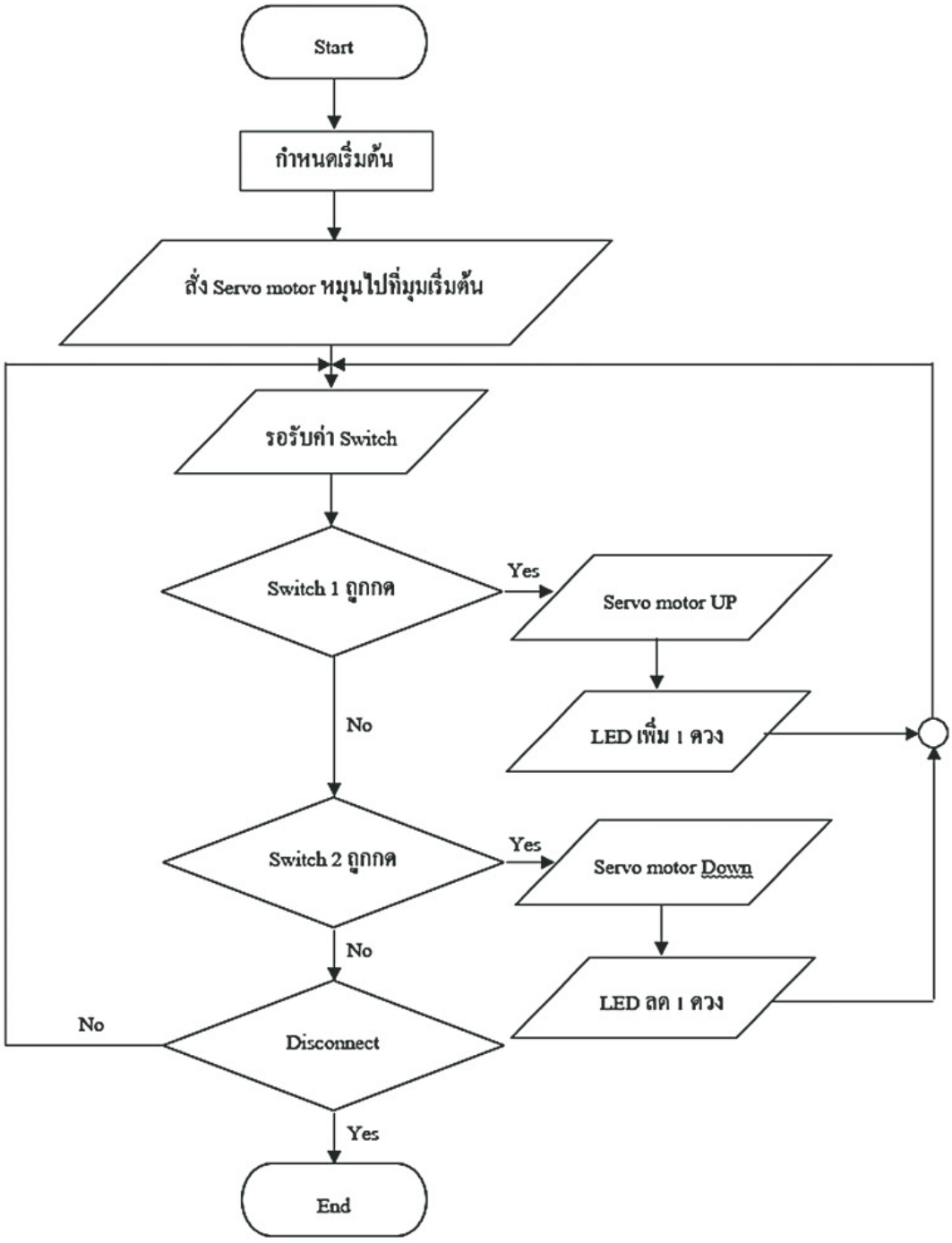
3. ระบบจะทำการส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนเทรลเลอร์และไมโครคอนเทรลเลอร์จะทำการประมวลผลและส่งสัญญาณไปยัง

4. Servo motor เพื่อสั่งการให้ Servo motor หมุนทำให้ปรับเปลี่ยนมุมตามคำสั่ง

โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการควบคุม Servo motor จะแสดงถึงการทำงานของการปรับเปลี่ยนมุมของชุดสาธิต เครื่องยิงโปรเจคไทล์ที่ควบคุมด้วยบอร์ด Open CM 9.04 โดยจะเริ่มที่ Start จากนั้นจะเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้น จะทำให้ Servo motor จะอยู่ตำแหน่งใดก็ตาม จะหมุนกลับมาที่มุมเริ่มต้น และ Servo motor จะทำการรอคำสั่งที่เข้ามาจากการกดปุ่ม ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ปุ่ม คือ SW1 และ SW2

ในขั้นตอนการกดปุ่มถ้ากด SW1 จะควบคุมให้ Servo motor หมุนขึ้น และจะแสดงผลที่หลอด LED และถ้าไม่ได้กด SW1 ไปกดที่ SW2 จะควบคุมให้ Servo motor หมุนลง และจะแสดงผลที่หลอด LED และถ้าไม่ได้กดทั้ง 2 ปุ่ม จะเป็นการ

ตรวจสอบว่าจะ Disconnect หรือไม่ ถ้าตรวจสอบแล้วว่าไม่ก็จะเป็นการวน Loop เพื่อกลับมารอรับคำสั่งจากปุ่มกดอีกครั้ง แต่ถ้าตรวจสอบแล้วว่าใช่ก็จะจบการทำงาน End



ภาพที่ 6 โฟลว์ชาร์ตขั้นตอนการควบคุม Servo motor

ภาพที่ 7 อุปกรณ์การทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 การทดลอง

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการทดลองเพื่อทำการทดสอบเครื่องยิงโปรเจคไทล์ว่าเครื่องนี้มีความแม่นยำ และมีความสามารถในการหาค่าต่าง ๆ ในเรื่องการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์มากน้อยแค่ไหน โดยการทดลองมีอุปกรณ์ แสดงดังภาพที่ 7

ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. จัดตั้งเครื่องยิงโปรเจคไทล์ให้อยู่ในแนวระนาบ

2. ทำการเปลี่ยนมุมไปที่ 30° แล้วกำหนดแรงยิงที่ 2 N

3. ทำการยิงแล้วจับเวลาตั้งแต่เริ่มยิงจนลูกแก้วตก

4. วัดระยะจากปากกระบอกไปที่ลูกแก้วตก

5. ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

6. ทำการทดลองดังข้อที่ 2- 5 แต่เปลี่ยนมุมเป็น 37°, 45°, 53° และ 60° ตามลำดับ

7. ทำการทดลองดังข้อที่ 2 - 6 แต่เปลี่ยนระดับแรงยิงเป็น 4 และ 6 N

ผลการทดลอง

ในการทดลองเครื่องยิงโปรเจคไทล์ได้ทำการทดสอบค่านิจของสปริงเพื่อไปกำหนดแรงยิงของเครื่องยิงโปรเจคไทล์และตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องยิง

โปรเจคไทล์ โดยการทดลองจะทดลองยิงที่ระดับแรงต่าง ๆ และมุมต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการทดลองการหาค่านิจของสปริง

ตอนที่ 2 ผลการทดลองยิงเครื่องยิงโปรเจคไทล์ที่ระดับแรง 2, 4, และ 6 N ที่มุม 30°, 37°, 45°, 53° และ 60°

ตอนที่ 1 ผลการทดลองการหาค่านิจของสปริง

ผลการทดลองการหาค่านิจของสปริงแบ่งออกเป็น ผลการทดลองการหาค่านิจของสปริงด้วยวิธีการยืด และผลการทดลองการหาค่านิจของสปริงด้วยวิธีการกด ในการทดลองครั้งนี้ใช้ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลกใช้ในการคำนวณในครั้งนี้คือ 10 m/s^2 หาค่านิจของสปริง k จาก $k = \frac{|\bar{F}|}{|\Delta \bar{x}|}$ ซึ่ ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการหาค่านิจของสปริงด้วยการยืด

m (kg)	$\|\bar{F}\|$ (N)	Δx (m)	k (N/m)
0.1	1	0.03	40.00
0.2	2	0.05	40.00
0.3	3	0.08	40.00
0.4	4	0.10	40.00
0.5	5	0.13	40.00
	เฉลี่ย		**40.00**

จากตารางที่ 1 การทดลองการหาค่านิจของสปริงโดยวิธีการยืด พบว่าที่มวลตั้งแต่ 0.1 kg – 0.5 kg ค่านิจที่ได้จากการคำนวณทั้ง 5 ค่า คือ 40 N/m ผลเฉลี่ยจากการหาค่านิจของสปริงโดยวิธีการยืด คือ 40 N/m

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการหาค่านิจของสปริงด้วยการกด

Δx (m)	$\|\bar{F}\|$ (N)					κ (N/m)
	1	2	3	เฉลี่ย	SD	
0.03	1.18	1.20	1.22	1.20	0.02	40.00
0.06	2.40	2.44	2.36	2.40	0.04	40.00
0.09	3.63	3.69	3.57	3.63	0.06	40.30
0.12	4.79	4.80	4.81	4.80	0.01	40.00
0.15	5.96	6.03	6.07	6.02	0.06	40.10
		เฉลี่ย				**40.08**

จากตารางที่ 2 ผลการทดลองการหาค่านิจของสปริงด้วยวิธีการกด พบว่าที่ระยะ 0.03 m, 0.06 m และ 0.12 m ค่านิจของสปริงที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ค่า คือ 40 N/m ที่ระยะ 0.09 m และ 0.15 m ค่านิจของสปริงที่ได้คือ 40.3 N/m และ 40.1 N/m ผลเฉลี่ยจากการหาค่านิจของสปริงด้วยวิธีการกด คือ 40.08 N/m

จากการทดลองหาค่านิจของสปริงด้วยวิธีการยืด และวิธีการกด ค่านิจที่ได้จากการทดลองมีค่าประมาณ 40 N/m จากนั้นผู้วิจัยจึงนำค่านิจของสปริงที่ได้ในครั้งนี้ไปกำหนดระดับของแรงยิง

ตอนที่ 2 ผลการทดลองใช้เครื่องยิงโปรเจคไทล์ที่ระดับแรง 2 และ 4 N ที่มุม 30°, 37°, 45°, 53° และ 60°

การทดลองในตอนที่ 2 เป็นผลการทดลองใช้เครื่องยิงโปรเจคไทล์ที่ระดับแรง 2, 4 และ 6 N ที่มุม 30°, 37°, 45°, 53° และ 60° ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ผลการทดลองยิงเครื่องยิงโปรเจคไทล์ที่ระดับแรง 2 N ที่มุม 30° ถึง 60°

มุม	t เฉลี่ย (s)	S_x เฉลี่ย (m)	V_x (m/s)	cosθ	U (m/s)
30°	0.12	0.11	0.92	0.87	1.06
37°	0.17	0.14	0.82	0.80	1.03
45°	0.20	0.18	0.90	0.71	1.27
53°	0.21	0.17	0.81	0.60	1.35
60°	0.20	0.15	0.75	0.50	1.50
		ความเร็วต้นเฉลี่ย			**1.24**

ตารางที่ 4 ผลการทดลองยิงเครื่องยิงโปรเจคไทล์ที่ระดับแรง 4 N ที่มุม 30° ถึง 60°

มุม	t เฉลี่ย (s)	S_x เฉลี่ย(m)	V_x (m/s)	cosθ	U (m/s)
30°	0.20	0.54	2.70	0.87	3.10
37°	0.23	0.74	3.36	0.80	4.20
45°	0.24	0.79	3.30	0.71	4.65
53°	0.28	0.76	2.71	0.60	4.52
60°	0.34	0.66	1.94	0.50	3.88
		ความเร็วต้นเฉลี่ย			**4.07**

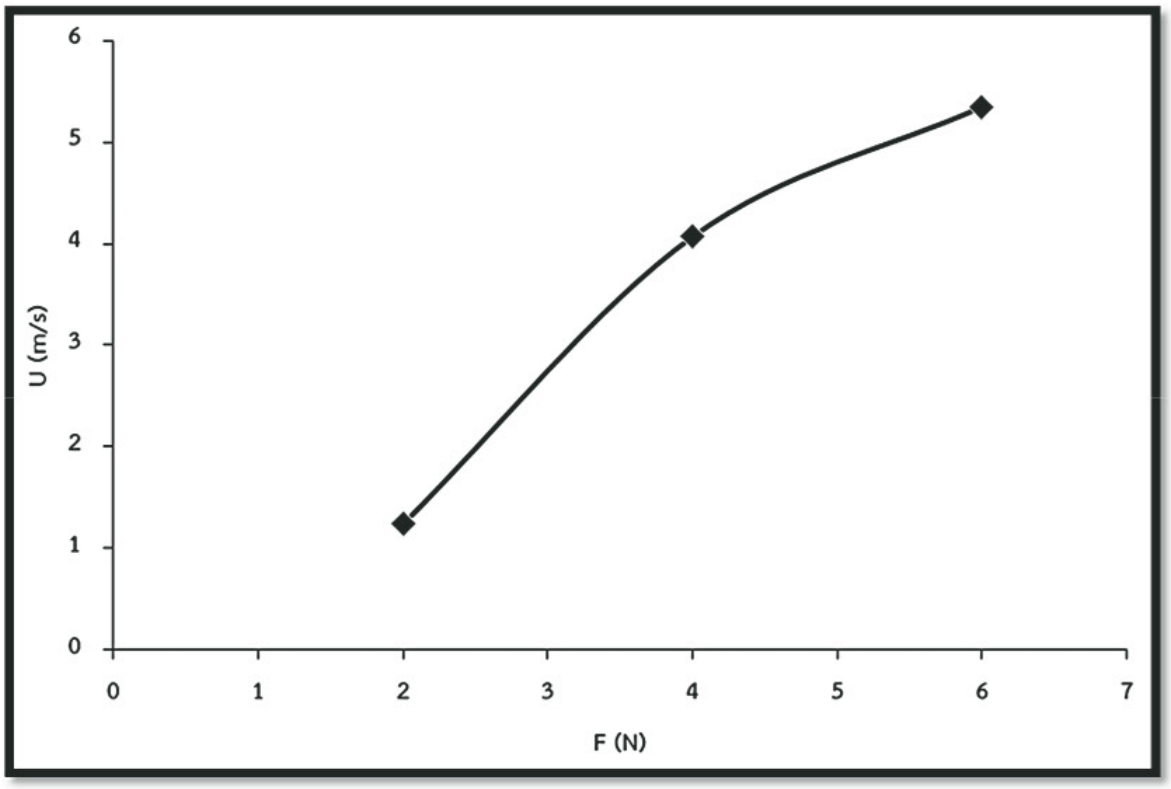
ตารางที่ 5 ผลการทดลองยิงเครื่องยิงโปรเจคไทล์ที่ระดับแรง 6 N ที่มุม 30° ถึง 60°

มุม	t เฉลี่ย (s)	S_x เฉลี่ย(m)	V_x (m/s)	cosθ	U (m/s)
30°	0.38	1.59	4.18	0.87	4.81
37°	0.44	1.65	3.75	0.80	4.69
45°	0.47	1.64	3.81	0.71	5.37
53°	0.50	1.76	3.49	0.60	5.82
60°	0.65	1.96	3.02	0.50	6.04
		ความเร็วต้นเฉลี่ย			**5.35**

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าที่ระดับแรงยิงเท่ากับ 2 N เมื่อมุมการยิงที่เพิ่มขึ้นจาก 30° เพิ่มขึ้นเป็น 60° พบว่าเวลาที่ใช้ในการยิงเพิ่มขึ้น ระยะในแนวแกน x ที่ได้จากการทดลองพบว่าที่ 45° ได้ระยะในแนวแกน x มากที่สุดเท่ากับ 0.18 m และจากตารางที่ 3 ทำให้ได้ความเร็วต้นที่เกิดขึ้นจากการยิงที่ระดับ 2 N โดยคำนวณจากสมการ $s_x = ucos\theta t$ มีค่าเท่ากับ 1.24 m/s

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าที่ระดับแรงยิงเท่ากับ 2 N เมื่อมุมการยิงที่เพิ่มขึ้นจาก 30° เพิ่มขึ้นเป็น 60° พบว่าเวลาที่ใช้ในการยิงเพิ่มขึ้น ระยะในแนวแกน x ที่ได้จากการทดลองพบว่าที่ 45° ได้ระยะในแนวแกน x มากที่สุดเท่ากับ 0.79 m และจากตารางที่ 3 ทำให้ได้ความเร็วต้นที่เกิดขึ้นจากการยิงที่ระดับ 2 N โดยคำนวณจากสมการ $s_x = ucos\theta t$ มีค่าเท่ากับ 4.07 m/s

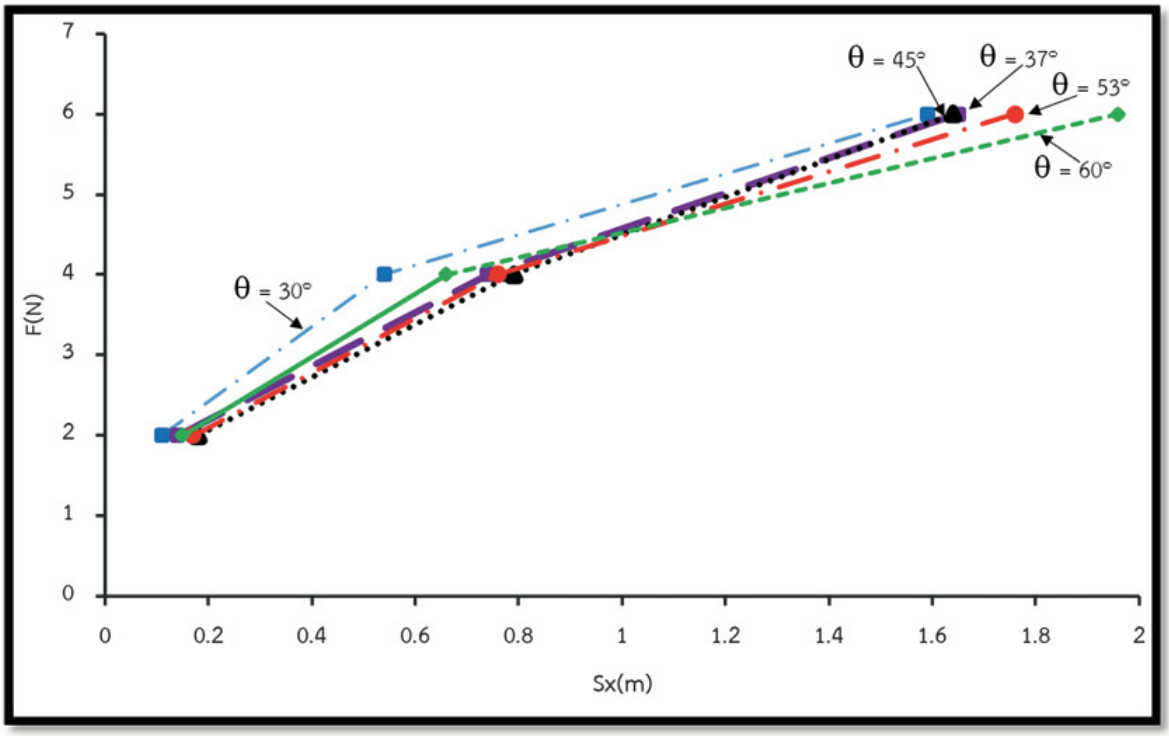
จากผลการทดลองในตารางที่ 5 พบว่าที่ระดับแรงยิงเท่ากับ 2 N เมื่อมุมการยิงที่เพิ่มขึ้นจาก 30° เพิ่มขึ้นเป็น 60° พบว่าเวลาที่ใช้ในการยิงเพิ่มขึ้น ระยะในแนวแกน x ที่ได้จากการทดลองพบว่าที่ 45° ได้ระยะในแนวแกน x มากที่สุดเท่ากับ 0.79 m และจากตารางที่ 3 ทำให้ได้ความเร็วต้นที่เกิดขึ้นจากการยิงที่ระดับ 2 N โดยคำนวณจากสมการ $s_x = ucos\theta t$ มีค่าเท่ากับ 5.35 m/s ซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาในทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ (ช่วง และคณะ, 2554; สันติพงศ์, 2554)



ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร็วต้น

จากภาพที่ 8 เป็นภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร็วต้นที่ได้จากการคำนวณหาความเร็วต้นเมื่อเปลี่ยนแรงในการยิงด้วยการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์ โดยการหาความเร็วปลายได้จากสมการ $V_x = \frac{S_x}{t}$ จากนั้นนำค่า V_x มาคำนวณหาความเร็วต้น (U) จากการทดลองพบว่าเมื่อแรงที่ใช้ในการยิงแบบโปรเจคไทล์เพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วต้นเพิ่มขึ้นด้วย

จากภาพที่ 9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการการแปรค่าแรงยิงโปรเจคไทล์และระยะทางในแนวระดับที่มุม 30° - 60° จากการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคด้วยการแปรค่าการยิงด้วนแรง 2 N 4 N และ 6 N ที่มุมเดียวกันตั้งแต่มุม 30°, 37°, 45°, 53° และ 60° พบว่าระยะทางจากการเคลื่อนที่ในแนวระดับมีระยะมากขึ้นตามแรงที่มากขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Wu *et al*. (2015) สันติพงษ์ (2554) และวัชราภรณ์ (2552) ที่ได้กล่าวว่าการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์วัตถุจะถูกดีดออกไปไกลในแนวระดับเมื่อใช้แรงมาก



ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการการแปรค่าแรงยิงโปรเจคไทล์และระยะทางในแนวระดับที่มุม 30° - 60°

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์การเรียนการสอนชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์แบบการปรับมุมการยิงอัตโนมัติในครั้งนี้ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนของการออกแบบชุดทดลอง ส่วนการสร้างชุดทดลอง และส่วนของการทดสอบ โดยในการพัฒนาอุปกรณ์การเรียนการสอนชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์นครั้งนี้ พบว่าสปริงที่ใช้ในการยิงวัตถุมีค่านิจของสปริงเฉลี่ยเท่ากับ 40 N/m และเครื่องยิงวัตถุเพื่อให้มีการเคลื่อนที่แบบโปรเจคไทล์สามารถปรับมุมได้ คือ 30, 37°, 45°, 53°, 60° ,75° และ 90° จำนวน 5 มุม และสามารถแปรค่าแรงยิงวัตถุได้ทั้งหมด 4 ระดับ คือ 2 N, 4 N, 6 N และ 8 N ซึ่งจากการทดลองยิงวัตถุโดยการแปรค่าแรงที่มุมเดียวกันพบว่าความเร็วต้นและระยะทางในแนวระดับที่ได้จากการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.24 m/s เป็น 5.35 m/s

เอกสารอ้างอิง

ช่วง ทมทิตชงค์ และคณะ. (2554). **ฟิสิกส์ ม.4-5-6**. กรุงเทพ ฯ : เนรมิตกิจอิเตอร์โปรเกรสซิฟ จำกัด.

วัชราภรณ์ วิเศษ. (2552). **การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์.** เอกสาร

ประกอบการเรียนรู้ เรื่องการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ. โรงเรียนคำเขื่อนแก้วชนูปถัมภ์ อำเภอคำเขื่อนแก้ว สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 28 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานกระทรวงศึกษาธิการ จังหวัดยโสธร.

ศิริกุล พลบูรณ์ และคณะ. (2557). **การจัดกระบวนการเรียนที่เน้นการปฏิบัติกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนหนองวัวซอพิทยาคม**. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560, จาก https://sites.google.com/site/naranya2010/3-1

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2550). **การจัดการเรียนรู้แบบประสบการณ์และที่เน้นการปฏิบัติ.** กรุงเทพ ฯ : กระทรงศึกษาธิการ.

สันติพงศ์ บริบาล. (2554) **คู่มือสื่อการสอนวิชาฟิสิกส์.** สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Wu, H., *et al*. (2015). Projectile penetration of ultra-high performance cement based composites at 510-1320 m/s. Construction and Building Materials, 74(1), 188-200.

Xudong, G., & Li, Q.M. (2017). Trajectory instability and convergence of the curvilinear motion of a hard projectile in deep penetration. **International Journal of Mechanical Sciences**, 121(2), 123-142.