

การออกแบบและสร้างชุดการทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง

ศกามาศ สุขเมือง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

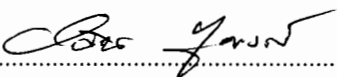
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม 2561

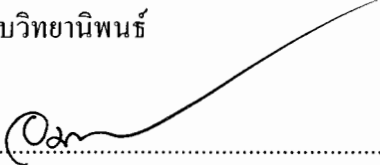
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

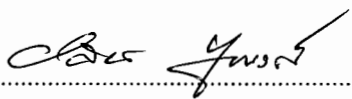
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา  
วิทยานิพนธ์ของ ผศ.กามาศ สุขเมือง ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

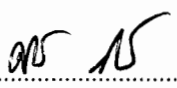
  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิศร บูรณวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

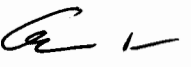
  
..... ประธาน  
(ดร.อมรรัตน์ คำบุญ)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิศร บูรณวงศ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทตอนันต์)

  
..... กรรมการ  
(ดร.ศรัณย์ ถิบาลชนม์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษาของมหาวิทยาลัยบูรพา

  
..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 31 เดือน ๑๒ พ.ศ. ๒๕๖๑

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความกรุณาจากหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิศร บูรณวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง ที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.อมรรัตน์ คำบุญ จากมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ และ ดร.ศรัณย์ ภิบาลชนม์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และ โครงการส่งเสริมการผลิตครูผู้ที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ภายใต้การดูแลของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ ประจำปีการศึกษา 2557 – 2558 ที่ให้การสนับสนุนทุนในการวิจัย ทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ทำให้กำลังใจ และสนับสนุน ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแฉ่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ผกามาศ สุขเมือง

57920078: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: ขดลวดโซลินอยด์/ ชุดการทดลอง/ การเคลื่อนที่วิถีโค้ง

พจนานุกรม สุขเมือง: การออกแบบและสร้างชุดการทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง  
(DESIGN AND FABRICATION EXPERIMENTAL SET OF PROJECTILE MOTION)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อติสร บุรณวงศ์, ปร.ด. 83 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้งที่สามารถแปรค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้จากหลักการของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ โดยในการทดลองจะใช้ขดลวดโซลินอยด์ขนาดต่าง ๆ และให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 6 และ 12 โวลต์ และยิงวัตถุที่ระดับความสูง 0.20, 0.40, 0.60 0.80 และ 1.00 เมตร ตามลำดับ ผลการวิจัย พบว่าขดลวดโซลินอยด์ขนาดเล็กที่มีจำนวนรอบในการพันน้อยกว่า 150 รอบ และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขดลวดได้รับมีค่าต่ำกว่า 5 โวลต์ จะไม่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงพอที่จะปล่อยวัตถุได้ ซึ่งตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับชุดทดลองนี้ คือ ขดลวดเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ ชุดทดลองนี้สามารถเปลี่ยนค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้ เมื่อเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ  $u = 0.0886V$  ซึ่งค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เหมาะสมกับชุดทดลอง คือ 8 และ 12 โวลต์ เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากสมการเปรียบเทียบกับความเร็วเริ่มต้นจากการทดลองจริงด้วยชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.72% และ 4.35% ตามลำดับ

57920078: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: SOLENOID COIL/ EXPERIMENTAL SET/ PROJECTILE MOTION

PAKAMAS SUKMUANG: DESIGN AND FABRICATION EXPERIMENTAL SET OF PROJECTILE MOTION. ADVISORY COMMITTEE: ADISORN BURANAWONG, Ph.D. 83 P. 2018.

This objectives of this research were to design and fabricate the experimental set of projectile motion which can be adjusted the velocity of the object by using the principle of induced magnetic field. This experiment was used the solenoid coils with various number sizes together with the applied voltage of 6 and 12 volts and the object was shot at 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 and 1.00 meters from ground, respectively. This study was found that the small of solenoid coils with less than 150 rounds and the voltage less than 5 V didn't provide enough strength magnetic field to release the object. The solenoid number sizes of 23 and 500 round were optimum parameters to change the initial velocity of the object. The velocity was varied with the applied voltage according to the equation  $u = 0.0886V$ . The suitable applied voltage for this experimental set is 8 and 12. The percentage error of initial velocity from this equation compared to the value obtained from this experimental set were 1.72% and 4.35% respectively.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
การเคลื่อนที่วิถีโค้ง.....	4
สนามแม่เหล็ก.....	9
อุปกรณ์จับเวลา.....	13
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
การออกแบบและสร้างชุดการทดลอง.....	19
การทดสอบชุดทดลอง.....	23
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	25
การออกแบบและสร้างชุดทดลอง.....	25
การหาค่าความเร็วต้นของวัตถุ.....	32
การจับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ.....	38

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การทดลองหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก.....	42
การหาค่าความเร็วต้นของวัตถุที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ.....	42
5 สรุปผลการวิจัย.....	46
สรุปผล.....	46
ข้อเสนอแนะ.....	47
บรรณานุกรม.....	48
ภาคผนวก.....	51
ภาคผนวก ก.....	52
ภาคผนวก ข.....	68
ภาคผนวก ค.....	71
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	83

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4-1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กเพื่อสร้างตัวขึงลูกกลมจาก ขดลวด โซลินอยด์ เบอร์ 41 ( ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.11 mm ).....	26
4-2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กเพื่อสร้างตัวขึงลูกกลมจาก ขดลวด โซลินอยด์ เบอร์ 38 ( ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 mm ).....	26
4-3 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กเพื่อสร้างตัวขึงลูกกลมจาก ขดลวด โซลินอยด์ เบอร์ 28 ( ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.38 mm ).....	27
4-4 ความเร็วคลื่นของวัตถุจากชุดการทดลอง.....	32
4-5 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โปรเจกไทล์ โดยใช้ขดลวด โซลินอยด์เบอร์ 23 ینگวัตถุที่ระดับความสูง 0.20 เมตร.....	38
4-6 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โปรเจกไทล์ โดยใช้ขดลวด โซลินอยด์เบอร์ 23 ینگวัตถุที่ระดับความสูง 0.40 เมตร.....	39
4-7 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โปรเจกไทล์ โดยใช้ขดลวด โซลินอยด์เบอร์ 23 ینگวัตถุที่ระดับความสูง 0.60 เมตร.....	39
4-8 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โปรเจกไทล์ โดยใช้ขดลวด โซลินอยด์เบอร์ 23 ینگวัตถุที่ระดับความสูง 0.80 เมตร.....	40
4-9 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โปรเจกไทล์ โดยใช้ขดลวด โซลินอยด์เบอร์ 23 ینگวัตถุที่ระดับความสูง 1.00 เมตร.....	40
4-10 ความเร่งโน้มถ่วงของวัตถุจากชุดการทดลองที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....	41
4-11 ค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ.....	43
ก-1 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.20 เมตรของขดลวดเบอร์ 26.....	53
ก-2 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.20 เมตรของขดลวดเบอร์ 23.....	54
ก-3 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.20 เมตรของขดลวดเบอร์ 21.....	55
ก-4 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.40 เมตรของขดลวดเบอร์ 26.....	56
ก-5 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.40 เมตรของขดลวดเบอร์ 23.....	57
ก-6 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.40 เมตรของขดลวดเบอร์ 21.....	58



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-7 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตรของขดลวดเบอร์ 26.....	59
ก-8 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตรของขดลวดเบอร์ 23.....	60
ก-9 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตรของขดลวดเบอร์ 21.....	61
ก-10 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.80 เมตรของขดลวดเบอร์ 26.....	62
ก-11 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.80 เมตรของขดลวดเบอร์ 23.....	63
ก-12 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.80 เมตรของขดลวดเบอร์ 21.....	64
ก-13 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 1.00 เมตรของขดลวดเบอร์ 26.....	65
ก-14 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 1.00 เมตรของขดลวดเบอร์ 23.....	66
ก-15 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 1.00 เมตรของขดลวดเบอร์ 21.....	67

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์.....	4
2-2 ภาพถ่ายการเคลื่อนที่ของน้ำด้วยความเร็วคงตัวจากท่อที่ทำมุมกับแนวระดับ.....	5
2-3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวโค้ง.....	7
2-4 การกระจัดในแนวระดับและแนวโค้งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์.....	8
2-5 แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กในแต่ละตำแหน่ง.....	10
2-6 การหาสนามแม่เหล็กในลวดโซลินอยด์โดยใช้กฎของแอมแปร์.....	12
2-7 หลักการทำงานของระบบการวัด.....	13
2-8 องค์ประกอบสำคัญในระบบการวัด.....	14
2-9 Optical Sensor ชนิดต่าง ๆ.....	16
3-1 แนวทางดำเนินการวิจัย.....	18
3-2 (a) ชุดการทดลองที่ออกแบบเมื่อมองจากด้านข้าง.....	20
3-2 (b) อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง.....	20
3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวระดับกับเวลา.....	21
3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวโค้งกับเวลา <sup>2</sup> .....	22
3-5 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	24
4-1 การออกแบบฐาน.....	29
4-2 วงจรตัวรับรู้ที่นำมาดัดแปลงเพื่อใช้ในการจับเวลา.....	30
4-3 (ก) การติดตั้งตัวรับรู้ในการจับเวลาที่วัตถุในขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ ออกจากปากท่อพีวีซี.....	31
4-3 (ข) ชุดการทดลอง.....	31
4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์.....	33
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์.....	33
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับจำนวนรอบของขดลวดเบอร์ 26.....	34

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับจำนวนรอบของขดลวดเบอร์ 23.....	35
4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับจำนวนรอบของขดลวดเบอร์ 21.....	35
4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่จำนวนขดลวด 200 รอบ.....	36
4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่จำนวนขดลวด 500 รอบ.....	37
4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวราบของวัตถุกับเวลา ซึ่งได้จากชุดทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์.....	43
4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวราบของวัตถุกับเวลา ซึ่งได้จากชุดทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 8 โวลต์.....	44
4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวราบของวัตถุกับเวลา ซึ่งได้จากชุดทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์.....	44
ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่ใช้ในการยิงวัตถุกับเวลา <sup>2</sup> ของขดลวดเบอร์ 26.....	69
ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่ใช้ในการยิงวัตถุกับเวลา <sup>2</sup> ของขดลวดเบอร์ 23.....	69
ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่ใช้ในการยิงวัตถุกับเวลา <sup>2</sup> ของขดลวดเบอร์ 21.....	70

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันวิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อมนุษย์ เพราะเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ทั้งในการดำรงชีวิตประจำวัน การทำงาน และเทคโนโลยีต่าง ๆ ในโลกปัจจุบันและอนาคต เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ล้วนเกิดจากการผสมผสานความรู้ทางวิทยาศาสตร์เข้ากับด้านอื่น ๆ การเรียนวิทยาศาสตร์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นวิชาที่ให้นักเรียนได้ฝึกปฏิบัติ ทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน โดยอาศัยทั้ง 5 กระบวนการ และอีก 13 ทักษะทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพัฒนาผลผลิตต่างๆ แล้วนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน อีกทั้งยังได้พัฒนากระบวนการคิด ทั้งความมีเหตุผล ความคิดสร้างสรรค์ การวิเคราะห์และสังเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน

ฟิสิกส์เป็นอีกแขนงหนึ่งในวิชาวิทยาศาสตร์ ที่ศึกษาสิ่งที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ เพื่อให้มีความเข้าใจในสาเหตุและผลกระทบของการเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาตินั้น ๆ นอกจากนี้ ฟิสิกส์ยังเป็นพื้นฐานในการประยุกต์ของวิชาอื่น ๆ ด้วย เช่น แพทยศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ.2551 ได้กำหนดให้เป็นรายวิชาเพิ่มเติมสำหรับผู้เรียนที่เรียนเน้นวิทยาศาสตร์ (อดิศร มณีศิริ, 2537) การจัดการเรียนรู้เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบต่าง ๆ รอบตัวเรา ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่แนวตรง หรือการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง (Projectile Motion) ก็เป็นอีกหนึ่งเรื่องในรายวิชาฟิสิกส์ที่มีความสำคัญ เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นเนื้อหาพื้นฐานของการศึกษาเนื้อหาอื่น ๆ ในรายวิชาฟิสิกส์ และต้องนำไปประยุกต์ใช้กับเรื่องต่าง ๆ ในรายวิชาฟิสิกส์อีกด้วย

โดยทั่วไป การเคลื่อนที่วิถีโค้งเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งในแนวตั้งและแนวระดับพร้อม ๆ กันและเป็นอิสระต่อกัน โดยการเคลื่อนที่ในแนวระดับเป็นการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงตัว ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวตั้งมีแรงเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกกระทำเพียงแรงเดียวเท่านั้น โดยการเคลื่อนที่ทั้งสองแนวนี้อาจมีความสัมพันธ์กันในรูปของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่านั้น ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้ง เช่น การขว้างหรือยิงวัตถุที่อยู่ในตำแหน่งที่มีความสูงใด ๆ ออกไปในแนวระดับ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

ทั้งนี้ จากบทความที่กล่าวถึงการเคลื่อนที่วิถีโค้ง พบว่า มีนักวิจัยได้รายงานผลในหลายลักษณะ คือ Winstein (2004) ศึกษาการเคลื่อนที่วิถีโค้งเพื่อพิสูจน์ว่า การเคลื่อนที่วิถีโค้งไม่มีความเร่งในแนวระดับ และความเร่งในแนวตั้งนั้นเกิดจากความเร่งโน้มถ่วงของโลก ด้วยการเปรียบเทียบการตกของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ในแนวระดับกับการเคลื่อนที่วิถีโค้ง โดยปล่อยวัตถุ

มีความเร็วในแนวระดับเท่ากันจากรางเหล็กสองรางที่มีลักษณะเหมือนกันและปล่อยพร้อม ๆ กัน พบว่า เมื่อวัตถุทั้งสองใช้เวลาในการเคลื่อนที่เท่ากัน วัตถุที่เคลื่อนที่แบบวิถีโค้งจะมีการกระจัดในแนวราบเท่ากับวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวระดับ Graf (2008) ศึกษาการเคลื่อนที่วิถีโค้ง โดยเปลี่ยนจากการปล่อยวัตถุทรงกลมเป็นวัตถุรูปทรงลูกบาศก์ โดยใช้การใช้ชดเชยสปริงเป็นตัวปล่อยวัตถุให้มีความเร็วในแนวระดับเท่ากัน ออกจากพื้น โตะที่มีความสูงระดับเดียวกัน เพื่อที่ไม่ให้วัตถุเกิดการกลิ้งเมื่อตกลงสู่พื้น โดยสามารถสรุปว่าการเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวตั้งของการเคลื่อนที่วิถีโค้งนั้นมีความเป็นอิสระต่อกัน Goff and Liyanage (2011) ศึกษาความเร็วในการยิงวัตถุจากการกระจัดในแนวตั้งและแนวราบ โดยใช้การถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของน้ำด้วยความเร็วคงตัวจากท่อที่ทำมุมต่าง ๆ กับแนวระดับ แล้วสังเกตการกระจัดในแนวราบและแนวตั้ง โดยแบ่งช่วงเวลาในการสังเกตออกเป็นช่วง ช่วงละ ๆ เท่ากัน พบว่า วัตถุมีความเร็วคงที่ในแนวระดับ และวัตถุมีความเร่งในแนวตั้ง และ Sanders and Boleman (2013) ได้ออกแบบชุดการทดลองเพื่อหาการกระจัดในแนวตั้งของ โดยใช้ชดเชยสปริงเป็นตัวปล่อยลูกเหล็กให้เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ด้วยความเร็วคงที่ในมุมต่าง ๆ กับแนวระดับ หลังจากนั้นใช้โฟโตเกต (photogate) เป็นตัวจับเวลาเพื่อหาค่าความเร็วในการปล่อยลูกเหล็กที่มุมนั้น ๆ และยังพบว่า แรงต้านอากาศในการทดลองนี้นั้นมีค่าน้อยมาก ๆ จึงทำให้สามารถหาค่าการกระจัดในแนวระดับจากการคำนวณโดยใช้ความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากสมการได้แม่นยำขึ้นถึง 99.7% โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จึงทำให้ผู้วิจัยพบว่า ที่ผ่านมามีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาการกระจัดทั้งในแนวตั้งและแนวราบจากการเคลื่อนที่วิถีโค้ง แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความเร็วที่กระทำต่อแนวระดับที่ใช้ในการยิงวัตถุในกรณีของการเคลื่อนที่วิถีโค้ง ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ให้ความเร็วเริ่มต้นกับวัตถุได้เพียงค่าเดียว และยังมีข้อจำกัดในเรื่องของเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลองในการจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ การใช้ชุดทดลองจึงมีบทบาทสำคัญ ซึ่งควรใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจากวัสดุที่หาง่าย ผลิตได้จากวัสดุที่มีอยู่แล้ว และราคาถูก

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ชุดการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้งจะเปลี่ยนความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้ค่อนข้างยากและซับซ้อนเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ และยังไม่ค่อยมีผู้สนใจนำหลักการเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์มาใช้ในการเคลื่อนที่วิถีโค้งมากนัก อีกทั้งหลักการเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์ สามารถทำให้ชุดทดลอง เรื่องการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งที่เปลี่ยนค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้หลายค่ามากขึ้น โดยเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้ลดปัญหาและความยุ่งยากในการเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ในชุดการทดลอง และสามารถใช้ได้ทั้งการเคลื่อนที่วิถีโค้งได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาค้นคว้าเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้ง เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลอง และ

ทดสอบชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยนำหลักการเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์ มาใช้ในการทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่วิถีโค้ง และใช้ sensor ในการจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำไปคำนวณค่าต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีต่อไป

### **วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง ที่สามารถแปรค่าความเร็วต้น

### **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย**

ได้ชุดทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง ที่สามารถแปรค่าความเร็วต้นได้

### **ขอบเขตการวิจัย**

ออกแบบและสร้างเครื่องยิงวัตถุในการเคลื่อนที่วิถีโค้งโดยอาศัยหลักการจากสนามแม่เหล็กของขดลวดโซลินอยด์ที่สามารถแปรค่าความเร็วต้น และสร้างเครื่องมือจับเวลาเพื่อทำการทดสอบเครื่องมือเพื่อหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุจากเครื่องยิงวัตถุ ทดลองการเคลื่อนที่วิถีโค้งของวัตถุ โดยศึกษาผลของความเร็วต้นของวัตถุกับระยะเวลาการจัดในแนวราบ เมื่อมุมของความเร็วเริ่มต้นที่กระทำกับแนวระดับมีค่าคงที่ สูดท้ายนำค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมด ไปคำนวณหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกเพื่อเทียบกับค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกจากทฤษฎี

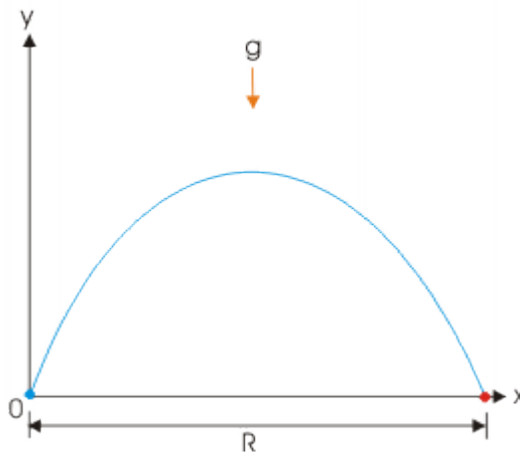
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ได้แก่ การเคลื่อนที่วิถีโค้ง สนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กของลวด โซลินอยด์ อุปกรณ์จับเวลา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

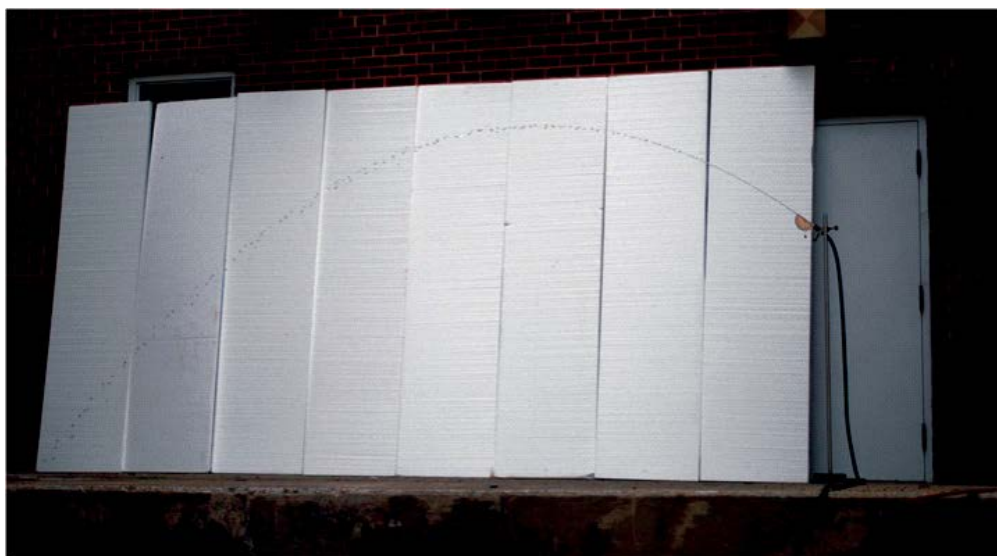
#### การเคลื่อนที่วิถีโค้ง

การเคลื่อนที่วิถีโค้ง (Projectile Motion) ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ 2 แนวพร้อมกัน คือ แนวระดับและแนวตั้ง ที่เป็นอิสระต่อกัน โดยการเคลื่อนที่ในแนวระดับมีอัตราเร็วคงที่ และในแนวตั้งมีความเร่งเท่ากับค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก (Bueche & Eugene, 2003)



ภาพที่ 2-1 ลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Sunil Kumar Singh, 2013)

จากงานวิจัยของ Goff and Liyanage (2011) ที่ศึกษาความเร็วในการยิงวัตถุจากการกระจัดในแนวตั้งและแนวราบ โดยใช้การถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของน้ำด้วยความเร็วคงตัวจากท่อที่ทำมุมต่าง ๆ กับแนวระดับ แล้วสังเกตการกระจัดในแนวราบและแนวตั้ง โดยแบ่งช่วงเวลาในการสังเกตออกเป็นช่วง ช่วงละ ๆ เท่ากัน พบว่า วัตถุมีการกระจัดในแนวระดับเท่ากัน นั่นคือ วัตถุมีความเร็วคงที่ในแนวระดับ และวัตถุมีการกระจัดในแนวตั้งเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ นั่นคือ วัตถุมีความเร่งในแนวตั้ง



ภาพที่ 2-2 ภาพถ่ายการเคลื่อนที่ของน้ำด้วยความเร็วคงตัวจากท่อที่ทำมุมกับแนวระดับ  
(Goff & Liyanage, 2013)

#### การเคลื่อนที่ในแนวระดับ

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุในอากาศ ขณะที่วัตถุลอยในอากาศ มีแรงกระทำต่อวัตถุเพียงแรงเดียว คือ แรงดึงดูดของโลก  $m\bar{g}$  (ไม่คิดแรงต้านอากาศ) ในทิศเข้าสู่ศูนย์กลางของโลก หรือในแนวตั้ง ดังนั้น ในแนวระดับจึงไม่มีแรงกระทำต่อวัตถุ หรือแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุในแนวระดับเป็นศูนย์ ( $\Sigma \vec{F} = 0$ ) จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เราพบว่า เมื่อไม่มีแรงลัพธ์มากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่ไว้คงที่ ผลคือ วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ( $u_x = v_x$ ) ดังนั้น การเคลื่อนที่ในแนวระดับของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ สามารถหาการกระจัดในแนวระดับได้ตามสมการ (พงษ์ศักดิ์ ชินนาบุญ, 2556)

$$S_x = v_x \cdot t \quad (2-1)$$

เมื่อ  $S_x$  = การกระจัดในแนวระดับ มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$v_x$  = ความเร็วในแนวระดับ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

$t$  = ช่วงเวลาของการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นวินาที (s)



### การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง พบว่า วัตถุมีแรงกระทำในแนวตั้ง คือ แรงโน้มถ่วงของโลก  $m\bar{g}$  ดังนั้น วัตถุเคลื่อนที่ในแนวตั้งด้วยความเร่ง  $a_y$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\bar{g}$  ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโปรเจกไทล์ในแนวตั้ง เหมือนวัตถุที่ตกอย่างอิสระทุกประการ ซึ่งสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้ง คือ

$$\left. \begin{aligned} v_y &= u_y + a_y t \\ v_y^2 &= u_y^2 + 2a_y s \\ s_y &= u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2 \\ s_y &= v_y t - \frac{1}{2} a_y t^2 \\ s_y &= \left( \frac{u_y + v_y}{2} \right) t \end{aligned} \right\} (2-2)$$

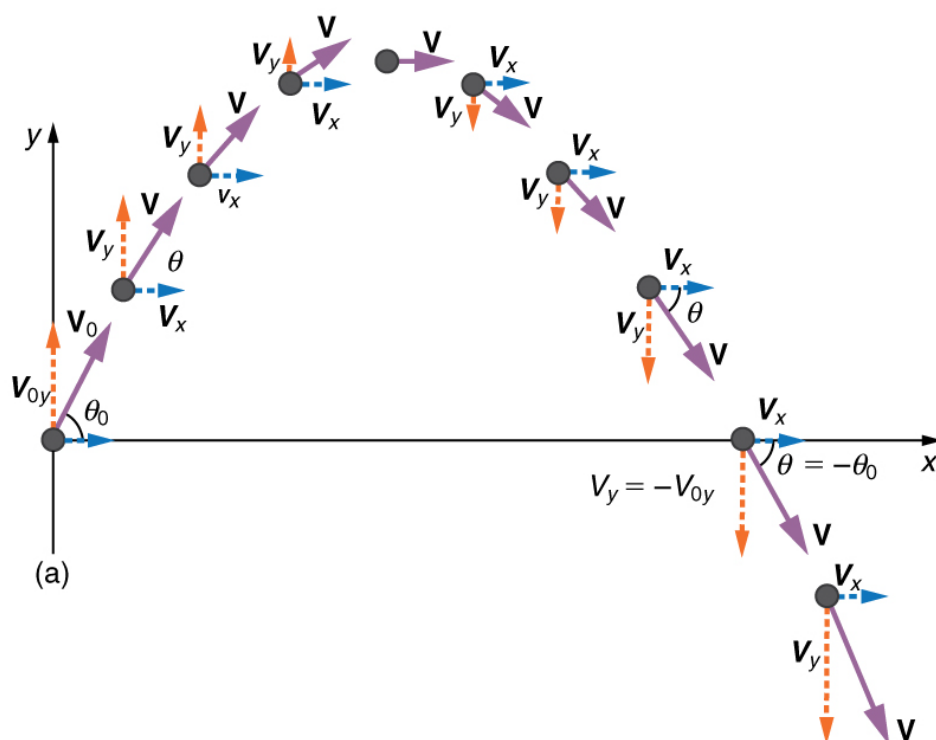
เมื่อ  $s_y$  = การกระจัดในแนวตั้ง มีหน่วยเป็นเมตร (m)

$u_y$  = ความเร็วต้นในแนวตั้ง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

$v_y$  = ความเร็วปลายในแนวตั้ง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

$t$  = ช่วงเวลาของการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นวินาที (s)

$a_y$  = ความเร่งในแนวตั้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\bar{g}$  ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก คือ 9.8 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>



ภาพที่ 2-3 ความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวระดับและแนวตั้ง

(Sharma, Urone, Dirks, & Hinrichs, 2012)

การกระจัดและความเร็วในแนวระดับและแนวตั้งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ สามารถนำมาคิดรวมเพื่อหาการกระจัดขนาดหนึ่งและความเร็วขนาดหนึ่งของวัตถุได้ดังนี้

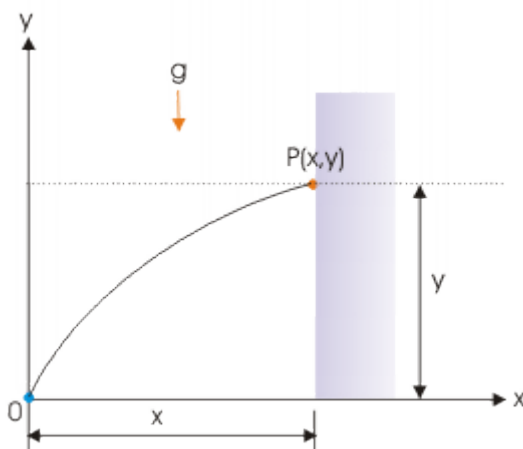
$$\left. \begin{aligned} s &= \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \\ v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \end{aligned} \right\} (2-4)$$

$$\text{จะได้ว่า } \tan \alpha = \frac{s_y}{s_x}$$

เมื่อ  $\alpha$  = มุมที่การกระจัดลัพธ์ของวัตถุกระทำต่อแนวระดับ

$$\text{และ } \tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$$

เมื่อ  $\theta$  = มุมที่ความเร็วลัพธ์ของวัตถุในแนวเส้นสัมผัสกระทำต่อแนวระดับ



ภาพที่ 2-4 การกระจัดในแนวระดับและแนวตั้งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

(Sunil Kumar Singh, 2013)

สมการต่าง ๆ ที่ได้ศึกษานั้น เป็นการพิจารณาเฉพาะกรณีที่ไม่มีแรงต้านจากอากาศ และการเคลื่อนที่ของวัตถุไม่มีการหมุนเท่านั้น สามารถนำไปอธิบายการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะ การโยนบาสเกตบอล หรือการทุ่มน้ำหนักได้ เพราะว่าเป็นการเคลื่อนที่ในระยะสั้น ๆ วัตถุมีความหนาแน่นมาก จึงมีผลจากแรงต้านอากาศไม่มากนัก

แต่ถ้าเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีระยะทางไกล เช่น ลูกปืน ลูกกอล์ฟ ลูกบอล ผลจากแรงต้านอากาศจะมีค่ามากขึ้น ทำให้สมการที่ศึกษามาให้ผลได้ไม่ถูกต้องนัก ถ้าจะให้มีความถูกต้องเพิ่ม จะต้องเพิ่มความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านกับความเร็ว นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ การหมุนของวัตถุ และการหมุนรอบตัวเองอีกด้วย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

สรุปการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

1. วัตถุเคลื่อนที่อย่างอิสระ มีแรงดึงดูดของโลกกระทำเพียงแรงเดียว
2. วัตถุต้องมีความเร็วต้นในแนวระดับเสมอ โดยที่ **“ความเร็วในแนวระดับมีค่าคงตัว”**
3. เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแนวระดับเท่ากับในแนวตั้ง
4. การพิจารณาปริมาณในแนวตั้ง ปริมาณที่มีทิศตรงข้ามกับความเร็วต้น ให้มี

เครื่องหมายติดลบ เช่น การขว้างวัตถุขึ้นในแนวตั้ง

5. การคำนวณปริมาณต่างในการเคลื่อนที่ ใช้สมการการเคลื่อนที่เหมือนการเคลื่อนที่ในแนวตรง แต่แยกพิจารณาในแนวตั้ง (ความเร็วคงที่) และในแนวระดับ (การตกอย่างอิสระ)

## สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field)

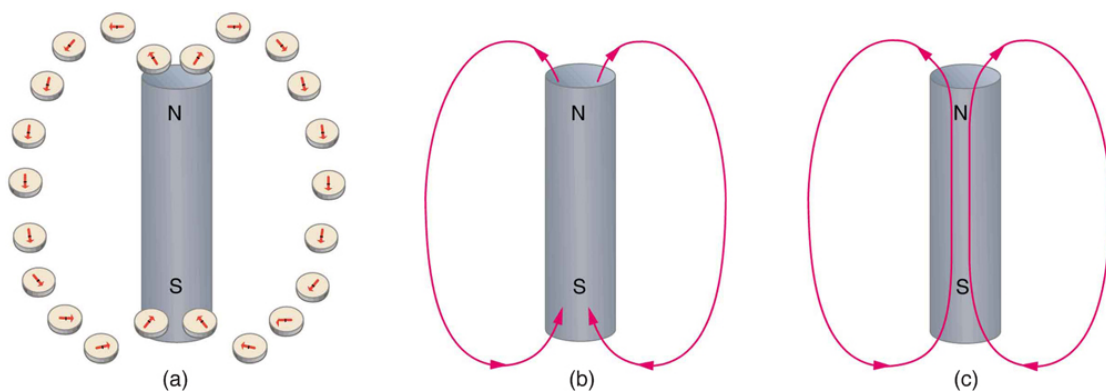
แม่เหล็กเป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งสามารถออกแรงดึงดูดโลหะบางชนิดได้ แม่เหล็กมี 2 ชนิด โดยเรียกเป็นขั้ว ได้แก่ ขั้วเหนือและขั้วใต้ เนื่องจากการค้นพบแม่เหล็กในอดีตได้ชี้แจงแม่เหล็กเป็นเข็มทิศ ซึ่งพบว่าแท่งแม่เหล็กจะวางตัวในแนวเหนือใต้ของโลกเสมอ แรงระหว่างแม่เหล็กจะมีทั้งแรงดูดที่เกิดจากแม่เหล็กต่างขั้ว และแรงผลักที่เกิดจากขั้วเดียวกันซึ่งคล้ายคลึงกับแรงระหว่างประจุ ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างประจุกับขั้วแม่เหล็กคือขั้วแม่เหล็กจะอยู่เป็นคู่เสมอ ไม่สามารถแยกขั้วแม่เหล็กเหนือและใต้ออกจากกันได้ เพราะไม่ว่าจะแบ่งแท่งแม่เหล็กให้เล็กลงเท่าใด ส่วนที่แยกออกมาจะมีขั้วเหนือใต้เสมอ สารบางอย่างสามารถทำให้เป็นแม่เหล็กได้ เช่น การวางแท่งเหล็กไว้กับแม่เหล็ก แม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้แท่งเหล็กนั้นเป็นแม่เหล็กได้ ทั้งนี้สารแม่เหล็กในธรรมชาติเกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กโลก (Bueche & Eugene, 2003)

สนามแม่เหล็กเป็นปริมาณเวกเตอร์มีทั้งขนาดและทิศทาง สนามแม่เหล็กมีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ของแม่เหล็ก สิ่งที่น่าสนใจคือสนามแม่เหล็กสามารถสร้างอิทธิพลให้เกิดแรงกระทำต่อประจุได้ ผลของแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุแสดงถึงความสัมพันธ์บางอย่างระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้า จากการทดลองพบว่า สนามแม่เหล็กเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ ดังนั้น ความสัมพันธ์ที่คล้ายกับความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้ากับประจุได้ คือ ประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กก็ทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ ซึ่งความสัมพันธ์นี้บอกว่า ประจุที่เคลื่อนที่หรือกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และถ้าประจุเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กหรือวางลวดที่มีกระแสไหลในสนามแม่เหล็ก ก็จะมีแรงแม่เหล็กกระทำบนประจุหรือลวด (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

### เส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Lines of Force)

เส้นแรงแม่เหล็ก คือ เส้นสมมติเสมือนว่าแท่งแม่เหล็กส่งอำนาจการดึงดูดไปถึงวิธีหาเส้นแรงแม่เหล็ก ทำได้โดย

1. ใช้ผงตะไบเหล็ก โรยบนกระดาษที่วางทับแท่งแม่เหล็กไว้เมื่อกระดาษ เมื่อเคาะเบา ๆ จะมองเห็นแนวของเส้นแรง
2. ใช้เข็มทิศ แนวการวางตัวของเข็มทิศ คือ แนวของเส้นแรงแม่เหล็กจากวิธีการนี้จะทำให้เห็นว่าเส้นแรงแม่เหล็กมีทิศออกจากขั้วเหนือไปสู่ขั้วใต้เสมอ



ภาพที่ 2-5 แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กในแต่ละตำแหน่ง (Sharma, Urone, Dirks, & Hinrichs, 2012)

- (a) การใช้เข็มทิศหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กโดยสนามแม่เหล็กพุ่งออกจากขั้วเหนือเข้าสู่ขั้วใต้
- (b) ความเข้มของสนามแม่เหล็กภายนอกแท่งแม่เหล็ก
- (c) สนามแม่เหล็กภายในแท่งแม่เหล็ก ซึ่งพบว่าจะวนครบรอบอย่างต่อเนื่องกับสนามแม่เหล็กภายนอกแท่งแม่เหล็ก

สมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก

1. มีทิศพุ่งออกจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ และมีความหนาแน่นมากบริเวณใกล้ขั้วแม่เหล็ก ส่วนทิศของเส้นแรงแม่เหล็กโลกจะมีทิศจากขั้วโลกใต้สู่ขั้วโลกเหนือ เพราะแท่งแม่เหล็กโลกมีขั้วเหนืออยู่ทางทิศใต้ และขั้วใต้อยู่ทางทิศเหนือ

2. เส้นแรงแม่เหล็กไม่ตัดกัน แต่จะรวมกันหรือต้านกันออกไป

ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux)

ฟลักซ์แม่เหล็ก คือ ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กหรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งจากขั้วหนึ่งไปยังขั้วหนึ่งของแท่งแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (Weber, Wb)

ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic flux density) คือ จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วย พื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดตั้งฉากเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็น  $\text{Wb/m}^2$  หรือ เทสลา (Tesla, T) จากนิยามจะได้ว่า (Bueche & Eugene, 2003)

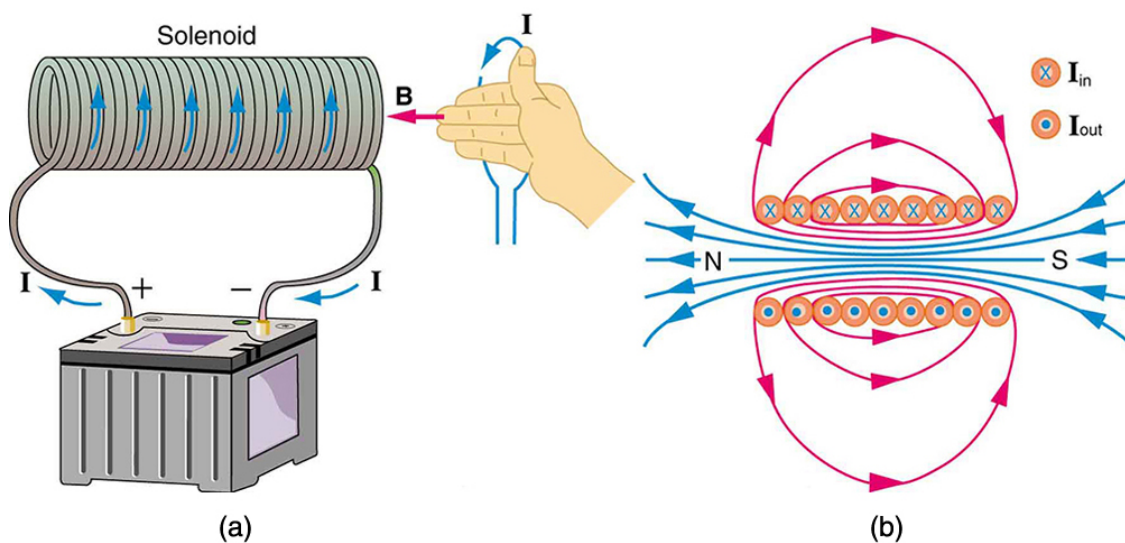
$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2-5)$$

- โดยที่ B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หรือ มีหน่วยเป็น  $\text{Wb/m}^2$  หรือ เทสลา (T)
- $\phi$  คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น Wb
- A คือ พื้นที่ที่ตัดตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร ( $\text{m}^2$ )

#### สนามแม่เหล็กของ โซลินอยด์

ลวดโซลินอยด์ได้จากการพันลวดหลาย ๆ รอบ N ให้เป็นเกลียวคล้ายขดสปริง ทำให้สนามแม่เหล็กภายในขด โซลินอยด์มีความสม่ำเสมอและมีความเข้มสูง เมื่อมีกระแสไฟฟ้า I ในเส้นลวด โดยทั่วไป ลวดที่พันเป็นขดสปริงจะอยู่ชิดกันมาก รัศมีของขดโซลินอยด์น้อยกว่าความยาวของโซลินอยด์มาก การหาค่าสนามแม่เหล็กจากโซลินอยด์จึงพิจารณาได้จากการรวมสนามแม่เหล็กที่เกิดจากลวดวงปิดหลายวงซ้อนกัน

พิจารณาภาคตัดขวางของโซลินอยด์ จะเห็นว่าทางด้านที่กระแสไฟฟ้าพุ่งออก สนามแม่เหล็กทางซ้ายของโซลินอยด์มีทิศลง ส่วนภายในแกนโซลินอยด์และด้านขวามีทิศขึ้น เมื่อพิจารณาด้านที่กระแสไฟฟ้าพุ่งเข้า สนามแม่เหล็กทางขวาของโซลินอยด์มีทิศลง ส่วนภายในแกนโซลินอยด์และด้านซ้ายมีทิศขึ้น จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กภายในโซลินอยด์จะมีความเข้มสูง เนื่องจากส่วนของกระแสที่พุ่งออกและพุ่งเข้าเสริมกัน แต่บริเวณภายนอกโซลินอยด์จะมีสนามแม่เหล็กอ่อนมาก เพราะสนามแม่เหล็กจากส่วนของกระแสที่พุ่งออกและพุ่งเข้าหักล้างกัน เส้นสนามแม่เหล็กของโซลินอยด์จึงมีลักษณะดังรูป เมื่อใช้กฎของแอมแปร์หาสนามแม่เหล็ก โดยสร้างวงปิดสี่เหลี่ยม ดังรูป (Bueche & Eugene, 2003)



ภาพที่ 2-6 การหาสนามแม่เหล็กในลวดโซลินอยด์โดยใช้กฎของแอมแปร์ (Sharma, Urone, Dirks, & Hinrichs, 2012)

จะเห็นว่าขดลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $w$  ยาว  $l$  ล้อมรอบเส้นลวด  $N$  เส้น มีจำนวนขดต่อความยาวเป็น  $n = N/l$  มีกระแสไฟฟ้า  $I$  ดังนั้น  $I_{in} = NI$  พิจารณา  $\vec{B} \cdot d\vec{s}$  ในแต่ละส่วนตลอดเส้นทางปิดในทิศทางเข็มนาฬิกา เส้นทางที่ 3 เป็นศูนย์ เนื่องจากสนามแม่เหล็กภายนอกโซลินอยด์มีค่าน้อยมาก  $B_3 = 0$  เส้นทางที่ 2 และ 4 เป็นศูนย์ เนื่องจากทิศของสนามแม่เหล็กในบริเวณนี้ตั้งฉากกับเส้นทาง เส้นทางที่ 1 สนามแม่เหล็กมีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ในแนวเดียวกับเส้นทาง ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \int_1 \vec{B}_1 \cdot d\vec{s} &= \mu_0 I_{in} \\
 \int_1 \vec{B}_1 \cdot d\vec{s} &= \mu_0 NI \\
 \vec{B}_1 \int_1 d\vec{s} &= \mu_0 NI \\
 B_1 l &= \mu_0 NI \\
 B_1 &= \mu_0 nI
 \end{aligned}
 \quad \left. \vphantom{\int_1 \vec{B}_1 \cdot d\vec{s}} \right\} (2-6)$$

สนามแม่เหล็กภายในโซลินอยด์ขึ้นกับจำนวนรอบในการพันและสิ่งที่เป็นแกนของโซลินอยด์ ซึ่งเป็นสุญญากาศ ( $\mu_0$ ) ถ้าใช้วัสดุอื่นที่มีค่าสภาพซึมซาบของตัวกลาง (permeability) มากกว่าสุญญากาศ จะทำให้สนามแม่เหล็กมีความเข้มมากขึ้นโดยใช้กระแสไฟฟ้าเท่าเดิม

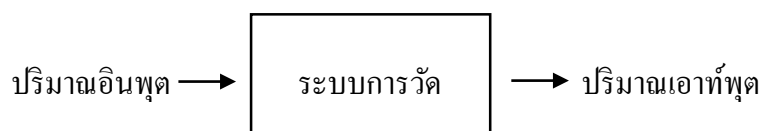
สนามแม่เหล็กที่เกิดจากโซลินอยด์จะมีค่าสูงสุดที่บริเวณแกนกลางของโซลินอยด์ และขนาดของสนามแม่เหล็กนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าหรือจำนวนรอบของขดลวดเพิ่มขึ้น หากใส่แท่งเหล็กอ่อนไว้ที่แกนกลางของโซลินอยด์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโซลินอยด์ แท่งเหล็กอ่อนจะมีสมบัติเป็นแม่เหล็ก แม่เหล็กที่เกิดจากวิธีนี้ เรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnet) สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้าและจำนวนรอบต่อความยาวของขดลวดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้า แท่งเหล็กอ่อนจะหมดสภาพแม่เหล็กทันที (Hayt & Buck, 2007)

### อุปกรณ์จับเวลา

Sensor หรือตัวรับรู้ คือ อุปกรณ์ตัวจับสัญญาณหรือปริมาณทางฟิสิกส์ เช่น อุณหภูมิ แสง เสียง เป็นต้น จากนั้นจะทำหน้าที่เปลี่ยนให้เป็นสัญญาณออกหรือปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากการวัดซึ่งสามารถนำไปประมวลผลต่อได้ (วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์, 2548)

ระบบการวัดของตัวรับรู้

ระบบการวัดของตัวรับรู้ ทำหน้าที่แสดงผลหรือบันทึกข้อมูลของปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากปริมาณอินพุตที่ได้ทำการวัด หลักการทำงานของระบบการวัด คือ ระบบการวัดจะทำหน้าที่เพียงแค่แสดงผลหรือบันทึกข้อมูลค่าที่ได้จากปริมาณอินพุตที่วัดได้เท่านั้น ไม่สามารถปรับหรือควบคุมสภาพการทำงานให้เป็นไปตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 2-7

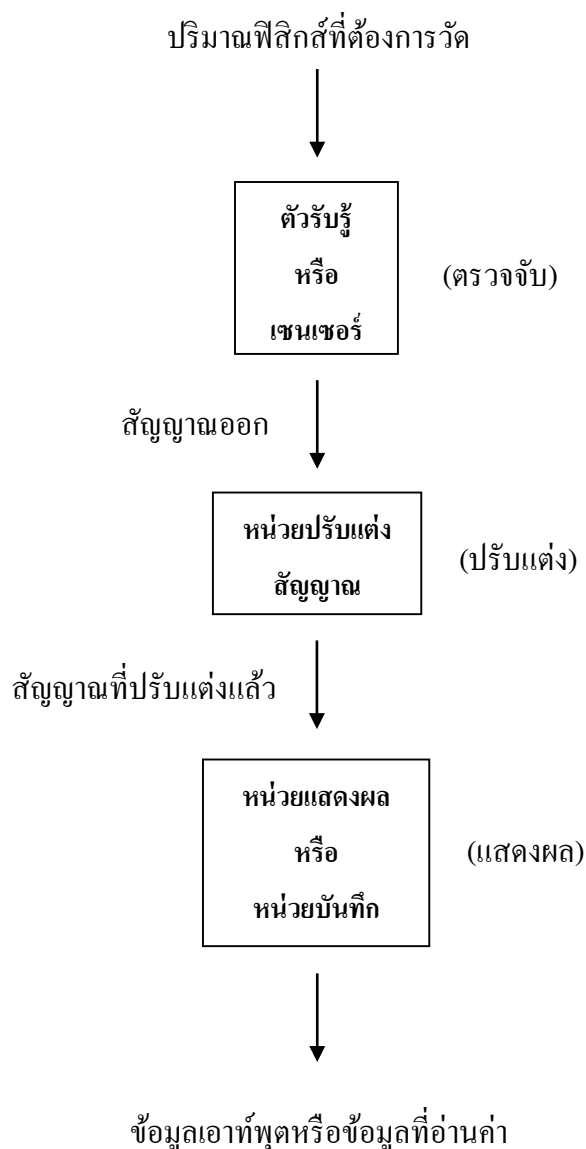


ภาพที่ 2-7 หลักการทำงานของระบบการวัด (วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์, 2548)



องค์ประกอบที่สำคัญในการวัด ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ ดังภาพที่ 2-8 คือ

1. ส่วนตรวจจับสัญญาณ
2. ส่วนปรับแต่งสัญญาณ
3. ส่วนแสดงผลหรือส่วนบันทึกข้อมูล

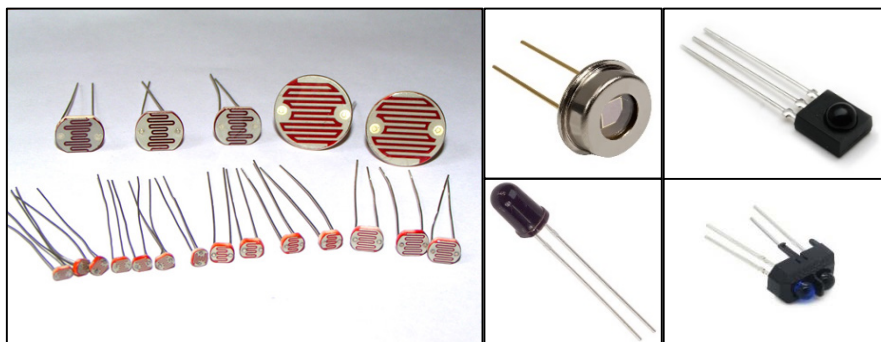


ภาพที่ 2-8 องค์ประกอบสำคัญในระบบการวัด (วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์, 2548)

ตัวรับรู้หรือเซนเซอร์ มีด้วยกัน 7 ชนิด คือ เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เซนเซอร์ตรวจวัดการกระจัดและการเคลื่อนที่ เซนเซอร์ตรวจวัดแรงกระทำทางกล เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาตร น้ำหนัก และระดับของเหลว เซนเซอร์ตรวจวัดความดันอากาศ เซนเซอร์ตรวจวัดการไหลและอัตราการไหล (วรพงษ์ ตั้งศิริรัตน์, 2548)

เซนเซอร์ตรวจวัดการกระจัดและการเคลื่อนที่ เป็นตัวรับรู้ที่สามารถนำไปใช้วัดปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ได้หลายปริมาณ เช่น ระยะกระจัด อัตราเร็ว อัตราเร่ง เป็นต้น เซนเซอร์แสง (Optical Sensor) เป็นตัวรับรู้ที่ทำงานด้วยหลักการส่งผ่านของแสง มีส่วนประกอบหลักสำคัญ คือ แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) และตัวตรวจจับแสง (Light Detector) ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานหรือการนำไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้ เมื่อมีแสงมาตกกระทบ มีหลายชนิด ดังนี้

1. LDR หรือ Light Dependent Resistor คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ตรวจจับแสง โดยมีความต้านทานแปรผกผันกับปริมาณของแสงที่มาตกกระทบ
2. Photo Diode คือ อุปกรณ์ที่สามารถตอบสนองต่อแสงที่สามารถมองเห็นได้ หรือตอบสนองต่อแสงความถี่สูงย่านอินฟราเรด โดยมีความการนำกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงที่มาตกกระทบ หากมีแสงมาตกกระทบน้อยเกินไป ก็จะไม่นำกระแสไฟฟ้า
3. Photo Transistors คือ อุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Photo diode แต่ต้องใช้ Datasheet ประกอบการใช้งาน
4. IR Sensor คือ อุปกรณ์ที่นำ Photo Diode หรือ Photo Transistors มารวมเข้ากับวงจรควบคุมภายใน เพื่อใช้สำหรับแสงความถี่สูงโดยเฉพาะ IR Sensor จะตอบสนองกับแสงอินฟราเรดเท่านั้น ใช้งานร่วมกับ LED อินฟราเรด นิยมใช้ส่งข้อมูลที่อยู่ในระยะไกล ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งาน IR Sensor ได้แก่ โทรทัศน์ เครื่องเล่น DVD หรือวิทยุในรถยนต์ กล้องรับดาวเทียม เป็นต้น
5. Reflective Optical Sensor คือ อุปกรณ์ที่นำ Photo Diode หรือ Photo Transistors มารวมกับ LED อินฟราเรด เพื่อใช้ในการตรวจจับการสะท้อนแสงหรือวัดระยะความใกล้ของวัตถุ



ภาพที่ 2-9 Optical Sensor ชนิดต่าง ๆ (<http://www.elec-za.com/เซ็นเซอร์แสง-optical-sensor/>)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jones and Thaxton (1944, p.217) ได้ทำการวิจัยเรื่อง วิธีการทดลองเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้ปืนยิงลูกเหล็กด้วยวิธีการทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจดบันทึกการกระจัดในแนวระดับและการกระจัดในแนวดิ่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์จากการสังเกต พบว่าผลการทดลองที่ได้จากการสังเกตมีความสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากทฤษฎี

Schoch and Winiger (1989, p.493) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวัดการเคลื่อนที่แบบตกอย่างอิสระโดยใช้ชุดลวดโซลินอยด์เป็นอุปกรณ์ในการปล่อยวัตถุ ดังรูป จากการทดลอง พบว่าที่ความสูง  $h = 2.759$  เมตร และ  $t_{f_0} = 0.750$  วินาที จะได้ค่า  $g = 9.81$  เมตร/วินาที<sup>2</sup> ซึ่งต่างจากค่า  $g$  บริเวณนั้นซึ่งมีค่าเท่ากับ  $9.806$  เมตร/วินาที<sup>2</sup> เพียง  $0.5\%$

กาญจนา จันทร์ประเสริฐ (2552) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างชุดทดลองหลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยชุดทดลอง 3 ชุดซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน วิธีใช้ชุดทดลองนี้จะปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่จากที่สูงไปตามรางโค้งและพุ่งจากปลายรางโค้งในลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ตกกระทบพื้น พบว่าชุดทดลองมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยไม่เกิน  $2\%$  เมื่อเปรียบเทียบการกระจัดที่ได้จากการทดลองกับการกระจัดที่ได้จากการคำนวณ และนอกจากนี้ยังสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อชุดทดลองหลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ใน 5 หัวข้อ คือ ชุดทดลองตรงกับวัตถุประสงค์ของบทเรียน ช่วยเสริมความเข้าใจเนื้อหา กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างเป็นรูปธรรม เสริมให้ผู้เรียนเกิดการเชื่อมโยงความรู้ระหว่างภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติและชุดทดลองสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน และโดยภาพรวมพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.32, 4.21, 4.06, 4.32, 4.56$  และ  $4.30$  ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับเห็นด้วยมาก

Moore, Baker, Franzel, McMahon, and Songer (2010, p. 612) ได้ทำการวิจัย เรื่อง กราฟสำหรับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้การคำนวณการกระจัดในแนวระดับและการกระจัดในแนวดิ่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ความเร็วที่ใช้ในการปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีค่าเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาทีและทำมุม 45 องศาับแนวระดับ แบ่งการคำนวณออกเป็น 2 กรณี คือ เริ่มปล่อยวัตถุที่พื้น และปล่อยวัตถุที่ระดับความสูง 15 เมตรจากพื้น แล้วนำค่าการกระจัดในแนวระดับและการกระจัดในแนวดิ่งของวัตถุมาเขียนกราฟ เพื่อดูลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

แนวทางดำเนินการวิจัยนี้ เป็นการสร้างชุดทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. การออกแบบและสร้างชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่สามารถเปลี่ยนค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้ โดยเริ่มจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. การทดสอบชุดทดลอง ทดสอบตัวแปรต่าง ๆ โดยพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ได้จากการทดลองที่เปลี่ยนค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อเลือกชุดทดลองที่มีความเหมาะสมที่สุด ดังนี้

2.1 ทดสอบผลของความเร็วต้นของวัตถุจากขนาดของขดลวด

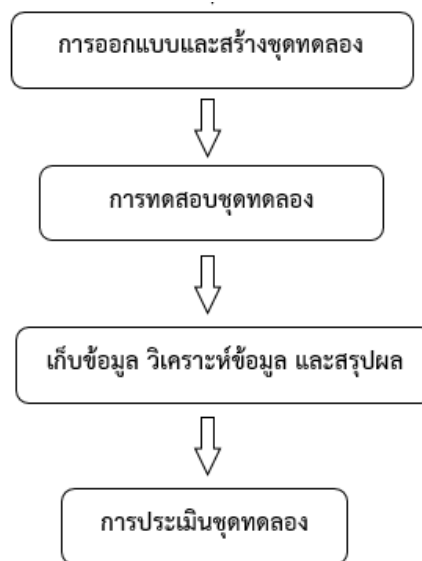
2.2 ทดสอบผลของความเร็วต้นของวัตถุจากจำนวนรอบของขดลวด

2.3 ทดสอบผลของความเร็วต้นของวัตถุจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

2.4 การจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่

2.5 การทดลองหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

3. การประเมินชุดทดลอง โดยเปรียบเทียบค่าความเร็วต้นของวัตถุที่ได้จากชุดทดลองกับค่าความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 3-1 แนวทางดำเนินการวิจัย

## การออกแบบและสร้างชุดการทดลอง

การออกแบบและการสร้างชุดการทดลอง เป็นการทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่าความเร็วต้นเฉื่อยของวัตถุ โดยแบ่งการศึกษาในช่วงนี้เป็น 2 ส่วน คือ หลักการและแนวคิดของชุดการทดลอง และการทดสอบชุดการทดลอง

### 1. หลักการและแนวคิดของชุดทดลอง

โดยทั่วไป ชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ต้องสร้างจากอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ขดลวดสปริง แทนไม้ หรือต้องซื้อชุดการทดลองสำเร็จรูปซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง ผู้วิจัยจึงนำแนวความคิดของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการมาใช้ในการกระทำกับวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ชุดการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ใช้ในการปล่อยวัตถุ และส่วนที่ 2 เป็นส่วนของเซ็นเซอร์อินฟราเรดจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่

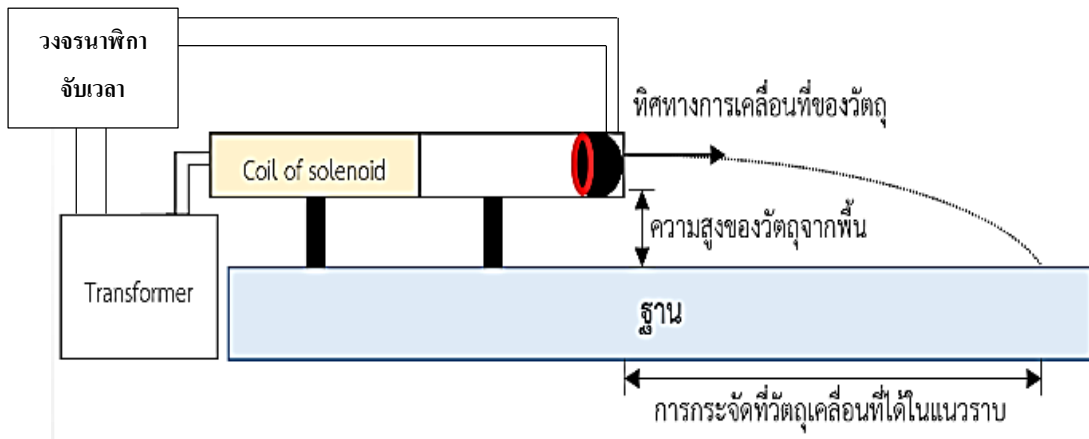
#### ส่วนที่ 1 ส่วนที่ใช้ในการปล่อยวัตถุ ประกอบด้วย

- ตัวปล่อยวัตถุ คือ ขดลวดโซลินอยด์เบอร์ 21, 23 และ 26 ซึ่งพันไว้รอบ ๆ ท่อพีวีซีด้วยจำนวนรอบ 200 และ 500 รอบ ภายในมีแท่งแม่เหล็ก วางไว้บนฐานซึ่งสามารถปรับระดับความสูงจากแนวระดับที่ 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร ตามลำดับ และแท่งแม่เหล็กทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เซนติเมตร ยาว 1.0 เซนติเมตร ที่ใช้เป็นตัวกระทำวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

- ท่อพีวีซี ซึ่งมีวัตถุที่ต้องการทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยวัตถุที่ใช้คือ วัตถุทรงกลมทำจากแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

- หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง ใช้สำหรับเหนี่ยวนำขดลวดโซลินอยด์ เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กจนสามารถผลักแท่งแม่เหล็กให้มาชนกับลูกแก้วทรงกลมให้เคลื่อนที่ได้ โดยปล่อยความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

ส่วนที่ 2 ส่วนของเซ็นเซอร์อินฟราเรดจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่งจะเริ่มจับเวลาอัตโนมัติเมื่อลูกแก้วทรงกลมเริ่มเคลื่อนที่ออกจากปากท่อพีวีซี และใช้การกดเพื่อหยุดการจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของลูกแก้วทรงกลมเมื่อตกกระทบพื้น โดยประกอบกัน ดังรูป



(a)

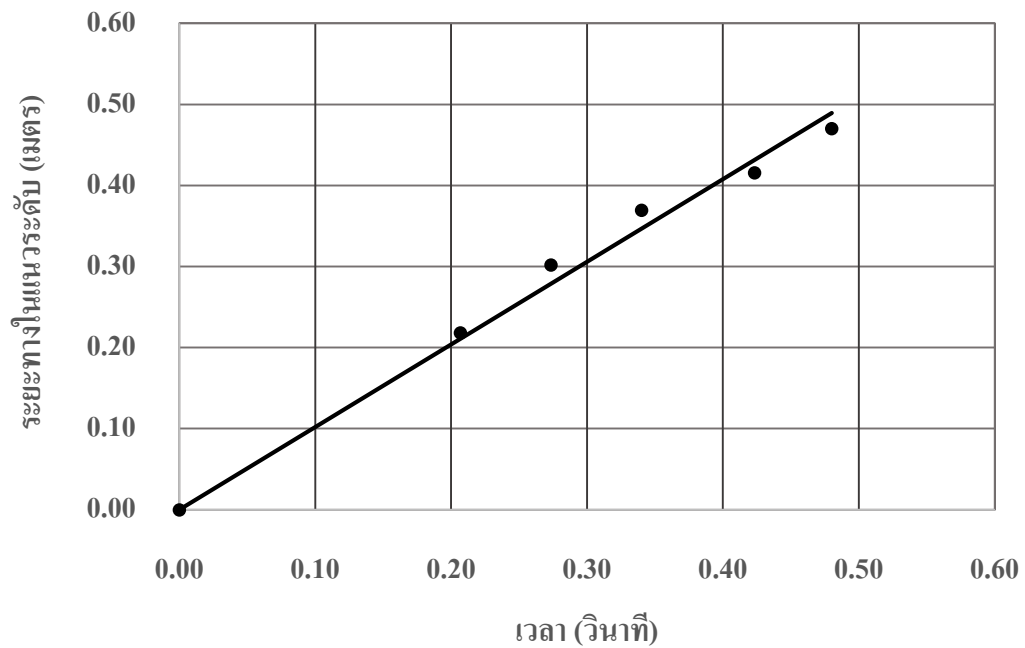


(b)

ภาพที่ 3-2 (a) ชุดการทดลองที่ออกแบบเมื่อมองจากด้านข้าง

(b) อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง

แนวคิดในการใช้ชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งที่สร้างขึ้น อธิบายได้ดังนี้ จากภาพที่ 3-2 (a) เมื่อเปิดหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ความต่างศักย์ไฟฟ้ากับตัวปล่อยวัตตุที่ความสูงใด ๆ จะทำให้อัตตุเคลื่อนที่ออกจากปากท่อพีวีซีแล้วตกลงบนกระดาษกราฟ พร้อมทั้งใช้ตัวรับรู้จับเวลาที่วัตตุใช้ในการเคลื่อนที่



ภาพที่ 3-3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวระดับกับเวลา

สำหรับการคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นเฉลี่ยจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ อาศัยหลักการเคลื่อนที่ในแนวระดับของการเคลื่อนที่วิถีโค้ง ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว โดยมีสมการการเคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยความเร็วคงตัวแบบเชิงเส้น (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554) ดังแสดงในภาพที่ 3-3

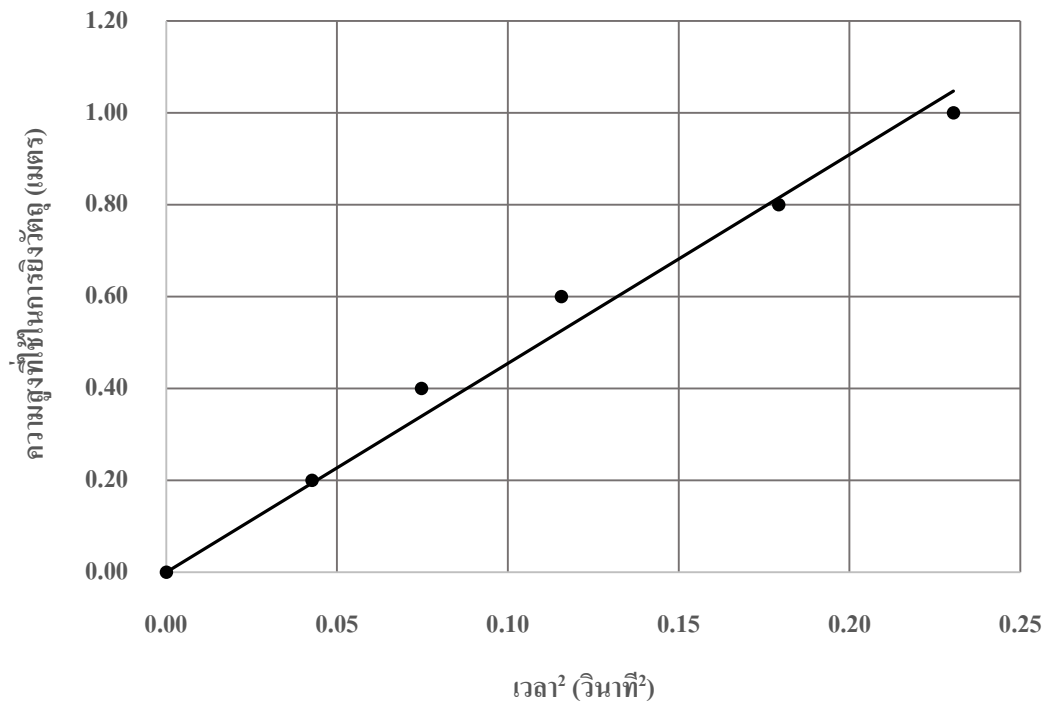
$$s_x = u_x t \quad (3-1)$$

จากสมการ (3-1) สามารถสรุปได้ว่า การคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุจากชุดทดลองหาได้จากค่าความชันของการกระจัดในแนวราบกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ดังสมการ

$$s_x = (\text{slope})(t) \quad (3-2)$$

เมื่อ  $s_x$  เป็นการกระจัดในแนวราบจากการทดลอง  
 $t$  เป็นเวลาจากการทดลอง





ภาพที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวดิ่งกับเวลา<sup>2</sup>

จากนั้นนำค่าความเร็วเริ่มต้นที่ได้มาจากการทดสอบชุดทดลองมาเขียนกราฟ และหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อเลือกขนาดของขดลวด โซลินอยด์ จำนวนรอบของขดลวดโซลินอยด์ และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับชุดการทดลอง โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของวัตถุจากพื้นกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่<sup>2</sup> ดังภาพที่ 3-4 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

$$S_y = u_y t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (3-3)$$

จากสมการ (3-3) และชุดทดลอง พบว่า ความเร็วต้นในแนวดิ่งมีค่าเท่ากับศูนย์ สามารถสรุปได้ว่า การคำนวณค่าความเร่งโน้มถ่วงของวัตถุจากชุดทดลองหาได้จากค่าความชันของการกระจัดในแนวดิ่งกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ดังสมการ (3-4)

$$S_Y = (\text{slope})(t^2) \quad (3-4)$$

เมื่อ  $S_Y$  คือ ความสูงของวัตถุจากพื้น  
 $t$  คือ เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่

### การทดสอบชุดทดลอง

วิธีทดสอบชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยจะทำการเคลื่อนที่ขนานกับพื้น ( $\theta = 0^\circ$ ) ที่ระดับความสูงจากแนวระดับที่ 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร ตามลำดับ เพื่อคำนวณค่าเร็วต้นของวัตถุจากการทดลอง โดยออกแบบการทดลอง ดังนี้

- ทดสอบผลของความเร็วต้นของวัตถุจากขนาดของขดลวด

ทดสอบโดยการนำชุดการทดลองที่สร้างขึ้น ไปหาค่าความเร็วต้นของวัตถุ โดยใช้ขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจากขดลวดทองแดงอาบน้ำยา เบอร์ 21, 23 และ 26 เมื่อมีจำนวนรอบและความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

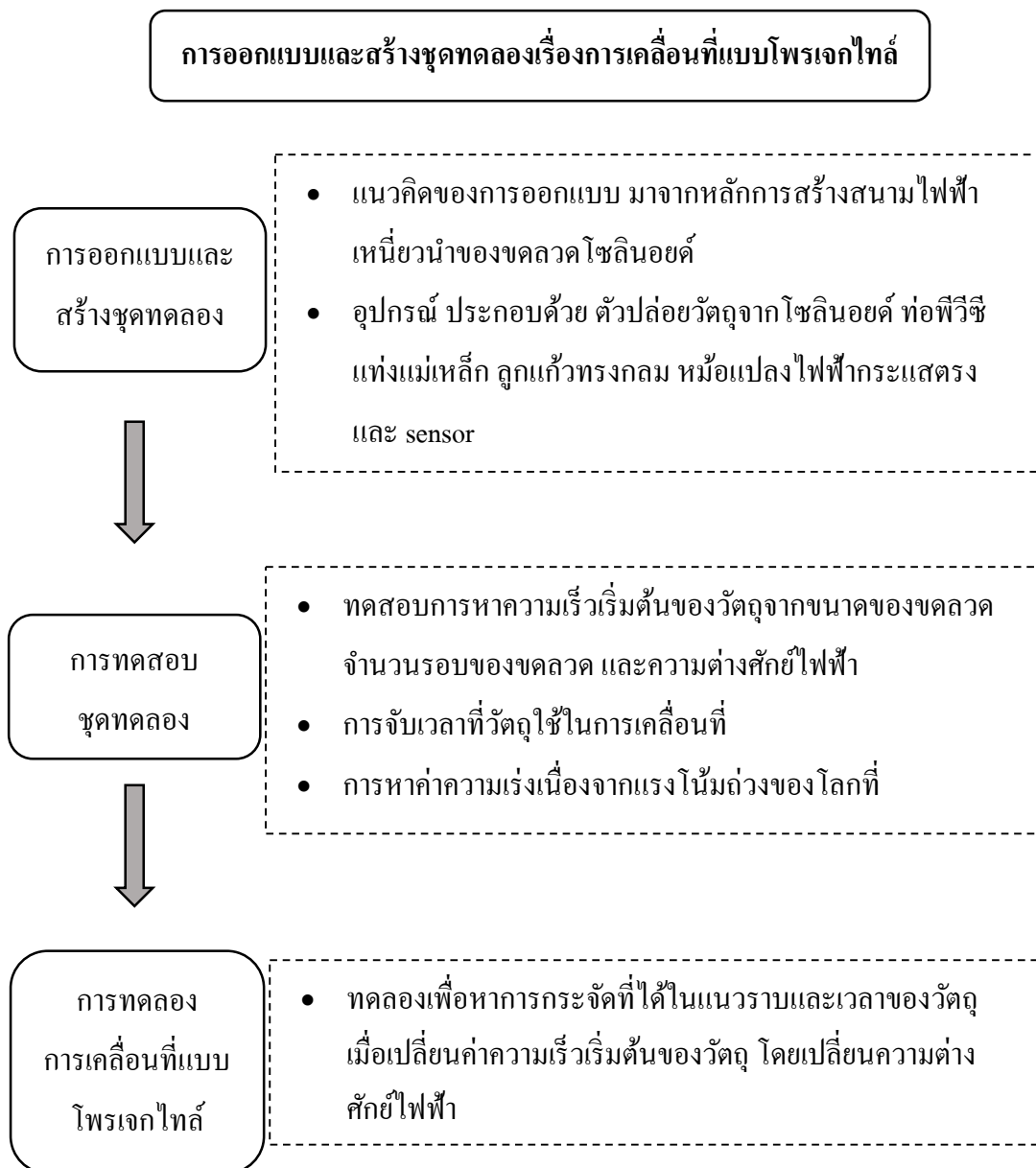
- ทดสอบผลของความเร็วต้นของวัตถุจากจำนวนรอบของขดลวด

ทดสอบโดยการนำชุดการทดลองที่สร้างขึ้น ไปหาค่าความเร็วต้นของวัตถุ โดยใช้ขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจากขดลวดทองแดงอาบน้ำยาที่มีจำนวน 200 และ 500 รอบ เมื่อมีขนาดและความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน

- ทดสอบผลของความเร็วต้นของวัตถุจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

ทดสอบโดยการนำชุดการทดลองที่สร้างขึ้น ไปหาค่าความเร็วต้นของวัตถุ โดยใช้ขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจากขดลวดทองแดงอาบน้ำยาโดยใช้กับความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีขนาดและจำนวนรอบเท่ากัน

เกณฑ์การพิจารณาขนาดหรือส่วนประกอบของชุดทดลอง พิจารณาโดยเปรียบเทียบค่าความเร่งโน้มถ่วงที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก



ภาพที่ 3-5 กรอบแนวคิดการวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างชุดการทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง ผู้วิจัย  
แบ่งการนำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัยออกเป็น 5 ส่วน คือ การออกแบบและสร้าง  
ชุดทดลอง การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ การจับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ การทดลองหาค่า  
ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า  
ต่าง ๆ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

#### การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

ชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้ง ซึ่งผู้วิจัยออกแบบและสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้  
มีแนวคิดมาจากวิธีการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้ปืนยิงลูกเหล็กด้วยวิธีการ  
ทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Jones & Thaxton, 1944) ผู้วิจัยจึงนำวิธีการทางแม่เหล็กไฟฟ้ามาสร้าง  
เป็นชุดทดลอง โดยออกแบบให้ชุดทดลองประกอบด้วย 3 ส่วน คือ หลักการสร้างตัวยิงวัตถุ  
การออกแบบฐาน และการออกแบบ sensor ในการจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่งมีผล  
การศึกษาดังนี้

#### 1. การสร้างตัวยิงวัตถุ

แนวคิดการสร้างตัวยิงวัตถุ คือ การใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำของขดลวดโซลินอยด์  
เป็นตัวยิงวัตถุ โดยทำการเก็บข้อมูลเพื่อหาขนาดของขดลวดโซลินอยด์และจำนวนรอบของขดลวด  
โซลินอยด์ที่ได้รับความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าต่าง ๆ ที่เหมาะสม โดยใช้อุปกรณ์ที่มีจากภายในห้องเรียน  
แล้วสามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงพอที่สามารถทำให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ชนกับ  
ลูกแก้วกลมให้เคลื่อนที่ได้ ได้ผลดังตารางที่ 4-1 ถึง 4-3

ตารางที่ 4-1 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กเพื่อสร้างตัวยิงลูกกลมจาก  
ขดลวดโซลินอยด์ เบอร์ 41 ( ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.11 mm )

จำนวนรอบ ความต่างศักย์ ไฟฟ้าที่ใช้ (โวลต์)	1000 รอบ		2000 รอบ	
	เคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่	เคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่
3 โวลต์		✓		✓
5 โวลต์		✓		✓
8 โวลต์		✓		✓
12 โวลต์		✓		✓

หมายเหตุ ขดลวดโซลินอยด์มีความร้อนสูง

ตารางที่ 4-2 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กเพื่อสร้างตัวยิงลูกกลมจาก  
ขดลวดโซลินอยด์ เบอร์ 38 ( ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 mm )

จำนวนรอบ ความต่างศักย์ ไฟฟ้าที่ใช้ (โวลต์)	1000 รอบ		2000 รอบ	
	เคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่	เคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่
3 โวลต์		✓		✓
5 โวลต์		✓		✓
8 โวลต์		✓		✓
12 โวลต์		✓		✓

หมายเหตุ ขดลวดโซลินอยด์มีความร้อนสูง

ตารางที่ 4-1 และ 4-2 ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลจากทดสอบขนาดของขดลวดทองแดง  
ที่เหมาะสม โดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 3, 5, 8 และ 12 โวลต์ ขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจาก  
ลวดทองแดง เบอร์ 38 และ 41 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 และ 0.11 mm) จำนวน 1,000 รอบ

และ 2,000 รอบ ตามลำดับ พบว่า ตัวขึงลูกกลมไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากขดลวดทองมีขนาดเล็ก ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ กำลังไฟฟ้าจึงไม่เพียงพอในการสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเพื่อใช้เป็นตัวขึงลูกกลมในชุดการทดลองได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎของแอมแปร์ ที่กล่าวไว้ว่าขนาดของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าหรือจำนวนรอบของขดลวดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ก็จะไม่มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น

ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบโดยใช้ขดลวดโซลินอยด์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นและลดจำนวนรอบลง เพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าขดลวดได้ นั่นคือ เลือกขดลวดทองแดงเบอร์ 28 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.38 mm) นำไปพันเป็นขดลวดโซลินอยด์ที่จำนวนรอบ 200 รอบ และ 500 รอบ ตามลำดับ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 การทดสอบการเคลื่อนที่ของแท่งแม่เหล็กเพื่อสร้างตัวขึงลูกกลมจากขดลวดโซลินอยด์ เบอร์ 28 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.38 mm)

จำนวนรอบ ความต่างศักย์ ไฟฟ้าที่ใช้ (โวลต์)	200 รอบ		500 รอบ	
	เคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่	เคลื่อนที่	ไม่เคลื่อนที่
3 โวลต์		✓		✓
5 โวลต์		✓		✓
8 โวลต์	✓			✓
12 โวลต์	✓			✓

หมายเหตุ 1. ขดลวดโซลินอยด์ที่ทำให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่จะมีความร้อน

- ขดลวดโซลินอยด์ที่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้ามากจะมีความร้อนมากกว่าและทำให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้ไกลกว่าขดลวดโซลินอยด์ที่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าน้อย

จากตารางที่ 4-3 ขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจากลวดทองแดง เบอร์ 28 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.38 mm) จำนวน 200 และ 500 รอบ ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 3, 5, 8 และ 12 โวลต์ตามลำดับ พบว่า ตัวขึงลูกกลมสามารถเคลื่อนที่ได้จากขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจากขดลวดทองแดงจำนวน 200 รอบ และให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 8 – 12 โวลต์ เนื่องจากขดลวดทองมีขนาดและ

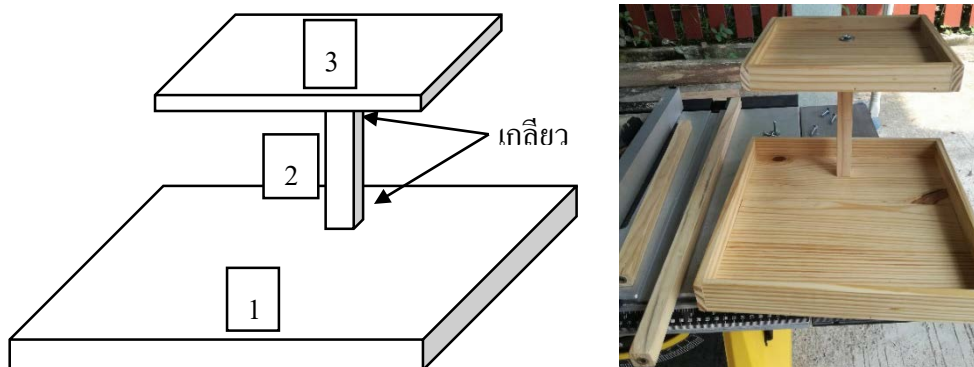
ความยาวเหมาะสมที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเพียงพอในการสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเพื่อใช้เป็นตัวยิงลูกกลมในชุดการทดลองได้ซึ่งเป็นไปตามกฎของแอมแปร์ กล่าวไว้ว่า ขนาดของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าหรือจำนวนรอบของขดลวดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด ก็จะไม่มีการเหนี่ยวนำเกิดขึ้น ตามกฎของแอมแปร์ ซึ่งกล่าวไว้ว่า “อินทิกรัลเชิงเส้นของ B รอบเส้นปิดใด ๆ จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าตรงค่าสุทธิที่ถูกปิดล้อมโดยเส้นปิดนั้น” (Bueche & Eugene, 2003)

จากตารางที่ 4-1 ถึง ตารางที่ 4-3 สามารถสรุปได้ว่า ขนาดของขดลวดโซลินอยด์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาสร้างชุดทดลอง คือ ขดลวดที่มีขนาดใหญ่กว่าขดลวดเบอร์ 28 และมีจำนวนรอบตั้งแต่ 200 รอบ ขึ้นไป ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 5 โวลต์ นั่นคือ ขดลวดเบอร์ 21, 23 และ 26 รอบ พันทอพีวีซีขนาด 4 หุน ความยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 200 และ 500 รอบ และใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 และ 12 โวลต์

## 2. การออกแบบฐาน

ในการเก็บข้อมูลงานวิจัย ได้ออกแบบให้ชุดการทดลองสามารถยิงวัตถุที่ระดับความสูงต่าง ๆ เพื่อเก็บข้อมูลและทดสอบความแม่นยำของชุดทดลอง จึงออกแบบฐานยิงวัตถุที่ประดิษฐ์จากไม้ ให้สามารถปรับระดับความสูงได้ที่ 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร โดยประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ฐานรองรับสำหรับการตก ขาดั่ง และฐานรองรับวางตัวยิง

ส่วนแรกเป็นฐานสำหรับรองรับการตกของวัตถุ มีขนาด  $0.30 \times 0.30 \times 0.02$  เมตร และมีช่องของน็อตสำหรับประกอบกับขาดั่ง ส่วนที่สองเป็นขาดั่งที่มีขนาด  $0.025 \times 0.025$  เมตร สามารถถอดประกอบได้ โดยใช้น็อตเป็นตัวยึดกับส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สอง เพื่อปรับความสูงของฐานยิงให้อยู่ในระดับที่กำหนด คือ 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร และส่วนที่สามเป็นฐานรองรับวางตัวยิงวัตถุ มีขนาด  $0.20 \times 0.20 \times 0.02$  เมตร ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 การออกแบบฐาน

หมายเลข 1 ฐานสำหรับรองรับการตกของวัตถุ ขนาด  $0.30 \times 0.30 \times 0.02$  เมตร

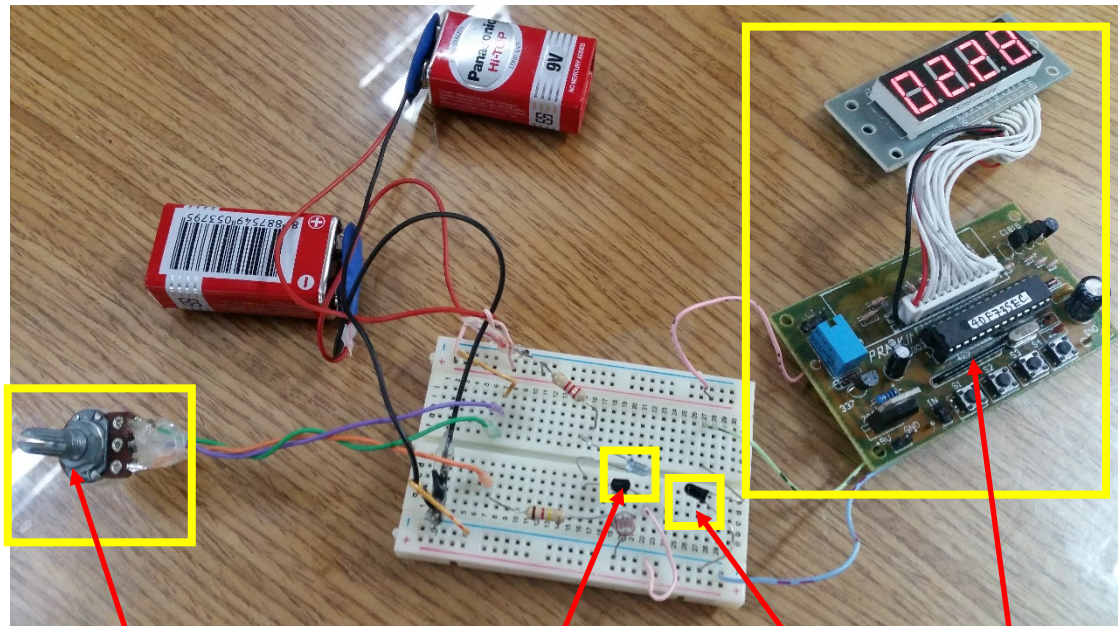
หมายเลข 2 ขาตั้งขนาด  $0.025 \times 0.025$  เมตร ถอดประกอบได้ตามแต่จะความสูง

หมายเลข 3 ฐานรองสำหรับวางตัวยิงวัตถุ ขนาด  $0.20 \times 0.20 \times 0.02$  เมตร

### 3. การออกแบบตัวรับรู้ (sensor) ในการจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่

เนื่องจากการเก็บข้อมูล มีความจำเป็นในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ แต่การจับเวลาโดยใช้ผู้ทดลองกดจับเวลาของวัตถุ ทั้งขณะที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่และขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ตกกระทบพื้นนั้น ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง จึงนำตัวรับรู้ (sensor) เข้ามาดัดแปลงเพื่อใช้ในการจับเวลาของวัตถุ โดยใช้ชนิดของตัวรับรู้เป็นตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด เนื่องจากแสงอินฟราเรดมีการรบกวนจากสัญญาณอื่นได้น้อยกว่า นำมาใช้เป็นตัวช่วยให้สามารถจับเวลาเริ่มจับเวลาในขณะที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ และใช้ผู้ทดลองกดจับเวลาในขณะที่วัตถุตกกระทบพื้น จึงทำให้การจับเวลาที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง พิจารณาได้จากค่าความเร่งโน้มถ่วง ( $g$ ) ดังภาพที่ 4-2





ตัวปรับความไวของการ

ทำงานในวงจร

ตัวส่งรังสีอินฟราเรด

ตัวรับรังสีอินฟราเรด

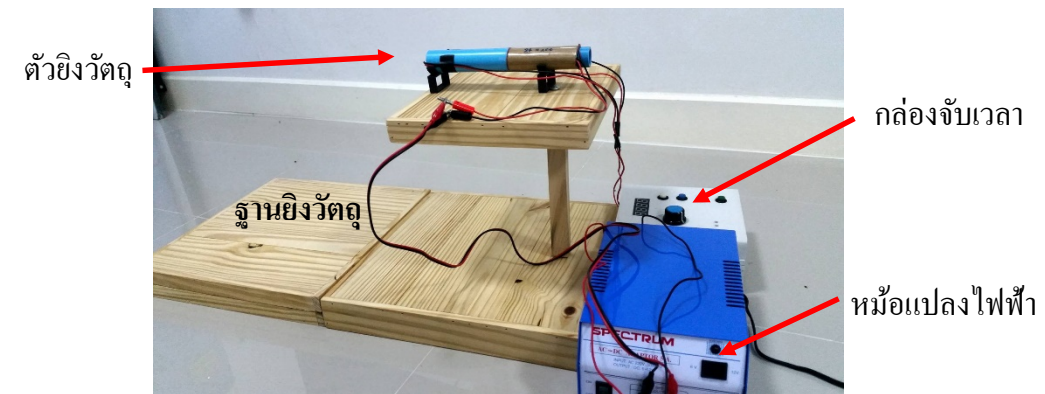
วงจรมหาพีคาจับเวลา

สำเร็จรูป

ภาพที่ 4-2 วงจรตัวรับรู้ที่นำมาดัดแปลงเพื่อใช้ในการจับเวลา



(a)



(b)

ภาพที่ 4-3 (a) การติดตั้งตัวรับรู้ในการจับเวลาที่วัตถุในขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ออกจากปากท่อพีวีซี

(b) ชุดการทดลอง

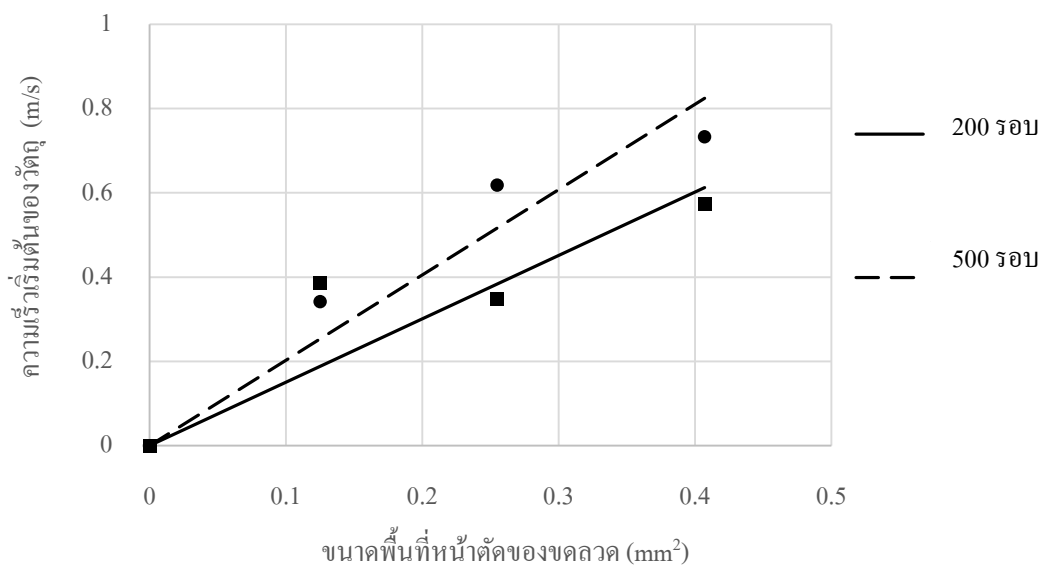
### การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ

เมื่อนำชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ที่สร้างไว้ ไปหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุจากชุดการทดลอง โดยทดลองเพื่อหาความชันจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดที่ได้ในแนวราบและเวลาของวัตถุ ดังสมการที่ (3-2) เมื่อเปลี่ยนขนาดของขดลวด จำนวนรอบของขดลวด และความต่างศักย์ไฟฟ้า ที่ระดับความสูง 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร ได้ผลดังตารางที่ 4-4

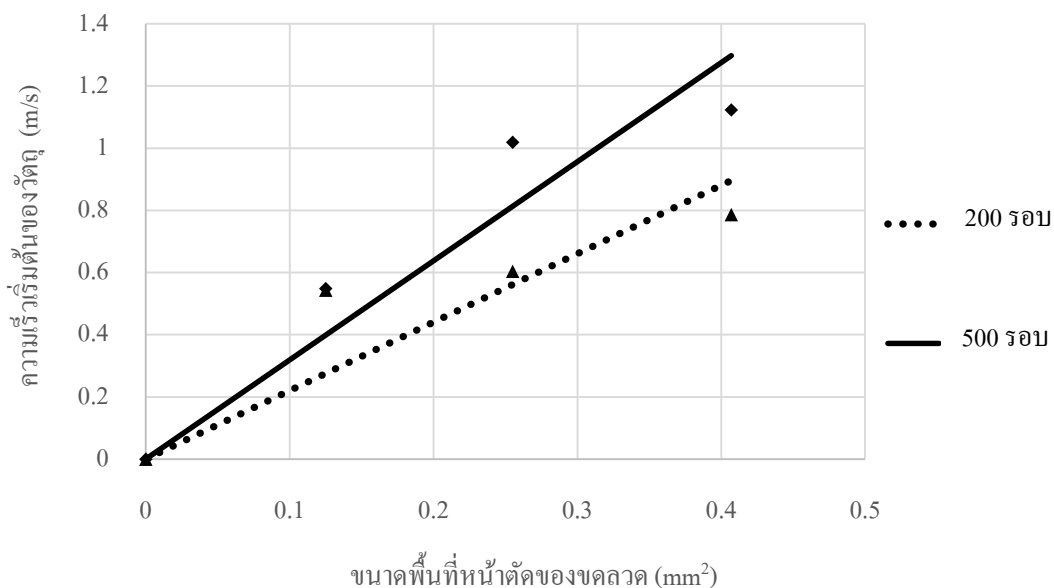
ตารางที่ 4-4 ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุจากชุดการทดลอง

ขนาดของขดลวด	ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ (เมตร/วินาที)			
	จำนวนรอบ 200 รอบ		จำนวนรอบ 500 รอบ	
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์
ลวดทองแดงเบอร์ 21	0.5741	0.7868	0.7331	1.1227
ลวดทองแดงเบอร์ 23	0.3488	0.6042	0.6187	1.0195
ลวดทองแดงเบอร์ 26	0.3857	0.5430	0.3422	0.5491

จากตารางที่ 4-4 พบว่า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน คือ 6 และ 12 โวลต์ ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 0.3857 – 0.5741 และ 0.3422 – 0.7331 เมตร/วินาที ที่จำนวนขดลวด 200 และ 500 รอบ ตามลำดับ ตามขนาดของขดลวดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของแอมแปร์ ที่กล่าวไว้ว่า “อินทิกรัลเชิงเส้นของ B รอบเส้นปิดใด ๆ จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าตรงค่าสุทธิที่ถูกปิดล้อมโดยเส้นปิดนั้น” (Bueche & Eugene, 2003) ดังกราฟในภาพที่ 4-4 และภาพที่ 4-5

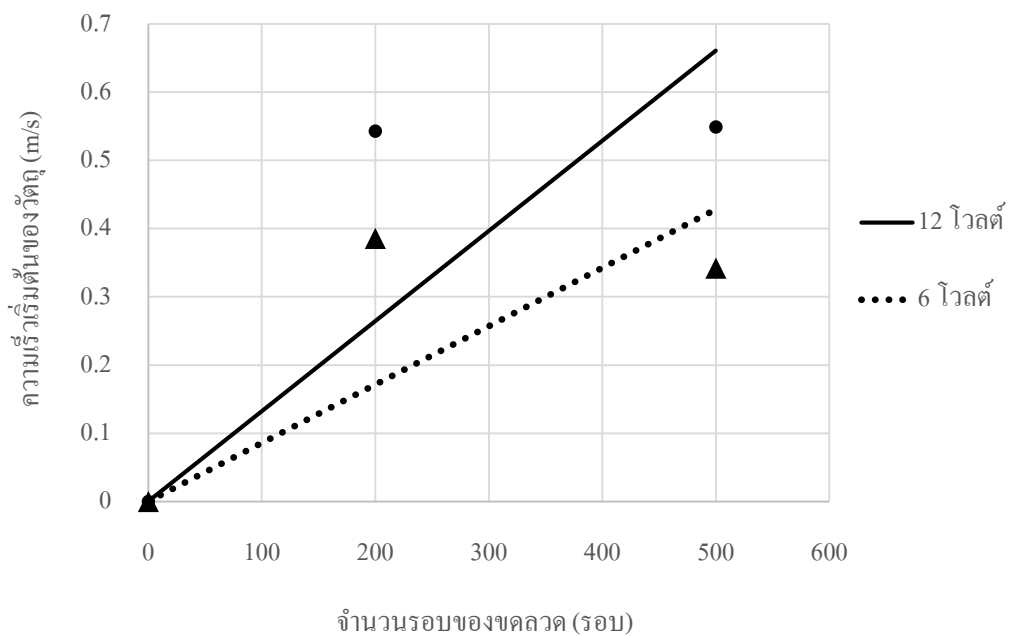


ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์

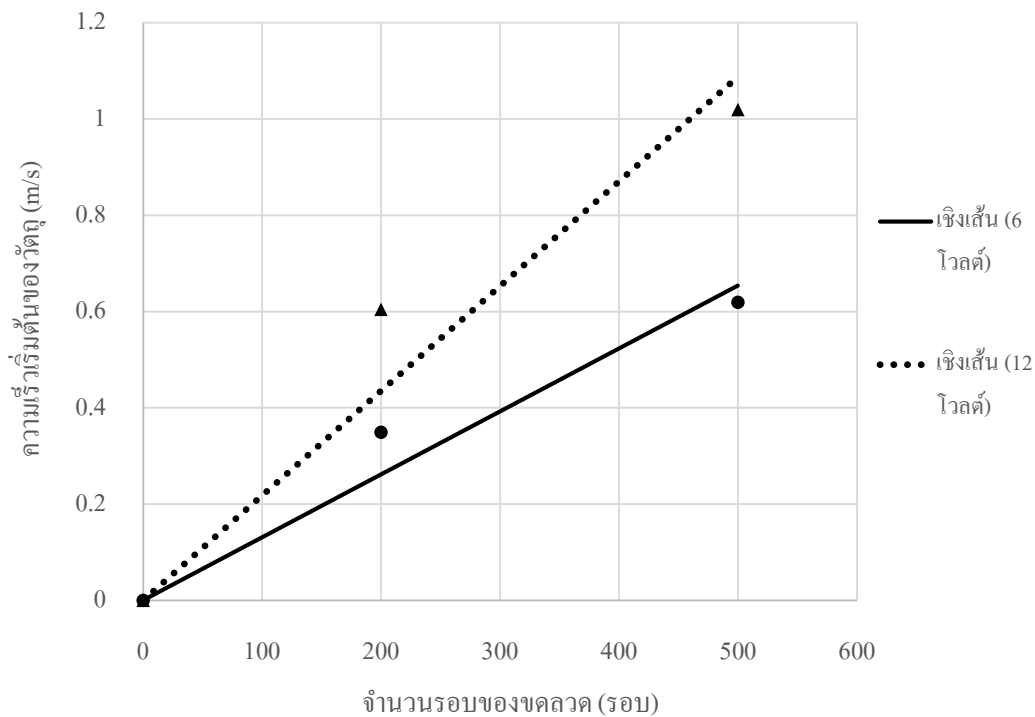


ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

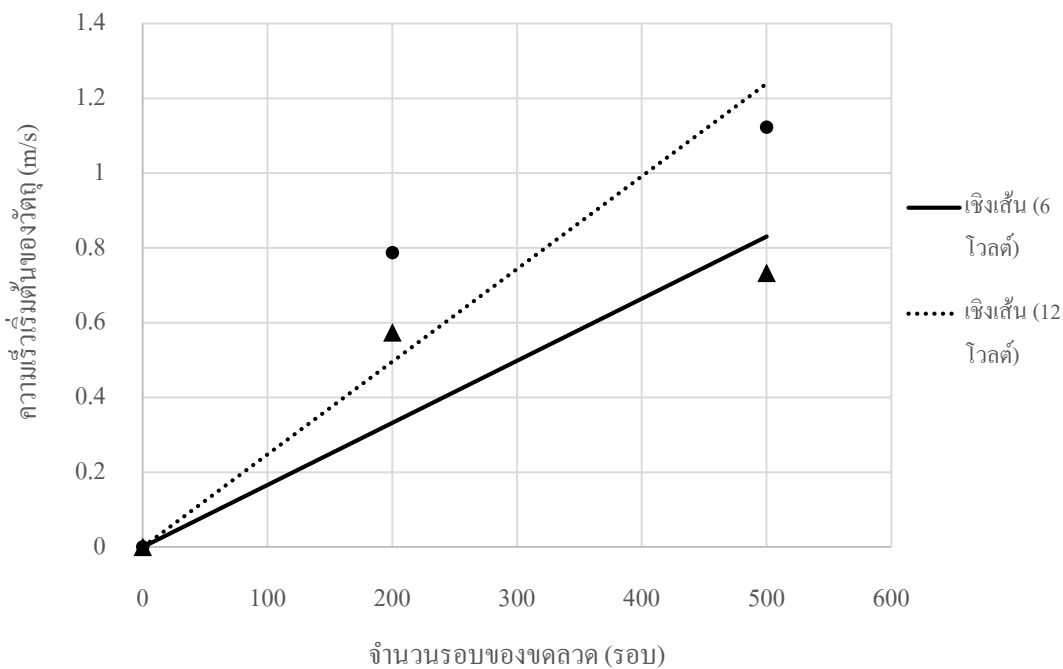
เมื่อขนาดของขดลวดเท่ากัน ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 0.3488 – 0.7868 และ 0.3422 – 1.1227 เมตร/วินาที เมื่อจำนวนขดลวดเพิ่มขึ้น คือ 200 และ 500 รอบ ตามลำดับ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 6 และ 12 โวลต์ ซึ่งเป็นไปตามกฎของแอมแปร์ ที่กล่าวไว้ว่า “อินทิกรัลเชิงเส้นของ B รอบเส้นปิดใด ๆ จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าตรงค่าสุทธิ ที่ถูกปิดล้อมโดยเส้นปิดนั้น” (Bueche & Eugene, 2003) ดังกราฟในภาพที่ 4-6 จนถึง ภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับจำนวนรอบของขดลวดเบอร์ 26

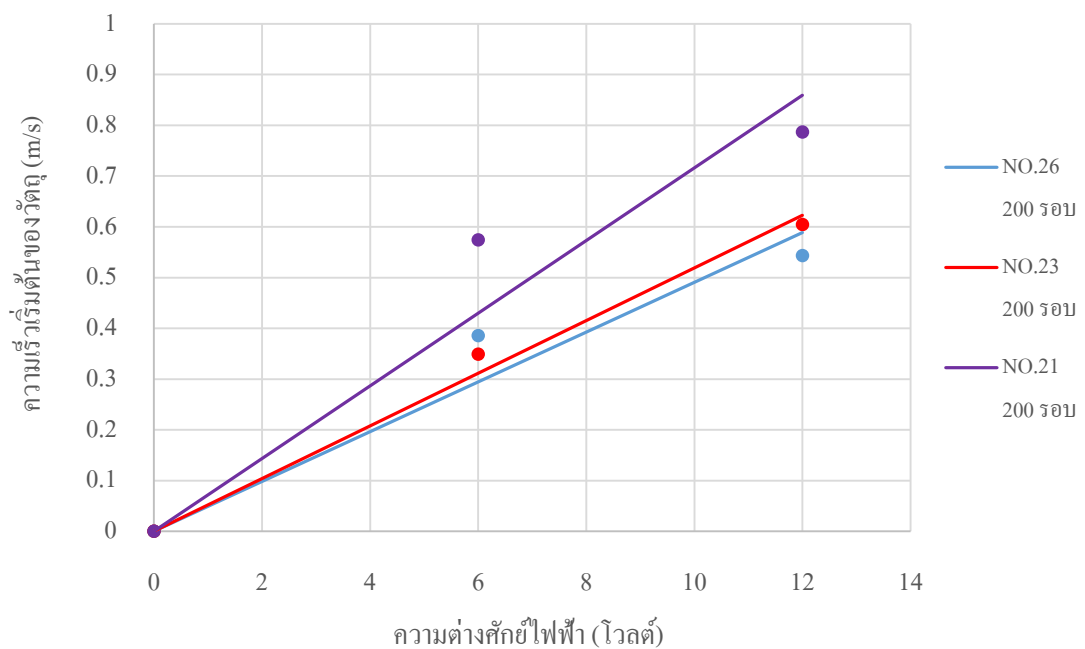


ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับจำนวนรอบของขดลวดเบอร์ 23

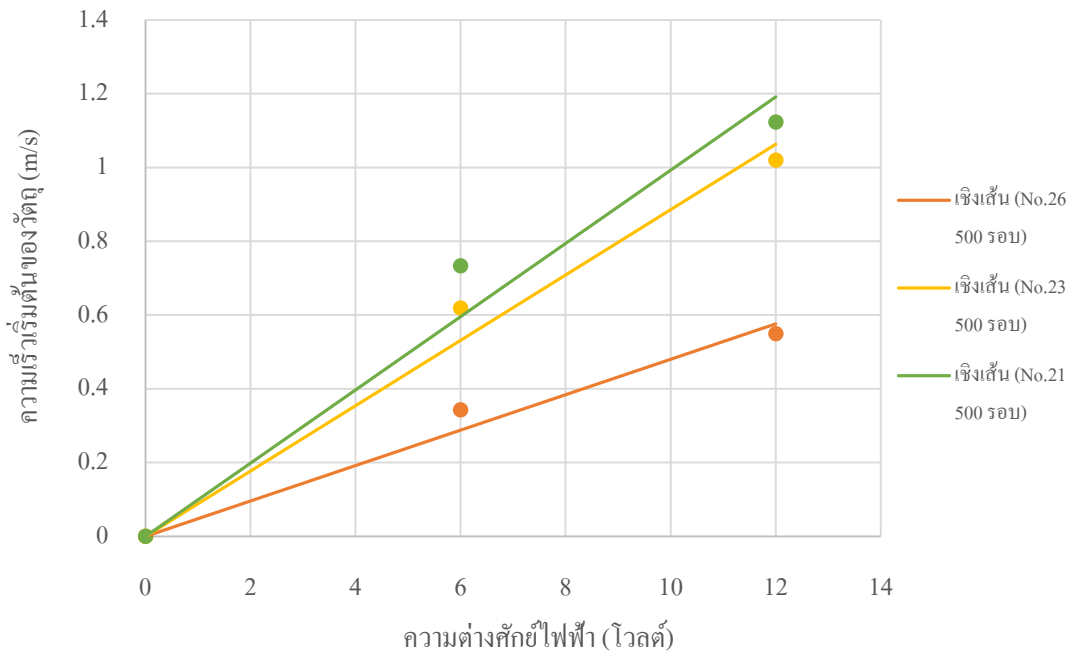


ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับจำนวนรอบของขดลวดเบอร์ 21

และเมื่อจำนวนรอบของขดลวดเท่ากัน ความเร็วต้นของวัตถุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 0.3488 – 0.7331 และ 0.5430 – 1.1227 เมตร/วินาที เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น คือ 6 และ 12 โวลต์ ตามลำดับ ที่ขนาดของขดลวดต่าง ๆ ซึ่งเป็นไปตามกฎของแอมแปร์ ที่กล่าวไว้ว่า “อินทิกรัลเชิงเส้นของ B รอบเส้นปิดใด ๆ จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าตรงค่าสุทธิที่ถูกปิดล้อมโดยเส้นปิดนั้น” (Bueche F.J., & Eugene Hecht, 2003) ดังกราฟในภาพที่ 4-9 และ ภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมืดต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จำนวนขดลวด 200 รอบ



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จำนวนขดลวด 500 รอบ

จากการทดลองพบว่า เมื่อขนาดของขดลวดเพิ่มขึ้น จำนวนรอบของขดลวดเพิ่มขึ้น และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามกฎของแอมแปร์ จึงพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วต้นของวัตถุจากชุดทดลองกับความต่างศักย์ไฟฟ้า เพื่อเลือกเครื่องยิงวัตถุที่มีความเหมาะสมต่อชุดการทดลอง โดยเลือกตัวยิงวัตถุที่สามารถเปลี่ยนค่าความเร็วต้นของวัตถุได้จากการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้า ทำให้มีความสะดวกต่อการทดลอง เนื่องจากไม่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์การทดลองหลาย ๆ ชุด



## การจับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ

การทดลองหาความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ ต้องมีการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลเป็นระยะกระจัด ในแนวราบและเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ตามสมการที่ (3-2) ในการเก็บข้อมูลของเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่จึงเลือกใช้ตัวรับรู้ชนิดแสง ซึ่งทำงานด้วยหลักการส่งผ่านของแสง โดยเลือกแหล่งกำเนิดแสงและตัวตรวจจับเป็นแสงชนิดอินฟราเรด เนื่องจากมีผลการรบกวนจากแหล่งกำเนิดแสงอย่างอื่นได้น้อยกว่า (วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์, 2548)

และจากสมการที่ (3-3) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554) พบว่า เมื่อวัตถุไม่มีความเร็วเริ่มต้นในแนวตั้ง เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่จึงขึ้นอยู่กับความสูงของการยิงวัตถุเท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองยิงวัตถุที่ระดับความสูง 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4-5 ถึง 4-9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-5 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ โดยใช้ขดลวดโซลินอยด์เบอร์ 23 ยิงวัตถุที่ระดับความสูง 0.20 เมตร

เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)				
ครั้งที่	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
	6 โวลต์	12 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์
1	0.18	0.20	0.22	0.21
2	0.20	0.19	0.21	0.20
3	0.19	0.21	0.20	0.21
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.19</b>	<b>0.20</b>	<b>0.21</b>	<b>0.21</b>
เวลาที่คำนวณได้จากสมการ (3-3)				<b>0.20</b>

ตารางที่ 4-6 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ โดยใช้ชดลวด  
โซลีนอยด์เบอร์ 23 ยิงวัตถุที่ระดับความสูง 0.40 เมตร

เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)				
ครั้งที่	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
	6 โวลต์	12 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์
1	0.29	0.28	0.30	0.28
2	0.29	0.27	0.30	0.27
3	0.30	0.29	0.29	0.27
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.29</b>	<b>0.28</b>	<b>0.30</b>	<b>0.27</b>
<b>เวลาที่คำนวณได้จากสมการ (3-3)</b>				<b>0.29</b>

ตารางที่ 4-7 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ โดยใช้ชดลวด  
โซลีนอยด์เบอร์ 23 ยิงวัตถุที่ระดับความสูง 0.60 เมตร

เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)				
ครั้งที่	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
	6 โวลต์	12 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์
1	0.32	0.34	0.32	0.35
2	0.38	0.35	0.37	0.36
3	0.35	0.35	0.34	0.31
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>	<b>0.34</b>	<b>0.34</b>
<b>เวลาที่คำนวณได้จากสมการ (3-3)</b>				<b>0.35</b>

ตารางที่ 4-8 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ โดยใช้คลวดโซลินอยด์เบอร์ 23 ยิงวัตถุที่ระดับความสูง 0.80 เมตร

เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)				
ครั้งที่	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
	6 โวลต์	12 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์
1	0.41	0.42	0.42	0.42
2	0.46	0.47	0.41	0.45
3	0.45	0.46	0.40	0.40
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.44</b>	<b>0.45</b>	<b>0.41</b>	<b>0.42</b>
เวลาที่คำนวณได้จากสมการ (3-3)				<b>0.40</b>

ตารางที่ 4-9 ตารางบันทึกผลการจับเวลาของวัตถุที่ใช้ในการเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ โดยใช้คลวดโซลินอยด์เบอร์ 23 ยิงวัตถุที่ระดับความสูง 1.00 เมตร

เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)				
ครั้งที่	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
	6 โวลต์	12 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์
1	0.48	0.52	0.45	0.49
2	0.51	0.51	0.49	0.47
3	0.49	0.46	0.48	0.48
<b>เฉลี่ย</b>	<b>0.49</b>	<b>0.50</b>	<b>0.47</b>	<b>0.48</b>
เวลาที่คำนวณได้จากสมการ (3-3)				<b>0.45</b>

จากตารางที่ 4-5 จนถึง 4-9 พบว่า เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อยิ่งวัตถุจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554) และเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ที่ได้จากการทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตร มีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ที่คำนวณจากสมการที่ (3-4) มากที่สุด เนื่องจากระดับความสูง 0.60 เมตร เป็นระดับความสูงที่เหมาะสมในการยิงวัตถุที่สุด เพราะวัตถุไม่ตกกระทบพื้นเร็วเกินไปและแรงต้านอากาศไม่มีผลกับการเคลื่อนที่มากนัก เนื่องจากไม่ยิงวัตถุในระดับความสูงที่มากเกินไป

### การทดลองหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

เนื่องจากการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ ยังไม่เคยมีผู้วิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนค่าของสนามแม่เหล็กจากขดลวด โซลินอยด์ให้เป็นแรงทางแม่เหล็ก เพื่อนำมาสมการคำนวณความเร็วเริ่มต้นโดยใช้ร่วมกับหลักการทางฟิสิกส์อื่น ๆ เช่น กฎอนุรักษ์โมเมนตัม เป็นต้น ผู้วิจัยจึงเลือกชุดทดลองที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก ( $g$ ) ที่ได้จากการทดลองกับค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$  โดยหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของชุดการทดลองจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่ใช้ในการยิงวัตถุกับเวลา<sup>2</sup> ดังสมการที่ (3-4) ได้ผลดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ความเร่งโน้มถ่วงของวัตถุจากชุดการทดลองที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ขนาดของขดลวด	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลอง (เมตร/วินาที <sup>2</sup> )			
	จำนวนรอบ 200 รอบ		จำนวนรอบ 500 รอบ	
	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์
ลวดทองแดงเบอร์ 21	8.602	8.769	8.863	8.342
ลวดทองแดงเบอร์ 23	8.526	8.386	9.276	9.088
ลวดทองแดงเบอร์ 26	8.264	8.315	8.535	8.675

ในตารางที่ 4-10 พบว่า ค่าความเร่งโน้มถ่วงของวัตถุจากตัวยิงที่สร้างจากขดลวดทองแดงที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ ค่าความเร่งโน้มถ่วงจากเครื่องยิงที่สร้างจากขดลวดทองแดงเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ เมื่อแปรค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 6 V และ 12 V มีค่าเท่ากับ 9.276 และ 9.088  $\text{m/s}^2$  ตามลำดับ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับ 5.44% และ 7.26% ตามลำดับ เพราะค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกจากการทดลอง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-4) ซึ่งอาศัยข้อมูลการคำนวณจากการจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่จากชุดทดลอง โดยในการจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ของชุดทดลอง สามารถใช้ตัวรับสัญญาณช่วยเริ่มต้นจับเวลาได้อัตโนมัติแค่ในขณะที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่เท่านั้น แต่ยังต้องใช้ผู้ทดลองกดหยุดการจับเวลาเมื่อวัตถุตกกระทบพื้น หากความเร็วต้นของวัตถุน้อยหรือมากไป ก็จะทำให้วัตถุตกกระทบพื้นเร็ว จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจับเวลาโดยผู้ทดลองได้

นั่นคือ ขดลวดทองแดงที่มีความเหมาะสมสำหรับชุดการทดลองนี้ คือ ขดลวดทองแดงเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ เนื่องจากมีค่า  $R^2 = 0.9820$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากที่สุด และมีค่าความคลาดเคลื่อนของความเร่งโน้มถ่วงน้อยที่สุด คือ 5.44% โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้า คือ

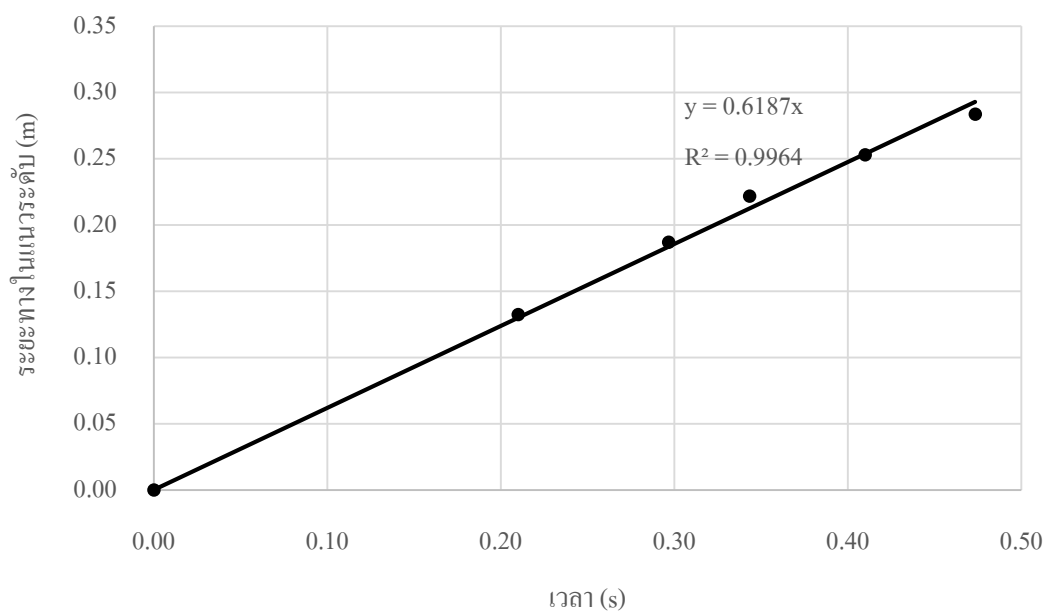
$$u = 0.0886V \quad (4-1)$$

### การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

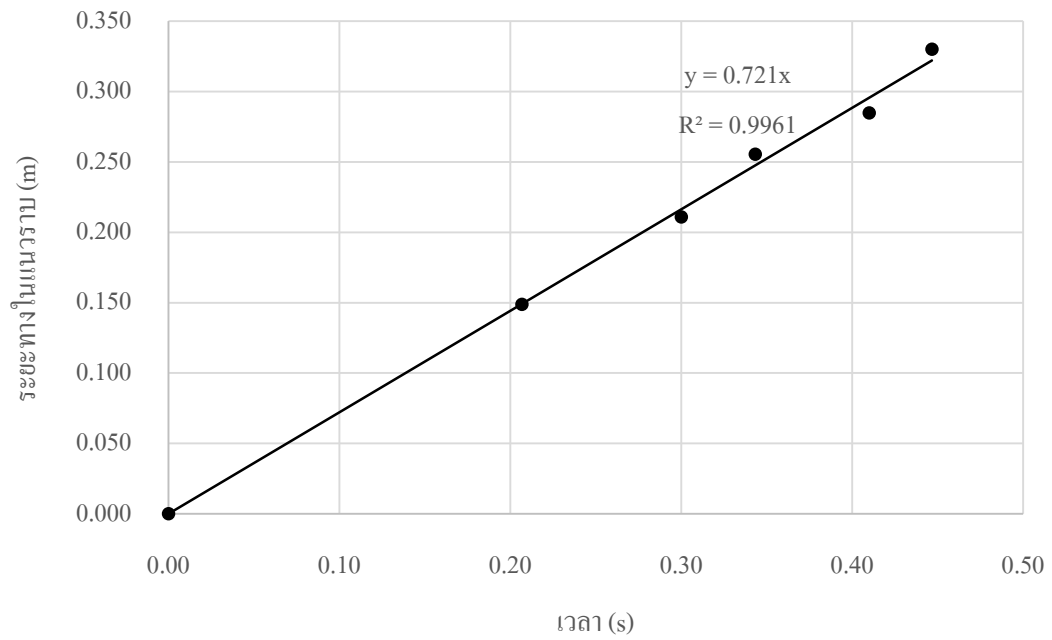
งานวิจัยของกาญจนา จันทร์ประเสริฐ (2552) ซึ่งหาค่าความคลาดเคลื่อนของชุดทดลองจากระยะทางในแนวระดับที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับระยะทางในแนวระดับที่ได้จากทฤษฎี ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบชุดทดลองที่ได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนของความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ได้จากการทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6, 8 และ 12 โวลต์ เทียบกับความเร็วต้นของวัตถุที่คำนวณได้จากสมการที่ (4-1) ดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

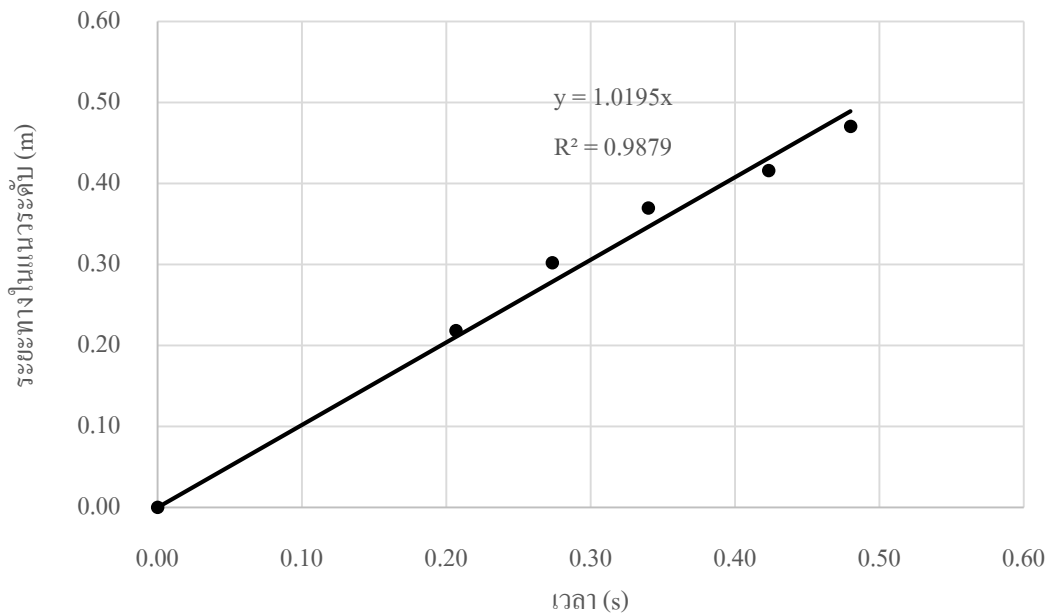
ความต่างศักย์ไฟฟ้า V (โวลต์)	ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ ได้จากชุดทดลอง (m/s)	ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ ได้จากสมการที่ 4-1 (m/s)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน (%)
6	0.6187	0.5316	16.38
8	0.7210	0.7088	1.72
12	1.1095	1.0632	4.35



ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวราบของวัตถุกับเวลา ซึ่งได้จากชุดทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์



ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวราบของวัตถุกับเวลา ซึ่งได้จากชุดทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 8 โวลต์



ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวราบของวัตถุกับเวลา ซึ่งได้จากชุดทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

จากผลการทดลอง พบว่า ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1.72% - 16.38% โดยค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดไปจนถึงน้อยที่สุด คือ ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุจากชุดการทดลองที่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 6, 12 และ 8 โวลต์ ตามลำดับ เนื่องจากชุดการทดลองที่ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์ ทำให้วัตถุมีค่าความเร็วเริ่มต้นค่อนข้างน้อย หากทดลองยิงวัตถุที่ความสูงน้อย จะส่งผลให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่โดยใช้ระยะเวลาสั้นมาก และหากทดลองยิงวัตถุที่ความสูงมาก แรงต้านอากาศก็จะส่งผลต่อวัตถุที่มีค่าความเร็วเริ่มต้นค่อนข้างน้อยเช่นกัน



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ผู้วิจัยแบ่งการวิจัยออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ การออกแบบและสร้างชุดทดลอง การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ การจับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ การทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งมีข้อสรุปและข้อเสนอแนะ ดังนี้

#### สรุปผล

##### 1. การออกแบบและสร้างชุดทดลอง

1.1 การสร้างตัวยิงวัตถุ มีหลักแนวคิดมาจากเรื่องสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวด โซลินอยด์ พบว่า ขนาดของขดลวด โซลินอยด์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาสร้างชุดทดลองคือ ขดลวดที่มีขนาดใหญ่กว่าขดลวดเบอร์ 28 และมีจำนวนรอบตั้งแต่ 200 รอบ ขึ้นไป ให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 5 โวลต์ และไม่เกิน 12 โวลต์ นั่นคือ ขดลวดเบอร์ 21, 23 และ 26 รอบ พันทอพีวีซีขนาด 4 หุน ยาว 10 เซนติเมตร 200 และ 500 รอบ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 และ 12 โวลต์

1.2 การออกแบบฐาน ได้ข้อสรุปว่า ฐานยิงวัตถุประดิษฐ์จากไม้ ให้สามารถปรับระดับความสูงได้ที่ 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เมตร โดยประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ฐานรองรับสำหรับการตก ขาดั่ง และฐานรองสำหรับวางตัวยิง

1.3 การออกแบบตัวรับรู้ ได้ข้อสรุปว่า ชนิดของตัวรับรู้เป็นตัวรับรู้รังสีอินฟราเรด เริ่มจับเวลาในขณะที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ และใช้ผู้ทดลองกดจับเวลาในขณะที่วัตถุตกกระทบพื้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการจับเวลา

##### 2. การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดขดลวดกับความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ พบว่า เมื่อขนาดของขดลวดเพิ่มขึ้น ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุก็จะเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนขดลวดกับความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ พบว่าเมื่อจำนวนขดลวดเพิ่มขึ้น ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุก็จะเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับความเร็วเริ่มต้นของวัตถุ พบว่าเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุก็จะเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น

3. การจับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ พบว่า เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อยิงวัตถุจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น และเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ที่ได้จากการทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตร มีค่าใกล้เคียงกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ที่คำนวณมาก

4. การทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก พบว่า ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของวัตถุจากตัวยิงที่สร้างจากขดลวดทองแดงที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ ค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วงจากเครื่องยิงที่สร้างจากขดลวดทองแดงเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 และ 12 โวลต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.276 และ 9.088  $\text{m/s}^2$  โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งโน้มถ่วงเท่ากับ 5.44% และ 7.26% ตามลำดับ

5. การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับชุดทดลองคือ 8 และ 12 โวลต์ สามารถวัดความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้ใกล้เคียงกับค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ได้จากการคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองด้วยชุดทดลองจริงระหว่าง 1.72% และ 4.35% ตามลำดับ

### ข้อเสนอแนะ

1. ชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้กับความต่างศักย์ไฟฟ้าได้หลายค่า จึงควรเลือกหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้หลากหลายมากขึ้น
2. ชุดทดลองที่สร้างขึ้นควรปรับแก้ในส่วนของตัวรับรู้ในการจับเวลาของวัตถุเมื่อวัตถุกระทบพื้น เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำยิ่งขึ้น
3. ชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นการจัดการเรียนรู้ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้

## บรรณานุกรม

- กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2552). การสร้างชุดทดลองหลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์. ใน *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6* (หน้า 1835 – 1842). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. เข้าถึงได้จาก [http://www.researchconference.kps.ku.ac.th/article\\_6/pdf/p\\_edu03.pdf](http://www.researchconference.kps.ku.ac.th/article_6/pdf/p_edu03.pdf).
- กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม). (2557). *การเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ*. เข้าถึงได้จาก [http://satitprasarnmit.ac.th/s\\_sci/attachments/article/35/ใบความรู้การเคลื่อนที่%20เรื่อง%20การเคลื่อนที่แบบต่างๆ.pdf](http://satitprasarnmit.ac.th/s_sci/attachments/article/35/ใบความรู้การเคลื่อนที่%20เรื่อง%20การเคลื่อนที่แบบต่างๆ.pdf).
- บริษัท คอมโพแม็กซ์ จำกัด. (2558). *หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ*. เข้าถึงได้จาก <http://www.compomax.co.th/product/working-principle-inductive-sensors/>.
- พงษ์ศักดิ์ ชินนาบุญ. (2556). *ฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6*. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.
- วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์. (2548). *เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์: ทฤษฎีการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดและควบคุม*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2558). *สนามแม่เหล็ก*. เข้าถึงได้จาก [www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub\\_lesson/8\\_2.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electromagnetism/sub_lesson/8_2.htm).
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2554). *คู่มือครูรายวิชา ฟิสิกส์ เพิ่มเติม เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฉบับพุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2554). *หนังสือเรียนรายวิชา ฟิสิกส์ เพิ่มเติม เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฉบับพุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานคร.
- สมชาย สุภาพ, วันชัย รุ่งรุจา, ชีรศิลป์ ทุมวิภาต และสุมาลี อุนหวณิชย์. (2547). *การหาตำแหน่งของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณการต้นสะท้อน*. ปรินซ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (2558) หน่วยที่ 4 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า  
กฎของบีโอด์-ซาร์วาร์ต. เข้าถึงได้จาก  
<http://science.sut.ac.th/physics/Doc/105102/phys2-4.pdf>.
- อดิศร มณีศิริ. (2537). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ ด้านความคิดรวบ  
ยอดทางวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่ได้รับการสอน โดยใช้  
ชุดฝึกสร้างความคิดรวบยอดทางวิทยาศาสตร์และการสอนตามคู่มือครู. ปรินญาณิพนธ์  
การศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการบริหารและการจัดการการศึกษา, คณะ  
ศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- Bueche, F.J., & Eugene, Hecht. (2003). *College Physics*. (ปิยะพงษ์ สิทธิคง,แปล).กรุงเทพฯ  
ที่อป.
- Goff, J.E., & Liyanage, C. (2011). Projectile Motion Gets the Hose. *The Physics Teacher*, 49,  
432.
- Graf, E. H. (2008). Projectile Motion Demonstration. *The Physics Teacher*, 46, 553.
- Hayt, H. Jr., & Buck, J. A. (2007). *Engineering Electromagnetic*. (สุริภณ สมควรพาณิชย์ และ  
ขนิษฐา แซ่ตั้ง,แปล).กรุงเทพฯ ที่อป.
- INSTRUMENTATION TOOLS. (2015). *Types of sensors used in vibration measurement*. เข้าถึง  
ได้จาก <http://instrumentationtools.com/types-of-sensors-used-in-vibration-measurement/>
- Jones, C., & Thaxton, H. M. (1944). A Laboratory Method for the Study of Projectile Motion.  
*American Journal of Physics*, 12, 217.
- Moore, J. C., Baker, J. C., Franzel, L., McMahon, D., & Songer, D. (2010). Graphical Method for  
Determining Projectile Trajectory. *The Physics Teacher*, 48, 612.
- MyFirstBrain.Com. (2558). ไฟฟ้าและแม่เหล็ก 1 : ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและสนาม  
แม่เหล็ก. เข้าถึงได้จาก [http://www.myfirstbrain.com/student\\_view.aspx?id=76251](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?id=76251)
- Sanders, J. M., & Boleman, M. W. (2013). Corrected Launch Speed for a Projectile Motion  
Laboratory. *The Physics Teacher*, 51, 359.
- Schoch, F., & Winiger, W. (1989). Free-fall Measurement with a Solenoid as Starting  
Device. *The Physics Teacher*, 27, 493.

Scimath คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศ. (2558) *การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ (Projectile Motion)*.

เข้าถึงได้จาก <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/484-ลักษณะการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์?groupid=159>.

Sunil Kumar Singh. (2013). *Features of Projectile Motion*. Houston, Texas: Rice University.

Sharma, M., Urone, P.P., Dirks, K., & Hinrichs, R. (2012). *College Physics*. Houston, Texas: Rice University.

Winstein, M. (2004). Rolling Balls for Projectile Motion [Phys. Teach. 15, 500 (Nov. 1977)]. *The Physics Teacher*, 42, 378.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

ตารางข้อมูลการทดสอบชุดทดลอง

ตารางภาคผนวก ก-1 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.20 เมตรของขดลวดเบอร์ 26

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.22	0.20	0.20	0.21
ครั้งที่ 2	0.20	0.22	0.21	0.22
ครั้งที่ 3	0.21	0.19	0.19	0.19
เฉลี่ย	<b>0.21</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.21</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.0880	0.1000	0.0790	0.1040
ครั้งที่ 2	0.0800	0.1130	0.0890	0.1350
ครั้งที่ 3	0.0980	0.1260	0.0700	0.1200
เฉลี่ย	<b>0.0887</b>	<b>0.1130</b>	<b>0.0793</b>	<b>0.1197</b>



ตารางภาคผนวก ก-2 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.20 เมตรของขดลวดเบอร์ 23

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.18	0.20	0.22	0.21
ครั้งที่ 2	0.20	0.19	0.21	0.20
ครั้งที่ 3	0.19	0.21	0.20	0.21
เฉลี่ย	<b>0.19</b>	<b>0.20</b>	<b>0.21</b>	<b>0.21</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.0650	0.1250	0.1500	0.2320
ครั้งที่ 2	0.0770	0.1400	0.1150	0.2180
ครั้งที่ 3	0.0860	0.1050	0.1320	0.2050
เฉลี่ย	<b>0.0760</b>	<b>0.1233</b>	<b>0.1323</b>	<b>0.2183</b>

ตารางภาคผนวก ก-3 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.20 เมตรของขดลวดเบอร์ 21

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.22	0.19	0.20	0.22
ครั้งที่ 2	0.20	0.20	0.21	0.22
ครั้งที่ 3	0.20	0.21	0.20	0.18
เฉลี่ย	<b>0.21</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.21</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1240	0.1900	0.1580	0.2280
ครั้งที่ 2	0.1050	0.1760	0.1460	0.2400
ครั้งที่ 3	0.1400	0.2040	0.1700	0.2170
เฉลี่ย	<b>0.1230</b>	<b>0.1900</b>	<b>0.1580</b>	<b>0.2283</b>

ตารางภาคผนวก ก-4 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.40 เมตรของขดลวดเบอร์ 26

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.29	0.30	0.30	0.28
ครั้งที่ 2	0.29	0.29	0.30	0.30
ครั้งที่ 3	0.29	0.29	0.28	0.31
เฉลี่ย	<b>0.29</b>	<b>0.29</b>	<b>0.29</b>	<b>0.30</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1340	0.1400	0.1100	0.1450
ครั้งที่ 2	0.1230	0.1750	0.1240	0.1600
ครั้งที่ 3	0.1100	0.1580	0.0930	0.1670
เฉลี่ย	<b>0.1223</b>	<b>0.1577</b>	<b>0.1090</b>	<b>0.1573</b>

ตารางภาคผนวก ก-5 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.40 เมตรของขดลวดเบอร์ 23

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.29	0.28	0.30	0.28
ครั้งที่ 2	0.29	0.27	0.30	0.27
ครั้งที่ 3	0.30	0.29	0.29	0.27
เฉลี่ย	<b>0.29</b>	<b>0.28</b>	<b>0.30</b>	<b>0.27</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.0910	0.1770	0.1850	0.2870
ครั้งที่ 2	0.1200	0.1650	0.1700	0.3050
ครั้งที่ 3	0.1080	0.1900	0.2060	0.3140
เฉลี่ย	<b>0.1063</b>	<b>0.1773</b>	<b>0.1870</b>	<b>0.3020</b>

ตารางภาคผนวก ก-6 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.40 เมตรของขดลวดเบอร์ 21

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.29	0.30	0.29	0.29
ครั้งที่ 2	0.29	0.30	0.28	0.27
ครั้งที่ 3	0.30	0.30	0.28	0.27
เฉลี่ย	<b>0.29</b>	<b>0.30</b>	<b>0.28</b>	<b>0.28</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1890	0.2740	0.2200	0.2960
ครั้งที่ 2	0.1730	0.2520	0.2340	0.3200
ครั้งที่ 3	0.1520	0.3010	0.2060	0.3480
เฉลี่ย	<b>0.1713</b>	<b>0.2757</b>	<b>0.2200</b>	<b>0.3213</b>

ตารางภาคผนวก ก-7 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตรของขดลวดเบอร์ 26

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.35	0.36	0.37	0.35
ครั้งที่ 2	0.34	0.35	0.32	0.31
ครั้งที่ 3	0.37	0.34	0.35	0.37
เฉลี่ย	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>	<b>0.35</b>	<b>0.34</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1490	0.1920	0.1460	0.2200
ครั้งที่ 2	0.1560	0.1700	0.1330	0.1810
ครั้งที่ 3	0.1250	0.2140	0.1210	0.2030
เฉลี่ย	<b>0.1433</b>	<b>0.1920</b>	<b>0.1333</b>	<b>0.2013</b>

ตารางภาคผนวก ก-8 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตรของขดลวดเบอร์ 23

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.32	0.34	0.32	0.35
ครั้งที่ 2	0.38	0.35	0.37	0.36
ครั้งที่ 3	0.35	0.35	0.34	0.31
เฉลี่ย	0.35	0.35	0.34	0.34
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1310	0.2200	0.2000	0.3700
ครั้งที่ 2	0.1540	0.2410	0.2410	0.3580
ครั้งที่ 3	0.1170	0.2090	0.2240	0.3810
เฉลี่ย	<b>0.1340</b>	<b>0.2233</b>	<b>0.2217</b>	<b>0.3697</b>

ตารางภาคผนวก ก-9 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.60 เมตรของขดลวดเบอร์ 21

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.31	0.36	0.35	0.32
ครั้งที่ 2	0.35	0.32	0.34	0.33
ครั้งที่ 3	0.35	0.35	0.34	0.37
เฉลี่ย	<b>0.34</b>	<b>0.34</b>	<b>0.34</b>	<b>0.34</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.2220	0.3560	0.2730	0.3500
ครั้งที่ 2	0.1930	0.3000	0.2580	0.4120
ครั้งที่ 3	0.2100	0.3330	0.2870	0.3880
เฉลี่ย	<b>0.2083</b>	<b>0.3297</b>	<b>0.2727</b>	<b>0.3833</b>



ตารางภาคผนวก ก-10 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.80 เมตรของขดลวดเบอร์ 26

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.42	0.41	0.46	0.40
ครั้งที่ 2	0.46	0.42	0.45	0.45
ครั้งที่ 3	0.47	0.48	0.41	0.45
เฉลี่ย	<b>0.45</b>	<b>0.44</b>	<b>0.44</b>	<b>0.43</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1490	0.2305	0.1450	0.2215
ครั้งที่ 2	0.1680	0.2290	0.1580	0.2130
ครั้งที่ 3	0.1850	0.2050	0.1415	0.2640
เฉลี่ย	<b>0.1673</b>	<b>0.2215</b>	<b>0.1482</b>	<b>0.2328</b>

ตารางภาคผนวก ก-11 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.80 เมตรของขดลวดเบอร์ 23

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.41	0.42	0.42	0.42
ครั้งที่ 2	0.46	0.47	0.41	0.45
ครั้งที่ 3	0.45	0.46	0.40	0.40
เฉลี่ย	<b>0.44</b>	<b>0.45</b>	<b>0.41</b>	<b>0.42</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1530	0.2550	0.2630	0.4160
ครั้งที่ 2	0.1440	0.2380	0.2390	0.4135
ครั้งที่ 3	0.1385	0.2645	0.2570	0.4180
เฉลี่ย	<b>0.1452</b>	<b>0.2525</b>	<b>0.2530</b>	<b>0.4158</b>

ตารางภาคผนวก ก-12 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 0.80 เมตรของขดลวดเบอร์ 21

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.41	0.42	0.44	0.47
ครั้งที่ 2	0.46	0.45	0.41	0.48
ครั้งที่ 3	0.47	0.46	0.46	0.45
เฉลี่ย	<b>0.45</b>	<b>0.44</b>	<b>0.44</b>	<b>0.47</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.2395	0.2745	0.3500	0.4515
ครั้งที่ 2	0.2235	0.3610	0.3310	0.4825
ครั้งที่ 3	0.2690	0.2945	0.2580	0.5430
เฉลี่ย	<b>0.2440</b>	<b>0.3100</b>	<b>0.3130</b>	<b>0.4923</b>

ตารางภาคผนวก ก-13 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 1.00 เมตรของขดลวดเบอร์ 26

	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.48	0.53	0.52	0.47
ครั้งที่ 2	0.49	0.51	0.49	0.48
ครั้งที่ 3	0.53	0.48	0.47	0.52
เฉลี่ย	<b>0.50</b>	<b>0.51</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.2050	0.2510	0.1735	0.2535
ครั้งที่ 2	0.1780	0.2660	0.1540	0.2705
ครั้งที่ 3	0.1695	0.3070	0.1340	0.2305
เฉลี่ย	<b>0.1842</b>	<b>0.2747</b>	<b>0.1538</b>	<b>0.2515</b>

ตารางภาคผนวก ก-14 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 1.00 เมตรของขดลวดเบอร์ 23

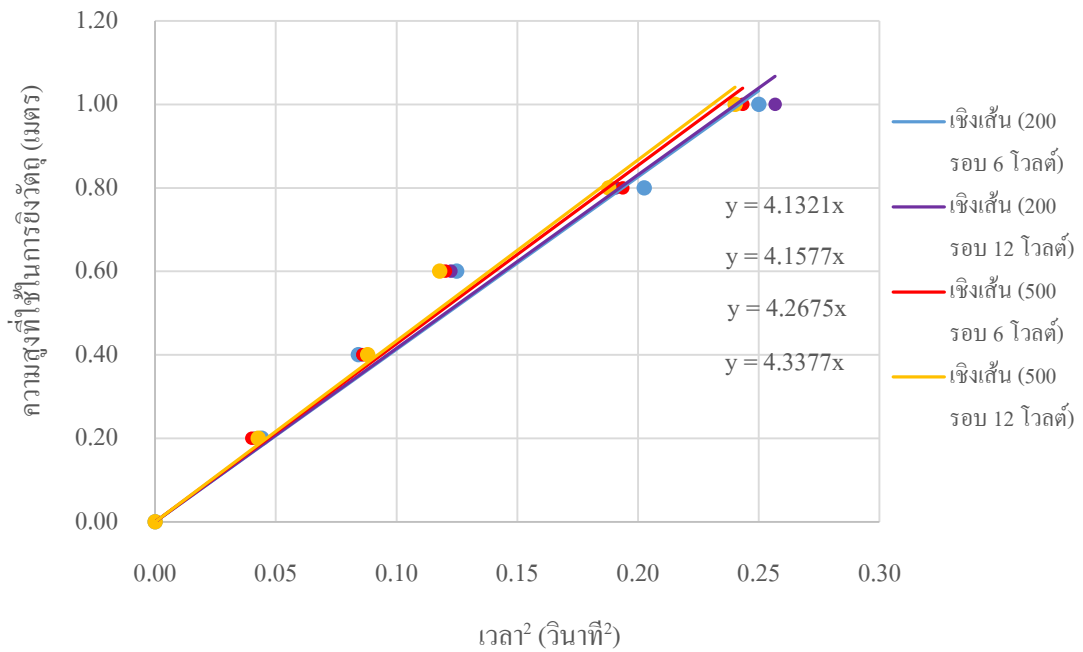
	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.48	0.52	0.45	0.49
ครั้งที่ 2	0.51	0.51	0.49	0.47
ครั้งที่ 3	0.49	0.46	0.48	0.48
เฉลี่ย	<b>0.49</b>	<b>0.50</b>	<b>0.47</b>	<b>0.48</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.1890	0.3095	0.2430	0.5315
ครั้งที่ 2	0.1725	0.3010	0.3025	0.4670
ครั้งที่ 3	0.1330	0.2965	0.3050	0.4125
เฉลี่ย	<b>0.1648</b>	<b>0.3023</b>	<b>0.2835</b>	<b>0.4703</b>

ตารางภาคผนวก ก-15 ข้อมูลการทดสอบชุดทดลองที่ระดับความสูง 1.00 เมตรของขดลวดเบอร์ 21

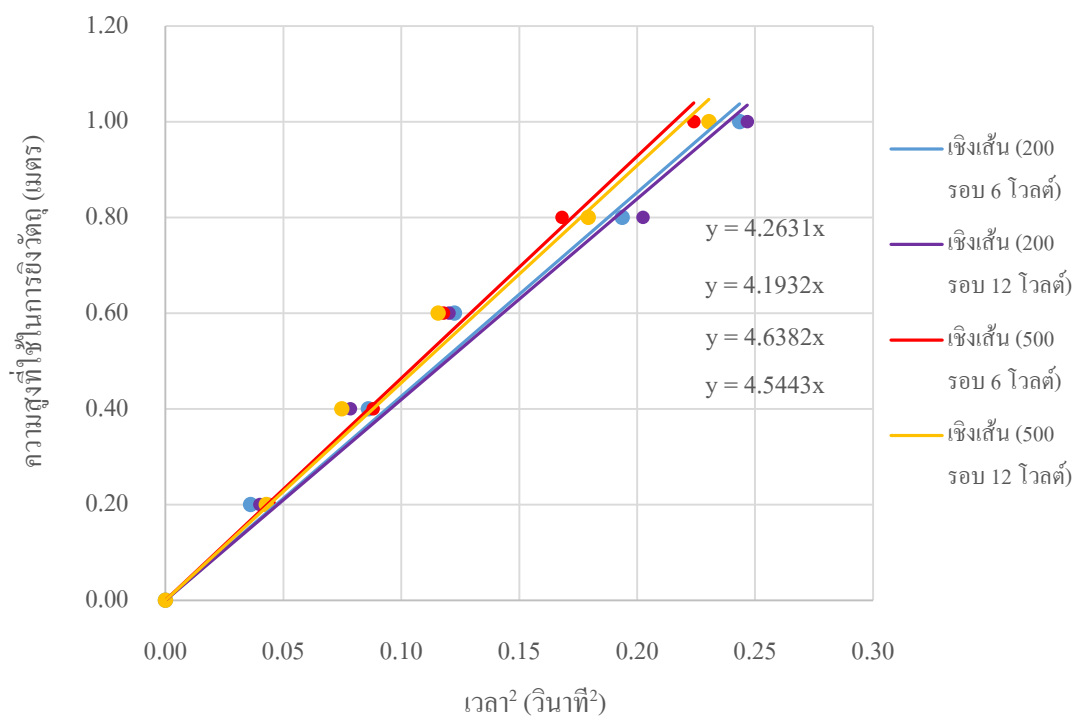
	ระยะเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ (วินาที)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.48	0.50	0.48	0.49
ครั้งที่ 2	0.51	0.47	0.50	0.49
ครั้งที่ 3	0.47	0.46	0.46	0.48
เฉลี่ย	<b>0.49</b>	<b>0.48</b>	<b>0.48</b>	<b>0.49</b>
	ระยะทางในแนวระดับที่วัดได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (m)			
	จำนวน 200 รอบ		จำนวน 500 รอบ	
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์	แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์
ครั้งที่ 1	0.2330	0.3560	0.3610	0.5590
ครั้งที่ 2	0.2925	0.3000	0.3095	0.5700
ครั้งที่ 3	0.3050	0.3330	0.3265	0.5840
เฉลี่ย	<b>0.2768</b>	<b>0.3297</b>	<b>0.3323</b>	<b>0.5710</b>

**ภาคผนวก ข**

การจับเวลาในการเคลื่อนที่ของวัตถุ

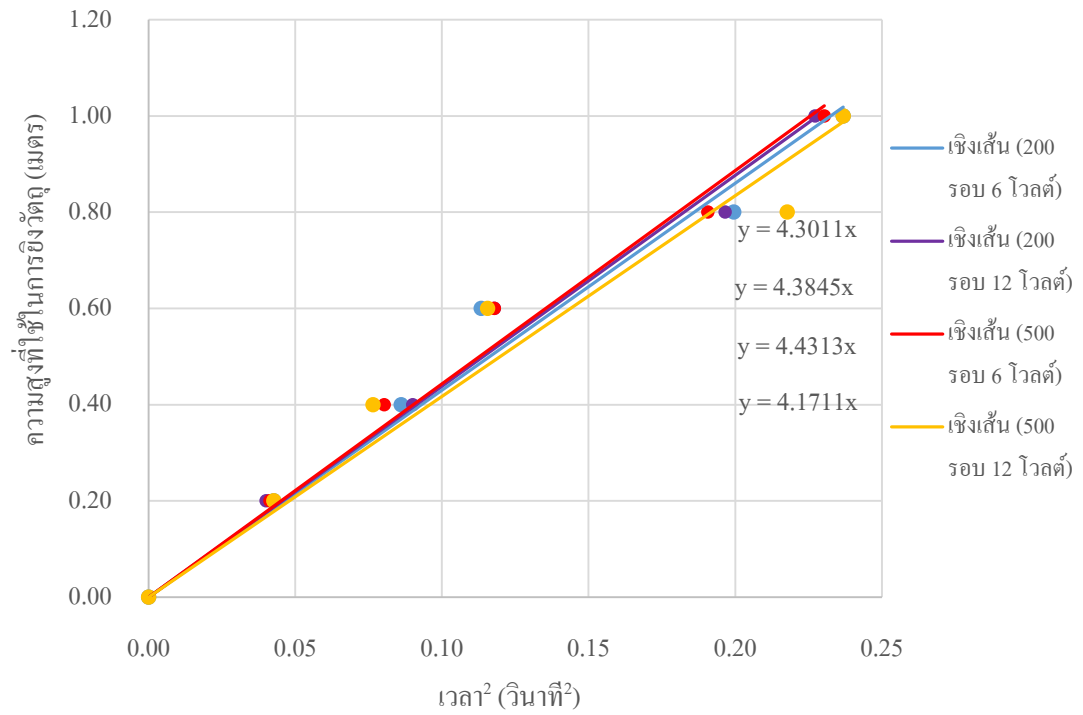


ภาพภาคผนวก ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่ใช้ในการยิงวัตถุกับเวลา<sup>2</sup>ของขดลวดเบอร์ 26



ภาพภาคผนวก ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่ใช้ในการยิงวัตถุกับเวลา<sup>2</sup>ของขดลวดเบอร์ 23





ภาพภาคผนวก ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงที่ใช้ในการยิงวัตถุกับเวลา<sup>2</sup>ของขดลวดเบอร์ 21

ภาคผนวก ค

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ที่ ศธ ๐๕๖๗.๒/๕๒๐๘



คณะครุศาสตร์  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
๑ ถนนอุทองนอก เขตดุสิต  
กรุงเทพมหานคร ๑๐๓๐๐

๑๓ กรกฎาคม ๒๕๖๐

เรื่อง ตอบรับการเข้าร่วมนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการระดับชาติ

เรียน คุณผกา มาศ สุขเมือง และคุณอดิสร บุรณวงศ์

ตามที่ท่านได้ส่งผลงาน เรื่อง “การออกแบบและสร้างชุดการทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง” เพื่อนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติ การศึกษาเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ ประจำปี ๒๕๖๐ ในวันศุกร์ที่ ๒๑ กรกฎาคม ๒๕๖๐ ณ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา นั้น

บัดนี้ คณะกรรมการการจัดประชุมวิชาการระดับชาติ ได้พิจารณาผลงานของท่านเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงขอแจ้งให้ท่านสามารถเข้าร่วมนำเสนอผลงาน ตามวัน เวลา และสถานที่ดังกล่าว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นันทิยา น้อยจันทร์)

คณบดีคณะครุศาสตร์

สำนักงานคณบดีคณะครุศาสตร์

โทรศัพท์ ๐ ๒๑๖๐ ๑๐๖๑-๒ ต่อ ๑๓๓

โทรสาร ๐ ๒๑๖๐ ๑๐๕๗





## การออกแบบและสร้างชุดการทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง

พกา มาศ สุขเมือง<sup>1</sup> และ อติสร บุรณวงศ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

e-mail : pakamas142@gmail.com และ adisornb@buu.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง ที่สามารถแปรค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้จากหลักการของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ โดยในการทดลองจะใช้ขดลวดโซลินอยด์ขนาดต่าง ๆ และให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 6 และ 12 โวลต์ และยิงวัตถุที่ระดับความสูง 0.20, 0.40 และ 0.60 เมตร ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่า ขดลวดโซลินอยด์ขนาดเล็กที่มีจำนวนรอบในการพันน้อยกว่า 150 รอบ และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขดลวดได้รับมีค่าต่ำกว่า 5 โวลต์ จะไม่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงพอที่จะปล่อยวัตถุได้ ซึ่งตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับชุดทดลองนี้ คือ ขดลวดเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ 6 โวลต์ ชุดทดลองนี้สามารถเปลี่ยนค่าความเร็วต้นของวัตถุได้ เมื่อเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ  $u = (9.3737 \times 10^{-2})V$  โดยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากสมการเทียบกับความเร็วเริ่มต้นจากการทดลองจริงด้วยชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.92% ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ทดลองจากชุดทดลองมีค่าเท่ากับ  $9.7304 \text{ m/s}^2$  ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎีเท่ากับ 0.81%

**คำสำคัญ :** ขดลวดโซลินอยด์, ชุดการทดลอง และการเคลื่อนที่วิถีโค้ง





การประชุมวิชาการระดับชาติ  
การศึกษาเพื่อพัฒนาการเรียนรู้อิง ประจำปี 2560

## Design and fabrication experimental set of projectile motion

Pakamas Sukmuang<sup>1</sup> and Adisorn Buranawong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics Faculty of Science Burapha University

e-mail : pakamas142@gmail.com and adisornb@buu.ac.th

### ABSTRACT

This objectives of this research were to design and fabrication experimental set of projectile motion which can be adjust the velocity of the object by using the principle of induced magnetic field. The solenoid coils with various number sizes, applied voltage of 6 and 12 volts and shoot object at 0.20, 0.40 and 0.60 meters from ground were uses in experimental set, respectively. This study was found that the small of solenoid coils with less than 150 rounds and the voltage less than 5 V were not enough strength magnetic field to release object. The solenoid number sizes of 23, 500 round and applied voltage of 6 were optimum parameters to change the initial velocity of the object. The velocity was varied with the applied voltage according to the equation  $u = (9.3737 \times 10^{-2}) V$  was found for this experimental set. The percentage error of Initial velocity from this equation compared to the value obtained from this experiment set was 0.92%. The gravitational acceleration of the experimental set was  $9.7304 \text{ m/s}^2$  which compare to the gravitational accelerator from the theory was 0.81%.

**Keywords :** solenoid coil, experimental set and projectile motion





### บทนำ

โดยทั่วไป การเคลื่อนที่วิถีโค้ง มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อศึกษาปริมาณที่เกี่ยวข้องในการเคลื่อนที่ทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง โดยที่การเคลื่อนที่ในแนวระดับ วัตถุจะมีความเร็วคงที่ ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง วัตถุจะมีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ด้วยกันหลายแบบ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบชุดการทดลองเพื่อหาการกระจัดในแนวตั้งของ Justin M. Sanders and Michael W. Boleman (2013) โดยใช้ชุดทดลองสปริงเป็นตัวปล่อยลูกเหล็กให้เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ด้วยความเร็วคงที่ในมุมต่าง ๆ กับแนวระดับ หลังจากนั้นใช้ photogate เป็นตัวจับเวลาเพื่อหาค่าความเร็วในการปล่อยลูกทรงกลมที่มุมนั้น ๆ และยังพบว่า แรงต้านอากาศในการทดลองนี้นั้นมีค่าน้อยมาก ๆ จึงทำให้สามารถหาค่าการกระจัดในแนวระดับจากการคำนวณได้แม่นยำขึ้นถึง 99.7% โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้ กาญจนา จันทร์ประเสริฐ (2552) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างชุดทดลองหลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยชุดทดลอง 3 ชุด ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน วิธีใช้ชุดทดลองนี้จะปล่อยให้วัตถุเคลื่อนที่จากที่สูงไปตามรางโค้งและพุ่งจากปลายรางโค้งในลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ตกกระทบพื้น พบว่า ชุดทดลองมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยไม่เกิน 2% เมื่อเปรียบเทียบการกระจัดที่ได้จากการทดลองกับการกระจัดที่ได้จากการคำนวณ และ Mark Winstein (2004) ศึกษาการเคลื่อนที่วิถีโค้งเพื่อพิสูจน์ว่าการเคลื่อนที่วิถีโค้งไม่มีความเร่งในแนวระดับและความเร่งในแนวตั้งนั้นเกิดจากความเร่ง

### วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่วิถีโค้ง ที่สามารถแปรค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุได้

โน้มถ่วงของโลก โดยเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ในแนวระดับกับการเคลื่อนที่วิถีโค้งซึ่งปล่อยวัตถุมีความเร็วเท่ากัน

จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยพบว่า ชุดการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้งจะเปลี่ยนความเร็วต้นของวัตถุได้ค่อนข้างยากและซับซ้อนเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ เนื่องจากอุปกรณ์การทดลองในเรื่องนี้มักจะใช้สปริงหรือใช้การปล่อยวัตถุจากรางที่มีรูปร่างต่าง ๆ เพื่อทำให้วัตถุมีความเร็วต้นแตกต่างกัน และยังไม่ค่อยมีผู้สนใจนำหลักการเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์มาใช้ในการเคลื่อนที่วิถีโค้งมากนัก อีกทั้งหลักการเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์ สามารถทำให้ชุดทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งที่เปลี่ยนค่าความเร็วต้นของวัตถุได้หลายค่ามากขึ้น โดยเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้ลดปัญหาและความยุ่งยากในการเปลี่ยนชิ้นส่วนอุปกรณ์ในชุดการทดลอง และสามารถใช้ได้ทั้งการเคลื่อนที่วิถีโค้งแบบพื้นสู่พื้นและอากาศสู่พื้นได้

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาค้นคว้าเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้ง เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลอง และทดสอบชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยนำหลักการเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์ มาใช้ในการทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่วิถีโค้งที่สามารถแปรค่าความเร็วต้นของวัตถุได้ โดยเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้กับขดลวดโซลินอยด์จากหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในห้องเรียนในระดับมัธยมศึกษา ทั้งนี้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำไปคำนวณค่าต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

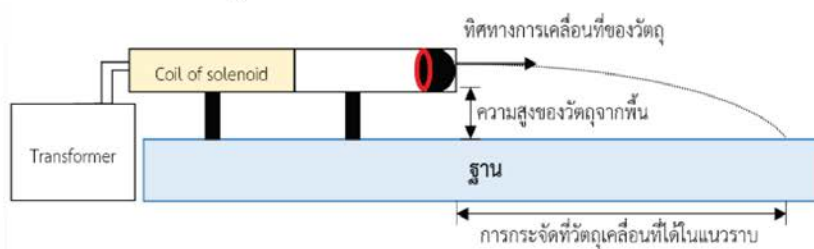
ชุดการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ใช้ในการปล่อยวัตถุ



การประชุมวิชาการระดับชาติ  
การศึกษาเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ ประจำปี 2560

ประกอบด้วย ตัวปล่อยวัตถุ คือ ขดลวดโซลินอยด์ ซึ่งพันไว้รอบ ๆ ท่อพีวีซีด้วยจำนวนรอบ 200 และ 500 รอบ ตามลำดับ แท่งแม่เหล็ก ลูกแก้วทรงกลม หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง โดยปล่อยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 2, 6 และ 12 โวลต์ เข้าสู่ขดลวดโซลินอยด์เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กจนสามารถผลักแท่งแม่เหล็กให้มาชนกับลูกแก้วทรงกลมให้

เคลื่อนที่ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของเซ็นเซอร์อินฟราเรดจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่งจะเริ่มจับเวลาอัตโนมัติเมื่อลูกแก้วทรงกลมเริ่มเคลื่อนที่ออกจากปากท่อพีวีซี และใช้การกดเพื่อหยุดการจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของลูกแก้วทรงกลมเมื่อตกกระทบพื้น โดยประกอบกัน ดังรูป



รูปที่ 1 (ก) ชุดการทดลองที่ออกแบบเมื่อมองจากด้านข้าง

(ข) อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง

การดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 แนวทางการทดลอง ดังรูปที่ 2 คือ การทดลองแรก ทดสอบการหาความเร็วต้นของวัตถุเมื่อเปลี่ยนขนาดของขดลวด จำนวนรอบของขดลวด และความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยยิงวัตถุในแนวระดับที่ความสูงต่าง ๆ วัดระยะทางในแนวระดับของวัตถุและจับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวราบกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ เพื่อหาความเร็วเริ่มต้นของวัตถุใน

แนวระดับซึ่งมีค่าเท่ากับความเร็วของวัตถุในท่อจากความชันของกราฟ (สสวท., 2554)

$$S_x = u_x t \quad (1)$$

โดยที่  $S_x$  คือ การกระจัดที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในแนวราบ  
 $t$  คือ เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่  
 $u_x$  คือ ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุในแนวระดับ

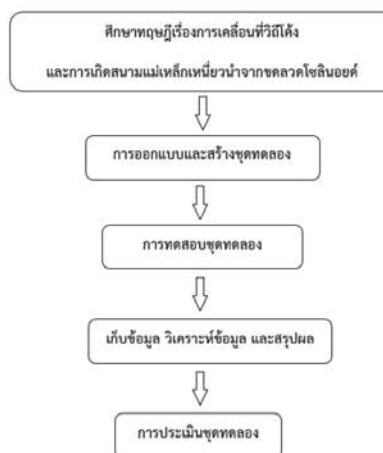




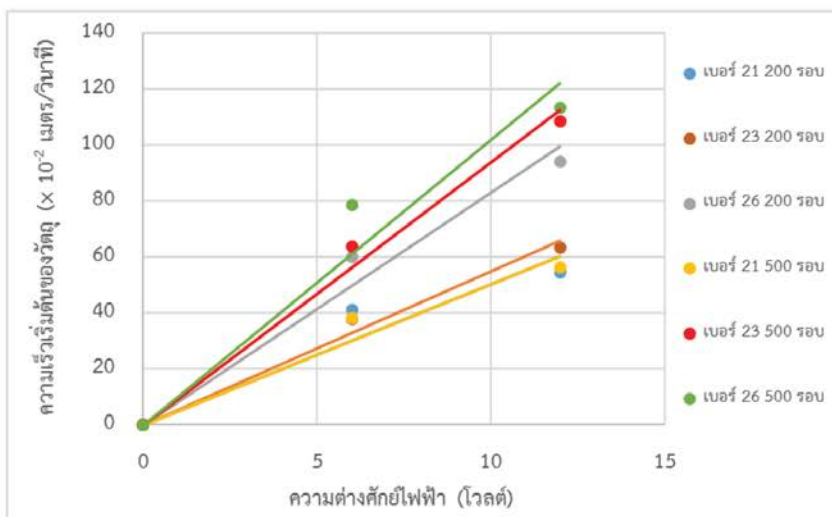
การทดลองตอนที่ 2 นำค่าความเร็วเริ่มต้นที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้าจากหม้อแปลง และลองเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบความเร็วต้นที่ได้จากการทดลองและความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากสมการ และการทดลองตอนที่ 3 ประเมินชุดการทดลองด้วยการหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการจับเวลาด้วยเซ็นเซอร์ โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของวัตถุจากพื้นกับเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่<sup>2</sup> (สสวท., 2554) เพื่อหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกจากความชันของกราฟ

$$S_y = u_y t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (2)$$

โดยที่  $S_y$  คือ ความสูงของวัตถุจากพื้น  
 $t$  คือ เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่  
 $u_y$  คือ ความเร็วเริ่มต้นของวัตถุในแนวตั้ง



รูปที่ 2 แนวทางดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากขดลวดทองแดงขนาดต่าง ๆ จำนวน 200 และ 500 اهم



#### ผลการวิจัย

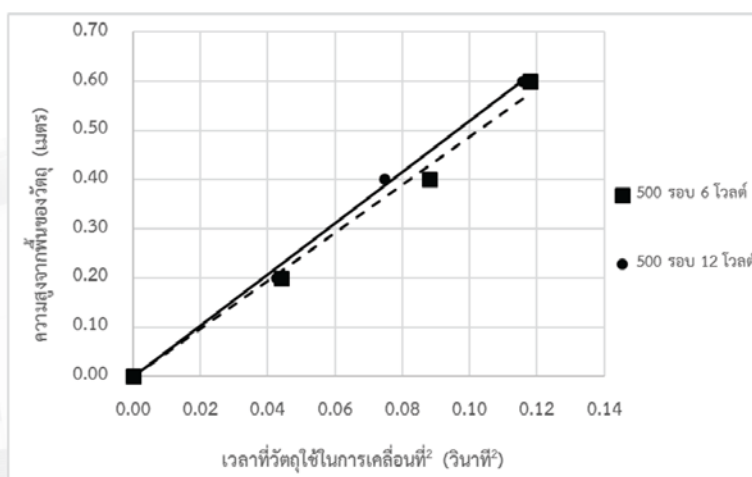
จากผลการทดลองเพื่อหาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่เกิดจากสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำของขดลวดโซลินอยด์ที่เหมาะสมในการนำมาสร้างชุดการทดลอง พบว่า ขดลวดโซลินอยด์ที่มีขนาดเล็กจำนวนรอบในการพันน้อย และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขดลวดได้รับที่มีค่าต่ำกว่า 5 โวลต์ จะไม่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงพอที่สามารถปล่อยวัตถุได้ และความต่างศักย์ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเร็วต้นของวัตถุในรูปแบบของสมการเส้นตรง ดังรูปที่ 3 จากการศึกษาค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์ทั้งสามขนาด พบว่า ขดลวดทองแดงที่มีความเหมาะสมสำหรับชุดการทดลองนี้ คือ ขดลวดทองแดงเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ เนื่องจากมีค่า  $R^2 = 0.9882$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากที่สุด โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้า คือ

$$u = (9.3737 \times 10^{-2})V \quad (3)$$

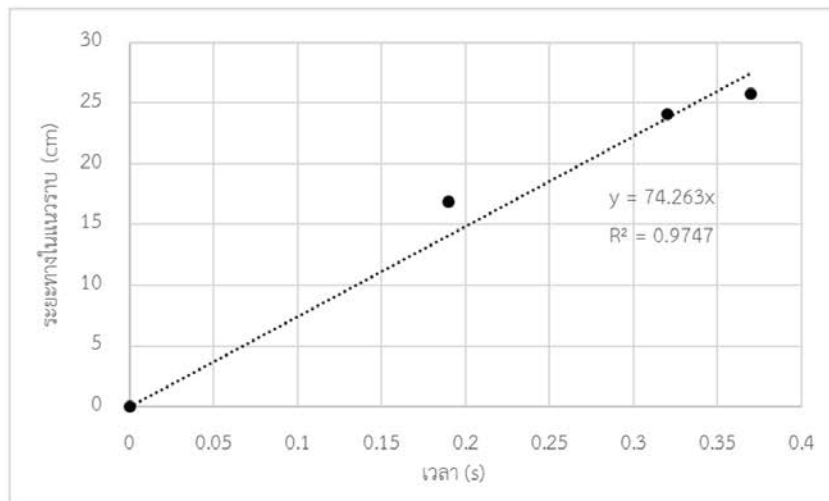
จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับความต่างศักย์ไฟฟ้า จึงได้ทำการหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่ได้จากการทดลองของ

ขดลวดทองแดงเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ เพื่อเลือกขดลวดที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4 พบว่า ค่าความเร่งโน้มถ่วงของวัตถุที่เคลื่อนที่ออกจากอออกท่อจากที่พันโดยขดลวดเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 และ 12 โวลต์ มีค่าเท่ากับ 9.7304 และ 10.3794  $m/s^2$  มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.81% และ 5.80% ดังนั้น จึงเลือกความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 6 โวลต์ เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับชุดการทดลอง

และจากงานวิจัยของกาญจนา จันทร์ประเสริฐ (2552) ซึ่งหาค่าความคลาดเคลื่อนจากระยะทางในแนวระดับ จึงได้ทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วเริ่มต้นจากสมการโดยเปรียบเทียบจากค่าความเร็วเริ่มต้นที่ได้จากการทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 8 โวลต์ จะได้กราฟดังรูปที่ 5 พบว่า ค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ได้จากการทดลอง คือ  $74.263 \times 10^{-2} m/s$  และความเร็วต้นที่ได้จากสมการที่ (3) คือ  $74.9498 \times 10^{-2} m/s$  ซึ่งค่าที่ได้จากสมการที่ (3) มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากความเร็วต้นที่ได้จากการทดลองด้วยชุดทดลองจริง 0.92%



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของวัตถุที่ออกท่อจากที่พันโดยขดลวดเบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 และ 12 โวลต์ กับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่<sup>2</sup>



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางในแนวราบกับเวลา

#### สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษา พบว่า เมื่อให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า 5 โวลต์ ขดลวดขนาดเล็ก และจำนวนรอบของขดลวดโซลินอยด์น้อยกว่า 150 รอบ วัตถุจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้น และเกิดความร้อนในขดลวดสูงระหว่างการทดลอง

นอกจากนี้พบว่า ค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ขนาดของขดลวด และจำนวนรอบของขดลวดเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้า สามารถทำได้สะดวกกว่าเปลี่ยนการขึ้นส่วนในขณะทำการทดลอง จึงเลือกศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเริ่มต้นของวัตถุกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า พบว่า ขดลวดโซลินอยด์ที่เหมาะสมสำหรับชุดการทดลองนี้ คือ ขดลวดโซลินอยด์เบอร์ 23 จำนวน 500 รอบ 6 โวลต์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความเร็วต้นของวัตถุได้ เมื่อเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าตามสมการ  $u = (9.3737 \times 10^{-2})V$  ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร็วต้นเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 0.92%

#### ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบัน มีการสร้างชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งที่ง่ายและได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น เพราะสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ภาคปฏิบัติในรายวิชาฟิสิกส์ของมัธยมศึกษาตอนปลายได้ การออกแบบและสร้างชุดการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่วิถีโค้ง โดยใช้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำจากขดลวดโซลินอยด์ จึงมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. สามารถนำไปใช้ในห้องเรียนได้โดยไม่เกิดอันตรายแก่ผู้เรียน
2. สามารถเปลี่ยนความเร็วต้นของวัตถุเป็นค่าต่าง ๆ ได้โดยเปลี่ยนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า

#### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาระดับปริญญาโท และทุนวิจัยตลอดหลักสูตร



การประชุมวิชาการระดับชาติ  
การศึกษาเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ ประจำปี 2560

#### เอกสารอ้างอิง

กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2552). “การสร้างชุดทดลองหลักการอนุรักษ์พลังงานกลและการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์”. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 1835 - 1842.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2554). “หนังสือเรียน รายวิชา ฟิสิกส์ เพิ่มเติม เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ฉบับพุทธศักราช 2551”. กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

Sanders J. M., & Boleman M. W. (2013).

“Corrected Launch Speed for a Projectile Motion Laboratory”. The Physics Teacher, 51, 359.

Schoch F., & Winiger W. (1989). “Free-fall Measurement with a Solenoid as Starting Device”. The Physics Teacher, 27, 493.

Winstein M. (2004). “Rolling Balls for Projectile Motion [Phys. Teach. 15, 500 (Nov. 1977)]”. The Physics Teacher, 42, 378.



