Received: September 19, 2024 Revised: November 25, 2024
Accepted: November 27, 2024 Published: December 25, 2024

การสร้างชุดอุปกรณ์ทดลองสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นทรายและพื้นหินเกล็ดจากทรงกลมตันและทรงกลมกลวง

Creation of experimental equipment finding the coefficient of friction in sand floor and flake stone floor from the solid sphere and hollow sphere

กฤตภัค นริศราวุธ[1] กมลลักษณ์ สุวรรณพจน์[1] ศวิตา นาคนายม[1] ฐิติวัลคุ์ สีหไตร[1] และ อาทิตย์ หู้เต็ม[2*]
Krittapak Narissarawut[1] Kamonlak Suwannapoch[1] Sawita Naknayom[1] Thitiwan Seehatrai[1] and Artit Hutem[2*]

[1] โรงเรียนวิทยานุกูลนารี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000 ไทย
[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 67000 ไทย
[1]Wittayanukulnaree School,208 Ni-Muang Sub District, Muang District, Phetchabun, 67000 Thailand
[2]Science Education Division, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University, 67000 Thailand
* artithutem@pcru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นทรายและ พื้นหินเกล็ด โดยทดลองปล่อยวัตถุทรงกลมตันและทรงกลมกลวง ที่ระยะปล่อย 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จากพื้นเอียงที่เอียงทำมุม 30 องศากับแนวระดับให้เคลื่อนที่ลงบนพื้นทรายละเอียด พื้นทรายหยาบ และพื้นหินเกล็ด โดยแบ่งการทดลองสองแบบคือพื้นแห้งและพื้นเปียก แล้วนำระยะหยุดของวัตถุที่ได้ ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในแนวระดับด้วยโปรแกรม Mathematica เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะปล่อยวัตถุ ระยะหยุดของวัตถุ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สอดคล้องกับทฤษฎีงานและพลังงาน ผลการทดลองพบว่า วัตถุทรงกลมตันมวลหนัก 2.07x10-2 กิโลกรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.53 เซนติเมตร ระยะหยุดของวัตถุ มีค่าแปรผันโดยตรงกับระยะปล่อยวัตถุแต่แปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

คำสำคัญ: ระยะหยุดของวัตถุ, ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, ชุดการทดลอง

Abstract

The objective of this research is to create an experimental setup to determine the coefficient of friction for sandy and gravel surfaces. The experiment involves releasing solid spheres of both light and heavy masses from distances of 0.2, 0.3, and 0.4 meters on an inclined plane set at a 30-degree angle. The spheres then move across fine sand, coarse sand, and gravel surfaces. The experiment is conducted in two conditions: dry and wet surfaces. The inclined plane of the spheres is used to calculate the coefficient of friction using Mathematica, in order to explain the relationship between the release distance, stopping distance, and the coefficient of friction in accordance with the work-energy theory. The experimental results show that the stopping distance of a solid sphere with a mass of 2.07x10-2 kg and a diameter of 2.53 cm varies directly with the release distance but inversely with the coefficient of friction.

Keywords: inclined plane, Coefficient of friction, experimental design

บทนำ

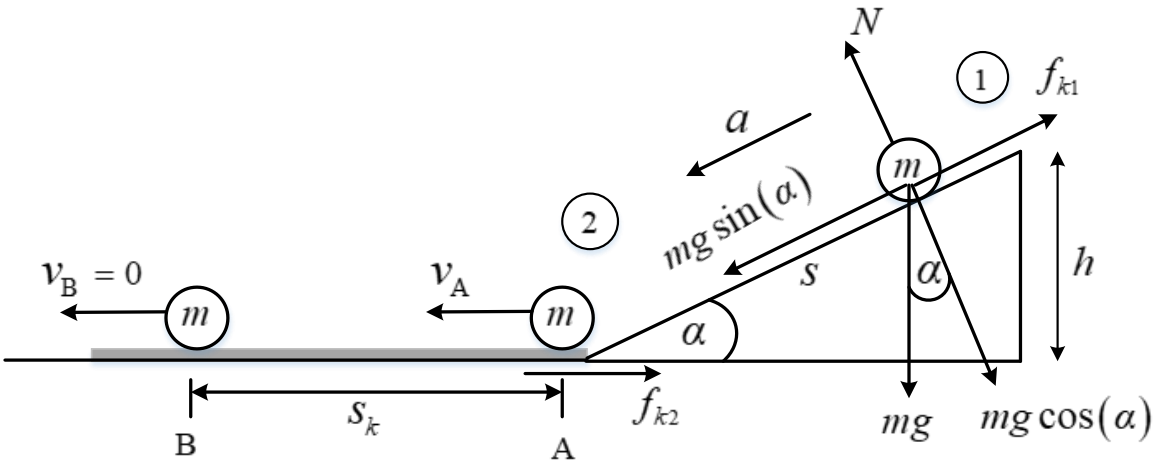
ปัจจุบันการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในสถานศึกษา เช่น โรงเรียน, วิทยาลัยเทคนิค, มหาวิทยาลัย เป็นต้น เพราะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการประกอบอาชีพต่าง ๆ ตลอดจนเครื่องมือเครื่องใช้ที่มนุษย์ใช้ ล้วนเป็นผลของความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเรียนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีหลายสาขา เช่น ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คอมพิวเตอร์ ซึ่งในแต่ละสาขาวิชาช่วยให้เกิดการพัฒนากระบวนการสร้างความคิดอย่างเป็นระบบ คิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ ซึ่งในโรงเรียนวิทยานุกูลนารี จังวัดเพชรบูรณ์มีการจัดการเรียนการสอนรายวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งทางโรงเรียนวิทยานุกูลนารีมีการทดลองทางด้านฟิสิกส์ เรื่องการเคลื่อนที่แนวเส้นตรง, การเคลื่อนที่แบบโพรเจคไทล์ เป็นต้น ณัฏฐิกา สมัยมงคล (2557) ออกแบบพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงสำหรับศึกษากฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน แรงในแนวตั้งฉาก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และความเร่งของวัตถุบนพื้นเอียงโดยชั่งน้ำหนักของวัตถุบนพื้นเอียงที่ทำจากไม้ อะคริลิค หรือแก้ว พบว่าชนิดของวัสดุมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ต่อมา โรสลีนา จาราแว และคณะ (2560) สร้างชุดทดลองสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นผิว ได้แก่ พื้นผิวอะคริลิค พื้นผิวไม้อัดละเอียด และพื้นผิวไม้หยาบ และใช้มวลในการทดสอบ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นราบจากพื้นผิวไม้หยาบ พื้นผิวอะคริลิค และพื้นผิวไม้ละเอียด มีค่าเท่ากับ 0.57 0.30 และ 0.26 ตามลำดับ ต่อมา K.W.Li et al.(2007) วัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้น 3 ชนิด ในวิทยาลัย คือ terrazzo ceramic และ quarry ภายใต้สภาวะพื้นเปียก พื้นแห้ง และสภาวะที่ปกคลุมด้วยทราย พบว่าแรงเสียดทานลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อพื้นปกคลุมด้วยทราย แสดงให้เห็นว่า อนุภาคทรายมีผลต่อแรงเสียดทาน แต่มีหัวข้อเกี่ยวกับทฤษฎีงานและพลังงาน ไม่มีการทดลอง เกี่ยวกับงานเนื่องจากแรงเสียดทาน และพลังงาน ดังนั้นผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการสร้างชุดการทดลองเพื่อหาค่าระยะหยุดของทรงกลมตันและทรงกลมกลวง และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นผิวต่างๆ เพื่อใช้ประกอบการเรียนรู้เรื่อง กฎของนิวตัน แรงเสียดทาน กฎการอนุรักษ์พลังงาน และทฤษฎีงานและพลังงานเป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สร้างชุดการทดลองเพื่อหาค่าระยะหยุดของทรงกลมตันและทรงกลมกลวง และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นผิวพื้นทรายและพื้นหินเกล็ด

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างชุดการทดลองเกี่ยวกับการวัดระยะหยุดของวัตถุทรงกลมตันมวลมาก และวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบาโดยการออกแบบพื้นเอียงเป็นไม้ทรงตันเอียงทำมุม 30 องศากับแนวระดับซึ่งมีรางไม้ติดกับพื้นเอียงยาวขนาด (20.0x50.0x2.50) เซนติเมตร มีการเชื่อมต่อกับรางไม้เป็นราบยาว 1.00 เมตร เราทำการทดลองปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลมากวัดระยะหยุด S_k นำค่าไปคำนวณต่อโดยใช้หลักการทฤษฎีงานและพลังงานโดยพิจารณาระบบทั้งหมด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงทิศทางการแตกแรงที่เกิดขึ้นกับวัตถุทรงกลมเคลื่อนที่บนพื้นเอียง และบริเวณพื้นทราย

จากรูปที่ 1 ในงานวิจัยนี้พิจารณาวัตถุทรงกลมตันมีมวล m เคลื่อนที่จากพื้นเอียงบริเวณตำแหน่งที่ 1 ด้วยความสูง h เกิดพลังงานศักย์โน้มถ่วงวัตถุทรงกลมตันมวล m เคลื่อนที่ด้วยการหมุนและการเลื่อนที่ เกิดความเร็วของการเคลื่อนที่ทำให้วัตถุทรงกลมตันมีพลังงานจลน์ 2 ชนิด (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2559) ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมตันมวล m โดยใช้ทฤษฎีงานและพลังงาน $\sum W = \sum E_2 - \sum E_1$ (Serway, R. A. & Jewett, Jr., J. W.,2014) ดังนี้

$$-f_{k1}\,s = \left(\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2\right) - mgh \qquad (1)$$

จากรูปที่ 1 พิจารณาวัตถุทรงกลมตันเคลื่อนที่บนพื้นเอียงทำมุม α จะได้ $h = s\sin(\alpha)$ และวัตถุทรงกลมตันมีโมเมนต์ความเฉื่อย $I = (2/5)mR^2$ และความเร็วเชิงมุม $\omega = v/R$ บนพื้นเอียงมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน $f_{k1} = \mu_{k1}mg\cos(\alpha)$ ดังนั้น สมการที่ (1) สามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$-\mu_{k1}mg\cos(\alpha)\,s = \left(\frac{1}{2}\left(\frac{5}{5}\right)mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{5}mR^2\right)\frac{v^2}{R^2}\right) - mg\,s\sin(\alpha) \qquad (2)$$

$$mg\,s\sin(\alpha) - \mu_{k1}\,mg\cos(\alpha)\,s = \left(\frac{5mv^2 + 2mv^2}{10}\right)$$

$$v^2 = \frac{10}{7}g\,s\left(\sin(\alpha) - \mu_{k1}\cos(\alpha)\right) \qquad (3)$$

$$v = \sqrt{\frac{10}{7}g\,s\left(\sin(\alpha) - \mu_{k1}\cos(\alpha)\right)} \qquad (4)$$

สมการที่ (4) เป็นความเร็วปลายของวัตถุทรงกลมตันเคลื่อนที่มาถึงปลายพื้นเอียง ซึ่งจะเป็นความเร็วเริ่มต้นตอนที่วัตถุทรงกลมตันเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นทราย ณ ตำแหน่ง A เคลื่อนที่ต่อด้วยพลังงานจลน์ ดังนั้นเราใช้ทฤษฎีงานและพลังงาน $\sum W_f = \sum E_B - \sum E_A$ ณ ตำแหน่ง B มีความเร็วเป็นศูนย์ ดังนี้

$$-f_{k2}\,S_k = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = 0 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

$$-\mu_{k2}\,mg\,S_k = -\frac{1}{2}m\left(\frac{10}{7}g\,s\left(\sin(\alpha) - \mu_{k1}\cos(\alpha)\right)\right) \qquad (5)$$

$$\mu_{k2} = \frac{5}{7}\left(\frac{s}{S_k}\right)\left(\sin(\alpha) - \mu_{k1}\cos(\alpha)\right) \quad (6)$$

สมการที่ (6) เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระว่างระยะทางบนพื้นเอียง s กับระยะหยุดของวัตถุทรงกลมตันที่เคลื่อนที่บนพื้นทราย และค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบนพื้นทราย μ_{k2} ในการทดลองนี้เรากำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบนพื้นเอียง μ_{k1} มีค่าเป็นศูนย์จะทำให้สมการที่ (6) ลดรูปดังนี้

$$\mu_{k2} = \frac{5}{7}\left(\frac{s}{S_k}\right)\sin(\alpha) \quad (7)$$

จากรูปที่ 1 ในงานวิจัยนี้พิจารณาวัตถุทรงกลมกลวงมีมวล m เคลื่อนที่จากพื้นเอียงบริเวณตำแหน่งที่ 1 ด้วยความสูง h เกิดพลังงานศักย์โน้มถ่วงวัตถุทรงกลมกลวงมวล m เคลื่อนที่ด้วยการหมุนและการเลื่อนที่ เกิดความเร็วของการเคลื่อนที่ทำให้วัตถุทรงกลมกลวงมีพลังงานจลน์ 2 ชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุทรงกลมกลวงมวล m ซึ่งมีโมเมนต์ความเฉื่อย $I = (2/3)\,mR^2$ โดยใช้ทฤษฎีงานและพลังงาน $\sum W = \sum E_2 - \sum E_1$ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2559) ใช้หลักการคำนวณเหมือนวัตถุทรงกลมตัน จะได้สมการค่าสัมประสิทธิ์สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบนพื้นทราย μ_{k2} ดังนี้

$$\mu_{k2} = \frac{3}{5}\left(\frac{s}{S_k}\right)\left(\sin(\alpha) - \mu_{k1}\cos(\alpha)\right) \quad (8)$$

ในการทดลองนี้เรากำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานบนพื้นเอียง μ_{k1} มีค่าเป็นศูนย์จะทำให้สมการที่ (8) ลดรูปดังนี้

$$\mu_{k2} = \frac{3}{5}\left(\frac{s}{S_k}\right)\sin(\alpha) \quad (9)$$

การสร้างอุปกรณ์ชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานของพื้นทรายและพื้นเกล็ด

วัสดุอุปกรณ์

1. รางไม้ 2 ขนาด ดังนี้		
1.1 รางไม้ที่ 1 (ขนาด 20.0x100.0x2.50 เซนติเมตร)	1	ราง
1.2 รางไม้ที่ 2 (ขนาด 20.0x50.0x2.50 เซนติเมตร)	1	ราง
2 ทรายสำหรับปูพื้น 2 ประเภท ดังนี้		
2.1 ทรายละเอียด (ขนาดอนุภาค 0.500 - 1.500 มิลลิเมตร)	1	ลิตร
2.2 ทรายหยาบ (ขนาดอนุภาค 3.000 - 4.700 มิลลิเมตร)	1	ลิตร
3 หินเกล็ด (ขนาดอนุภาค 8.000 – 9.000 มิลลิเมตร)	1	ลิตร
4 วัตถุที่ใช้ปล่อย		
4.1 วัตถุทรงกลมตันมวลเบา	1	ลูก
4.2 วัตถุทรงกลมตันมวลหนัก	1	ลูก
5 ขวดฉีดละอองน้ำ	1	อัน
6 ไม้ครึ่งวงกลม	1	อัน
7 แผ่นใส (ขนาด 20x40 เซนติเมตร)	1	แผ่น

8 เครื่องชั่งดิจิตอล	1	เครื่อง
9 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (ความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร)	1	อัน

นำอุปกรณ์ข้อที่ 1-3 มาประกอบกันเป็นชุดการทดลองหาค่าระยะหยุดของวัตถุทรงกลมตัน และวัตถุทรงกลมกลวง และหาค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานของพื้นทรายละเอียด และพื้นทรายยาบและพื้นเกล็ด



รูปที่ 2 แสดงชุดการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นทรายและพื้นหินเกล็ด

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำรางไม้ทั้ง 2 ขนาดมาต่อกัน โดยรางไม้ที่ 2 เอียงทำมุม 30 องศากับแนวระดับ รางไม้ที่ 1 ใช้บรรจุทรายและหิน (K.W.Li et al., 2007) ดังรูปที่ 2 โดยพื้นทรายและพื้นหินแต่ละชนิดจะมีการแบ่งลักษณะพื้นเป็น 2 แบบ ได้แก่ พื้นแห้งและพื้นเปียก

2. นำทรายละเอียดที่มีขนาด 0.500 – 1.500 มิลลิเมตร จำนวน 1 ลิตร เทลงบนรางไม้ในแนวราบเกลี่ยให้เรียบเสมอกัน

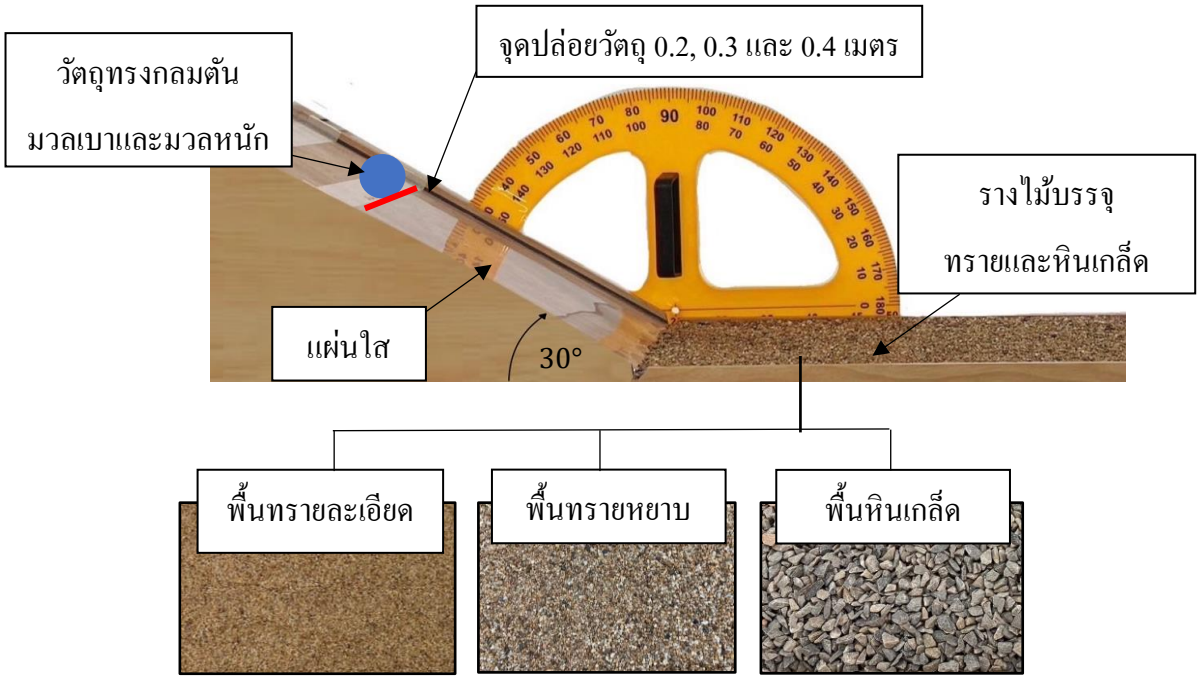
3. จากนั้นนำวัตถุทรงกลมตันมวลเบา ไปวางที่จุดปล่อยบนรางไม้ที่ทำมุม 30 องศากับแนวราบ ระยะ 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร ในการปล่อยแต่ละระยะจะมีการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ใช้ไม้เมตรในการหาค่าระยะหยุดของวัตถุทรงกลมตันมวลเบา พร้อมบันทึกลงในตารางผลการทดลอง แล้วนำค่าระยะหยุดเฉลี่ยที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน กำหนดลักษณะพื้นของการทดลองนี้ คือ พื้นแห้ง

4. ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 2 - 3 โดยเปลี่ยนเป็นทรายหยาบขนาด 3.000 - 4.700 มิลลิเมตร และหินเกล็ด ขนาด 8.00 – 9.00 มิลลิเมตร (โรสลีนา จาราแว, และคณะ., 2560)

5. กำหนดลักษณะพื้นการทดลอง คือ พื้นเปียก โดยใช้ขวดฉีดละอองน้ำฉีดละอองน้ำลงบนทรายและหินแต่ละชนิดที่นำมาทดลอง จำนวน 40 ปั๊ม และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 2 - 4

6. ใช้วัตถุทรงกลมตันมวลหนักในการปล่อย และทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 2-5

ในโครงงานนี้ ผู้ศึกษากำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นเอียง μ_{k1} เป็น ศูนย์ โดยติดแผ่นใสที่พื้นเอียง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองเพื่อหาระยะหยุดของวัตถุทรงกลมกลวง และทรงกลมตัน

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ

ตัวแปรต้น		ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
พื้นทรายและพื้นหินเกล็ด	มวลของวัตถุที่ใช้ปล่อย	ระยะปล่อยวัตถุ (เมตร)	
แห้ง	มวลหนัก	S = 0.2 S = 0.3 S = 0.4	S_k =ระยะหยุดของวัตถุ (เมตร) μ_{k2} = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นราบ
เปียก	มวลเบา		
แห้ง	มวลหนัก	S = 0.2 S = 0.3 S = 0.4	S_k =ระยะหยุดของวัตถุ (เมตร) μ_{k2} = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นราบ
เปียก	มวลเบา		

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

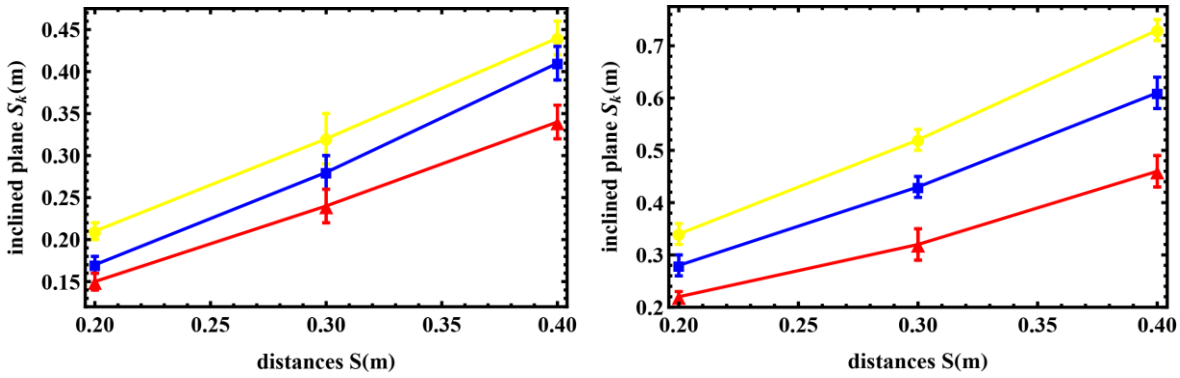
ผลการทดลองวัตถุทรงกลมตันมวลหนักเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.53 เซนติเมตร มวล 2.07 x10^{-2} กิโลกรัม แสดงผลการทดลอง เมื่อปล่อยวัตถุทรงกลมตัน ที่ระยะปล่อย 0.2 เมตร 0.3 เมตร และ 0.4 เมตร ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดลองโดยใช้วัตถุทรงกลมตันมวลหนัก

พื้น	ระยะปล่อยของวัตถุ s (เมตร)	ระยะหยุดของวัตถุ S_k (เมตร)			ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ_{k2}		
		ทรายละเอียด	ทรายหยาบ	หินเกล็ด	ทรายละเอียด	ทรายหยาบ	หินเกล็ด
แห้ง	0.2	0.21±0.01	0.17±0.01	0.15±0.01	0.341	0.420	0.476
	0.3	0.32±0.03	0.28±0.02	0.24±0.02	0.335	0.383	0.446
	0.4	0.44±0.02	0.41±0.02	0.34±0.02	0.326	0.348	0.420
เปียก	0.2	0.34±0.02	0.28±0.02	0.22±0.01	0.210	0.255	0.325
	0.3	0.52±0.02	0.43±0.02	0.32±0.03	0.206	0.249	0.334
	0.4	0.73±0.02	0.61±0.03	0.46±0.03	0.195	0.234	0.311

วัตถุทรงกลมตันมวลหนัก 2.07x10^{-2} กิโลกรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.53 เซนติเมตร ระยะหยุดของวัตถุ S_k มีค่าแปรผันโดยตรงกับระยะปล่อยวัตถุ s พิจารณาพื้นทรายและหินเกล็ด แบบแห้ง ถ้าระยะปล่อยวัตถุ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายละเอียดเป็น 0.21±0.01, 0.32±0.03 และ 0.44±0.02 เมตร ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลดลงจาก 0.341, 0.335 และ 0.326 ตามลำดับ ต่อมาพื้นทรายหยาบ ถ้าระยะปล่อยวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายหยาบเป็น 0.17±0.01 0.28±0.02 และ 0.41±0.02 เมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าลดลงจาก 0.420 0.383 และ 0.348 ตามลำดับ ถ้าระยะปล่อยของวัตถุ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นหินเกล็ดเป็น 0.15±0.01 0.24±0.02 และ 0.34±0.02 เมตร ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.476 0.446 และ 0.420 ตามลำดับ ต่อมาพิจารณาพื้นทรายและหินเกล็ด ต่อมาแบบเปียก ถ้าระยะปล่อยของวัตถุ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายละเอียดเป็น 0.34±0.02 0.52±0.02 และ0.73±0.02 เมตร ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็น 0.210 0.206 และ 0.195 ตามลำดับ ส่วนกรณีพื้นทรายหยาบ ถ้าระยะปล่อย วัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายหยาบเป็น 0.28±0.02 0.43±0.02 และ0.61±0.03 เมตร ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่า 0.255 0.249 และ0.234 ตามลำดับ ถ้าระยะปล่อยวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นหินเกล็ดเป็น 0.22±0.01, 0.32±0.03 และ 0.46±0.03 เมตร ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน 0.325 0.334 และ 0.311 ตามลำดับ

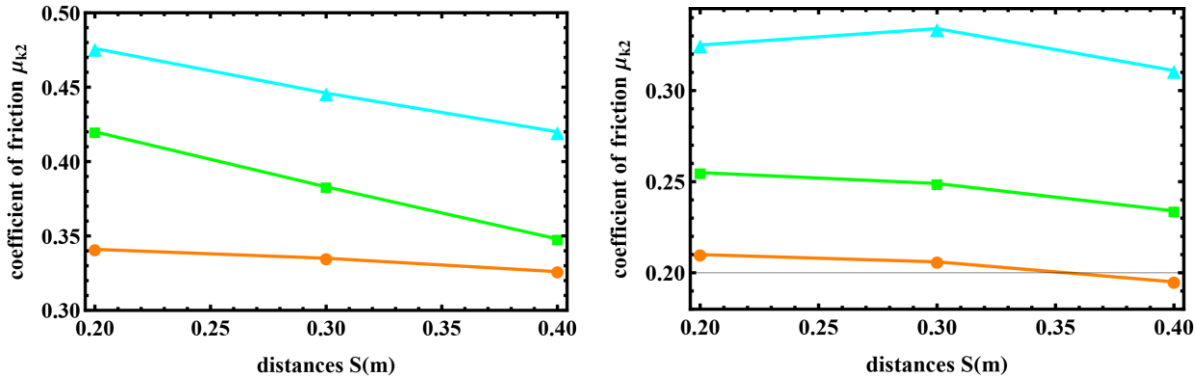
จากตารางที่ 2 สามารถทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายแห้ง ดังรูปที่ 4(a) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายเปียกดังรูปที่ 4(b)



(a) (b)

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทราย (a) กราฟระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายแห้ง (b) กราฟระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายเปียก

จากรูปที่ 4 เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายละเอียดแบบแห้งรูปที่ 4(a) และพื้นทรายละเอียดแบบเปียกรูปที่ 4(b) เส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายหยาบแบบแห้งรูปที่ 4(a) และพื้นทรายหยาบแบบเปียกรูปที่ 4(b) และเส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นหินเกล็ดแบบแห้งรูปที่ 4(a) และพื้นทรายหินเกล็ดแบบเปียกรูปที่ 4(b)



(a) (b)

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทราย (a) กราฟระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายแห้ง (b) กราฟระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายเปียก

จากรูปที่ 5 เส้นกราฟสีน้ำตาลเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายละเอียดแบบแห้งรูปที่ 5(a) และพื้นทรายละเอียดแบบเปียกรูปที่

5(b) เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายหยาบแบบแห้งรูปที่ 5(a) และพื้นทรายหยาบแบบเปียกรูปที่ 5(b) และเส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมตันมวลหนักกับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นหินเกล็ดแบบแห้งรูปที่ 5(a) และพื้นทรายหินเกล็ดแบบเปียกรูปที่ 5(b)

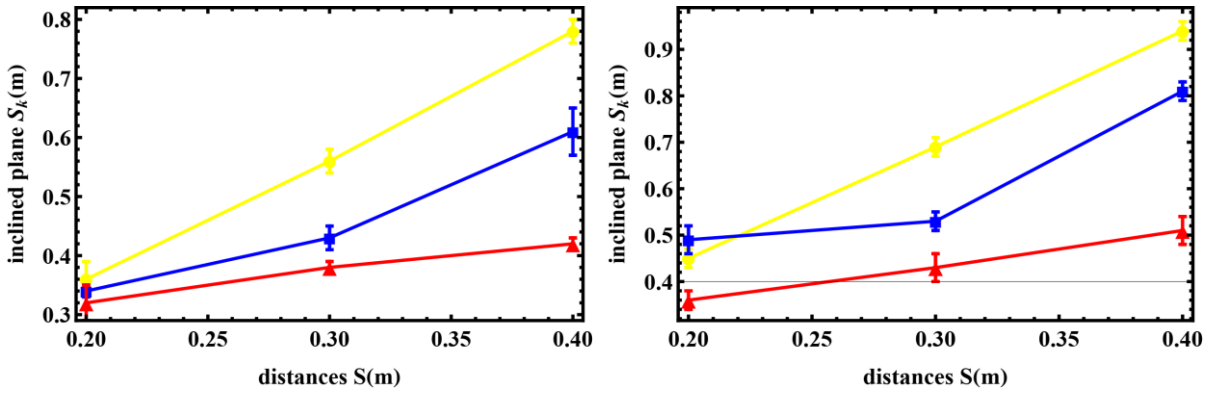
ผลการทดลองวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบาเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.98 เซนติเมตร มวล 6.75 x10^{-3} กิโลกรัม เมื่อปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบาที่ระยะปล่อย 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร ตามลำดับ พื้นการทดลองแบบแห้งและเปียก ดังนี้

ตารางที่ 3 สรุปผลการทดลองโดยใช้วัตถุทรงกลมกลวงมวลเบา

พื้น	ระยะปล่อยของวัตถุ s (เมตร)	ระยะหยุดของวัตถุ S_k (เมตร)			ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน μ_{k2}		
		ทรายละเอียด	ทรายหยาบ	หินเกล็ด	ทรายละเอียด	ทรายหยาบ	หินเกล็ด
แห้ง	0.2	0.36±0.03	0.34±0.01	0.32±0.03	0.167	0.176	0.188
	0.3	0.56±0.02	0.43±0.02	0.38±0.01	0.161	0.209	0.237
	0.4	0.78±0.02	0.61±0.04	0.42±0.01	0.154	0.197	0.286
เปียก	0.2	0.45±0.02	0.49±0.03	0.36±0.02	0.133	0.122	0.167
	0.3	0.69±0.02	0.53±0.02	0.43±0.03	0.130	0.169	0.209
	0.4	0.94±0.02	0.81±0.02	0.51±0.03	0.128	0.148	0.235

วัตถุทรงกลมกลวงมวลเบา 6.75x10^{-3} กิโลกรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.98 เซนติเมตร ระยะหยุดของวัตถุ S_k มีค่าแปรผันโดยตรงกับระยะปล่อยวัตถุ s พิจารณาพื้นทรายและหินเกล็ด แบบแห้ง ถ้าระยะปล่อยวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายละเอียดเป็น 0.36±0.03 0.56±0.02 และ 0.78±0.02 เมตร ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็น 0.167 0.161 และ 0.154 ตามลำดับ ส่วนพื้นทรายหยาบ ถ้าระยะปล่อยวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายหยาบเป็น 0.34±0.01 0.43±0.02 และ 0.61±0.04 เมตร ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็น 0.176 0.209 และ 0.197 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่สอดคล้องกับสมการที่ (9) ที่ว่าเมื่อระยะหยุดของวัตถุเพิ่มจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลด ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าเม็ดทรายหยาบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เมื่อเทียบกับทรายละเอียด ส่งผลให้เม็ดทรายมีสภาพแรงต้านทานการเคลื่อนที่มาก เมื่อทดลองโดยใช้วัตถุทรงกลมกลวงมวลเบา จึงทำให้ระยะหยุดของวัตถุน้อยกว่าทรายละเอียด อีกเหตุผลหนึ่งขนาดของวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบามีรอยต่อของพื้นผิวทำให้การเคลื่อนที่ไม่สมบูรณ์ ถ้าระยะปล่อยของวัตถุเพิ่มขึ้นเป็น 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นหินเกล็ดเป็น 0.32±0.03 0.38±0.01 และ 0.42±0.01 เมตร ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็น 0.188 0.237 และ 0.286 ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมการที่ (9) เพราะว่าเม็ดหินเกล็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่เมื่อเทียบกับทรายหยาบและทรายละเอียด ส่งผลให้เม็ดทรายมีสภาพแรงต้านทานการเคลื่อนที่มาก เมื่อทดลองโดยใช้วัตถุทรงกลมกลวงมวลเบา ค่าระยะหยุดของวัตถุจึงน้อยกว่าทรายหยาบและทรายละเอียด อีกเหตุผลหนึ่งขนาดของวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบามีรอยต่อของพื้นผิวทำให้การเคลื่อนที่ไม่สมบูรณ์ พิจารณาพื้นทรายและหินเกล็ด แบบเปียก ถ้าระยะปล่อยวัตถุเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร

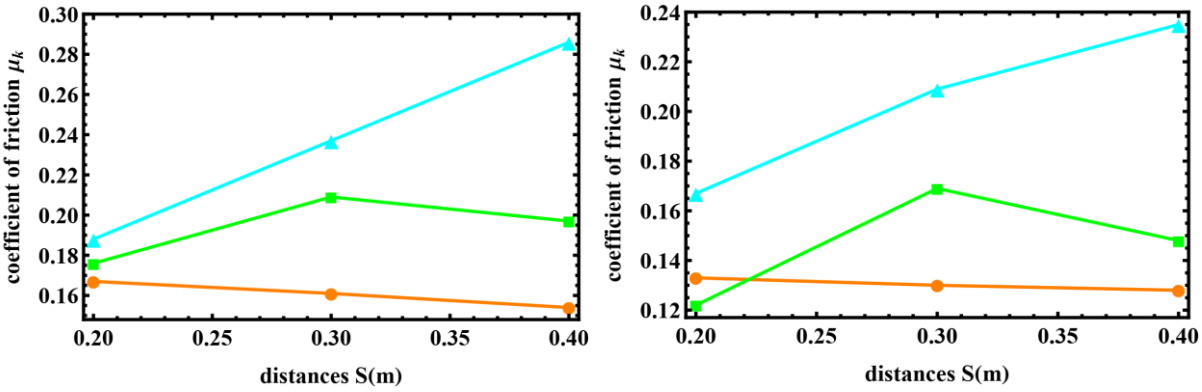
จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายละเอียดเป็น 0.45±0.02 0.69±0.02 และ 0.94±0.02 เมตร ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานลดลงเป็น 0.133 0.130 และ 0.128 ตามลำดับ ส่วนพื้นทรายหยาบ ถ้าระยะปล่อยวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายหยาบเป็น 0.49±0.03 0.53±0.02 และ 0.81±0.02 เมตร ตามลำดับ แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่า 0.122 0.169 และ 0.148 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่สอดคล้องกับสมการที่ (9) เป็นเพราะเหตุผลว่า เม็ดหินเกล็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าทรายหยาบและทรายละเอียดส่งผลให้มีสภาพแรงต้านทานการเคลื่อนที่มาก จึงทำให้ค่าระยะหยุดของวัตถุน้อยกว่าทรายละเอียด อีกเหตุผลหนึ่งขนาดของวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบามีรอยต่อของพื้นผิวทำให้การเคลื่อนที่ไม่สมบูรณ์ ถ้าระยะปล่อยของวัตถุ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.2 0.3 และ 0.4 เมตร จะได้ระยะหยุดของวัตถุบนพื้นหินเกล็ดเป็น 0.36±0.02 0.43±0.03 และ 0.51±0.03 เมตร ตามลำดับ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขนาดเพิ่มขึ้นจาก 0.167 0.209 และ 0.235 ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมการที่ (9) เป็นเพราะเหตุผลว่า ขนาดของเม็ดหินเกล็ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าทรายหยาบและทรายละเอียดจะส่งผลให้เม็ดทรายมีสภาพแรงต้านทานการเคลื่อนที่มากของวัตถุทรงกลมตันมวลเบา จึงทำให้ค่าระยะหยุดของวัตถุน้อยกว่าทรายหยาบและทรายละเอียด อีกเหตุผลหนึ่งขนาดของวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบามีรอยต่อของพื้นผิวทำให้การเคลื่อนที่ไม่สมบูรณ์ จากตารางที่ 3 สามารถทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายแห้งและบนพื้นทรายเปียก ดังรูปที่ 6 และทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายแห้งและบนพื้นทรายเปียก ดังรูปที่ 7 ตามลำดับดังนี้



(a) (b)

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทราย (a) กราฟระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายแห้ง (b) กราฟระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายเปียก

จากรูปที่ 6 เส้นกราฟสีเหลืองเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายละเอียดแบบแห้งรูปที่ 6(a)และพื้นทรายละเอียดแบบเปียกรูปที่ 6(b) เส้นกราฟสีน้ำเงินเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นทรายหยาบแบบแห้งรูปที่ 6(a)และพื้นทรายหยาบแบบเปียกรูปที่ 6(b) และเส้นกราฟสีแดงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับระยะหยุดของวัตถุบนพื้นหินเกล็ดแบบแห้งรูปที่ 6(a)และพื้นทรายหินเกล็ดแบบเปียกรูปที่ 6(b)



(a) (b)

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทราย (a) กราฟระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายแห้ง (b) กราฟระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายเปียก

จากรูปที่ 7 เส้นกราฟสีน้ำตาลเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายละเอียดแบบแห้งรูปที่ 7(a) และพื้นทรายละเอียดแบบเปียกรูปที่ 7(b) เส้นกราฟสีเขียวเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นทรายหยาบแบบแห้งรูปที่ 7(a) และพื้นทรายหยาบแบบเปียกรูปที่ 7(b) และเส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเลเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะปล่อยวัตถุทรงกลมกลวงมวลเบากับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานบนพื้นหินเกล็ดแบบแห้งรูปที่ 7(a) และพื้นทรายหินเกล็ดแบบเปียกรูปที่ 7(b)

สรุปผลการวิจัย

ระยะปล่อยวัตถุ ระยะหยุดของวัตถุ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สอดคล้องกับทฤษฎีงานและพลังงาน ผลการทดลองพบว่า วัตถุทรงกลมตันมวลหนัก 2.07×10^{-2} กิโลกรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.53 เซนติเมตร ระยะหยุดของวัตถุ มีค่าแปรผันโดยตรงกับระยะปล่อยวัตถุแต่แปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และ วัตถุทรงกลมกลวงมวลเบา 6.75×10^{-3} กิโลกรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.98 เซนติเมตร ระยะหยุดของวัตถุ มีค่าแปรผันโดยตรงกับระยะปล่อยวัตถุแต่แปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ฐิติวัลคุ์ สีหไตร และอาจารย์เกรียงไกร สมคำ อาจารย์ที่ปรึกษาของงานวิจัยนี้ได้ให้คำแนะนำและแนวทางในการทำงานวิจัยฉบับนี้อย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านวิชาการและการปฏิบัติ ทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ และขอขอบคุณโรงเรียนวิทยานุกูลนารีที่อำนวยความสะดวกสถานที่ และอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

ณัฏฐิกา สมัยมงคล. (2557). *ออกแบบและพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน* (วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา)). จันทบุรี: มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

โรสลีนา จาราแว, ดาริกา จาเอาะ, นัสรีนา เจ๊ะมะ, และฮูเซ็ง ชายดานา. (2560). ชุดทดลองสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นผิว**.** *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6: เรื่อง สร้างสรรค์งานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนประเทศสู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนในยุค Thailand 4.0* (น. 1822-1837). ปัตตานี: มหาวิทยาลัยฟาฏอนี.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1* (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 2* (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

Li, K. W., Hsu, Y. W., Chang, W. R., & Lin, C. H. (2007). Friction measurements on three commonly used floors on a college campus under dry, wet and sand-covered conditions. *Safety Science*, *45*(9), 980-992.

Serway, R. A., John W., & Jewett, Jr. (2014). *Physics For Scientists & Engineers with Modern Physics* (9th ed.). USA: Brooks/Cole.