



ออกแบบและพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  
DESIGN AND DEVELOPEMENT OF INCLINED PLANE APPARATUS FOR  
FRICTION COEFFICIENT MEASUREMENT

วิทยานิพนธ์

ของ

ณัฐฐิกา สมัยมงคล

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตุลาคม 2557

ออกแบบและพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  
DESIGN AND DEVELOPEMENT OF INCLINED PLANE APPARATUS FOR  
FRICTION COEFFICIENT MEASUREMENT

วิทยานิพนธ์  
ของ  
ณัฐธิดา สมัยมงคล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตุลาคม 2557



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

เรื่อง

ออกแบบและพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

Design and Development of Inclined Plane Apparatus for Friction Coefficient Measurement

ณัฐริกา สมัยมงคล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานสอบวิทยานิพนธ์

(ดร.ชาติ ทิมมะ)

ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ชีวะ ทักษนา)

กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.นิภัทร เปี่ยมอรุณ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร.โชติ เมืองนนท์)

ได้รับอนุมัติจากมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา (ฟิสิกส์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ พรทิพา นิโรจน์)

วันที่ 26 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2557

ณัฐธิดา สมัยมงคล. (2557). ออกแบบและพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์  
ความเสียดทาน. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). จันทบุรี : มหาวิทยาลัย  
ราชภัฏรำไพพรรณี

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ชีวะ ทศนา ปร.ด. (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ประธานกรรมการ

นิภัทร เปี่ยมอรุณ ปร.ด. (เคมีประยุกต์)

กรรมการ

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาชุดทดลองสำหรับศึกษาถู้อที่หนึ่งของนิวตัน  
แรงในแนวตั้งฉาก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และความเร่ง ของวัตถุบนพื้นเอียงโดยชั่งน้ำหนัก  
ของวัตถุบนพื้นเอียงที่ทำจากไม้(อะคริลิก หรือแก้ว)ขนาด  $15.0 \times 50.0$  เซนติเมตร ซึ่งใช้สแตนเกจ  
เป็นเครื่องชั่ง ผลการทดลองชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานมวล 100 กรัม และ 200 กรัม โดยปรับมุมของ  
พื้นไม้ให้เอียงทำมุม  $\theta$  ต่างๆ กับแนวระนาบ พบว่าที่มุม 15 องศา ถึง 60 องศา ชุดทดลองของเรา  
สามารถชั่งน้ำหนักของวัตถุได้สอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งน้ำหนักของวัตถุทั้งสอง  
( $w_1$  และ  $w_2$ ) มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของมุม ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น  
 $w_1 = 100 \cos \theta$  และ  $w_2 = 200 \cos \theta$  ตามลำดับ ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้ว่าน้ำหนักของวัตถุ  
มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับมุมของพื้นเอียงและเป็นไปตามแรงในแนวตั้งฉาก  $N = mg \cos \theta$

ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างไม้กับไม้จากชุดทดลองที่  
สร้างขึ้นด้วยสมการ  $\mu_s = \frac{B+K}{A}$  เมื่อ  $A = mg \cos \theta$  คือน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่งได้พื้นเอียง,  
 $B = mg \sin \theta - ma$  คือน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่งที่ด้านปลายพื้นเอียง และ  $K = ma$  คือ  
ค่าชดเชยน้ำหนักเนื่องจากความเร่ง พบว่ามีค่าเป็น 0.3249 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์  
ความเสียดทานสถิตที่ได้จากชุดทดลองของศึกษาภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ ซึ่งมีค่าเป็น 0.3189  
พบว่ามีค่าแตกต่างร้อยละ 1.86 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่คำนวณได้  
มีค่าอยู่ในช่วงของแหล่งข้อมูลอ้างอิง

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  
พบว่าชนิดของวัสดุมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานดังนี้ 1) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน  
สถิตของไม้ อะคริลิก และแก้วบนพื้นเอียงที่ทำจากไม้มีค่าเป็น 0.3189, 0.2903 และ 0.2446  
ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่าเป็น 0.2506, 0.1995 และ 0.2018 ซึ่งสามารถ  
คำนวณหาความเร่งของวัตถุได้เป็น 0.65, 0.87 และ 0.43 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ตามลำดับ

2) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของไม้ อะคริลิก และแก้วบนพื้นเอียงที่ทำจากอะคริลิกมีค่าเป็น 0.2893, 0.3419 และ 0.2330 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่าเป็น 0.1982, 0.2488 และ 0.2104 ซึ่งสามารถคำนวณหาความเร่งของวัตถุได้เป็น 0.87, 0.87 และ 0.22 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ตามลำดับ 3) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของไม้ อะคริลิก และแก้วบนพื้นเอียงที่ทำจากแก้วมีค่าเป็น 0.2533, 0.2327 และ 0.3068 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่าเป็น 0.2089, 0.2103 และ 0.2386 ซึ่งสามารถคำนวณหาความเร่งของวัตถุได้เป็น 0.43, 0.22 และ 0.65 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

Nadtiga Samaimongkol. (2014). **Design and Development of Inclined Plane Apparatus for Friction Coefficient Measurement.** Thesis. M.S.(Science Education). Chanthaburi : Rambhai Barni Rajabhat University.

**Thesis Advisor**

Chewa Thassana Ph.D. (Applied Physics)

Chairman

Nipat Peamaroon Ph.D. (Applied Chemistry)

Member

**Abstract**

In this study, we design and develop an experimental apparatus for studying the Newton's first law, the normal force, the coefficient of friction and acceleration. The weight of an object was lying on an inclined plane wooden (acrylic and glass), a size of  $15.0 \times 50.0$  cm, were measured using strain gauge. Our experimental results showed that the weight of objects depended strongly on the inclined angle in the range of 15 to 60 degrees. The relevant results exhibited the decreasing weight of an object with increasing inclined angle. Moreover, the weight was evaluated as a function of an inclined angles  $\theta$ , the relation of weight and the inclined angle could expressed as  $w_1 = 100 \cos \theta$  for  $m = 100g$  and  $w_2 = 200 \cos \theta$  for  $m = 200g$ . Therefore, we can conclude that, the change of a weight depends on an angle of the inclined plane, so we could define  $w = mg \cos \theta$ . Furthermore, we can see that it is in line with the normal force  $N = mg \cos \theta$ .

Our experimental results shown that the static friction coefficient between wooden and wooden could be expressed as  $\mu_s = \frac{B+K}{A}$  when  $A = mg \cos \theta$  and  $B = mg \sin \theta - ma$  are the weight of the object, which were measured using strain gauge on a middle and the end of an inclined plane, respectively.  $K = ma$  is a compensate value of a weight due to an acceleration. The coefficient of static friction, which was obtained from our and Suksapan's apparatus be equal to 0.3249 and 0.3189, respectively. So the percentage difference is 1.86 %.

The relation between a kind of materials and the coefficient of a static and kinetic friction were studied by our experimental tool. We found that the coefficient of friction strongly depends on the type of material. Firstly, the coefficient of static friction of wooden, acrylic and glass on an inclined plane wooden are 0.3189, 0.2903 and 0.2446, respectively. In additional the kinetic

friction of coefficient of them are 0.2506, 0.1995 and 0.2018, due to objects moving with acceleration as 0.65, 0.87 and 0.43 m/s<sup>2</sup>, respectively. Secondly, the coefficient of static friction of wooden, acrylic and glass on an inclined plane acrylic are 0.2893, 0.3419 and 0.2330, respectively. In addition the kinetic friction of coefficient of them are 0.1982, 0.2488 and 0.2104, due to objects moving with acceleration as 0.87, 0.87 and 0.22 m/s<sup>2</sup>, respectively. Finally, the coefficient of static friction of wooden, acrylic and glass on an inclined plane glass are 0.2533, 0.2327 and 0.3068, respectively. In addition the kinetic friction of coefficient of them are 0.2089, 0.2103 and 0.2386, due to objects moving with acceleration as 0.43, 0.22 and 0.65 m/s<sup>2</sup>, respectively.

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือให้คำแนะนำอย่างดียิ่งจาก ดร.ชีวะ ทัศนาศรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.นิภัทร เปี่ยมอรุณ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ชาติ ทิฆะ ที่ได้ให้เกียรติเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.โชติ เนื่องนันท์ ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์และให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งคณาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ปรากฏชื่อในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอน้อมระลึกถึงพระคุณของคุณพ่อทช.เดช สมัยมงคล และคุณแม่ชยา สมัยมงคล ซึ่งเป็นผู้อบรมเลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา เป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยตลอดมาส่งผลให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จ หากประโยชน์ใดๆ อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบูชาแต่บิดา มารดา คณาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฐธิดา สมัยมงคล

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(1)
สารบัญตาราง.....	(3)
สารบัญภาพ.....	(6)
บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
สมมติฐานในการวิจัย.....	4
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
มวลและน้ำหนัก.....	5
แรงเสียดทาน.....	6
ความหมายและชนิดของแรงเสียดทาน.....	6
สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน.....	7
ความเสียดทานบนพื้นเอียง.....	8
ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน.....	11
ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้.....	12
วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงในห้องปฏิบัติการ.....	13
สูตรนเกจ.....	13
ส่วนประกอบเครื่องชั่งไฟฟ้า.....	14
โพลดเซลล์.....	14
หน้าจอแสดงผล.....	15
การสอบเทียบเครื่องชั่ง.....	16
ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องชั่ง.....	16
การคำนวณผลการสอบเทียบ.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
งานวิจัยในประเทศ.....	18
งานวิจัยต่างประเทศ.....	19
อุปกรณ์และวิธีการ.....	21
ผลและการวิจารณ์.....	30
สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	52
เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	60
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	79

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 คำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้.....	12
2 น้ำหนักของค้อนน้ำหนักมาตรฐานจากเครื่องชั่งแนวราบ.....	31
3 น้ำหนักและร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักวัตถุ 100 กรัม และ 200 กรัม บนพื้นเอียงไม้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ.....	32
4 น้ำหนักและร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักวัตถุ 100 กรัม และ 200 กรัม บนพื้นเอียงอะคริลิกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ.....	33
5 น้ำหนักและร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักวัตถุ 100 กรัม และ 200 กรัม บนพื้นเอียงแก้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ.....	34
6 คำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างไม้กับไม้ที่ได้จากชุดทดลองศึกษาภัณฑ์.....	37
7 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียง ไม้กับพื้นกล่องไม้เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 18 องศา.....	38
8 คำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกล่องไม้ที่สร้างขึ้นน้ำหนัก 46 กรัม โดย นำไปเคลื่อนที่บนพื้นเอียงของชุดทดลองศึกษาภัณฑ์.....	39
9 น้ำหนักที่ได้จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงไม้ ของชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับพื้นวัตถุไม้ของชุดทดลองศึกษาภัณฑ์เปรียบเทียบกับ น้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 17 องศา.....	39
10 คำสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นไม้และไม้ที่ได้จากชุดทดลอง ศึกษาภัณฑ์และชุดทดลองที่สร้างขึ้น.....	35
11 ร้อยละความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่ได้จากการทดลอง.....	41
12 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างไม้กับไม้ ที่ได้จากการ ทดลองกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมาตรฐานต่าง ๆ.....	41
13 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างไม้กับไม้ ที่ได้จากการ ทดลองกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มาตรฐานต่าง ๆ.....	42
14 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงไม้ กับพื้นกล่องอะคริลิกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 16 องศา	43
15 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงไม้ กับพื้นกล่องแก้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 14 องศา.....	44

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า	
16	น้ำหนักที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียง อะคริลิกกับพื้นกล่องไม้เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 16 องศา.....	45
17	น้ำหนักที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียง อะคริลิกกับพื้นกล่องอะคริลิกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 19 องศา.....	46
18	น้ำหนักที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียง อะคริลิกกับพื้นกล่องแก้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 13 องศา.....	47
19	น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงแก้ว กับพื้นกล่องไม้เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 14 องศา.....	48
20	น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงแก้ว กับพื้นกล่องอะคริลิกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 13 องศา	49
21	น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงแก้ว กับพื้นกล่องแก้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 17 องศา.....	50
22	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จาก วัสดุต่าง ๆ และความเร่งที่ได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียงจาก ชุดทดลองที่สร้างขึ้น.....	51
23	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 1 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	62
24	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 2 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	62
25	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 5 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	63
26	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 10 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	63
27	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 20 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	64
28	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 50 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	64
29	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	65
30	น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 200 กรัม จากเครื่องชั่ง.....	65
31	น้ำหนักที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก 100 กรัมที่ และ 200 กรัม ที่มุมต่าง ๆ บนพื้นไม้.....	66

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
32	น้ำหนักที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก 100 กรัมที่ และ 200 กรัม ที่มุมต่าง ๆ บนพื้นอะคริลิก 66
31	น้ำหนักที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก 100 กรัมที่ และ 200 กรัม ที่มุมต่าง ๆ บนพื้นแก้ว..... 67

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ.....	6
2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำและแรงเสียดทาน.....	7
3 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุสมคูลบนพื้นราบ.....	8
4 มุมพื้นเอียงที่ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่.....	8
5 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อยกพื้นเอียงให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่.....	9
6 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง.....	10
7 แรงกดตั้งฉากผิวสัมผัส.....	11
8 ลักษณะของผิวสัมผัส.....	11
9 โครงสร้างของสเตรนเกจ.....	14
10 ส่วนประกอบโพลดเซลล์แบบสเตรนเกจ.....	15
11 ตำแหน่งการวางค้ำน้ำหนักที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	17
12 ส่วนประกอบชุดทดลองพื้นเอียงโดยใช้สเตรนเกจ.....	21
13 เครื่องชั่งดิจิตอลที่ใช้ในการทดลอง.....	22
14 ส่วนประกอบภายในเครื่องชั่งดิจิตอล.....	22
15 สเตรนเกจภายในโพลดเซลล์ที่ได้จากเครื่องชั่งดิจิตอล.....	23
16 ส่วนประกอบชุดทดลอง.....	23
17 ตำแหน่งในการชั่งน้ำหนักเพื่อสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก.....	24
18 ชั่งน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมที่มุม 30 องศา.....	25
19 ชั่งน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมที่มุม 45 องศา.....	25
20 ชั่งน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมที่มุม 60 องศา.....	26
21 ชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของศึกษาภัณฑ์.....	27
22 กล่องไม้สำหรับเคลื่อนที่บนพื้นเอียง.....	29
23 พื้นเอียงขนาด 15.0 × 50.0 เซนติเมตร.....	29
24 ชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้สเตรนเกจ.....	30
25 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมพื้นเอียงกับน้ำหนักจากค้ำน้ำหนัก 100 กรัม.....	35
26 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมพื้นเอียงกับน้ำหนักจากค้ำน้ำหนัก 200 กรัม.....	35

### สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 15 องศา.....	69
28 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 20 องศา.....	70
29 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 25 องศา.....	71
30 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 30 องศา.....	72
31 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 35 องศา.....	73
32 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 40 องศา.....	74
33 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 45 องศา.....	75
34 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 50 องศา.....	76
35 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 55 องศา.....	77
36 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 60 องศา.....	78

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญ

การศึกษาเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง เครื่องมือในการเตรียมประชากรให้มีคุณภาพ คือ การศึกษา การจัดการศึกษาของชาตินั้นจะต้องสอดคล้องกับนโยบายทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง ปัจจุบันกระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยมุ่งพัฒนาผู้เรียนให้เป็นคนดี มีปัญญา มีความสุข มีศักยภาพในการศึกษาต่อ และประกอบอาชีพ ซึ่งจะมุ่งพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพตามมาตรฐานการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเกิดสมรรถนะสำคัญ 5 ประการคือ 1) ความสามารถในการสื่อสาร 2) ความสามารถในการคิด 3) ความสามารถในการแก้ปัญหา 4) ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต 5) ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี (กระทรวงศึกษาธิการ. 2551 : 5-11) ทั้งนี้วิทยาศาสตร์ยังเป็นวิชาที่มีบทบาทสำคัญมากในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการทำงานอาชีพต่างๆ ตลอดจนเทคโนโลยี เครื่องมือเครื่องใช้และผลผลิตต่างๆ ที่มนุษย์ได้ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงาน เหล่านี้ล้วนเป็นผลของความรู้วิทยาศาสตร์ จะเห็นได้ว่าวิทยาศาสตร์เป็นองค์ความรู้ที่มีระบบและจัดไว้อย่างเป็นระเบียบแบบแผน ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นความรู้ของธรรมชาติกับส่วนที่เป็นวิธีการเฉพาะที่ใช้ในการสืบเสาะหาความรู้ที่นำมาผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และศาสตร์อื่นๆ (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. 2551 : 1-2)

การเรียนวิทยาศาสตร์มีสาขา ฟิสิกส์ ชีววิทยา เคมี โลกและดาราศาสตร์ ซึ่งในแต่ละสาขาก็จะมีเนื้อหาที่แตกต่างกัน วิชาฟิสิกส์ถือเป็นพื้นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์ที่นักวิทยาศาสตร์ในสาขาอื่นๆ จะต้องใช้หลักการและความคิดในวิชาฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ ทำให้สาขาฟิสิกส์เป็นสาขาที่ต้องเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้และเข้าใจเพื่อให้เรียนในสาขาอื่นได้อย่างดี ยิ่งไปกว่านั้นฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์เชิงปฏิบัติการ นักฟิสิกส์สังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติและพยายามหารูปแบบและหลักการที่เชื่อมโยงปรากฏการณ์เหล่านี้ เราเรียกรูปแบบเหล่านี้ว่าทฤษฎีฟิสิกส์หรือกฎ หรือหลักการฟิสิกส์เมื่อเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง การพัฒนาทฤษฎีฟิสิกส์ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ทุกขั้นตอน นักฟิสิกส์ต้องเรียนรู้ที่จะถามคำถามที่เหมาะสมและออกแบบการทดลองเพื่อพยายามหาคำตอบนั้น และหาข้อสรุปที่เหมาะสมจากการทดลอง (ยัง, ฮิวด์ ดี. และฟรีดแมน, โรเจอร์ เอ. 2547 : 1-2) ซึ่งในวิชาฟิสิกส์มีการศึกษาใน 5 เรื่อง คือ 1) กลศาสตร์เดิม ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีอัตราเร็วต่ำเมื่อเทียบกับอัตราเร็วของแสง 2) กลศาสตร์สัมพัทธภาพ เป็นทฤษฎีที่พรรณนาถึงอนุภาคต่างๆ ที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วใดๆ ถ้าเป็น

อัตราเร็วใกล้เคียงกับอัตราเร็วของแสงก็ยังสามารถใช้ได้ 3) อุณหพลศาสตร์ ซึ่งเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความร้อน อุณหภูมิ และพฤติกรรมของอนุภาคจำนวนมากๆ 4) แม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวถึงทฤษฎีไฟฟ้าแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า 5) กลศาสตร์ควอนตัม ว่าด้วยพลังงานการเคลื่อนที่ไหวของอนุภาคที่ขนาดระดับอะตอม (ก่อกัมมันต์ ภัทรากาญจน์ และ ธนกาญจน์ ภัทรากาญจน์. 2548 : 1) ซึ่งในแต่ละเรื่องมีเนื้อหาที่แตกต่างกัน ดังนั้นการที่จะทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยการคิด และปฏิบัติเพื่อให้เข้าใจ ในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์นั้นจะต้องมีการเรียนรู้โดยใช้สื่อการสอนเป็นเครื่องมือของการเรียนรู้ทำหน้าที่ ถ่ายทอดความรู้ ความเข้าใจ ความรู้สึก เพิ่มพูนทักษะและประสบการณ์ สร้างสถานการณ์การเรียนรู้ ให้แก่ผู้เรียน กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาศักยภาพทางการคิด ได้แก่ การคิดไตร่ตรอง การคิดสร้างสรรค์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ ตลอดจนสร้างเสริมคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมให้แก่ผู้เรียน สื่อการสอนปัจจุบัน มีอิทธิพลสูงต่อการกระตุ้นให้ผู้เรียนกลายเป็นผู้แสวงหาความรู้ด้วยตนเอง (วิไลวรรณ แสนพาน. 2553 : 271-273)

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาชุดทดลองในวิชาฟิสิกส์ซึ่งชุดทดลองจะมีผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียนได้มากขึ้น จะช่วยทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในทฤษฎีต่างๆ มากขึ้น โดยนำชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงมาพัฒนาเพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาวิชาฟิสิกส์ในเรื่อง กฎของนิวตัน แรงเสียดทาน น้ำหนัก และหลักการทำงานของสเตอรนเกจร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และทำวิจัยเพื่อออกแบบและพัฒนาชุดทดลองการวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยใช้สเตอรนเกจที่ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงแบบเนื้องานของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในเส้นลวด เพื่อการตรวจวัดความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงที่มากระทำบนเส้นลวดนี้ โดยสเตอรนเกจจะถูกต่อวงจรเข้ากับโพลดเซลล์และนำไปใช้งานร่วมกับเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (ปริชญารจนา. ออนไลน์. ม.ป.ป) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกนำหลักการจากการทำงานของสเตอรนเกจในเครื่องชั่งดิจิทัลมาช่วยในการสังเกตการเคลื่อนที่ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ในจุดเริ่มต้นและจุดปลายการเคลื่อนที่จะต้องมีน้ำหนักเท่ากันเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้วิธีการสังเกตและนำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และความเร่ง ในการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียง

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้สเตรนเกจ
2. ออกแบบชุดทดลองสำหรับศึกษาทฤษฎีของนิวตัน และแรงในแนวตั้งฉาก
3. พัฒนาชุดทดลองให้วัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 จากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน

### ประโยชน์ของการวิจัย

1. ได้ชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงโดยใช้สเตรนเกจที่มีประสิทธิภาพวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 จากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน
2. ได้ชุดทดลองที่สามารถช่วยอธิบายทฤษฎีทางฟิสิกส์ เรื่อง กฎของนิวตัน แรงในแนวตั้งฉาก แรงเสียดทาน น้ำหนัก และหลักการทำงานของสเตรนเกจร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำให้นักเรียนเข้าใจทฤษฎีทางฟิสิกส์มากขึ้น

### ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตของการดำเนินการ 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ออกแบบชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงใช้สเตรนเกจ

ตอนที่ 2 พัฒนาชุดทดลอง

1. วัดประสิทธิภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยวิธีการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก และชั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงมุม 0 ถึง 60 องศา
2. นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างไม้กับไม้เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากชุดทดลองศึกษาภัณฑ์ และค่ามาตรฐาน
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยมีตัวแปรที่ศึกษาดังนี้
  - 3.1 ตัวแปรต้น คือ วัสดุประกอบด้วยไม้ อะคริลิก และแก้ว
  - 3.2 ตัวแปรตาม ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์
  - 3.3 ตัวแปรควบคุม พื้นที่ก้นกล่อง น้ำหนัก และอุณหภูมิ

### นิยามศัพท์เฉพาะ

สเตรนเกจ (Strain Gauge) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในเส้นลวดเพื่อตรวจสอบวัดความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงที่มากระทำบนเส้นลวดนี้ สเตรนเกจมีการใช้งานในการตรวจวัดได้อย่างกว้างขวาง เช่น การวัดน้ำหนัก ความดัน แรงเชิงกล หรือการเคลื่อนที่ สเตรนเกจจะประกอบอยู่ในโพลีเมอร์แบบสเตรนเกจที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

วัสดุ (Material) คือ วัสดุที่นำมาเป็นส่วนประกอบของพื้นเอียง และวัสดุที่เคลื่อนที่บนพื้นเอียงประกอบไปด้วย ไม้ อะคริลิก และแก้ว

มาตรฐาน (Standard) คือ ค่าที่ถือเป็นหลักสำหรับการเปรียบเทียบโดยในการทดลองนี้ได้นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากหนังสือวิชาฟิสิกส์ของต่างประเทศ และข้อมูลจากเว็บไซต์มาใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่วัดได้จากชุดการทดลอง

น้ำหนัก (Weight) คือ แรงบนวัตถุอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วง ดังนั้นการชั่งน้ำหนักบนโลกสิ่งที่จะอ่านได้จะไม่ใช้มวลเพราะวัตถุวางอยู่บนโลกแต่วิธีการวัดมวลที่ง่ายที่สุดคือการวัดน้ำหนักซึ่งมักเป็นการเปรียบเทียบกับก้อนมาตรฐาน ถ้าวัตถุมีน้ำหนักเท่ากัน ณ ตำแหน่งหนึ่งมีมวลเท่ากันด้วย เครื่องชั่งในชีวิตประจำวันใช้หลักการเปรียบเทียบน้ำหนักของมวลมาตรฐานหนึ่งกิโลกรัมและกำหนดให้ค่าที่อ่านได้บนเครื่องชั่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ในการทดลองจะใช้คำว่า “น้ำหนัก” แทนค่าที่ชั่งได้จากเครื่องชั่ง โดยใช้หน่วยเป็น กรัม

### สมมติฐานในการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียง โดยใช้สเตรนเกจจะช่วยให้การวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีความถูกต้องมากขึ้น

## แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาเพื่อออกแบบและพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อนำมาทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียง ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย มวลและน้ำหนัก แรงเสียดทาน สเตรนเกจ ส่วนประกอบเครื่องชั่งไฟฟ้า การสอบเทียบเครื่องชั่ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### มวลและน้ำหนัก

มวล คือวัตถุทุกชนิดที่มีสมบัติทางกายภาพเฉพาะตัวอย่างหนึ่งเสมอ ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบการต่อต้านการเคลื่อนที่เมื่อมีแรงมากระทำ วัตถุใดที่ต้านแรงได้มากแสดงว่าวัตถุนั้นมีมวลมาก ซึ่งมวลนี้เป็นปริมาณสัมบูรณ์ คือไม่ว่าจะวัดที่ใดก็ตาม จะต้องมียกเท่ากัน แต่เมื่อมีมวลมาวางอยู่ในผิวโลก กฎของแรงโน้มถ่วงกำหนดให้มีแรงดึงดูดของโลกกระทำต่อมวลนั้น ขนาดของแรงที่โลกกระทำต่อมวลนั้นเราเรียก น้ำหนัก โดยนิวตันได้อธิบายเรื่องของมวลและน้ำหนักไว้ว่าวัตถุที่ตกอย่างเสรีมีความเร่งเท่ากับ  $g$  และจากกฎข้อที่สองของนิวตัน จะต้องมีแรงกระทำต่อมันที่ทำให้เกิดความเร่งนี้ ถ้าวัตถุมวล 1 กิโลกรัมตกด้วยความเร่ง 9.8 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง แรงที่ต้องใช้จะมีขนาดคือ  $F = ma = (1\text{kg})(9.8\text{ m/s}^2) = 9.8\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2 = 9.8\text{ N}$

แต่แรงที่ทำให้วัตถุมีความเร่งลงมาก็คือแรงดึงดูดโน้มถ่วงของโลกซึ่งคือ น้ำหนักของวัตถุ วัตถุใดๆ ใกล้เคียงผิวโลกที่มีมวล 1 กิโลกรัม ต้องมีน้ำหนัก 9.8 นิวตัน ในกรณีทั่วไปวัตถุที่มีมวล  $m$  ต้องมีน้ำหนัก  $\bar{W}$  ที่หาได้จากสมการที่ 1

$$\bar{W} = m\bar{g} \quad (1)$$

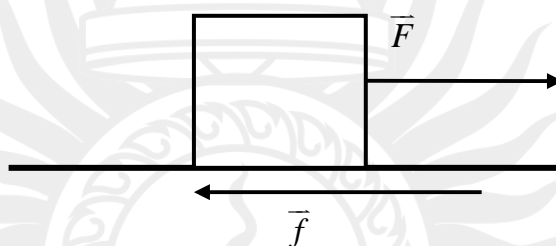
หน่วยของแรงที่นิยมใช้ในชีวิตประจำวันคือ แรงกิโลกรัม (kilogram-force) ซึ่งเป็นการบอกน้ำหนักในทางปฏิบัติ เขียนย่อเป็น kgf มีนิยามว่า แรง 1 kgf คือแรงที่มีค่าเท่ากับน้ำหนักของมวล 1 กิโลกรัม ดังนั้น 1 kgf เท่ากับ กรัมนิวตัน ประมาณ 9.8 นิวตัน ด้วยเหตุนี้จึงพูดติดปากเป็นภาษาพูดว่า ซื้อมือหามู 2 กิโลกรัม (หมายถึง 2 kgf นั่นเอง) แม้ว่าน้ำหนัก จะเป็นแรงชนิดหนึ่ง แต่ก็ยังเป็นประเพณีนิยมโดยเฉพาะทางวิศวกรรมศาสตร์และในชีวิตประจำวัน ที่จะใช้หน่วยน้ำหนักเป็น แรงกิโลกรัม แต่ในทางปฏิบัติเราจะพูดถึงแรงหรือน้ำหนักเท่านั้นเท่านั้นเป็นกิโลกรัม

โดยตัดคำว่าแรงออก อย่างไรก็ตามในทางทฤษฎีเราคงใช้หน่วยของแรง (รวมทั้งน้ำหนักด้วย) เป็นนิวตัน และใช้หน่วยของมวล เป็นกิโลกรัมเสมอ (อัจฉรา พันธุ์อำไพ และคณะ. 2543 : 71)

## แรงเสียดทาน

### 1. ความหมายและชนิดของแรงเสียดทาน

1.1 แรงเสียดทาน (*Friction*,  $\vec{f}$ ) คือ แรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุ แรงเสียดทานจะเกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แรงที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุเมื่อ  $\vec{f}$  คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส และ  $\vec{F}$  คือ แรงกระทำต่อวัตถุ

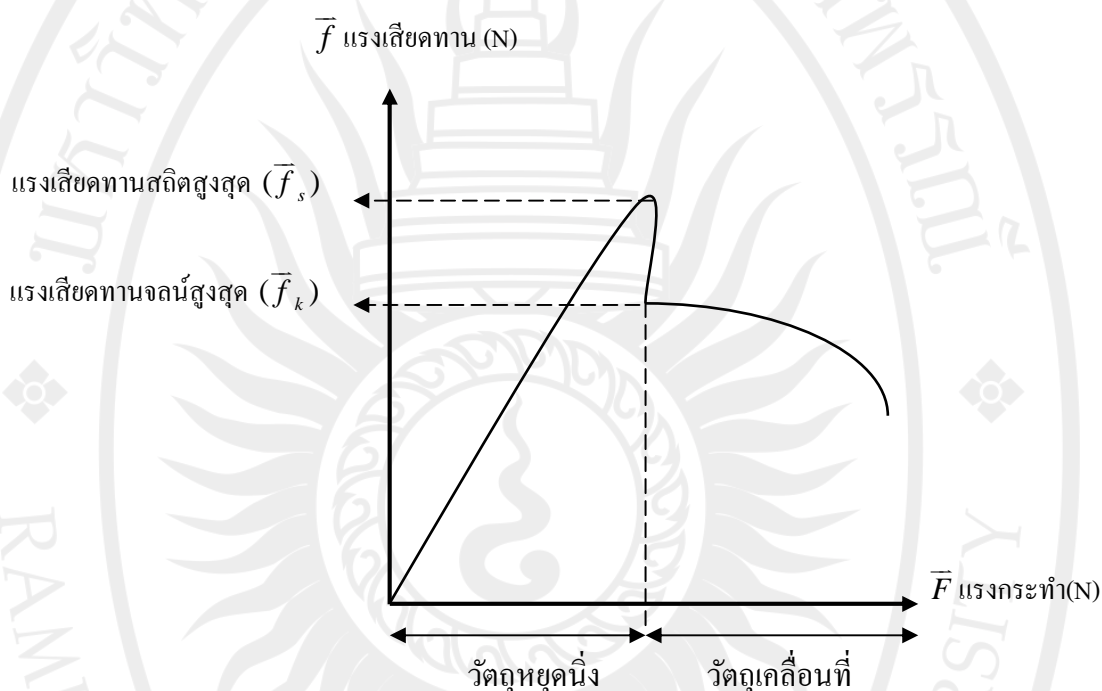
### 1.2 แรงเสียดทานแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1.2.1 แรงเสียดทานสถิต ( $\vec{f}_s$ ) คือแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อออกแรงกระทำกับวัตถุแต่ขนาดของแรงกระทำยังไม่มากพอที่จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ ขนาดของแรงเสียดทาน ( $\vec{f}$ ) จะเท่ากับขนาดของแรงกระทำ ( $\vec{F}$ ) สังเกตว่าแรงเสียดทานสถิตจะมีค่าได้หลายค่าแปรตามแรงที่กระทำราบที่วัตถุยังคงหยุดนิ่ง และจะมีค่าสูงสุดได้ค่าหนึ่งก่อนที่วัตถุจะเริ่มเคลื่อนที่

1.2.2 แรงเสียดทานจลน์ ( $\vec{f}_k$ ) คือแรงเสียดทานที่มีค่ามากที่สุดพอดีที่จะทำให้วัตถุที่ถูกแรงกระทำเคลื่อนที่ในสภาวะสมดุล(ความเร็วคงที่)

ดังนั้นสรุปได้ว่าวัตถุจะหยุดนิ่งเมื่อแรงกระทำเท่ากับหรือน้อยกว่าแรงเสียดทานสูงสุด โดยแรงเสียดทานจะเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำ ซึ่งแรงที่กระทำสูงสุดเมื่อวัตถุหยุดนิ่งเราจะเรียกแรงเสียดทานนั้นว่า แรงเสียดทานสถิต และวัตถุจะเคลื่อนที่เมื่อแรงกระทำมากกว่าแรงเสียดทานสูงสุด ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเราจะเรียกแรงเสียดทานนั้นว่า แรงเสียดทานจลน์ โดยภาพประกอบ 2 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน ( $\vec{f}$ ) และแรงกระทำ ( $\vec{F}$ ) พบว่าเมื่อวัตถุหยุดนิ่ง แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าเท่ากับแรงกระทำ และเมื่อเพิ่มแรงกระทำมากขึ้น

แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าสูงสุดจากนั้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่จะทำให้แรงเสียดทานมีค่าลดลง ในช่วงนี้แรงกระทำจะมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานจนทำให้มวลเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วจนเกิดความเร่งขึ้น ในช่วงแรกของการเคลื่อนที่พบว่า ถ้าเพิ่มแรงกระทำไม่ทำให้แรงเสียดทานจนเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อแรงกระทำมีค่าเพิ่มสูงมากๆ จะส่งผลให้แรงเสียดทานจนมีค่าลดลง

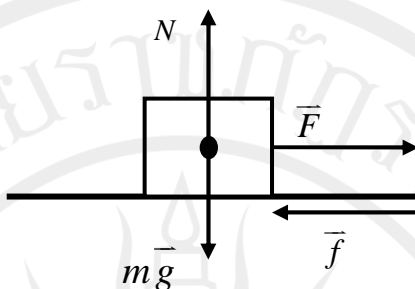


ภาพประกอบ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำและแรงเสียดทาน

## 2. สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction,  $\mu$ ) เป็นค่าคงที่ของผิวสัมผัสแต่ละคู่ของวัตถุ ขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวสัมผัสของคู่วัตถุนั้น สามารถหาค่าได้จากอัตราส่วนของแรงเสียดทานต่อแรงปฏิกิริยาดังสมการที่ 2

$$\mu = \frac{\bar{f}}{N} \quad (2)$$



ภาพประกอบ 3 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุสมดุลบนพื้นราบ

เมื่อ  $N$  คือ แรงปฏิกิริยา หน่วยเป็น นิวตัน  
 $m\bar{g}$  คือ น้ำหนักของวัตถุ หน่วยเป็น นิวตัน  
 $\bar{F}$  คือ แรงกระทำ หน่วยเป็น นิวตัน  
 $\bar{f}$  คือ แรงเสียดทาน หน่วยเป็น นิวตัน

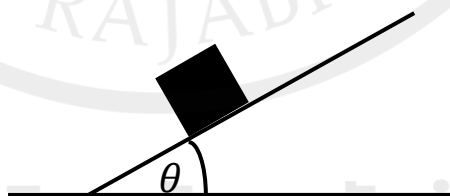
เมื่อวัตถุสมดุลแสดงดังภาพประกอบ 3

สมดุลในแนวตั้ง ได้  $N = m\bar{g}$  สมดุลในแนวราบได้  $\bar{F} = \bar{f}$  และจาก  $\bar{f} = \mu N$   
 ดังนั้นสามารถหาแรงเสียดทานได้ดังสมการที่ 3

$$\bar{f} = \mu m\bar{g} \quad (3)$$

### 3. ความเสียดทานบนพื้นเอียง

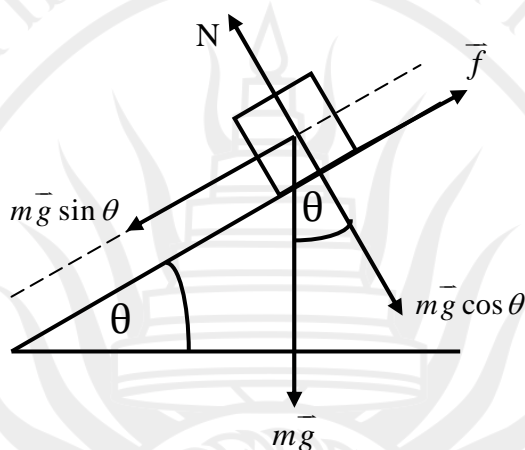
เมื่อนำวัตถุวางไว้บนพื้นเอียงแล้วค่อยๆ ยกพื้นเอียงขึ้นให้มุมที่ฐานมากขึ้นจนวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จนวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่มุมนี้เรียกว่ามุมของแรงเสียดทาน



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ 4 มุมพื้นเอียงที่ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่

เมื่อยกพื้นเอียงให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่พอดีจนวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (สมมูลสถิต)  
สามารถพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุได้ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อยกพื้นเอียงให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่

เมื่อ  $N$  คือ แรงปฏิกิริยา หน่วยเป็น นิวตัน  
 $m\bar{g}$  คือ น้ำหนักของวัตถุ หน่วยเป็น นิวตัน  
 $\bar{f}$  คือ แรงเสียดทาน หน่วยเป็น นิวตัน

กำหนดแกนให้ตั้งฉากกับพื้นเอียงและขนานกับพื้นเอียงแตกแรง  $m\bar{g}$  เข้าสู่แกนตั้งฉาก  
 ดังภาพประกอบ 5 จะได้  $m\bar{g} \sin \theta$  คือน้ำหนักของวัตถุที่พยายามทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ลงจากพื้น  
 เอียง ส่วน  $m\bar{g} \cos \theta$  คือน้ำหนักของวัตถุในแนวตั้งฉากกับผิวพื้นเอียงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วย  
 ความเร็วคงที่จะได้  $\sum \bar{F}_x = 0$  (ขนาดของแรงซ้าย เท่ากับขนาดของแรงขวา)  $m\bar{g} \sin \theta = f$   
 จะได้ขนาดของแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียงดังสมการที่ 4

$$m\bar{g} \sin \theta = \mu N \quad (4)$$

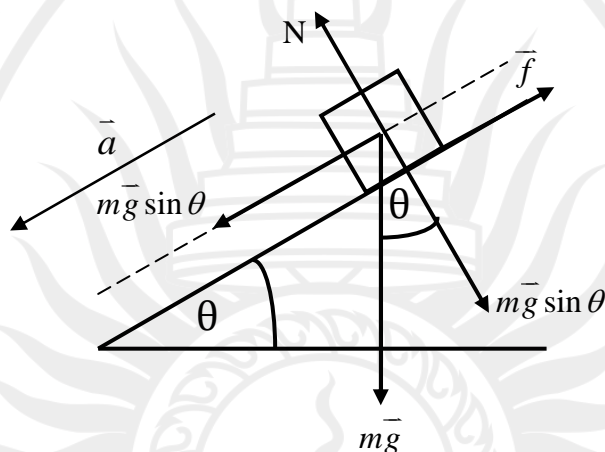
และ  $\sum \bar{F}_y = 0$  (ขนาดของแรงขึ้นเท่ากับขนาดของแรงลง) จะได้ขนาดของแรงที่วัตถุ  
 กระทำในแนวตั้งฉากกับผิวพื้นเอียงดังสมการที่ 5

$$N = m\bar{g} \cos \theta \quad (5)$$

แทนค่า  $N$  ในสมการที่ 4 จะได้  $m\bar{g} \sin \theta = \mu m\bar{g} \cos \theta$  สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์  
 ความเสียดทานสถิตได้ดังสมการที่ 6

$$\mu_s = \frac{mg \sin \theta}{mg \cos \theta} = \tan \theta \quad (6)$$

ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง เราจะพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุได้ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

เมื่อ  $N$  คือ แรงปฏิกิริยา หน่วยเป็น นิวตัน

$m\bar{g}$  คือ น้ำหนักของวัตถุ หน่วยเป็น นิวตัน

$\bar{f}$  คือ แรงเสียดทาน หน่วยเป็น นิวตัน

กำหนดแกนให้ตั้งฉากกับพื้นเอียงและขนานกับพื้นเอียงแตกแรง  $m\bar{g}$  เข้าสู่แกนตั้งฉากดังภาพประกอบ 6 จะได้  $m\bar{g} \sin \theta$  คือ น้ำหนักของวัตถุที่พยายามทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียง ส่วน  $m\bar{g} \cos \theta$  คือ น้ำหนักของวัตถุในแนวตั้งฉากกับผิวพื้นเอียงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งจากกฎข้อที่สองของนิวตัน  $\sum \bar{F}_x = m\bar{a}$  เมื่อเราพิจารณาขนาดของแรงจะได้  $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$  สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ได้ดังสมการที่ 7

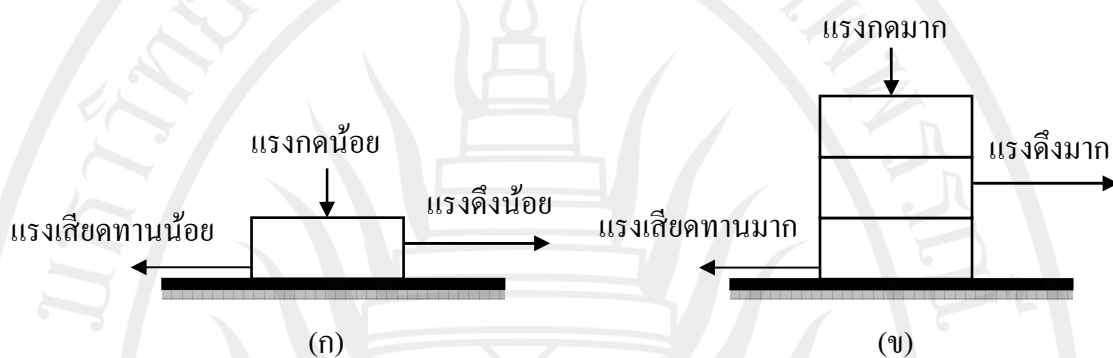
$$\mu_k = \frac{mg \sin \theta - ma}{mg \cos \theta} \quad (7)$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แสดงว่า ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าน้อยลงเรียกว่า สัมประสิทธิ์เสียดทานจลน์

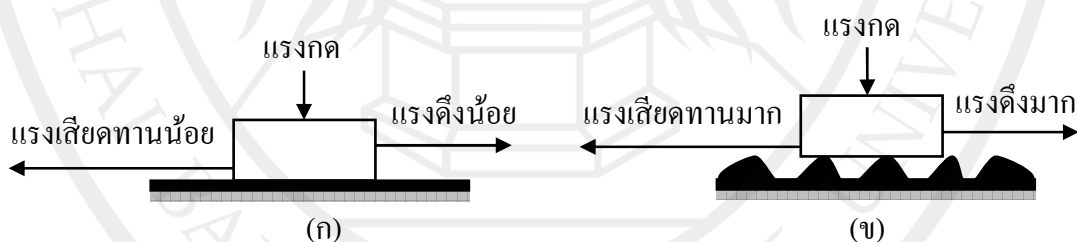
#### 4. ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน

4.1 ถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสมีค่ามากจะเกิดแรงเสียดทานมาก ถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสมีค่าน้อยจะเกิดแรงเสียดทานน้อย แสดงดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แรงกดตั้งฉากผิวสัมผัส (ก) แรงกดน้อย แรงเสียดทานน้อย (ข) แรงกดมาก แรงเสียดทานมาก

4.2 ลักษณะของผิวสัมผัส ถ้าผิวสัมผัสหยาบหรือขรุขระจะทำให้เกิดแรงเสียดทานมาก ถ้าผิวสัมผัสเรียบลื่นจะเกิดแรงเสียดทานน้อยดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ลักษณะของผิวสัมผัส (ก) ผิวสัมผัสเรียบ แรงเสียดทานน้อย (ข) ผิวสัมผัสขรุขระ แรงเสียดทานมาก

4.3 ชนิดของผิวสัมผัส วัสดุแต่ละชนิดจะมีผิวสัมผัสที่มีความหยาบ ขรุขระ หรือเรียบ ที่แตกต่างกันทำให้แรงเสียดทานไม่เท่ากัน

### 5. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้ มีนักฟิสิกส์หลายท่านได้ศึกษาและบันทึกไว้ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันผู้วิจัยเลือกนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาจากหนังสือและจากเว็บไซต์ แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้

สัมประสิทธิ์		สัมประสิทธิ์	
ความเสียดทานสถิต ( $\mu_s$ )		ความเสียดทานจลน์ ( $\mu_k$ )	
0.25-0.50	[1],[4],[6]	-	[1],[4],[6]
0.58	[2]	0.40	[2]
0.40	[3]	0.20	[3]
0.25	[5]	0.129	[5]
0.25-0.50	[7]	0.25-0.50	[7]
0.30	[8]	0.42	[8]

ที่มา : [1] Blau. 1995 : 22 , [2] Wilson, Buffa and Lou. 2007 : 124 , [3] Gianocoli. 1998 : 97,  
 [4] Ramsdale. Online. 2004, [5] MechGuru. Online. 2014, [6] Carbide Depot. Online.  
 2014, [7] Dirac Delta. Online. 2014, [8] Physic Study Guide. Online. 2009

## 6. วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงในห้องปฏิบัติการ

ไพศักดิ์ ชัมมวิริยะ (2549 : 138) ได้เขียนอธิบายวิธีการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงในห้องปฏิบัติการไว้ดังนี้

6.1 วางวัตถุหนัก  $w_1$  บนปลายด้านสูงของพื้นเอียง

6.2 เพิ่มขนาดของมุม  $\theta$  ด้วยการยกปลายของพื้นเอียงให้สูงขึ้นทีละน้อยจนวัตถุเคลื่อนที่ลงไปตามพื้นเอียง ด้วยความเร็วคงที่ วัดค่า  $\theta$  ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนลงไปตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงที่นี้ แล้วบันทึกมุม  $\theta$

6.3 ลดระดับพื้นเอียงลงแล้วปฏิบัติซ้ำข้อที่ 6.1-6.2 อีก 4 ครั้ง

6.4 นำค่ามุม  $\theta$  ไปเปิดตารางค่า  $\tan \theta$  จะได้ค่า  $\mu$  ของพื้นเอียงกับวัตถุ

## สเตรนเกจ

ปริญญา ราชนา (ม.ป.ป. : 1-2) ได้ให้ความหมายของสเตรน เกจไว้ดังนี้

สเตรนเกจ (Strain Gage) เป็นตัวแปลงแบบเฉื่อยงาน (Passive Transducer) ที่ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าภายในเส้นลวดเพื่อการตรวจวัดความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นจากแรงที่มากระทำบนเส้นลวดนี้ สเตรนเกจมีการใช้งานในการตรวจวัดได้อย่างกว้างขวาง เช่นการวัดน้ำหนัก ความดัน แรงเชิงกลหรือการเคลื่อนที่ (Displacement)

สเตรนเกจสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือแบบยึดติด (Bonded Strain Gage) และแบบไม่ยึดติด (Unbonded Strain Gage) ซึ่งสเตรนเกจทั้งสองชนิดจะมีลักษณะของโครงสร้างและการทำงานที่คล้ายกันคือทำด้วยเส้นลวดเล็กๆขดไปขดมาและนำไปติดกับวัตถุที่ต้องการตรวจวัดความเครียดเมื่อสเตรนเกจถูกดึงให้ยืดออกความยาวของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลงผลก็คือความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้านทานโลหะตัวนำจะแปรค่าโดยตรงตามความยาวและแปรค่าผกผันกับพื้นที่หน้าตัดดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 8

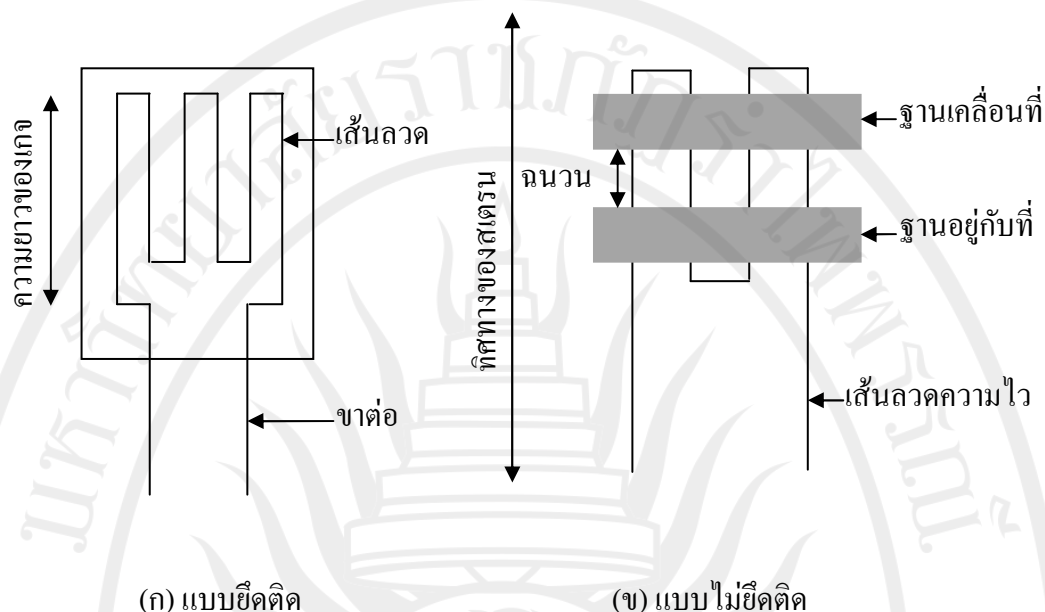
$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (8)$$

เมื่อ  $R$  คือ ความต้านทานของสเตรนเกจหน่วยโอห์ม ( $\Omega$ )

$\rho$  คือ ค่าความต้านทานคงที่ของตัวโลหะหน่วยโอห์ม·เมตร ( $\Omega \cdot m$ )

$L$  คือ ความยาวของเส้นลวดหน่วยเมตร ( $m$ )

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำหน่วยตารางเมตร ( $m^2$ )



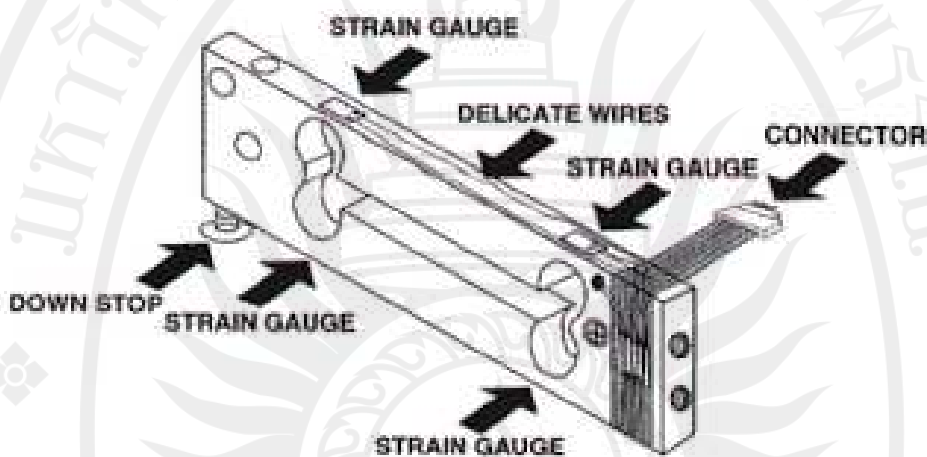
**ภาพประกอบ 9** โครงสร้างของสเตรนเกจ (ก) โครงสร้างของสเตรนเกจแบบยึดติดที่ทำมาจากเส้นลวดเล็กๆ ขดไปขดมาหลายครั้งและยึดติดตั้งไว้บนแผ่นกระดาษหรือพลาสติกบางๆ เส้นลวดนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.001 นิ้ว และมีค่าความต้านทาน 120 โอห์ม และ (ข) โครงสร้างของสเตรนเกจแบบไม่ยึดติดจะทำจากเส้นลวดเล็กๆ ที่ติดอยู่กับฐานที่อยู่กับที่และฐานที่เคลื่อนที่

### ส่วนประกอบเครื่องชั่งไฟฟ้า

1. โหลดเซลล์ มีหน้าที่เป็นตัวรับแรงกด หรือแรงดึง แล้วส่งสัญญาณดิจิทัล ออกไปยังส่วนประมวลผล โหลดเซลล์แบ่งออกเป็น 2 แบบ

1.1 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge Load Cell) มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม มีร่องเว้า 4 ร่อง หลักการทำงานของโหลดเซลล์แบบนี้ คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วน โดยตรงกับแรงที่มากระทำ ปกติจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว (วงจร Wheatstone Bridge Circuit) ในการวัดเพื่อให้ได้ความไวสูงสุดและมีการชดเชยผลของอุณหภูมิขณะทำการวัด เกจทั้ง 4 จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อช่วยในการปรับตั้งค่าชดเชยวงจร โดยทั่วไปเกจ 2 ตัวจะอยู่ในสภาพถูกดึงและอีก 2 ตัวอยู่ในสภาพถูกกด ตัวต้านทานทั้ง 4 จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของโหลดเซลล์ออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยส่วนประกอบของโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจนี้แสดงดังภาพประกอบ 10 โหลดเซลล์แบบนี้

ราคาถูก ความละเอียดต่ำ นิยมนำมาติดตั้งในเครื่องชั่งอุตสาหกรรม เช่น เครื่องชั่งน้ำหนักขนาดเล็ก เครื่องชั่งกันน้ำ เครื่องชั่งวางพื้น เครื่องชั่งวางโต๊ะ เครื่องชั่งห้องเย็น เครื่องชั่งนับจำนวน เครื่องชั่งราคาถูก เครื่องชั่งคิดราคา เครื่องชั่งอาหาร เครื่องชั่งห้องทดลอง เครื่องชั่งไปรษณีย์ เครื่องชั่งพกพา เครื่องชั่งกระดาษ เครื่องชั่งผ้า เครื่องชั่งราคาประหยัด



ภาพประกอบ 10 ส่วนประกอบของโพลดเซลล์แบบสเตรนเกจ

ที่มา : Precision Weighing Balances. Online. 2012

1.2 โพลดเซลล์แบบแม่เหล็ก (Electromagnetic Force) มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม หลักการทำงานของโพลดเซลล์แบบนี้ คือ โพลดเซลล์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีการวางวัตถุบนเครื่องชั่งก็จะเกิดการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก หลังจากนั้นก็จะส่งสัญญาณออกไปยังส่วนประมวลผล โพลดเซลล์ชนิดนี้มีราคาแพง มีความละเอียดสูง ความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงกว่า โพลดเซลล์แบบสเตรนเกจประมาณ 10 เท่า ดังนั้นจึงนิยมนำมาติดตั้งในเครื่องชั่งความละเอียดสูง เช่น เครื่องชั่งห้องปฏิบัติการ เครื่องชั่งวิเคราะห์ เครื่องชั่งเพชร เครื่องชั่งพลอย เครื่องชั่งอัญมณี เครื่องชั่งทอง เครื่องชั่งเงิน เครื่องชั่งวัดความชื้น เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. หน้าจอแสดงผล มีหน้าที่ประมวลผลของสัญญาณที่ส่งออกมาจาก โพลดเซลล์ให้เป็นตัวเลขแสดงค่าน้ำหนักที่เราชั่งบนหน้าจอแสดงผล สำหรับวงจรประมวลผลนี้บางเครื่องอาจติดตั้งในหัวอ่านเลย หรืออาจติดตั้งบนเมนบอร์ด

## การสอบเทียบเครื่องชั่ง

การสอบเทียบเครื่องชั่ง (Calibration) หมายถึง การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงจากเครื่องชั่งกับค่าที่ถูกต้องภายใต้สภาวะเฉพาะ โดยผลจากการสอบเทียบจะให้ข้อมูลว่าเครื่องชั่งที่ใช้ยังคงมีคุณลักษณะทางด้านการชั่งที่เหมาะสมในการใช้งานต่อหรือไม่ ดังนั้นเครื่องชั่งจึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ โดยอาจทำการตรวจสอบเทียบทุก 1 ปี เพื่อให้ห้องปฏิบัติการสามารถมั่นใจได้ว่าเครื่องชั่งที่ใช้ และผลการทดสอบที่ได้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ (ฐิติรัตน์ จารุวาระกุล. 2548 : 17-22)

1. ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องชั่งตาม NIS6 (National Institute for Standards 6) แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การตรวจสอบลักษณะทั่วไป การตรวจสอบความเที่ยง การตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่อ่านได้ และการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจานชั่ง

1.1 การตรวจสอบลักษณะทั่วไปของเครื่องชั่ง เป็นการตรวจสอบระบบการทำงานทั่วไปของเครื่องชั่ง เช่น ความสะอาดของเครื่องชั่ง เมื่อกดปุ่ม Tare เครื่องชั่งต้องอ่านค่าได้ศูนย์

1.2 การตรวจสอบความเที่ยงของเครื่องชั่ง ทำโดยการชั่งค้อนน้ำหนักมาตรฐานซ้ำกัน 10 ครั้ง ภายใต้เงื่อนไขและสภาวะเดียวกัน แล้วคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการชั่งน้ำหนักที่ได้ในการปฏิบัตินิยามหาความเที่ยงที่ตำแหน่งที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 และไม่เกินร้อยละ 10 ของค่าน้ำหนักมากที่สุดที่เครื่องชั่งสามารถรับได้

1.3 การตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่อ่านได้ เป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งกับค่าจริงของค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว โดยทั่วไปการสอบเทียบจะตรวจสอบความถูกต้องเป็นช่วงๆ ไม่น้อยกว่า 10 ช่วงเท่าๆ กัน และทำการสอบเทียบที่ตำแหน่งปลายบนของช่วง จากนั้นจัดหาค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่มีขนาดที่ต้องการซึ่งต้องมีใบรับรองบอกค่าน้ำหนักที่แท้จริงของค้อนน้ำหนักมาตรฐานแต่ละอันที่ออกโดยหน่วยงานที่เชื่อถือได้ และนำค้อนน้ำหนักมาตรฐานที่จะทำการทดสอบมาวางใกล้ๆ บริเวณเครื่องชั่ง เพื่อให้อุณหภูมิของค้อนน้ำหนักมาตรฐานและเครื่องชั่งมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด เริ่มการตรวจสอบโดยชั่งน้ำหนักมาตรฐานแต่ละอันจำนวน 4 ครั้ง บันทึกข้อมูลที่ได้ จากนั้นนำค่ามาคำนวณหาค่าแก้ของเครื่องชั่งได้จากสมการที่ 9 การจะนำค่าแก้มาใช้คำนวณในการทดสอบหรือไม่ ขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบที่ระบุให้มีความถูกต้องของน้ำหนักอยู่ที่เท่าไร ถ้าค่าแก้มีค่าต่ำกว่าค่าที่วิธีทดสอบกำหนดก็ไม่จำเป็นต้องนำไปคำนวณ แต่ถ้ามีค่าใหญ่กว่าต้องนำไปคำนวณด้วย เช่น วิธีทดสอบระบุว่าต้องชั่งน้ำหนักให้มีความถูกต้อง 0.001 กรัม แต่ค่าแก้ที่ได้เท่ากับ 0.00016 กรัม ก็ไม่ต้องนำค่าแก้นี้มาคำนวณ ในทาง

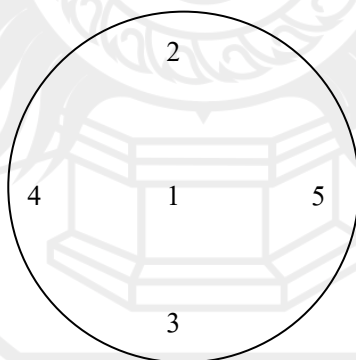
กลับกันถ้าค่าแก้เท่ากับ 0.001 กรัม ในขณะที่วิธีทดสอบระบุความถูกต้องไว้ที่ 0.0001 กรัม ก็ต้องนำค่าแก้ไปคำนวณค่าน้ำหนักที่ถูกต้องด้วย

$$\text{ค่าแก้ของเครื่องชั่ง} = (N + Cs) - \bar{x} \quad (9)$$

เมื่อ N คือ น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน  
Cs คือ ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน  
 $\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยจากการอ่านทั้ง 4 ครั้ง

#### 1.4 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน

ตรวจสอบโดยการชั่งน้ำหนักซึ่งมีขนาดระหว่าง 1/4 ถึง 1/3 ของน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องชั่งจะสามารถรับได้ ณ จุดตรงกลางเปรียบเทียบกับจุดซึ่งอยู่ห่างจากตรงกลางมากที่สุด ดังภาพประกอบ 11 แต่ละตำแหน่งชั่ง 3 ครั้ง บันทึกผลและคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งแล้วนำมาคำนวณความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจากค่าที่แตกต่างที่สุดจากตรงกลาง



ภาพประกอบ 11 ตำแหน่งการวางตุ้มน้ำหนักที่ตำแหน่งต่างๆ

#### 2. การคำนวณผลการสอบเทียบ

เป้าหมายของการสอบเทียบ คือ การนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการตรวจสอบไปคำนวณความคลาดเคลื่อนที่อาจมาจากการใช้เครื่องชั่ง หรือความไม่แน่นอนของเครื่องชั่ง เพื่อยืนยันว่าเครื่องชั่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินขอบเขตที่ยอมรับได้ การสอบเทียบจะไม่สมบูรณ์ ถ้าไม่มีการแสดงค่าความไม่แน่นอน ซึ่งบ่งถึงลักษณะการกระจายตัวของค่าซึ่งครอบคลุมปริมาณที่วัด

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### งานวิจัยในประเทศ

นิธิพงษ์วิไลพันธุ์ (2549 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นดินและพื้นรองเท้าภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกันโดยทำการเก็บข้อมูลผ่านแบบสำรวจจากโรงงานอุตสาหกรรมได้พื้นรองเท้าที่นิยมใช้มากที่สุด 3 ประเภทคือพื้นยางอ่อนพื้นยางแข็งและพื้นพีวีซี ซึ่งพื้นดินที่นิยมใช้มากที่สุดมี 3 ประเภทคือ พื้นปูนขัด พื้นหินขัด และพื้นกระเบื้องสำหรับสภาวะของพื้นดินที่เป็นอยู่ในโรงงานมากที่สุดมี 3 ประเภทคือ สภาวะแห้ง สภาวะเปียกน้ำ และสภาวะเปื้อนน้ำมัน (SAE 40) โดยจากข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาจำลองใช้กับเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยประกอบกับตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดจากมาตรฐาน ISO 13287 : 2006 โดยการตั้งเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคือมุมที่สั้นเท้า 7 องศา มุมที่เท้า 15 องศา แรงในแนวตั้ง  $500 \pm 25$  นิวตัน และความเร็วในการเลื่อนไถล 30 เซนติเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 9 การทดลองซึ่งในแต่ละการทดลองมีการทำซ้ำชนิดละ 5 ครั้งซึ่งผลการทดลองสรุปได้ว่า 1) พื้นดินปูนขัดถ้าสภาวะแห้งรองเท้าพื้นยางแข็งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.734 แต่ถ้าสภาวะเปียกน้ำรองเท้าพื้นยางอ่อนให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุด 0.437 แต่ถ้าสภาวะเปื้อนน้ำมันรองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.083 2) พื้นดินหินขัด ถ้าสภาวะอากาศแห้งรองเท้าพื้นยางแข็งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.755 แต่ถ้าสภาวะเปียกน้ำรองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.473 แต่ถ้าสภาวะเปื้อนน้ำมันรองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.095 3) พื้นดินกระเบื้องถ้าสภาวะแห้งรองเท้าพื้นยางอ่อนให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.354 แต่ถ้าอยู่ในสภาวะเปียกน้ำรองเท้าพื้นยางอ่อนให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.468 แต่ถ้าอยู่ในสภาวะเปื้อนน้ำมันรองเท้าพื้นพีวีซีให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงสุดที่ 0.076

สิงหา ประสิทธิ์พงศ์ (2554 : 4-6) ได้ศึกษาปลายขนแปรงกับทิศแรงเสียดทานโดยผลิตเครื่องมือสาธิตทิศแรงเสียดทานผ่านการเอนของปลายขนแปรง ซึ่งเครื่องมือนี้ได้ถูกออกแบบและสร้างมาจากแปรงซักผ้า โดยการตัดแปรงซักผ้าออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วติดขึ้นขนแปรงดังกล่าวกับกล่องพลาสติก นำเครื่องมือไปใช้ในการสาธิตทิศแรงเสียดทานโดยนำแท่งไม้วางไว้ในกล่องขนแปรงแล้วนำไปจัดตามสถานการณ์ต่างๆ ที่ต้องการจะหาทิศแรงเสียดทานที่พื้นกระทำกับวัตถุนั้น ซึ่งเครื่องมือในการสาธิตทิศแรงเสียดทานนี้ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนการสอนในเรื่องการแสดงทิศของแรงเสียดทานที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจในเรื่องทิศของแรงเสียดทานดีขึ้น

ศุภชัย หลักคำ และกุลยศ สุวันทโรจน์ (2555 : 315-324) ได้คิดค้นและออกแบบสร้างเครื่องมือทดสอบวัสดุความเสียดทานตามรูปแบบมาตรฐาน The Special Test Jigs for Friction

Measurements JIS K7125 มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมาตรฐาน Clutch Facings for Automobiles JIS D4311 โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ( $\mu_s$ ) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ( $\mu_k$ ) ในสภาวะอุณหภูมิและภาระน้ำหนักที่แตกต่างกันและใช้ตัวอย่างผ้าเบรค ทั้ง 3 ชนิด จากผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบมีค่าความแตกต่างระหว่างเครื่องทดสอบ Pin on Disk และเครื่อง Friction Testing ค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 17-22 ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยด้านความเร็วที่ใช้ในการทดสอบแตกต่างกันมาก และเป็นข้อจำกัดของเครื่องทดสอบทั้งสอง นอกจากนี้อุณหภูมิและความดันก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและจลน์เพิ่มขึ้น โดยจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ลดลง

#### งานวิจัยต่างประเทศ

เทอส์สกาย, แฮทซอร์ และซิตา (Tsesarsky, Hatzor and Sitar. 2005 : 153-167) ได้ทำการเคลื่อนที่ของกล่องบนพื้นเอียง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการแก้ปัญหา และการวิเคราะห์ความผิดปกติดต่อเนื่อง (discontinuous deformation analysis : DDA) ในการวิจัยมีวัตถุประสงค์คือ 1) เปรียบเทียบ การวิเคราะห์โดย DDA และ การวิเคราะห์ด้วยการแก้ปัญหา 2) เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย DDA และผลที่ได้จากการทดลองบนโต๊ะที่ชัน 3) ศึกษาหน้าที่และความไวของตัวแปรและตัวเลขในการวิเคราะห์โดย DDA 4) กำหนดความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์โดย DDA ในการทดลองใช้พื้นเอียงที่ทำด้วยเหล็กเอียงเป็นมุม 11.37 องศา และประกอบกับพื้นที่ชันได้ และใช้วัสดุที่ปล่อยบนพื้นเอียงเป็นกล่องที่ทำจากเหล็กหนา 2.54 เซนติเมตร มีพื้นที่สัมผัส 25.8 ตารางเซนติเมตร มวล 1.6 กิโลกรัม ปล่อยวัตถุจากปลายพื้นเอียงให้เคลื่อนที่ลงมาในขณะที่พื้นชัน ผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธี DDA สามารถทำให้เป็นระบบแบบอย่างได้ มีลำดับและขั้นตอนในการทำที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ค่าแรงเสียดทานที่ได้จากการไถล และเมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ได้จากพื้นเอียงที่ชันและค่าที่คำนวณได้จากวิธี DDA มีความแตกต่างเนื่องจากการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการทดลองกับวิธีการ DDA เพียงร้อยละ 2 สรุปได้ว่าในการทดลองการวัดแรงเสียดทาน โดยใช้ระบบ DDA เป็นวิธีการที่แม่นยำ

กราทอน และ ดีเฟรนซ์โก (Gratton and Defrancesco. 2006 : 232-235) ได้วิจัยเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากการไถล โดยงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือที่นำเสนอการทำงาน ของระบบคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการหาค่าแรงเสียดทานจากการไถล โดยทดลองตามกฎของคูลอมบ์ ที่บอกว่า แรงเสียดทานจากการไถลเกิดจาก 1) พื้นผิวของวัสดุที่สัมผัสกัน 2) แรงเสียดทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปกติ 3) ไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส 4) ไม่ขึ้นกับอัตราเร็วในการไถล โดย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าแรงเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขณะไถแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วนคือ 1) ใช้วัสดุที่แตกต่างกัน คือ ไม้บนพลาสติก ไม้บนลูมินิกซ์ ไม้บนไม้ และ ไม้บนกระดาษ 2) แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์ที่ได้จากวัตถุที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน 3) ทดสอบกฎข้อ 3 ของกลุอมป์ใช้ลูมินิกซ์ 4 ชั้นที่มีพื้นที่แตกต่างกันและนำไปเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่บนพื้นพลาสติก 4) ทดสอบกฎข้อ 4 ใช้ความเร็วที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานว่าขึ้นกับความเร็วหรือไม่ จากการทดลองสรุปได้ว่าเครื่องมือนี้สามารถใช้ในการเรียนในห้องเรียนเพื่อให้นักเรียนเข้าใจกฎของกลุอมป์ในเรื่องแรงเสียดทานได้

มันแกน (Mungan. 2012 : 288-292) ได้วิจัยเพื่อทดลองหาแรงเสียดทานจากการหมุนของล้อรถทดลอง โดยงานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองเพื่อพัฒนาชุดทดลองให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากการหมุนของล้อรถทดลองและเพลลาได้ โดยเปรียบเทียบแรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์บนพื้นราบและพื้นเอียง จากการทดลองสามารถทดลองและสร้างสมการเพื่อหาค่าแรงเสียดทานจากการหมุนและแรงเสียดทานสถิตได้

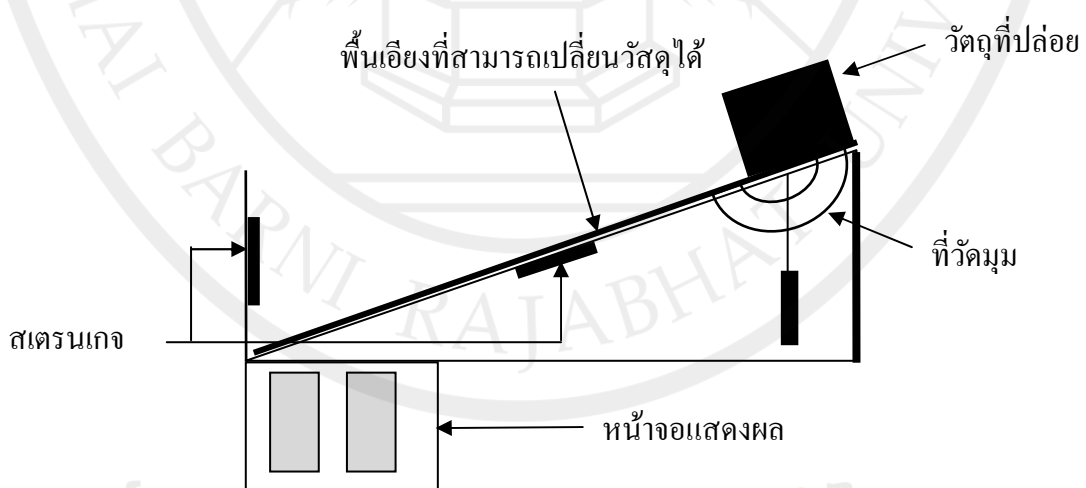
จากการศึกษาและประมวลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งงานวิจัยภายในประเทศและงานวิจัยต่างประเทศ มีการศึกษาเกี่ยวกับแรงเสียดทานและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน จากพื้นรองเท้า ปลายขนของแปรงซักผ้า ผ้าเบรก และจากการหมุนของล้อรถทดลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็นค่าคงที่สำหรับผิวสัมผัสของวัสดุหนึ่งคู่ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนี้จะส่งผลต่อความเสียดทานของวัตถุ ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากแรงเสียดทานก็จะมากวัตถุก็จะเคลื่อนที่ได้ยาก ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีสองชนิดคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตเกิดเมื่อวัตถุหยุดนิ่งและมากที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ เกิดเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ โดยจะหาค่าจากการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียง ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัตถุบนพื้นเอียง

## อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ออกแบบชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยใช้สเตรนเกจ ที่เป็นส่วนประกอบในเครื่องชั่งดิจิตอลเป็นเครื่องมือช่วยวัดแรงกดจากวัตถุขณะเคลื่อนที่บนพื้นเอียง โดยจะติดตั้งบนพื้นเอียงเพื่อวัดน้ำหนักของวัตถุบนพื้นเอียงและสามารถนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างวัตถุได้ และวัดประสิทธิภาพของชุดทดลองโดยการทดลองเปรียบเทียบกับชุดทดลองของศึกษาภัณฑ์ที่ใช้ในห้องทดลองเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

### ตอนที่ 1 ออกแบบชุดทดลองพื้นเอียง

ชุดทดลองทำจากพื้นไม้ขนาด  $24.0 \times 85.0$  เซนติเมตร พื้นเอียงไม้มีขนาด  $15.0 \times 50.0$  เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น พื้นเอียงสามารถปรับมุมได้จาก 0 ถึง 60 องศา และสามารถเปลี่ยนวัสดุที่พื้นเอียงได้ 3 ชนิด คือ ไม้ อะคริลิก และแก้ว มีการติดตั้งวงจรรองของสเตรนเกจ 2 จุดคือที่กึ่งกลางของพื้นเอียง และตำแหน่งปลายที่วัตถุหยุดกระทบ โดยสเตรนเกจจะเชื่อมต่อกับแผงวงจรแสดงผลออกมาเป็นน้ำหนักจากวัตถุที่ตกลงเพื่อนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ส่วนประกอบของชุดทดลองพื้นเอียงแสดงดังภาพประกอบ 12



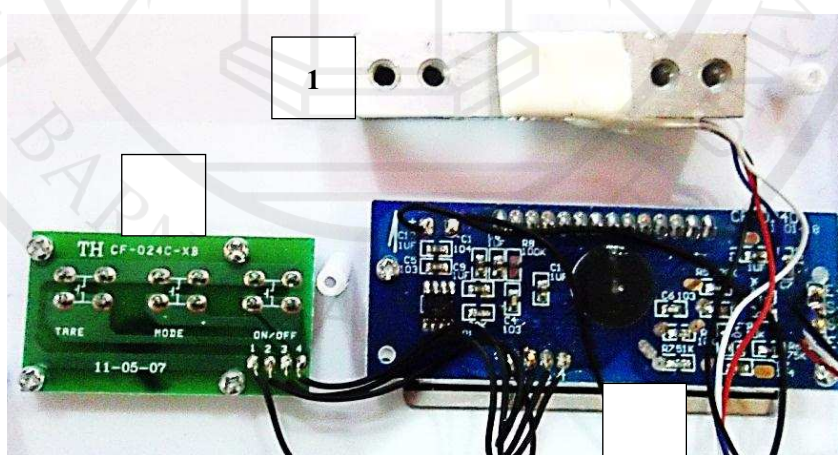
ภาพประกอบ 12 ส่วนประกอบชุดทดลองพื้นเอียงโดยใช้สเตรนเกจ

## 1. ขั้นตอนการประกอบชุดทดลองพื้นเอียง

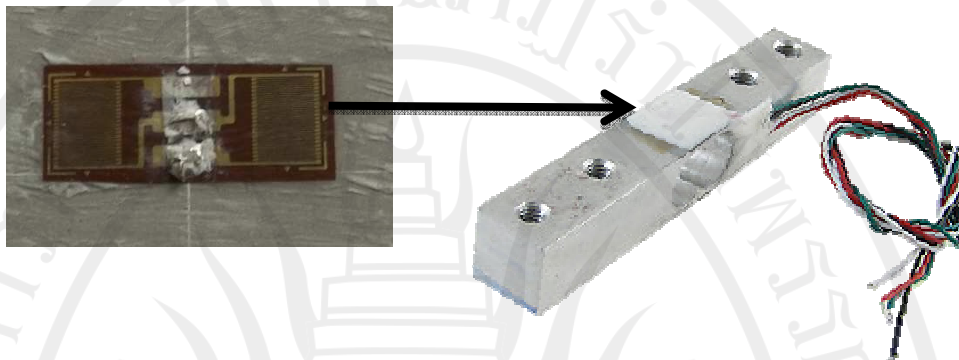
1.1 นำเครื่องชั่งดิจิตอลมาทดสอบความแม่นยำและถูกต้องในการวัดด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานและแยกส่วนประกอบออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ และจอแสดงผล แสดงดังภาพประกอบ 13 และภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 13 เครื่องชั่งดิจิตอลที่ใช้ในการทดลอง

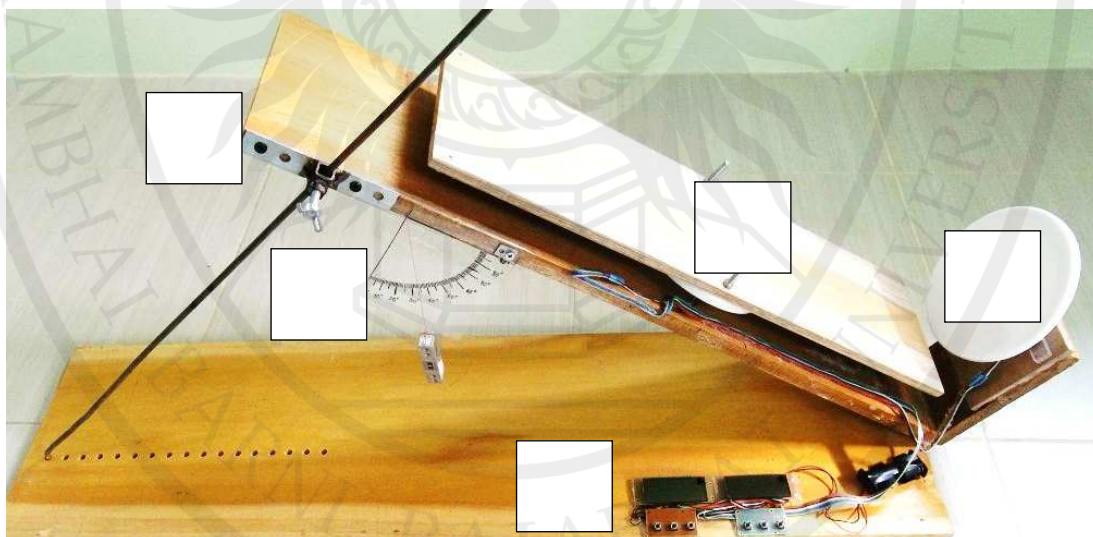


ภาพประกอบ 14 ส่วนประกอบภายในเครื่องชั่งดิจิตอล หมายเลข 1 คือ โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ หมายเลข 2 คือ แผงวงจรหน้าจอแสดงผล และหมายเลข 3 คือ แผงวงจรปุ่มการใช้งานเครื่องชั่ง



ภาพประกอบ 15 สเตรนเกจภายในโหนดเซลล์ที่ได้จากเครื่องชั่งดิจิตอล

1.2 นำส่วนประกอบที่ได้จากเครื่องชั่งมาติดตั้งบนพื้นไม้ และติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยปรับมุมพื้นเอียงจาก 0 ถึง 60 องศา ส่วนประกอบแสดงดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 ส่วนประกอบชุดทดลองที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2 ติดตั้งโหนดเซลล์แบบสเตรนเกจ ตำแหน่งที่ 3 ป้ายบอกมุมพื้นเอียง ตำแหน่งที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมพื้นเอียง และ ตำแหน่งที่ 5 หน้าจอแสดงผลและปุ่มควบคุมการทำงาน

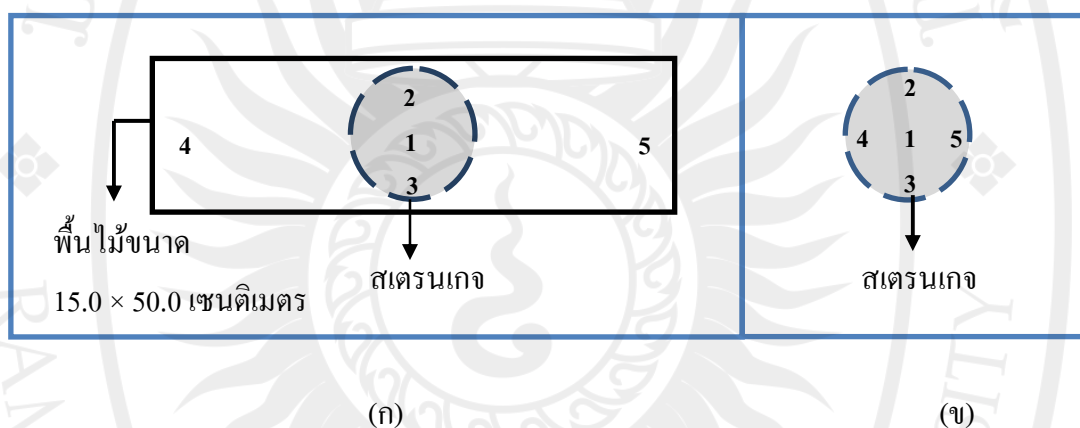
ตอนที่ 2 พัฒนาชุดทดลองพื้นเปียงให้วัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 จากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน

1. วัดประสิทธิภาพชุดทดลอง

1.1 สอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก (Calibrate) หลังติดตั้งกับชุดทดลองพื้นเปียงที่สร้างขึ้น โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก

1.1.1 นำตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 8 ชิ้น ขนาด 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 และ 200 กรัม วางบนตาชั่ง 5 ตำแหน่งดังภาพประกอบ 17

1.1.2 บันทึกผลตำแหน่งละ 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย



ภาพประกอบ 17 ตำแหน่งในการชั่งน้ำหนักเพื่อสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก (ก) เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องที่ 1 (ข) เครื่องชั่งน้ำหนักเครื่องที่ 2

1.2 ชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานบนพื้นเปียง

1.2.1 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับชั่งน้ำหนักบนพื้นเปียง

1.2.2 ปรับมุมพื้นเปียง 15 องศา ปรับเครื่องชั่งให้เป็นศูนย์

1.2.3 นำตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 2 ชิ้น ขนาด 100 และ 200 กรัม ชั่งขึ้นละ 5 ครั้ง

1.2.4 บันทึกผล และหาค่าเฉลี่ย

1.2.5 ทดลองซ้ำโดยปรับมุมเพิ่มครั้งละ 5 องศา จนถึงมุม 60 องศา



ภาพประกอบ 18 ชั่งน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมที่มุม 30 องศา



ภาพประกอบ 19 ชั่งน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมที่มุม 45 องศา



ภาพประกอบ 20 ชั่งน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัมที่มุม 60 องศา

## 2. ศึกษาความสัมพันธ์ความเสียดทาน

2.1 ทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ระหว่างพื้นเอียงไม้กับไม้โดยใช้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นและนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าของชุดทดลองศึกษาภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน

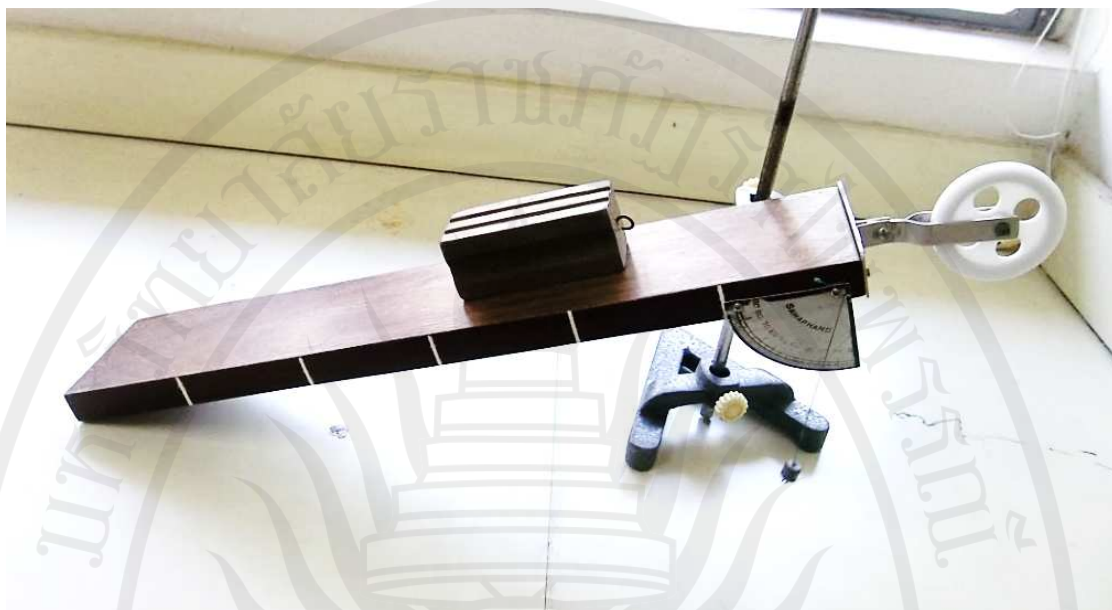
2.1.1 ทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงไม้กับไม้โดยใช้ชุดทดลองศึกษาภัณฑ์แสดงดังภาพประกอบ 21

1) วางวัตถุบนปลายด้านสูงของพื้นเอียง  
 2) เพิ่มขนาดของมุม  $\theta$  ด้วยการยกปลายของพื้นเอียงให้สูงขึ้นทีละน้อยจนวัตถุเคลื่อนที่ลงไปตามพื้นเอียง ด้วยความเร็วคงที่ วัดค่า  $\theta$  ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนลงไปตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงที่นี้ แล้วบันทึกมุม  $\theta$

3) ลดระดับพื้นเอียงลงแล้วปฏิบัติซ้ำข้อที่ 1 - 2 อีก 4 ครั้ง

4) นำค่ามุม  $\theta$  ไปเปิดตารางค่า  $\tan \theta$  จะได้ค่า  $\mu$  ของพื้นเอียงกับวัตถุ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 21 ชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของศึกษาภัณฑ์

### 2.1.2 ทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

- 1) วางวัตถุ (กล่องไม้ พื้นสัมผัส  $6.0 \times 6.0$  เซนติเมตร น้ำหนัก 46 กรัม) บนปลายด้านสูงของพื้นเอียง
- 2) เพิ่มขนาดของมุม  $\theta$  ด้วยการยกด้านปลายของพื้นเอียงให้สูงขึ้นทีละน้อยจนวัตถุเคลื่อนที่ลงไปตามพื้นเอียง ด้วยความเร็วคงที่ลือคมุมพื้นเอียง
- 3) ปรับน้ำหนักเครื่องชั่งน้ำหนักให้เป็นศูนย์ ปล่อยวัตถุสังเกตน้ำหนักจากเครื่องชั่งตัวที่ 1 จะต้องมีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ถ้าไม่คงที่ให้ปรับระดับใหม่ บันทึกน้ำหนัก  $\bar{W}_1$  เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ถึงปลายทาง บันทึกน้ำหนักที่ได้จากเครื่องชั่งตัวที่ 2 เป็น  $\bar{W}_2$  ทำซ้ำ 10 ครั้ง บันทึกผล และหาค่าเฉลี่ย
- 4) นำค่า  $\bar{W}_1$  และ  $\bar{W}_2$  ไปเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ และคำนวณหา ร้อยละความคลาดเคลื่อน
- 5) นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

### 2.1.3 ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นไม้ของชุดทดลองศึกษาภัณฑ์และพื้นไม้ของชุดทดลองที่สร้างขึ้นโดยทดลอง 2 ส่วนคือ

- 1) กล่องไม้ที่สร้างขึ้นเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชุดทดลองศึกษาภัณฑ์
- 2) วัตถุไม้ชุดทดลองศึกษาภัณฑ์เคลื่อนที่บนพื้นเอียงชุดทดลองที่สร้างขึ้น

2.1.4 นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากชุดทดลองศึกษาทั้งหมดมาคำนวณเพื่อหา ร้อยละความแตกต่างกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

2.1.5 นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่คำนวณได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นไป เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน และคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน

## 2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

### 2.2.1 ตัวแปรที่ศึกษา

- 1) ตัวแปรต้น คือ วัสดุพื้นและวัสดุวัตถุที่เคลื่อนที่ (ไม้ อะคริลิก และแก้ว)
- 2) ตัวแปรตาม ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
- 3) ตัวแปรควบคุม พื้นที่ก้นกล่อง น้ำหนัก และสภาพแวดล้อม

### 2.2.2 อุปกรณ์

1) กล่องไม้พื้นที่ก้นกล่อง  $6.0 \times 6.0$  เซนติเมตร น้ำหนัก 46 กรัม 3 กล่อง โดยมีพื้นที่ก้นกล่องเป็น ไม้ อะคริลิก และแก้ว แสดงดังภาพประกอบ 22

2) พื้นเอียงขนาด  $15.0 \times 50.0$  เซนติเมตร มี 3 แผ่น ใช้วัสดุคือ ไม้ อะคริลิก และแก้ว แสดงดังภาพประกอบ 23

3) ชุดทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้สเตรนเกจ

### 2.2.3 วิธีทดลอง

1) วางวัตถุบนปลายด้านสูงของพื้นเอียง

2) เพิ่มขนาดของมุม  $\theta$  ด้วยการยกปลายของพื้นเอียงให้สูงขึ้นทีละน้อยจน วัตถุเคลื่อนที่ลงไปตามพื้นเอียง ด้วยความเร็วคงที่ล้นคมุมพื้นเอียง

3) ปรับน้ำหนักเครื่องชั่งน้ำหนักให้เป็นศูนย์ และปล่อยวัตถุสังเกตน้ำหนัก จากเครื่องชั่งตัวที่ 1 จะต้องมีค่าคงที่ตลอดการเคลื่อนที่ถ้าไม่คงที่ให้ปรับระดับใหม่ บันทึกน้ำหนัก  $\bar{W}_1$  เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ถึงปลายทาง บันทึกน้ำหนักที่ได้จากเครื่องชั่งตัวที่ 2 เป็น  $\bar{W}_2$  ทำซ้ำ 10 ครั้ง บันทึกผล และหาค่าเฉลี่ย

4) นำค่า  $\bar{W}_1$  และ  $\bar{W}_2$  ไปเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ และคำนวณหา ร้อยละความคลาดเคลื่อน

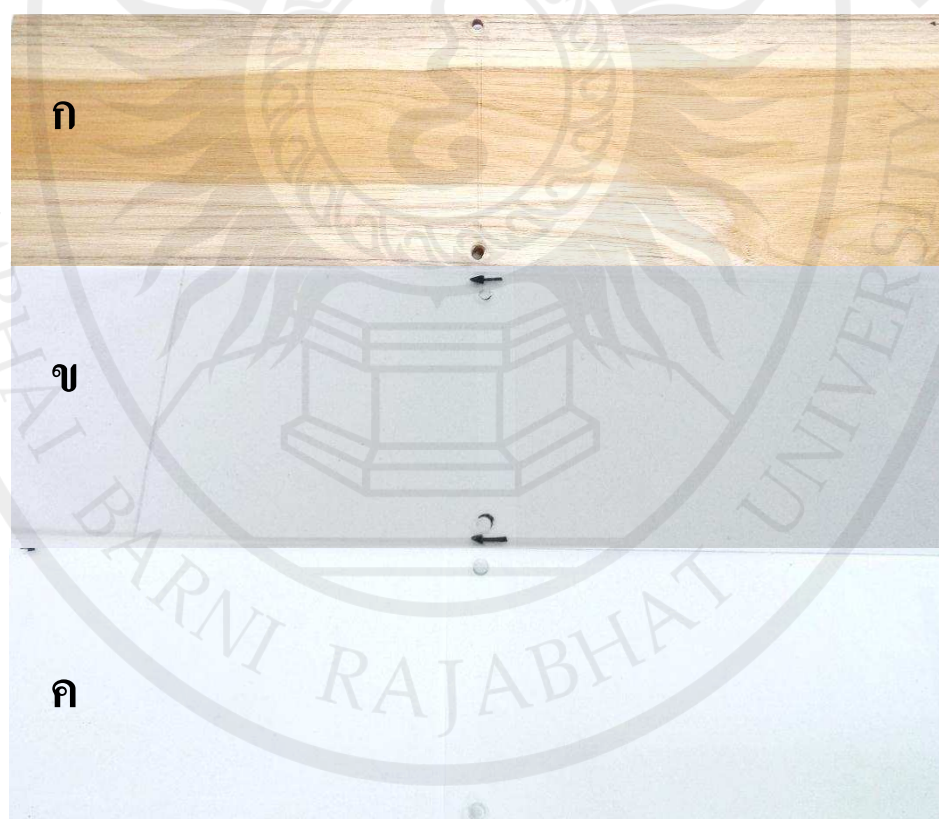
5) นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

6) ทดลอง 3 ชุด

- (1) พื้นไม้ ใช้กล่องที่มีพื้นเป็น ไม้ อะคริลิก และแก้ว เคลื่อนที่
- (2) พื้นอะคริลิก ใช้กล่องที่มีพื้นเป็น ไม้ อะคริลิก และแก้ว เคลื่อนที่
- (3) พื้นแก้ว ใช้กล่องที่มีพื้นเป็น ไม้ อะคริลิก และแก้ว เคลื่อนที่



ภาพประกอบ 22 กล่องไม้สำหรับเคลื่อนที่บนพื้นเอียงพื้นที่ก้นกล่องขนาด  $6.0 \times 6.0$  เซนติเมตร น้ำหนัก 46 กรัม ภาพ ก ข และ ค เป็นกัน ไม้ อะคริลิก และ แก้วตามลำดับ



## ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

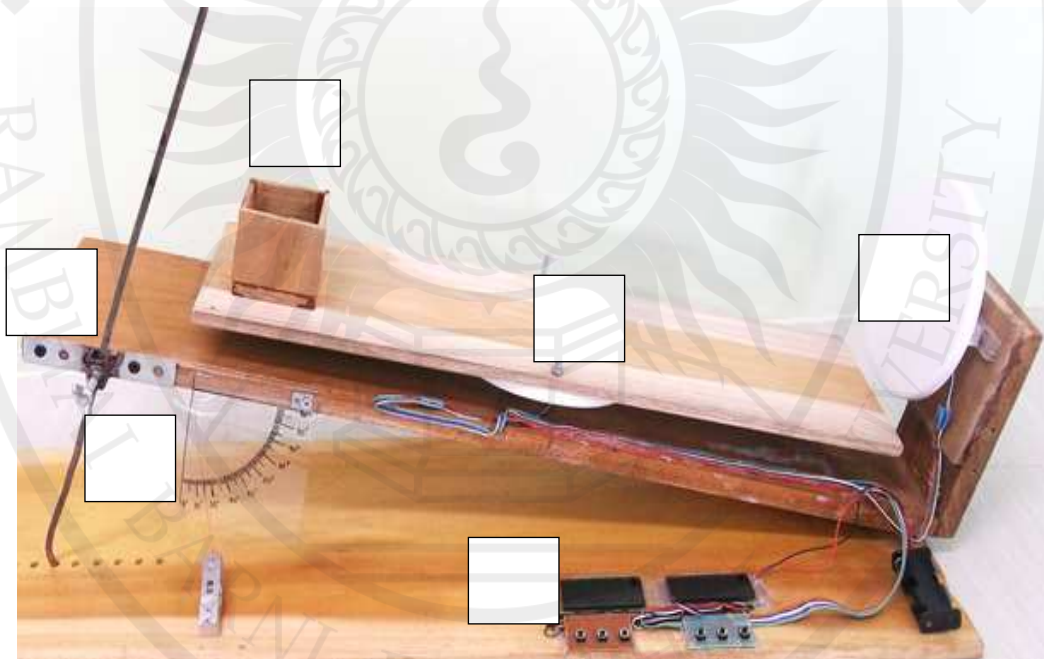
ภาพประกอบ 23 พื้นเอียงขนาด  $15.0 \times 50.0$  เซนติเมตร ภาพ ก ข และ ค เป็นพื้น ไม้ อะคริลิก และ แก้วตามลำดับ

## ผลและการวิจารณ์

จากการดำเนินการวิจัยออกแบบชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้สเตรนเกจ และวัดประสิทธิภาพของชุดทดลองโดยการทดลองเปรียบเทียบกับชุดทดลองศึกษาภัณฑ์ เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ได้ผลการวิจัยดังนี้

### 1. ออกแบบชุดทดลองพื้นเอียง

ชุดทดลองประกอบจากไม้มีพื้นเอียงที่สามารถเปลี่ยนวัสดุได้ 3 ชนิดคือ ไม้ อะคริลิก และแก้ว ติดตั้งสเตรนเกจ 2 จุดคือที่จุดกึ่งกลางของพื้นเอียง และตำแหน่งปลายที่วัตถุหยุดกระทบ และสามารถปรับมุมได้ตั้งแต่ 0 ถึง 60 องศา ส่วนประกอบของชุดทดลองแสดงคิงภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 ชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้สเตรนเกจ โดยมี ส่วนประกอบชุดทดลองที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2 คือ โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ ตำแหน่งที่ 3 คือ ป้ายบอกมุมพื้นเอียง ตำแหน่งที่ 4 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ปรับมุมพื้นเอียง ตำแหน่งที่ 5 คือ หน้าจอแสดงผลและปุ่มควบคุมการทำงาน และ ตำแหน่งที่ 6 คือ ก่อ่งวัตถุที่ใช้เคลื่อนที่บนพื้นเอียง

## 2. พัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงให้วัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ร้อยละ 5 จากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน

### 2.1 นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาทดสอบวัดประสิทธิภาพของเครื่องมือ

2.1.1 สอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก (Calibrate) โดยใช้ค้อนน้ำหนักมาตรฐานจำนวน 8 ชิ้น ขนาด 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 และ 200 กรัม มาวางบนตาชั่ง 5 ตำแหน่ง ได้ผลการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักแสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 น้ำหนักของค้อนน้ำหนักมาตรฐานจากเครื่องชั่งแนวราบ

น้ำหนักค้อน น้ำหนัก มาตรฐาน (กรัม)	ตำแหน่งในการชั่ง												
	เครื่องที่ 1						เครื่องที่ 2						
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
200	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200	200	200	200

จากการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก พบว่าเมื่อนำเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลไปติดตั้งกับชุดทดลองการชั่งน้ำหนักของวัตถุบนตาชั่งทั้ง 5 ตำแหน่ง เทียงตรงและแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์

2.1.2 ทดลองชั่งน้ำหนัก 2 ชั้นคือ 100 และ 200 กรัม บนพื้นเอียงมุม 15 ถึง 60 องศา ชั่งซ้ำมุมละ 5 ครั้งหาค่าเฉลี่ย และนำค่าที่ได้ไปเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณน้ำหนักของวัตถุเมื่อมุมเปลี่ยน ( $mg \cos \theta$ ) การทดลองจะทดลองบนพื้นไม้ อะคริลิก และแก้วผลการทดลองแสดงดังตาราง 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

**ตาราง 3** น้ำหนักและร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักวัตถุ 100 กรัมและ 200 กรัมบนพื้นเอียงไม้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

มุม (องศา)	100 กรัม			200 กรัม		
	ทดลอง	คำนวณ ( $mg \cos \theta$ )	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง	คำนวณ ( $mg \cos \theta$ )	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
15	97	97	0	193	193	0
20	94	94	0	188	188	0
25	91	91	0	182	181	0.55
30	87	87	0	174	173	0.58
35	82	82	0	164	164	0
40	77	77	0	153	153	0
45	71	71	0	142	141	0.71
50	64	64	0	128	129	0.78
55	57	57	0	115	115	0
60	50	50	0	100	100	0

จากตาราง 3 ชั่งน้ำหนักที่มุม 15 ถึง 60 องศา บนพื้นเอียงไม้พบว่าถ้าใช้น้ำหนัก 100 กรัม ค่าจะไม่คลาดเคลื่อนจากการคำนวณ ส่วนน้ำหนัก 200 กรัมมีความคลาดเคลื่อนที่มุม 25, 30, 45 และ 50 องศา ที่ร้อยละ 0.55, 0.58, 0.71 และ 0.78 ตามลำดับดังนั้นในการทดลองควรใช้น้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการชั่งน้ำหนักวัตถุบนพื้นเอียง

ตาราง 4 น้ำหนักและร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักวัตถุ 100 กรัมและ 200 กรัมบนพื้นเอียง  
อะคริลิกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

มุม (องศา)	100 กรัม			200 กรัม		
	ทดลอง	คำนวณ ( $mg \cos \theta$ )	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง	คำนวณ ( $mg \cos \theta$ )	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
15	97	97	0	193	193	0
20	94	94	0	188	188	0
25	91	91	0	182	181	0.55
30	87	87	0	173	173	0
35	82	82	0	164	164	0
40	77	77	0	153	153	0
45	71	71	0	141	141	0
50	64	64	0	129	129	0
55	57	57	0	115	115	0
60	50	50	0	100	100	0

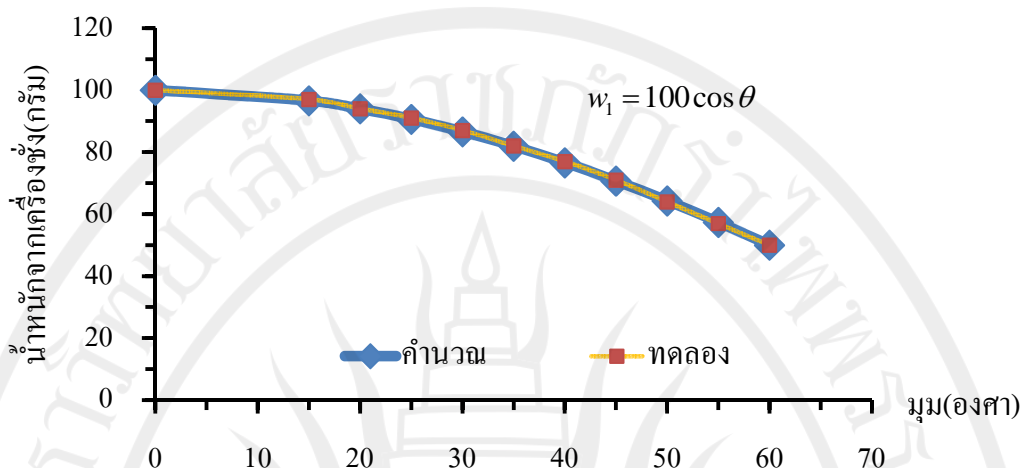
จากตาราง 4 ชั่งน้ำหนักที่มุม 15 ถึง 60 องศา บนพื้นเอียงอะคริลิก พบว่าถ้าใช้น้ำหนัก 100 กรัมค่าจะไม่คลาดเคลื่อนจากการคำนวณ ส่วนน้ำหนัก 200 กรัมมีความคลาดเคลื่อนที่มุม 25 องศา ที่ร้อยละ 0.55 ดังนั้นในการทดลองควรใช้น้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการชั่งน้ำหนักวัตถุบนพื้นเอียง

ตาราง 5 น้ำหนักและร้อยละความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักวัตถุ 100 กรัมและ 200 กรัมบนพื้นเอียง  
แก้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

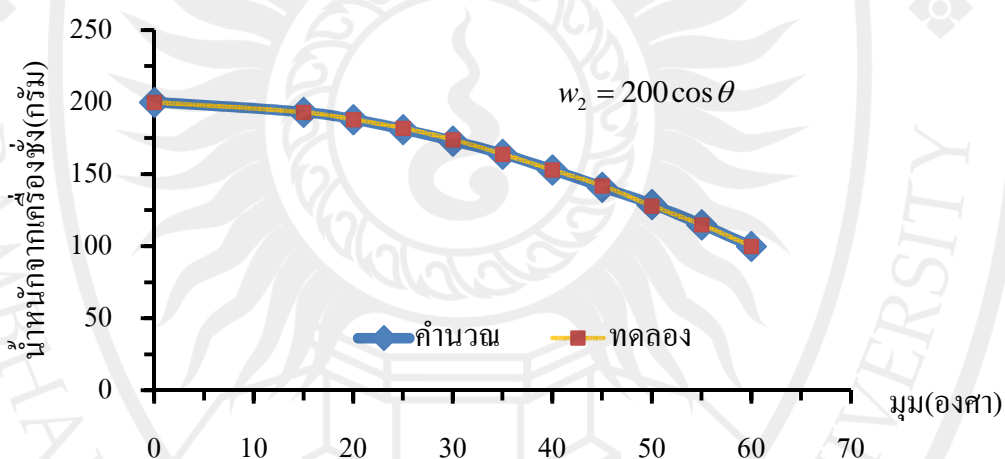
มุม (องศา)	100 กรัม			200 กรัม		
	ทดลอง	คำนวณ ( $mg \cos \theta$ )	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง	คำนวณ ( $mg \cos \theta$ )	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
15	97	97	0	193	193	0
20	94	94	0	188	188	0
25	91	91	0	182	181	0.55
30	87	87	0	174	173	0.58
35	82	82	0	164	164	0
40	77	77	0	153	153	0
45	71	71	0	142	141	0.71
50	64	64	0	128	129	0.78
55	57	57	0	114	115	0.87
60	50	50	0	100	100	0

จากตาราง 5 ชั่งน้ำหนักที่มุม 15 ถึง 60 องศา บนพื้นเอียงแก้ว พบว่าถ้าใช้น้ำหนัก 100 กรัม ค่าจะไม่คลาดเคลื่อนจากการคำนวณ ส่วนน้ำหนัก 200 กรัมมีความคลาดเคลื่อนที่มุม 25, 30, 45, 50 และ 55 ที่ร้อยละ 0.55, 0.58, 0.71, 0.78 และ 0.87 ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองควรใช้น้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม เพื่อให้เกิดความเที่ยงตรงในการชั่งน้ำหนักวัตถุบนพื้นเอียง

จากการทดลองชั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงมุม 0 ถึง 60 องศา สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมและน้ำหนัก โดยมีกราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณ แสดงดังภาพประกอบ 25 และ 26



ภาพประกอบ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมพื้นเอียงกับน้ำหนักจากตุ้มน้ำหนัก 100 กรัม



ภาพประกอบ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมพื้นเอียงกับน้ำหนักจากตุ้มน้ำหนัก 200 กรัม

จากภาพประกอบ 25 และ 26 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมพื้นเอียงกับน้ำหนักจากตุ้มน้ำหนักโดยเป็นกราฟแสดงเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงว่าค่าที่ได้จากการคำนวณและจากการทดลองไม่แตกต่างกัน โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุมและน้ำหนักได้ดังสมการที่ 10

$$w = F_g \cos \theta \quad (10)$$

โดยที่  $w$  คือ น้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง หน่วย กรัม

$F_g$  คือ น้ำหนักจริงของวัตถุ หน่วย กรัม

$\theta$  คือ มุมของพื้นเอียง หน่วย องศา

จากสมการที่ 10 แสดงให้เห็นว่าในการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎี ที่วางวัตถุบนพื้นเอียง ซึ่งสามารถพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุได้ดังภาพประกอบ 5 จากทฤษฎีในเรื่องพื้นเอียงในการคำนวณค่าน้ำหนักที่วัดได้ต้องมีหน่วยเป็นนิวตัน แต่เครื่องชั่งในชีวิตประจำวันใช้หลักการเปรียบเทียบน้ำหนักของมวลมาตรฐาน 1 กิโลกรัมและกำหนดให้ค่าที่อ่านได้บนเครื่องชั่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ดังนั้นเราจึงอ่านน้ำหนักที่ได้ในหน่วยกิโลกรัม ซึ่งในการทดลองค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งใช้หน่วยกรัมซึ่งเป็นหน่วยย่อยของกิโลกรัม ถ้าวัตถุสมดุลตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน จะได้  $N = mg \cos \theta$  ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับสมการที่ 10 ค่าที่ได้จากการชั่งก็คือ แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับวัตถุในแนวตั้งฉากกับพื้นเอียง แสดงให้เห็นว่าถ้ามุมของพื้นเอียงเปลี่ยนน้ำหนักที่ชั่งได้ก็จะเปลี่ยนตามมุมของพื้นเอียง

## 2.2 นำชุดทดลองที่วัดประสิทธิภาพแล้วมาศึกษาความสัมพันธ์ความเสียดทาน

2.2.1 ทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น และนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าของชุดทดลองในห้องปฏิบัติการของศึกษากันท์และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน

1) ทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงจากชุดทดลองในห้องปฏิบัติการของศึกษากันท์ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 6

2) ทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยผลการทดลองแสดงดังตาราง 7

3) ทดลองเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นไม้ของชุดทดลองศึกษากันท์และพื้นไม้ของชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยทดลอง 2 ส่วนคือ

(1) กล่องไม้ที่สร้างขึ้นน้ำหนัก 46 กรัม นำไปเคลื่อนที่เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงของชุดทดลองศึกษากันท์ ผลการทดลองแสดงดังตาราง 8

(2) วัตถุไม้ชุดทดลองศึกษากันท์น้ำหนัก 87 กรัม นำไปเคลื่อนที่เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงของชุดทดลองที่สร้างขึ้นผลการทดลองแสดงดังตาราง 9

4) คำนวณหาร้อยละความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่ได้

จากการทดลองจากชุดทดลองศึกษากันท์และชุดทดลองที่สร้างขึ้น แสดงดังตาราง 10 และ 11

5) นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่วัดได้จากการทดลองจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน และคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อน ผลการทดลองแสดงดังตาราง 12 และ 13

ตาราง 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างไม้กับไม้ที่ได้จากชุดทดลองศึกษาภัณฑ์

ครั้งที่	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
$\theta$ (องศา)	18	18	18	18	18	-
$\tan \theta$	0.3249	0.3249	0.3249	0.3249	0.3249	0.3249

จากการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถกำหนดตัวแปรได้ดังนี้

$$A = mg \cos \theta \quad \text{หน่วย กรัม (น้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่งที่ 1 ใต้พื้นเอียง)}$$

$$B = mg \sin \theta - ma \quad \text{หน่วย กรัม (น้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง 2 ที่ด้านปลายพื้นเอียง)}$$

$$K = ma \quad \text{หน่วย กรัม (ค่าชดเชยน้ำหนักเนื่องจากความเร่ง หรือค่าที่สูญหายจากเครื่องชั่งที่ 2)}$$

จากการทดลองสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้  
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{mg \sin \theta - ma + ma}{mg \cos \theta} = \frac{mg \sin \theta}{mg \cos \theta} = \tan \theta \quad (11)$$

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{mg \sin \theta - ma}{mg \cos \theta} \quad (12)$$

จากการทดลองจะมีค่าที่สูญหายจากเครื่องชั่งที่ 2 ด้านปลายพื้นเอียง (K) ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาขนาดความเร่งของวัตถุได้ดังสมการ 13

$$a = \frac{K}{m} \quad (13)$$

ตาราง 7 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงไม้กับพื้นกล่องไม้เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 18 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	44	43.75	0.57	10	14.21	29.63
2	44	43.75	0.57	12	14.21	15.55
3	43	43.75	1.71	11	14.21	22.59
4	44	43.75	0.57	10	14.21	29.63
5	44	43.75	0.57	12	14.21	15.55
6	44	43.75	0.57	10	14.21	29.63
7	44	43.75	0.57	11	14.21	22.59
8	44	43.75	0.57	11	14.21	22.59
9	44	43.75	0.57	12	14.21	15.55
10	44	43.75	0.57	11	14.21	22.59
เฉลี่ย	43.90	43.75	0.34	11.00	14.21	22.59

จากตาราง 7 แสดงว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูงหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูงหายไปจากการทดลองได้ 3.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{11.00+3.000}{43.90} = 0.3189$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{11.00}{43.90} = 0.2506$$

ตาราง 8 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างกล่องไม้ที่สร้างขึ้นน้ำหนัก 46 กรัม โดยนำไปเคลื่อนที่บนพื้นเอียงของชุดทดลองศึกษาภัณฑ์

ครั้งที่	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
$\theta$ (องศา)	17	18	17	18	18	-
$\tan \theta$	0.3057	0.3249	0.3057	0.3249	0.3249	0.3172

ตาราง 9 น้ำหนักที่ได้จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงไม้ของชุดทดลองที่สร้างขึ้นกับพื้นวัตถุไม้ของชุดทดลองศึกษาภัณฑ์เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 17 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	83	83.20	0.24	17	25.44	33.18
2	83	83.20	0.24	18	25.44	29.25
3	83	83.20	0.24	16	25.44	37.11
4	83	83.20	0.24	18	25.44	29.25
5	83	83.20	0.24	17	25.44	33.18
6	83	83.20	0.24	18	25.44	29.25
7	83	83.20	0.24	18	25.44	29.25
8	83	83.20	0.24	17	25.44	33.18
9	83	83.20	0.24	18	25.44	29.25
10	83	83.20	0.24	17	25.44	33.18
เฉลี่ย	83	83.20	0.24	17.40	25.44	31.60

จากตาราง 9 แสดงว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จาก

เครื่องชั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 8.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความสัมพันธ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{17.40+8.000}{83.00} = 0.3060$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{17.40}{83.00} = 0.2096$$

จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างไม้กับไม้โดยทดลองทั้งหมด 4 วิธีคือ ชุดทดลองศึกษาภัณฑ์ ชุดทดลองที่สร้างขึ้น ทดลองโดยใช้กล่องที่สร้างขึ้นไปเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชุดทดลองศึกษาภัณฑ์ และทดลองโดยนำวัตถุไม้จากชุดทดลองศึกษาภัณฑ์มาเคลื่อนที่บนพื้นเอียงของชุดทดลองที่สร้างขึ้น ได้ผลการทดลองแสดงดังตาราง 10

**ตาราง 10** ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างพื้นไม้และไม้ที่ได้จากชุดทดลองศึกษาภัณฑ์ และชุดทดลองที่สร้างขึ้น

วิธีการทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ( $\mu_s$ )
1. ชุดทดลองศึกษาภัณฑ์	0.3249
2. ชุดทดลองที่สร้างขึ้น	0.3189
3. กล่องที่สร้างขึ้นไปเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชุดทดลองศึกษาภัณฑ์	0.3172
4. วัตถุไม้จากชุดทดลองศึกษาภัณฑ์มาเคลื่อนที่บนพื้นเอียงของชุดทดลองที่สร้างขึ้น	0.3060

จากตาราง 10 นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่ได้จากการทดลองโดยชุดทดลองศึกษาภัณฑ์และชุดทดลองที่สร้างขึ้น ทั้ง 4 วิธี ไปคำนวณหาค่าความแตกต่าง แสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 ร้อยละความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ( $\mu_s$ )				ร้อยละความแตกต่าง
วิธีทดลอง	$\mu_s$	วิธีทดลอง	$\mu_s$	
1	0.3249	2	0.3189	1.86
3	0.3172	4	0.3060	3.59

จากตาราง 11 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่สามารถวัดได้จากการทดลองจากชุดทดลองศึกษาภัณฑ์และชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีความแตกต่างที่ร้อยละ 1.86 และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุที่เคลื่อนที่บนพื้นเอียงระหว่าง 2 ชุด พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมีความแตกต่างที่ร้อยละ 3.59

ตาราง 12 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตระหว่างไม้กับไม้ ที่ได้จากการทดลองกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมาตรฐานต่าง ๆ

ค่ามาตรฐาน	ค่าจากการทดลอง	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
0.25-0.50 [1],[4],[6]	0.3189	อยู่ในช่วง
0.58 [2]	0.3189	45.02
0.40 [3]	0.3189	20.28
0.25 [5]	0.3189	27.56
0.25-0.50 [7]	0.3189	อยู่ในช่วง
0.30 [8]	0.3189	6.30

ที่มา : [1] Blau. 1995 : 22 , [2] Wilson, Buffa and Lou. 2007 : 124 , [3] Gianocoli. 1998 : 97, [4] Ramsdale. Online. 2004, [5] MechGuru. Online. 2014, [6] Carbide Depot. Online. 2014, [7] Dirac Delta. Online. 2014, [8] Physic Study Guide. Online. 2009

จากตาราง 12 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตที่วัดได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น มีค่าที่อยู่ในช่วงตามค่ามาตรฐานจากแหล่งอ้างอิงที่ [1], [4], [6] และ [7] ส่วนค่ามาตรฐานอื่นมีความคลาดเคลื่อนเกินร้อยละ 5 เนื่องจากไม้มีหลายชนิด และสภาพอากาศของแต่ละประเทศไม่เหมือนกันจึงทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

**ตาราง 13** เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างไม้กับไม้ ที่ได้จากการทดลองกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มาตรฐานต่าง ๆ

ค่ามาตรฐาน	ค่าจากการทดลอง	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
- [1],[4],[6]	0.2506	-
0.40 [2]	0.2506	49.08
0.20 [3]	0.2506	1.85
0.129 [5]	0.2506	57.91
0.25-0.50 [7]	0.2506	อยู่ในช่วง
0.42 [8]	0.2506	51.50

ที่มา : [1] Blau. 1995 : 22 , [2] Wilson, Buffa and Lou. 2007 : 124 , [3] Gianocoli. 1998 : 97, [4] Ramsdale. Online. 2004, [5] MechGuru. Online. 2014, [6] Carbide Depot. Online. 2014, [7] Dirac Delta. Online. 2014, [8] Physic Study Guide. Online. 2009

จากตาราง 13 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่วัดได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้น มีค่าอยู่ในช่วงตามค่ามาตรฐานจากแหล่งอ้างอิงที่ [7] โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจากแหล่งอ้างอิงที่ [3] พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 1.85 ส่วนค่ามาตรฐานอื่นมีความคลาดเคลื่อนเกินร้อยละ 5 เนื่องจากชนิดของไม้ สภาพอากาศ และความเร่งในการเคลื่อนที่ในการทดลองของแต่ละแหล่งมีค่าที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

### 2.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

ตาราง 14 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงไม้กับพื้นกล่องอะคริลิกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 16 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
2	44	44.22	0.50	8	12.68	36.91
3	45	44.22	1.76	10	12.68	21.14
4	44	44.22	0.50	10	12.68	21.14
5	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
6	44	44.22	0.50	8	12.68	36.91
7	44	44.22	0.50	8	12.68	36.91
8	44	44.22	0.50	8	12.68	36.91
9	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
10	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
เฉลี่ย	44.10	44.22	0.27	8.80	12.68	30.60

จากตาราง 14 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้โดยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูงหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูงหายไปจากการทดลองได้ 4.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{8.80+4.000}{44.10} = 0.2903$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{8.800}{44.10} = 0.1995$$

ตาราง 15 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงไม้กับพื้นกล่องแก้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 14 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	44	44.63	1.41	9	11.13	19.14
2	44	44.63	1.41	9	11.13	19.14
3	44	44.63	1.41	8	11.13	28.12
4	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
5	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
6	44	44.63	1.41	9	11.13	19.14
7	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
8	45	44.63	0.83	10	11.13	10.15
9	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
10	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
เฉลี่ย	44.60	44.63	0.07	9.00	11.13	19.14

จากตาราง 15 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 2.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{9.000+2.000}{44.60} = 0.2466$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{9.000}{44.60} = 0.2018$$

ตาราง 16 น้ำหนักที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงอะคริลิก กับพื้นกล่องไม้เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 16 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
2	44	44.22	0.50	8	12.68	36.91
3	43	44.22	2.76	9	12.68	29.02
4	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
5	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
6	44	44.22	0.50	8	12.68	36.91
7	44	44.22	0.50	8	12.68	36.91
8	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
9	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
10	44	44.22	0.50	9	12.68	29.02
เฉลี่ย	43.90	44.22	0.72	8.70	12.68	31.39

จากตาราง 16 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 4.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{8.700+4.000}{43.90} = 0.2893$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{8.700}{43.90} = 0.1982$$

ตาราง 17 น้ำหนักที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงอะคริลิก กับพื้นกล่องอะคริลิกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 19 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	43	43.50	1.15	10	14.98	33.24
2	43	43.50	1.15	12	14.98	19.89
3	43	43.50	1.15	10	14.98	33.24
4	43	43.50	1.15	10	14.98	33.24
5	43	43.50	1.15	10	14.98	33.24
6	43	43.50	1.15	11	14.98	26.57
7	43	43.50	1.15	10	14.98	33.24
8	43	43.50	1.15	14	14.98	6.54
9	43	43.50	1.15	10	14.98	33.24
10	43	43.50	1.15	10	14.98	33.24
เฉลี่ย	43.00	43.50	1.15	10.7	14.98	28.57

จากตาราง 17 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 4.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{10.70+4.000}{43.00} = 0.3419$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{10.70}{43.00} = 0.2488$$

ตาราง 18 น้ำหนักที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงอะคริลิก กับพื้นกล่องแก้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 13 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
1	44	44.82	1.83	9	10.35	13.04
2	45	44.82	0.40	10	10.35	3.38
3	44	44.82	1.83	10	10.35	3.38
4	44	44.82	1.83	9	10.35	13.04
5	44	44.82	1.83	9	10.35	13.04
6	45	44.82	0.40	9	10.35	13.04
7	44	44.82	1.83	10	10.35	3.38
8	44	44.82	1.83	9	10.35	13.04
9	44	44.82	1.83	9	10.35	13.04
10	44	44.82	1.83	9	10.35	13.04
เฉลี่ย	44.20	44.82	1.38	9.30	10.35	10.14

จากตาราง 18 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 1.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{9.300+1.000}{44.20} = 0.2330$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{9.300}{44.20} = 0.2104$$

ตาราง 19 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงแก้วกับพื้นกล่องไม้เปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 14 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
2	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
3	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
4	45	44.63	0.83	10	11.13	10.15
5	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
6	45	44.63	0.83	10	11.13	10.15
7	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
8	45	44.63	0.83	10	11.13	10.15
9	45	44.63	0.83	9	11.13	19.14
10	45	44.63	0.83	10	11.13	10.15
เฉลี่ย	45.00	44.63	0.83	9.40	11.13	15.54

จากตาราง 19 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 2.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{9.400+2.000}{45.00} = 0.2533$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{9.400}{45.00} = 0.2089$$

ตาราง 20 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงแก้วกับพื้นกล่องอะคริลิกเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 13 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	44	44.82	1.83	10	10.35	3.38
2	45	44.82	0.40	9	10.35	13.04
3	45	44.82	0.40	9	10.35	13.04
4	45	44.82	0.40	9	10.35	13.04
5	44	44.82	1.83	10	10.35	3.38
6	45	44.82	0.40	9	10.35	13.04
7	45	44.82	0.40	10	10.35	3.38
8	44	44.82	1.83	9	10.35	13.04
9	45	44.82	0.40	9	10.35	13.04
10	45	44.82	0.40	10	10.35	3.38
เฉลี่ย	44.70	44.82	0.27	9.40	10.35	9.18

จากตาราง 20 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 1.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{9.400+1.000}{44.70} = 0.2327$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{9.400}{44.70} = 0.2103$$

ตาราง 21 น้ำหนักที่วัดได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นเอียงแก้วกับพื้นกล่องแก้วเปรียบเทียบกับน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณที่มุม 17 องศา

ครั้งที่	A			B		
	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 1)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน	ทดลอง (เครื่องซั่งที่ 2)	คำนวณ	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
1	44	43.99	0.02	10	13.45	25.65
2	44	43.99	0.02	11	13.45	18.22
3	44	43.99	0.02	11	13.45	18.22
4	44	43.99	0.02	10	13.45	25.65
5	44	43.99	0.02	11	13.45	18.22
6	44	43.99	0.02	10	13.45	25.65
7	44	43.99	0.02	10	13.45	25.65
8	44	43.99	0.02	11	13.45	18.22
9	44	43.99	0.02	11	13.45	18.22
10	44	43.99	0.02	10	13.45	25.65
เฉลี่ย	44.00	43.99	0.02	10.50	13.45	18.96

จากตาราง 21 แสดงให้เห็นว่าการซั่งน้ำหนักบนพื้นเอียงค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 1 สามารถนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณได้เลยเพราะข้อมูลที่เก็บได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 แต่ค่าที่ได้จากเครื่องซั่งที่ 2 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง มีค่าที่สูญหายไป สามารถคำนวณหาค่าที่สูญหายไปจากการทดลองได้ 3.000 กรัม และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต

$$\mu_s = \frac{B+K}{A} = \frac{10.50+3.000}{44.00} = 0.3068$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

$$\mu_k = \frac{B}{A} = \frac{10.50}{44.00} = 0.2386$$

ตาราง 22 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากวัสดุต่าง ๆ และความเร่งที่ได้จากการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น

วัสดุ		$\mu_s \left(\frac{B+K}{A}\right)$	$\mu_k \left(\frac{B}{A}\right)$	$K$	$a \left(\frac{K}{m}\right)$
พื้นเอียง	พื้นก่อย่าง				
ไม้	ไม้	0.3189	0.2506	3	0.65
	อะคริลิก	0.2903	0.1995	4	0.87
	แก้ว	0.2446	0.2018	2	0.43
อะคริลิก	ไม้	0.2893	0.1982	4	0.87
	อะคริลิก	0.3419	0.2488	4	0.87
	แก้ว	0.2330	0.2104	1	0.22
แก้ว	ไม้	0.2533	0.2089	2	0.43
	อะคริลิก	0.2327	0.2103	1	0.22
	แก้ว	0.3068	0.2386	3	0.65

จากตาราง 22 แสดงให้เห็นว่าถ้าชนิดของวัสดุแตกต่างกันค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีความแตกต่างกันด้วย แต่ถ้าเป็นวัสดุชนิดเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 และถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่วัดได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต และจะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุด้วย

## สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### สรุปผล

จากการทดลองเพื่อวิจัยการออกแบบและพัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ได้สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ออกแบบชุดทดลองพื้นเอียงโดยใช้สเตอรนเกจ ได้ชุดทดลองที่สามารถวัดน้ำหนักวัตถุบนพื้นเอียง และตำแหน่งปลายที่วัตถุหยุดกระทบได้ ซึ่งค่าที่วัดได้สามารถนำมาคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ และชุดทดลองนี้สามารถเปลี่ยนวัสดุของพื้นเอียงและวัตถุที่เคลื่อนที่บนพื้นเอียงได้ 3 ชนิด คือ ไม้ อะคริลิก และแก้ว

2. พัฒนาชุดทดลองพื้นเอียงให้วัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 จากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน ได้ผลการวิจัยดังนี้

2.1 นำชุดทดลองที่สร้างขึ้นมาทดสอบวัดประสิทธิภาพของเครื่องมือ

2.1.1 สอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักหลังการติดตั้งบนชุดทดลอง โดยสอบเทียบกับพื้นวัสดุไม้ อะคริลิก และแก้ว พบว่าชั่งน้ำหนักได้เที่ยงตรงและแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์บนพื้นราบ

2.1.2 ทดลองชั่งน้ำหนัก 2 ชั้น คือ 100 และ 200 กรัม บนพื้นเอียงไม้ อะคริลิก และแก้ว ชั่งที่มุม 15 ถึง 60 องศา เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ พบว่าน้ำหนัก 100 กรัม ค่าน้ำหนักที่ได้จากการทดลองจะไม่คลาดเคลื่อนจากค่าน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณ ส่วนน้ำหนัก 200 กรัม จะมีความคลาดเคลื่อนที่บางมุมคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1 จากการทดลองสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของวัตถุที่วัดได้และมุม คือ  $w = F_g \cos \theta$

2.2 นำชุดทดลองที่ได้รับการวัดประสิทธิภาพแล้วมาศึกษาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

2.2.1 ทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบนพื้นเอียงจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นและนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากชุดทดลองของศึกษาภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมาตรฐาน

1) จากการทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชุดทดลอง ศึกษาภัณฑ์ทดลองวัดได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต 0.3249 จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต 0.3189 เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตทั้ง 2 ค่ามาเปรียบเทียบพบว่ามีร้อยละความแตกต่าง 1.86

2) จากการทดลองโดยใช้กลองไม้ที่สร้างขึ้นน้ำหนัก 46 กรัม นำไปเคลื่อนที่บนพื้นเอียงของชุดทดลองศึกษาภัณฑ์พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต 0.3172 และจากการทดลองที่นำวัตถุไม้จากชุดทดลองของศึกษาภัณฑ์น้ำหนัก 87 กรัม ไปเคลื่อนที่บนพื้นเอียงของชุดทดลองที่สร้างขึ้นพบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต 0.3060 เมื่อนำค่าทั้ง 2 ค่ามาเปรียบเทียบพบว่ามีร้อยละความแตกต่าง 3.59

3) จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น พบว่าชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ได้เมื่อทดลองกับพื้นไม้กับไม้พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต 0.3189 นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ค่าที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วงตามแหล่งข้อมูลทั้งหมด 4 แหล่งข้อมูล และจากการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ได้ 0.2506 นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ค่าที่ทดลองได้อยู่ในช่วงตามแหล่งข้อมูล 1 แหล่ง และมีร้อยละความคลาดเคลื่อน 1.85 ตามแหล่งข้อมูลอีก 1 แหล่ง

2.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานพบว่าชนิดวัสดุมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานดังนี้

1) ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของไม้ อะคริลิก และแก้วบนพื้นเอียงที่ทำจากไม้มีค่าเป็น 0.3189, 0.2903 และ 0.2446 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ มีค่าเป็น 0.2506, 0.1995 และ 0.2018 ซึ่งสามารถคำนวณหาความเร่งของวัตถุได้เป็น 0.65, 0.87 และ 0.43 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ตามลำดับ

2) ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของไม้ อะคริลิก และแก้วบนพื้นเอียงที่ทำจากอะคริลิกมีค่าเป็น 0.2893, 0.3419 และ 0.2330 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่าเป็น 0.1982, 0.2488 และ 0.2104 ซึ่งสามารถคำนวณหาความเร่งของวัตถุได้เป็น 0.87, 0.87 และ 0.22 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ตามลำดับ

3) ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตของไม้ อะคริลิก และแก้วบนพื้นเอียงที่ทำจากแก้วมีค่าเป็น 0.2533, 0.2327 และ 0.3068 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่าเป็น 0.2089, 0.2103 และ 0.2386 ซึ่งสามารถคำนวณหาความเร่งของวัตถุได้เป็น 0.43, 0.22 และ 0.65 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ตามลำดับ

### ข้อเสนอแนะ

1. การชั่งน้ำหนักที่ตำแหน่งปลายที่วัตถุหยุดกระทบหรือค่าที่ใช้ในการคำนวณคือ  $mg \sin \theta$  ชั่งน้ำหนักได้ไม่แม่นยำเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ จึงควรมีการพัฒนาเครื่องมือให้สามารถชั่งน้ำหนักเมื่อวัตถุตกกระทบได้แม่นยำมากขึ้น
2. เปลี่ยนตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุจากเคลื่อนที่ลงจากสูงไปต่ำ เป็นเคลื่อนที่ขึ้นจากต่ำไปสูง โดยเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องชั่งที่ปลายมาอยู่ด้านบน และใช้รอกในการช่วยให้วัตถุเคลื่อนที่ขึ้น



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551.**  
กรุงเทพมหานคร : ร.ศ.พ.
- ก่องกัญจน์ ภัทรากาญจน์ และ ชนกาญจน์ ภัทรากาญจน์. (2548). **ฟิสิกส์คิดคำนึง.** กรุงเทพฯ :  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณะกลศาสตร์วิศวกรรม ภาควิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2554). **แรงเสียดทาน.**  
(ออนไลน์). แหล่งที่มา : [http://www.eng.su.ac.th/me/elearning/statics/2554\\_2%20newstatic/STchapter\\_6.pdf](http://www.eng.su.ac.th/me/elearning/statics/2554_2%20newstatic/STchapter_6.pdf). 20 พฤษภาคม 2556.
- จรัส บุญขรรพมา. (2541). **ฟิสิกส์ระดับมหาวิทยาลัย ภาควิทยาศาสตร์.** กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- ชาวสวน กาญจโนมัย. (2556). **อุปกรณ์วัดความเครียด.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา :  
<http://charnnarong.me.engr.tu.ac.th/charnnarong/My%20classes/ME321/Lab3.pdf>.  
15 กรกฎาคม 2556.
- ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. (2556). **เครื่องชั่ง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://home.kku.ac.th/chuare/12/balance.pdf>. 25 กรกฎาคม 2556.
- จิตร์รัตน์ จารวาระกุล. (2548). **การสอบเทียบเครื่องชั่ง.** กรุงเทพฯ : กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- ณัฐชัย ประดิษฐ์วงศ์กุล. (2551). **การคำนวณหาแรงกระทำต่อแขนกลและมีอับเพื่อประยุกต์ใช้งาน.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิธิพงษ์ วิไลพันธุ์. (2549). **การศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นดินและพื้นรองเท้าภายใต้สภาวะพื้นผิวที่แตกต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหกรรม).  
กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- บดินทร์ชาติ สุขบท. (2546). **ฟิสิกส์ 1.** กรุงเทพฯ : สยามสปอร์ตซินดิเคท.
- ปริญญา รงนา. (ม.ป.ป.). **สเตรน เกจ.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://teacher.snru.ac.th/parinya/sheet/filedoc/sensor.pdf>. 2 ธันวาคม 2555.
- ปิยพงษ์ สิทธิคง. (2547). **ฟิสิกส์ระดับอุดมศึกษา เล่ม 1.** กรุงเทพฯ : เพียร์สันเอ็ดดูเคชั่น  
อินโดไชน่า. แปลจาก Young, H.D. and Freedman, R.A. **University Physics.**  
Addison-Wesley : publishing company

- .ไพศักดิ์ ชัมมวิริยะ. (2549). **ปฏิบัติการทดลองฟิสิกส์ 1**. จันทบุรี : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- วิไลวรรณ แสนพาน. (2553). **สาระการเรียนรู้และการออกแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ศรีธน วรศักดิ์โยธิน. (2546). **ฟิสิกส์ 1**. ปทุมธานี : สกายบุ๊กส์.
- สมนึก บุญพาไสว. (2556). **ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การวัดและเครื่องมือ**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : <http://design.ipst.ac.th/docu/photo/D004.pdf>. 26 พฤษภาคม 2556.
- สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). **ทำไมต้องเรียนวิทยาศาสตร์**. กรุงเทพฯ : ร.ศ.พ.
- สุนทร กิมสง. (2542). **เครื่องชั่งน้ำหนักแบบคิดราคาของที่ชั่งในตัว**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อัจฉรา พันธุ์อำไพ และคณะ. (2543). **ฟิสิกส์พื้นฐานชั้นมหาวิทยาลัย 1**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- Blau, P.J. (1996). **Friction Science and Technology**. New York : United state of America.
- Bueche, F. (1981). **Technical Physics**. New York : Harper&Row.
- Beardmore, R. (17 January 2013). **Coefficient of Friction**. (Online). Available : [www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm).
- Carbide Depot. (2014). **Coefficient for Static Friction of steel**. (Online). Available : [www.carbidedepot.com/formulas-friction-coefficient.htm](http://www.carbidedepot.com/formulas-friction-coefficient.htm).
- Cutnell, J.D. and Johnson K.W. (2001). **Physics**. United States of America, NJ : John Wiley & Sons.
- Dirac Delta. (2014). **Friction**. (Online). Available : <http://www.diracdeltaco.uk/science/source/f/r/friction/source.html#U2NRkNwbWQo>.
- Giancoli, D.C. (1998). **Physics**. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall.
- Goujon, C., Thomas, N. and Dalloz-Dubrujeaud, B. (17 June 2003). "Monodisperse dry granular flows on inclined planes: Role of roughness," **The European Physical Journal E**. 11 : 147-157.
- Gratton, L.M. and Defrancesco, S. (May 2006). "A simple measurement of the sliding friction coefficient," **Physics Education**. 41(3) : 232-235.

- Jones, E. and Childers, R. (2002). **Physics**. Singapore : Contemporary.
- McDonald, K.T. (28 January 2008). "Hexagonal Pencil Rolling on an Inclined Plane," **Regular and Chaotic Dynamics**. 13(4) : 332-343.
- MechGuru. (2014). **Friction Coefficients table**. (Online). Available : <http://blog.mechguru.com/machine-design/typical-coefficient-of-friction-values-for-common-materials/>.
- Menezes, P.L. (31 July 2010). "Role of Surface Texture, Roughness, and Hardness on Friction During Unidirectional Sliding," **Springer**. 41 : 1-15.
- Mills, A. (July 2008). "The coefficient of friction, particularly of ice," **Physics Education**. 43(4) : 392-395.
- Mungan, C.E. (May 2012). "Rolling friction on a wheeled laboratory cart," **Physics Education**. 47(3) : 288-292.
- \_\_\_\_\_. (May 2012). "Conceptual and laboratory exercise to apply Newton's second law to a system If many forces," **Physics Education**. 47(3) : 274-287.
- Physics Study Guide. (17 July 2009). **Approximate Coefficients of Friction** . (Online). Available : [http://en.wikibooks.org/wiki/Physics\\_Study\\_Guide/Frictional\\_Coefficients](http://en.wikibooks.org/wiki/Physics_Study_Guide/Frictional_Coefficients).
- Poulios, K. and et al. (August 2013). "Coefficient of Friction Measurements for Thermoplastics and Fibre Composites Under Low Sliding Velocity and High Pressure," **Springer**. 51(2) : 191-198.
- Precision Weighing Balances. (2012). **Strain Gauge Transducer**. (Online). Available : <http://www.scalenet.com/applications/glossary.html>.
- Ramsdale, R. (2004). **Reference Tables—Coefficient of Friction**. (Online). Available : <http://www.engineershandbook.com/Tables/frictioncoefficients.htm>.
- Straulino, S. and Bonechi, L. (September 2011). "A simple frictionless device for the study of motion," **Physics Education**. 46(5) : 583-586.
- Tsesarsky, M. , Hatzor, Y.H. and Sitar, N. (9 February 2005). "Technical Note Dynamic Displacement of a Block on an Inclined Plane : Analytical, Experimental and DDA Results," **Rock Mechanics and Rock Engineering**. 38(2) : 153-167.
- WANG Zhr-gang, DOHDA Kuni-aki and LUO Ying-she. (10 February 2006). "Effects of entraining velocity of lubricant and sliding velocity on friction behavior in stainless steel sheet rolling," **Springer**. 260(3) : 249-257.

Wilson, J.D., Buffa, A.J. and Lou, B. (2007). **College Physics**. Upper Saddle River, New Jersey : Person Education International.

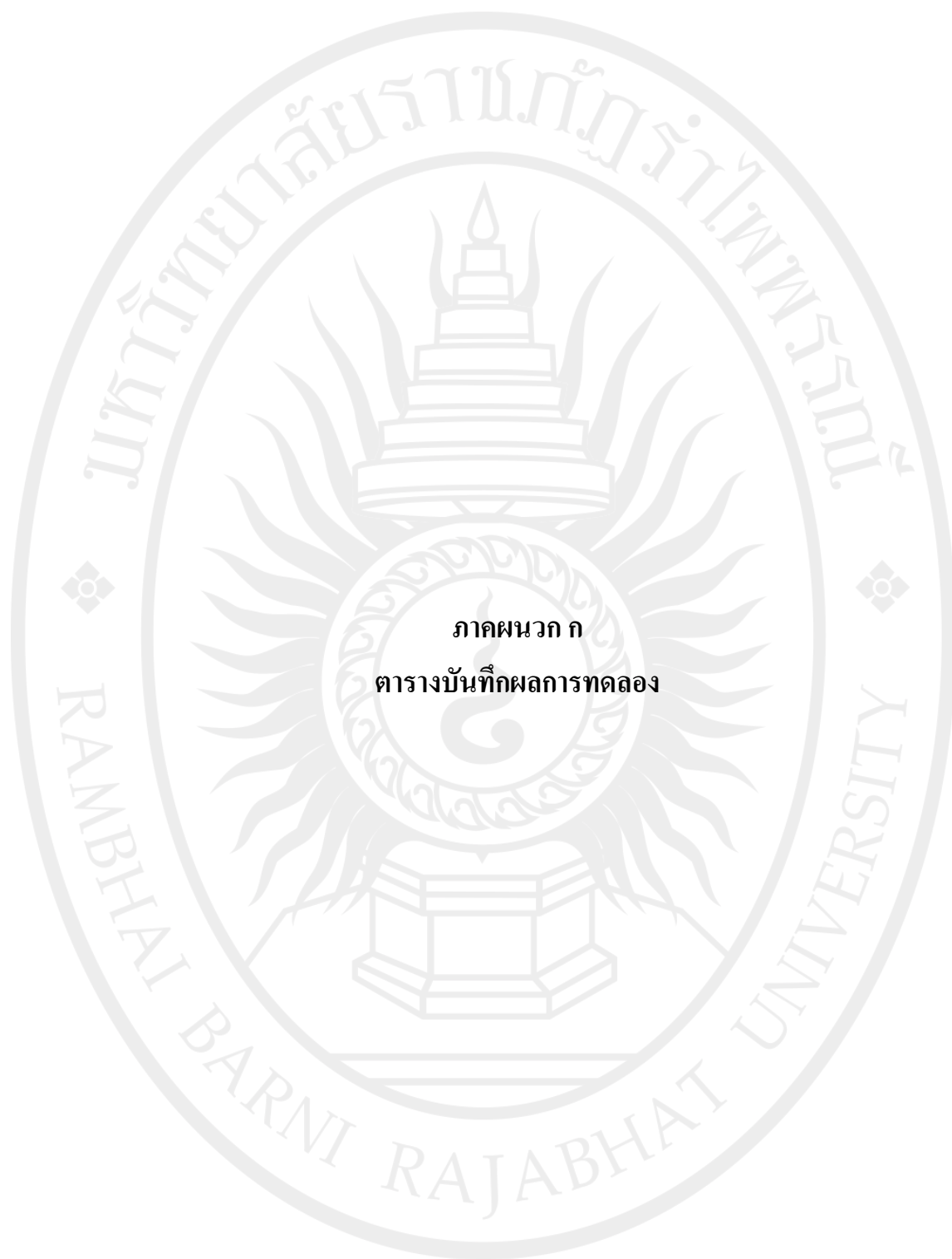
Yong, H.D. and Freedman, R.A. (1996). **University Physics**. Addison-Wesley : publishing company.

Zobel, E.D. (2011). **Formulas for the inclined plane**. (Online). Available : <http://zonalandeducation.com/mstm/physics/mechanics/forces/inclinedPlane/angleAndComponents/angleAndComponents.html>.

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาควิชา ก

ตารางบันทึกผลการทดสอบ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตาราง 23 น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 1 กรัม จากเครื่องชั่ง

ครั้งที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
เฉลี่ย	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ตาราง 24 น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 2 กรัม จากเครื่องชั่ง

ครั้งที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
เฉลี่ย	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

ตาราง 25 น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 5 กรัม จากเครื่องชั่ง

ครั้งที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
เฉลี่ย	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

ตาราง 26 น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 10 กรัม จากเครื่องชั่ง

ครั้งที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
เฉลี่ย	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ตาราง 27 น้ำหนักจากการชั่งตູ່มน้ำหนักมาตรฐาน 20 กรัม จากเครื่องชั่ง

เครื่องที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
เฉลี่ย	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

ตาราง 28 น้ำหนักจากการชั่งตູ່มน้ำหนักมาตรฐาน 50 กรัม จากเครื่องชั่ง

เครื่องที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
2	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
3	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
4	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
5	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
เฉลี่ย	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

ตาราง 29 น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัม จากเครื่องชั่ง

ครั้งที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
เฉลี่ย	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ตาราง 30 น้ำหนักจากการชั่งตวงน้ำหนักมาตรฐาน 200 กรัม จากเครื่องชั่ง

ครั้งที่	ตำแหน่งในการชั่ง									
	เครื่องที่ 1					เครื่องที่ 2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200
2	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200
3	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200
4	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200
5	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200
เฉลี่ย	200	200	200	201	200	200	200	200	200	200



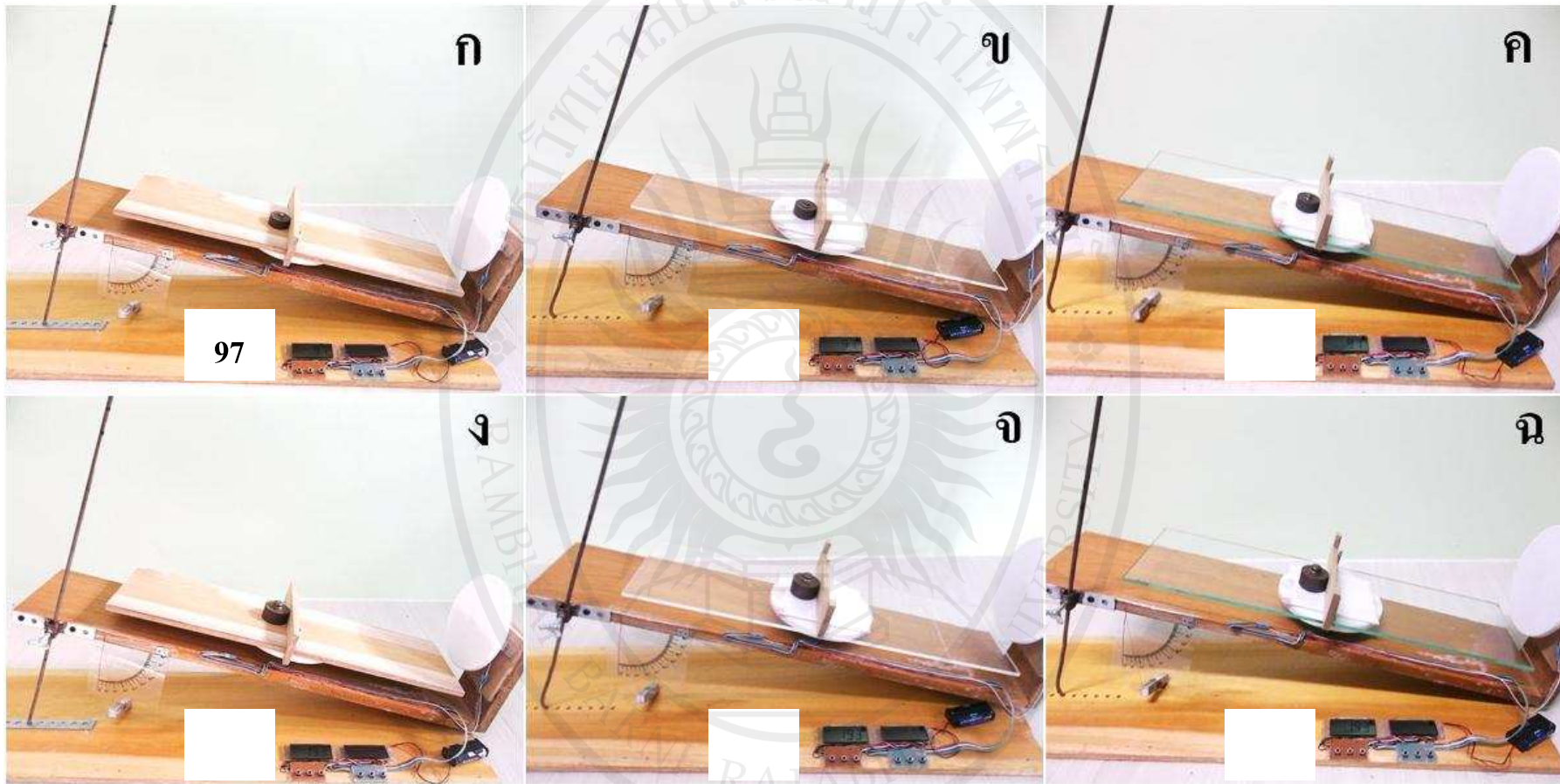
ตาราง 33 น้ำหนักที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก 100 กรัมที่ และ 200 กรัม ที่มูมต่างๆ บนพื้นแก้ว

มูม (องศา)	100 กรัม						200 กรัม					
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
15	97	97	97	97	97	97	193	193	193	193	193	193
20	94	94	94	94	94	94	188	188	188	188	188	188
25	91	91	91	91	91	91	182	182	182	182	182	182
30	87	87	87	87	87	87	174	174	174	174	174	174
35	82	82	82	82	82	82	164	164	164	164	164	164
40	77	77	77	77	77	77	153	153	153	153	153	153
45	71	71	71	71	71	71	142	142	142	142	142	142
50	64	64	64	64	64	64	128	128	128	128	128	128
55	57	57	57	57	57	57	114	114	114	114	114	114
60	50	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100	100

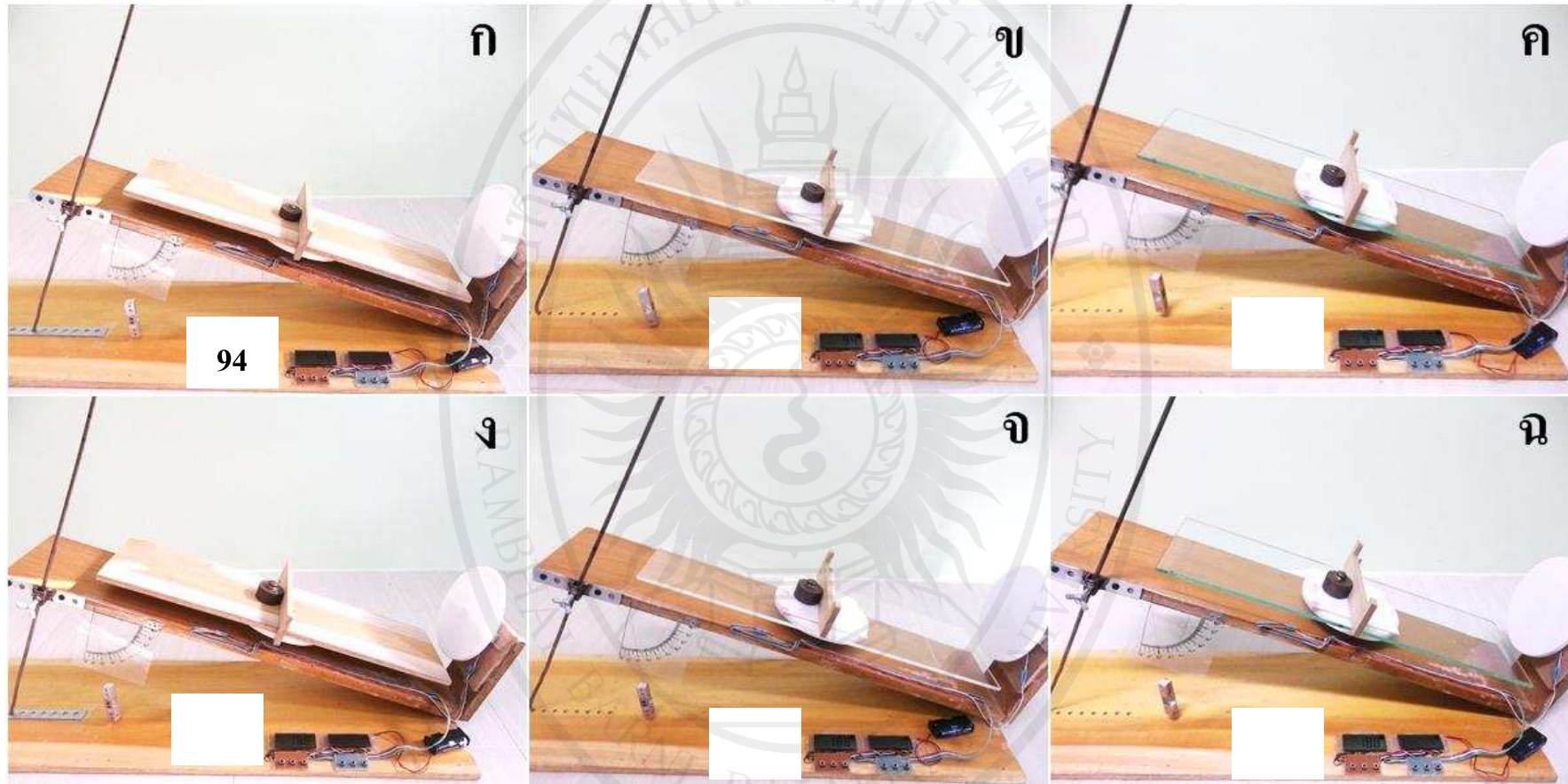


ภาคผนวก ข  
ภาพประกอบการทดลอง

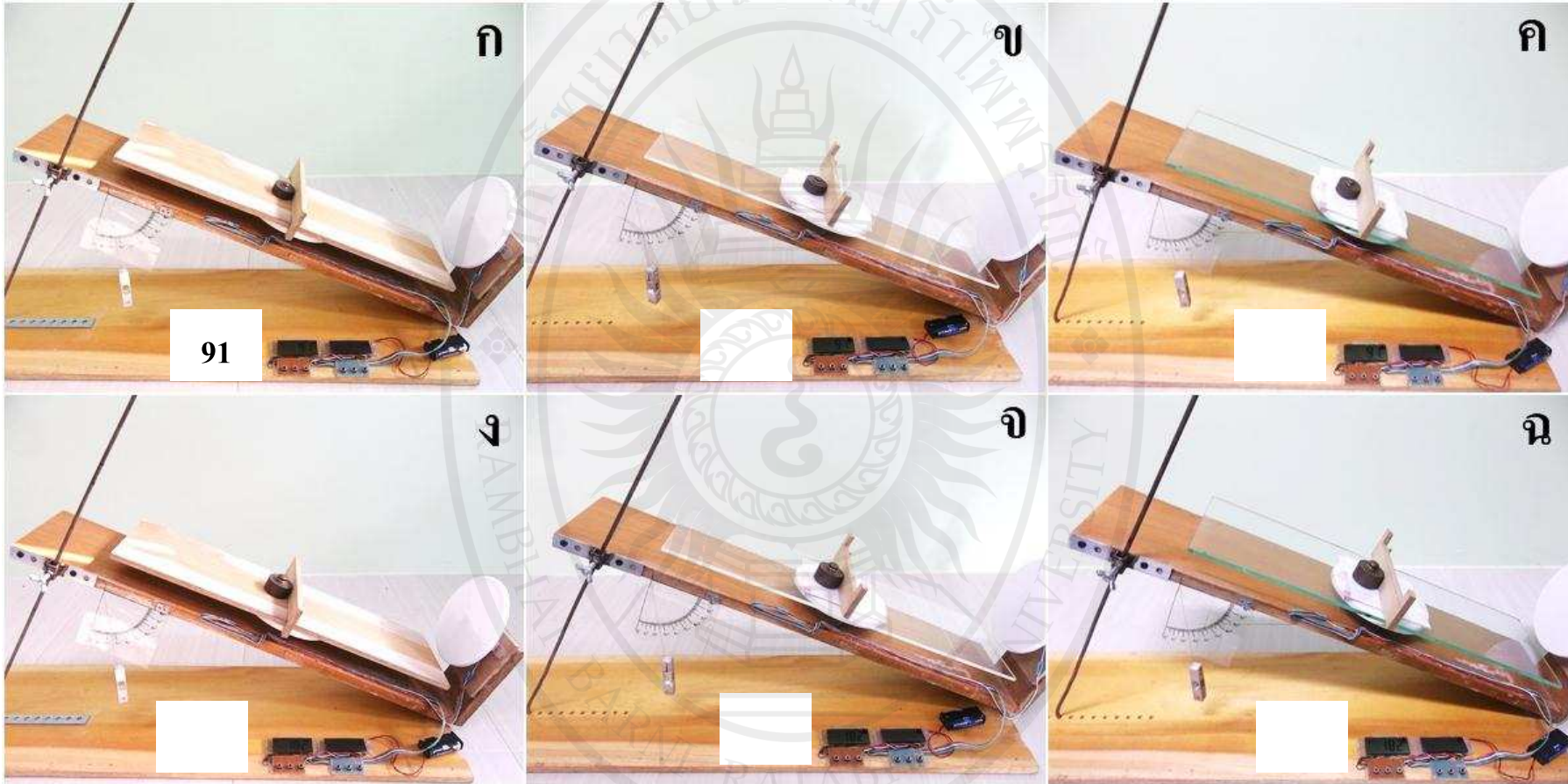
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



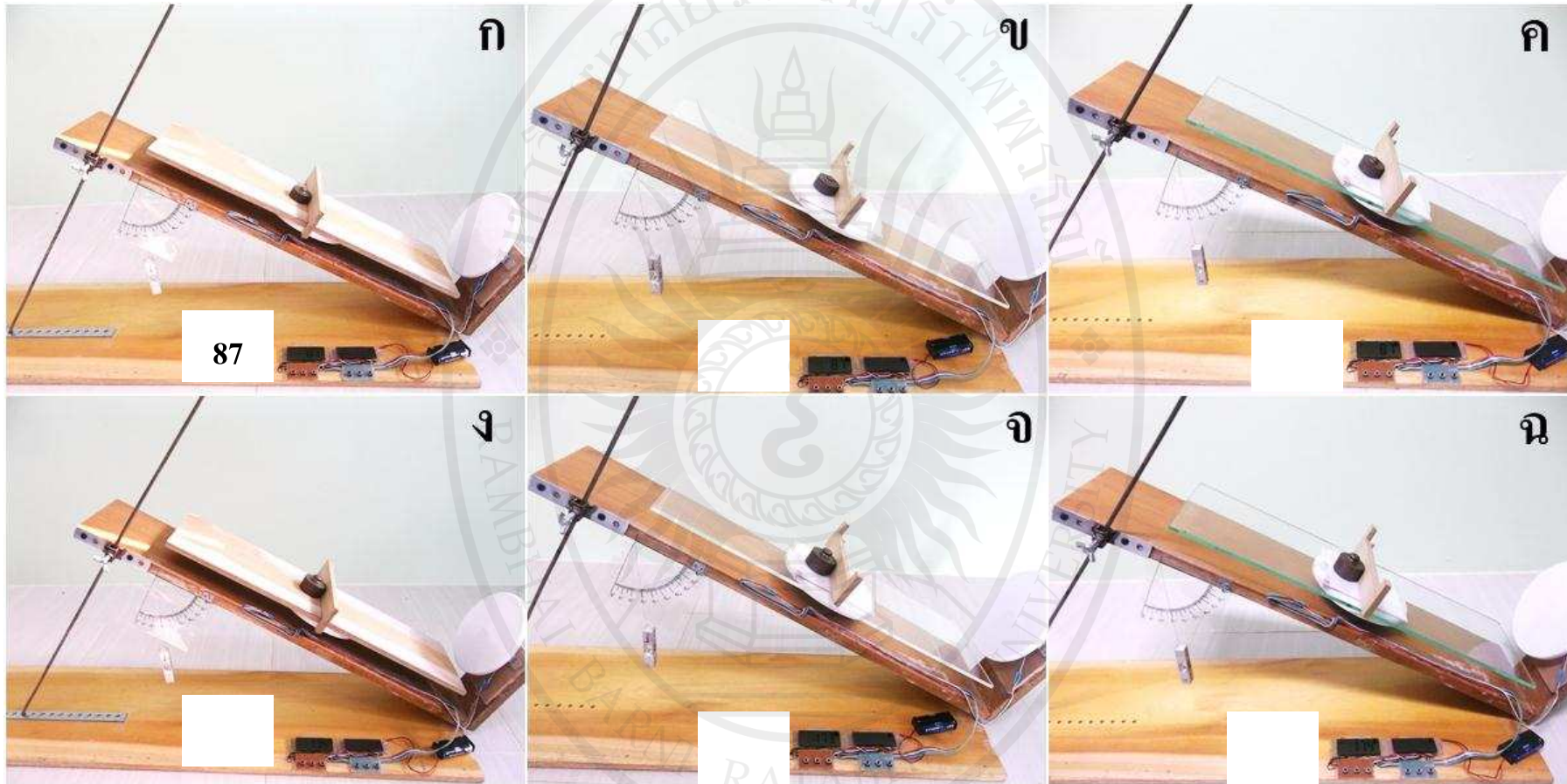
ภาพประกอบ 27 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 15 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 97 กรัม ภาพ ง จ และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 193 กรัม



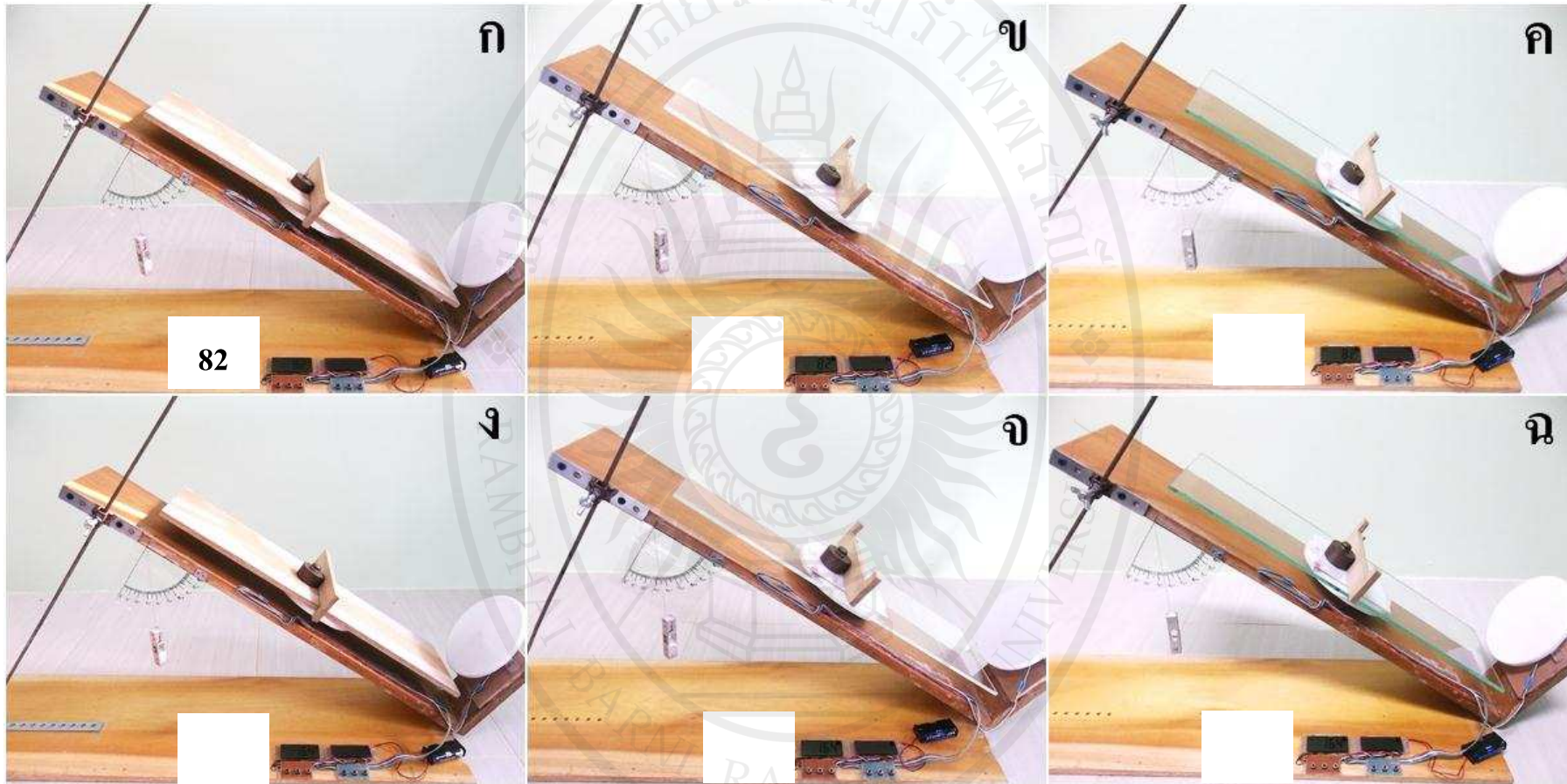
ภาพประกอบ 28 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 20 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 94 กรัม ภาพ ง จ และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 188 กรัม



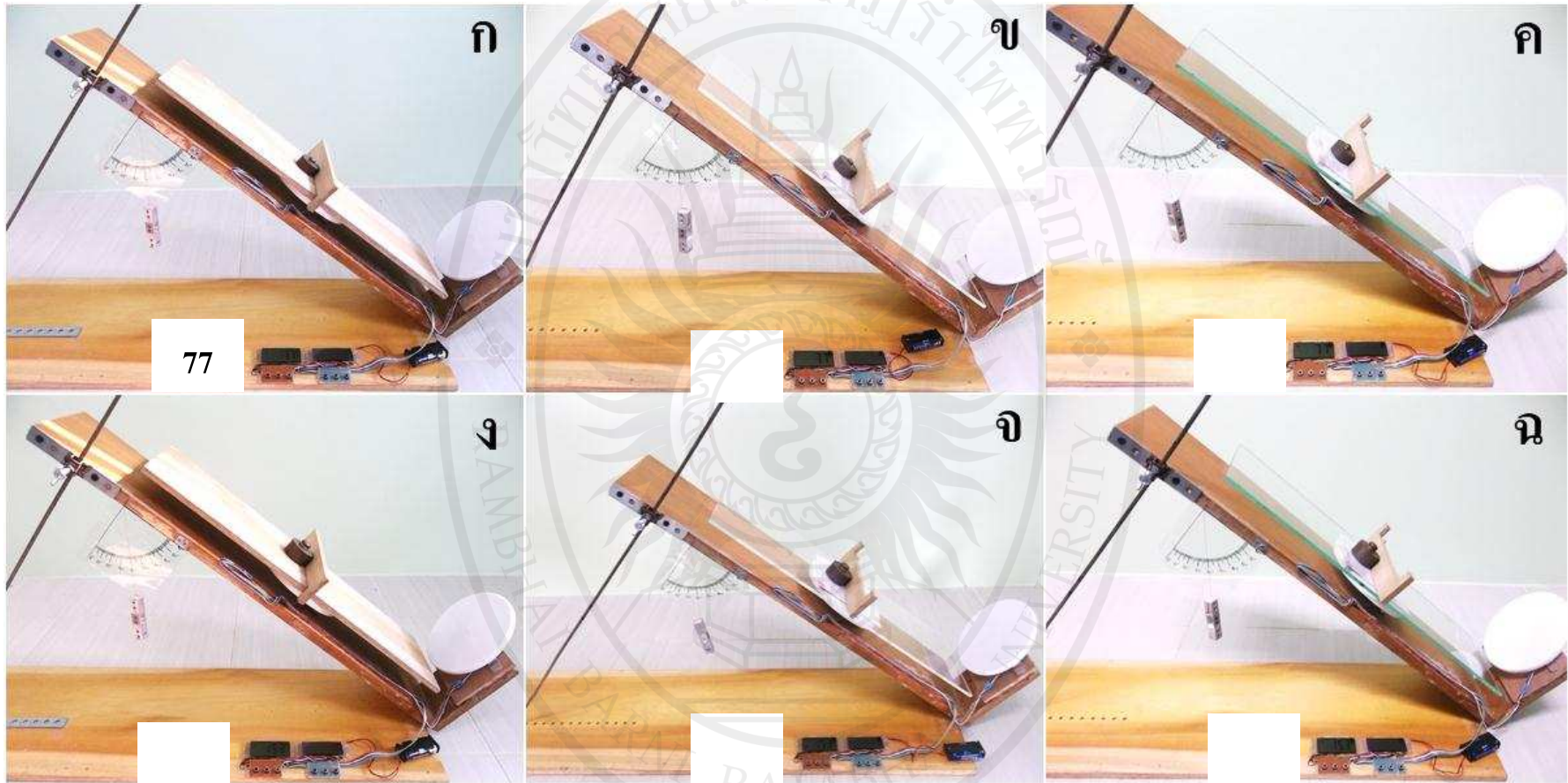
ภาพประกอบ 29 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 25 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 91 กรัม ภาพ ง จ และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 182 กรัม



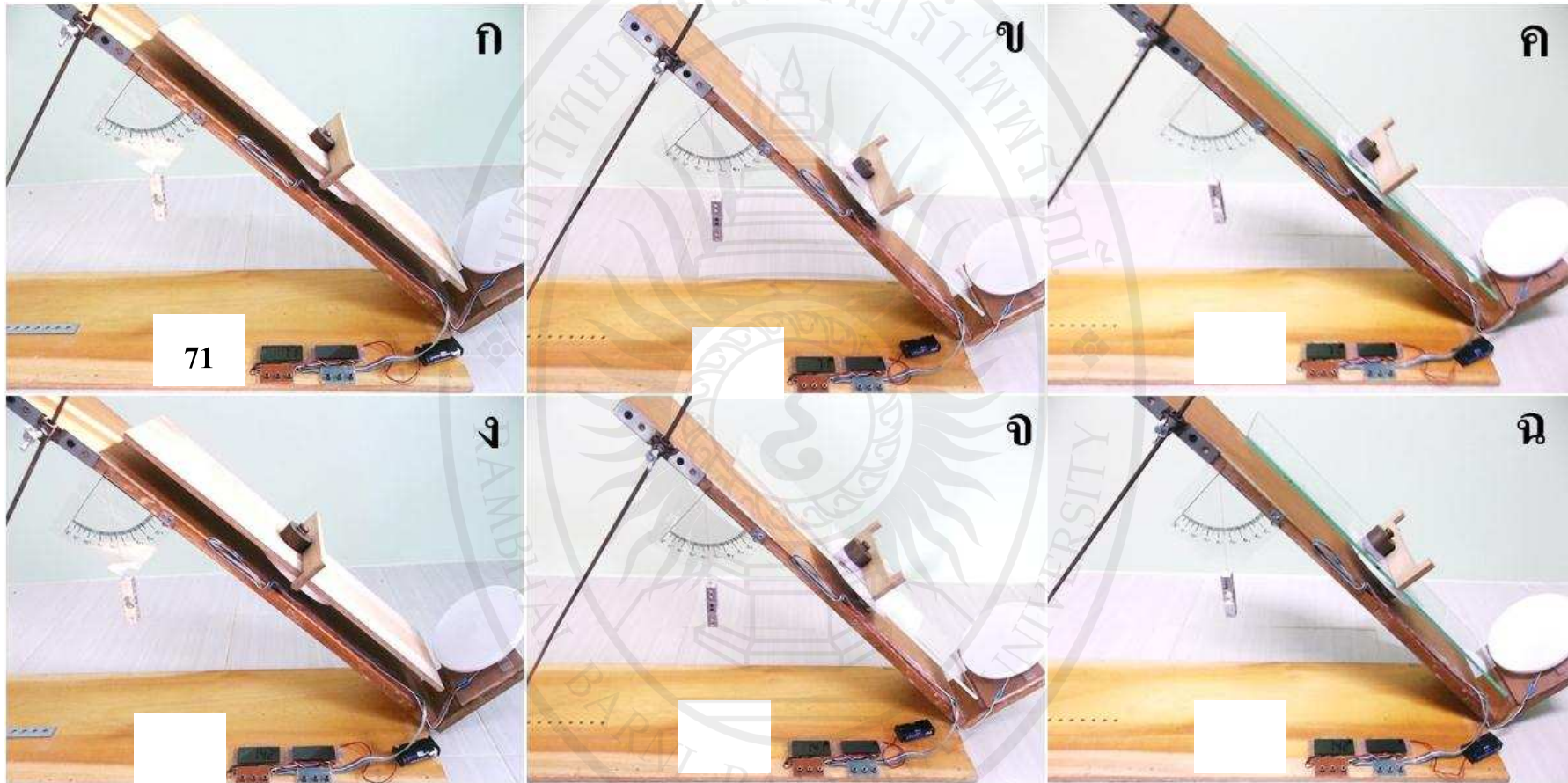
ภาพประกอบ 30 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 30 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 87 กรัม ภาพ ง และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ และ แก้วตามลำดับ ชั่งได้ 174 กรัม ภาพ จ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ อะคริลิก ได้ 173 กรัม



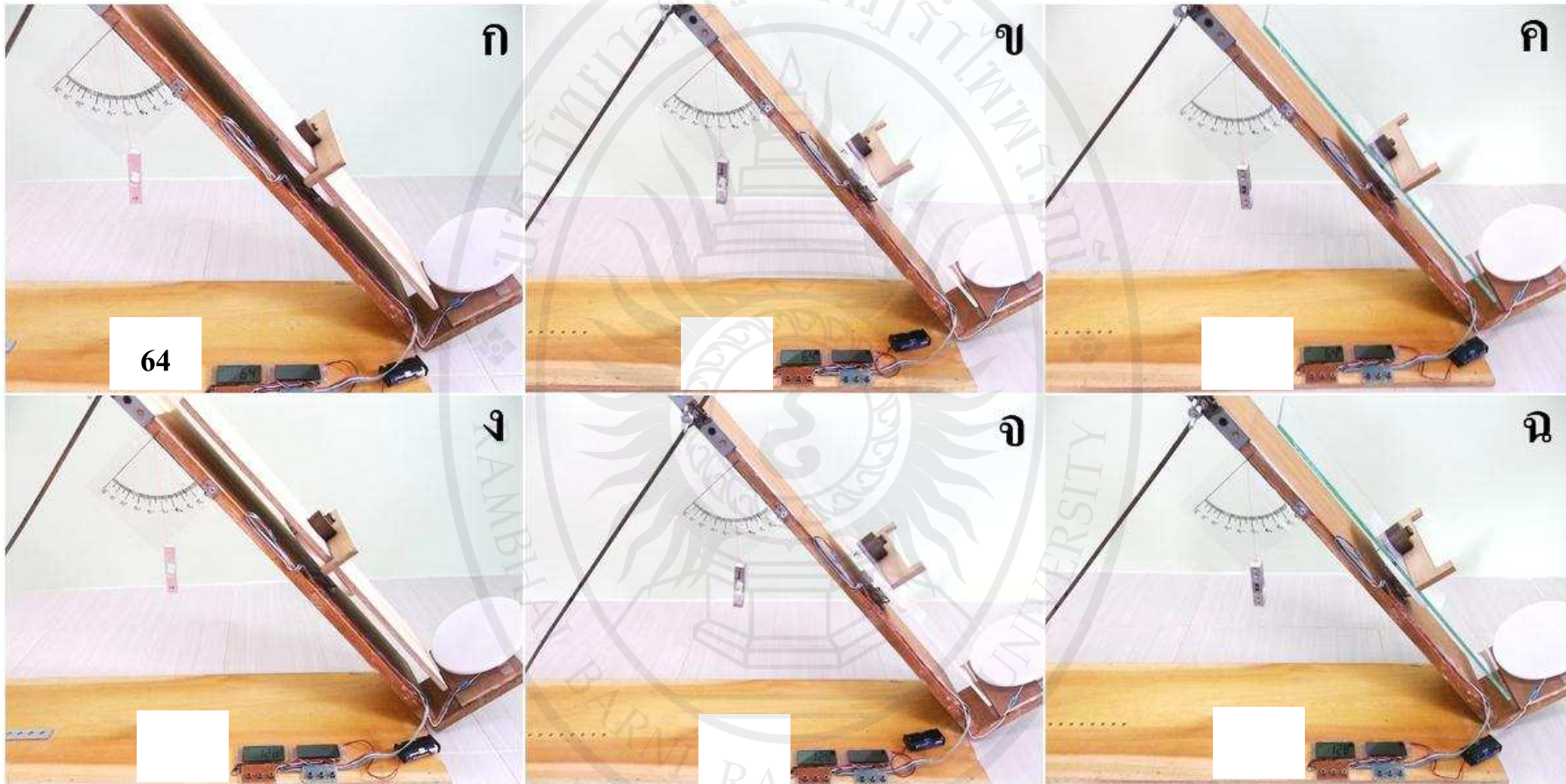
ภาพประกอบ 31 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 35 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 82 กรัม ภาพ ง จ และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 164 กรัม



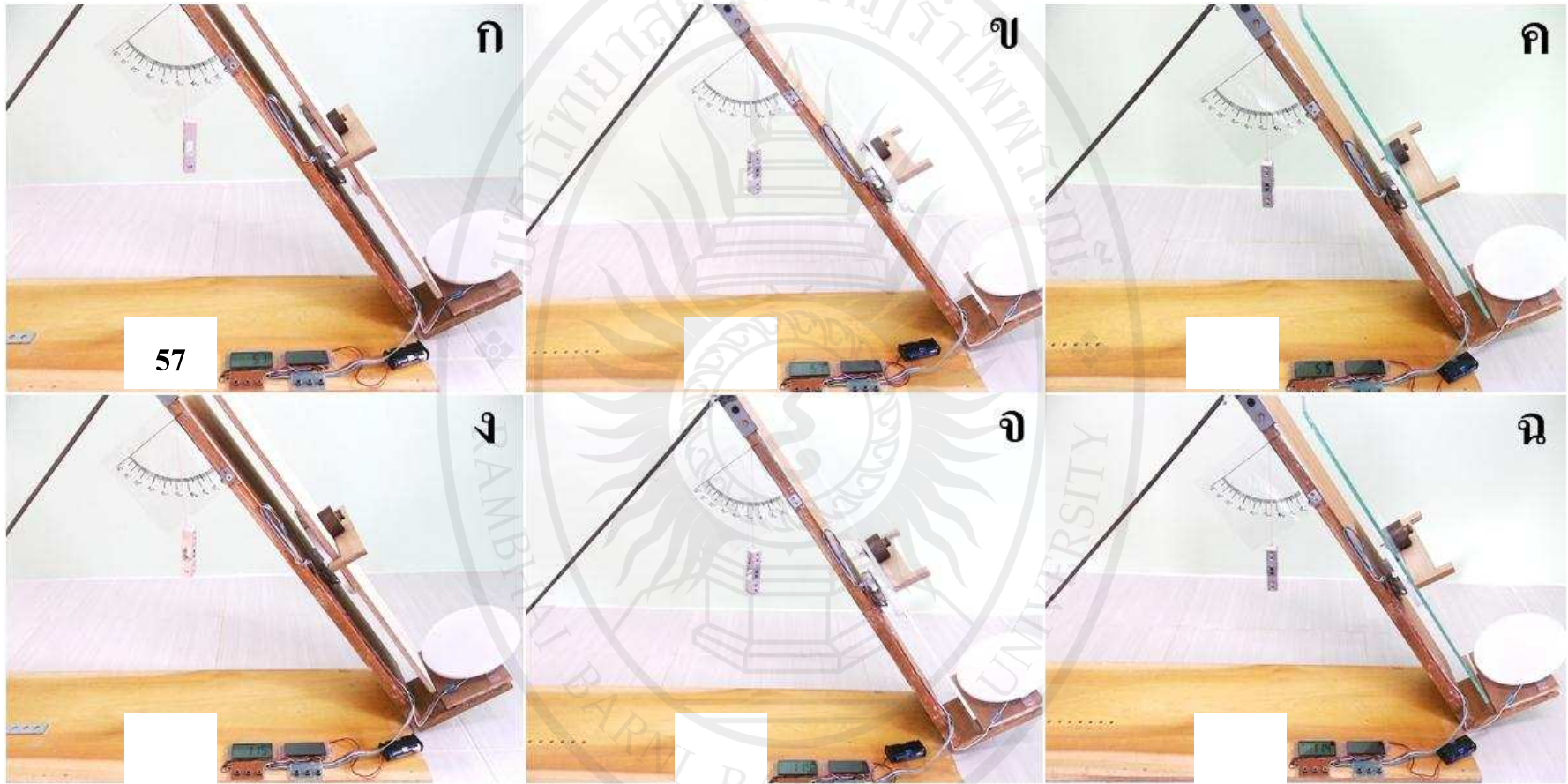
ภาพประกอบ 32 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 40 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 77 กรัม ภาพ ง จ และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 153 กรัม



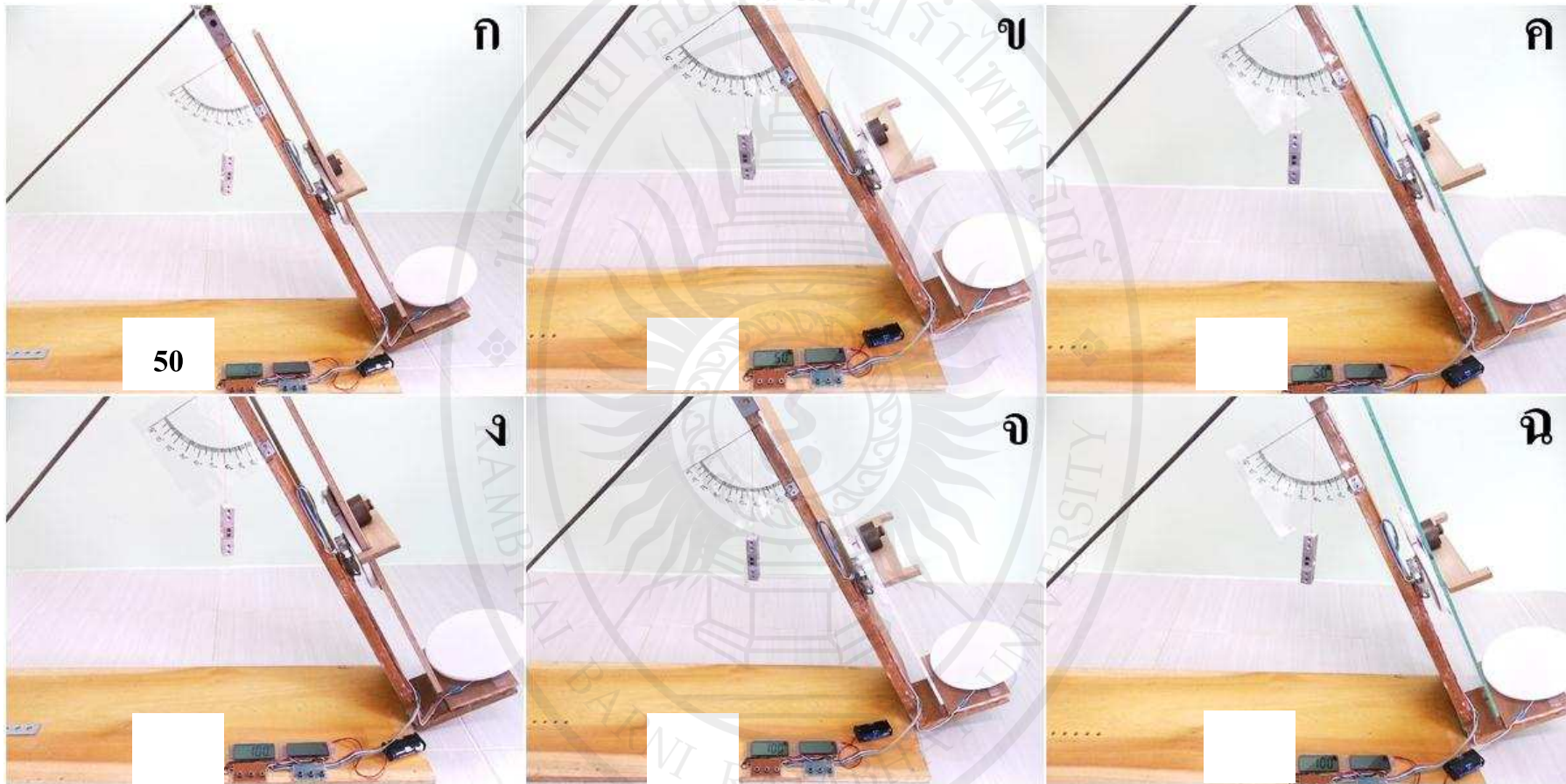
ภาพประกอบ 33 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 45 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 71 กรัม ภาพ ง และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ และ แก้วตามลำดับ ชั่งได้ 142 กรัม ภาพ จ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ อะคริลิก ได้ 141 กรัม



ภาพประกอบ 34 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 50 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 64 กรัม ภาพ ง และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ และ แก้วตามลำดับ ชั่งได้ 128 กรัม ภาพ จ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ อะคริลิก ได้ 129 กรัม



ภาพประกอบ 35 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 55 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 57 กรัม ภาพ ง และ จ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ และ อะคริลิกตามลำดับ ชั่งได้ 115 กรัม ภาพ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ แก้ว ได้ 114 กรัม



ภาพประกอบ 36 ชั่งน้ำหนักมาตรฐานที่มุม 60 องศา ภาพ ก ข และ ค ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 50 กรัม ภาพ ง จ และ ฉ ชั่งน้ำหนัก 200 กรัม บนพื้นวัสดุ ไม้ อะคริลิก และแก้วตามลำดับ ชั่งได้ 100 กรัม

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวณัฐริกา สมัยมงคล
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	20/2 หมู่ 4 ตำบลท่าช้าง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี 22000
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครูสอนวิชาวิทยาศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนลาซาลจันทบุรี(มารดาพิทักษ์) สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาจันทบุรี เขต 1
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2548	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัด จันทบุรี อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี
พ.ศ. 2552	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัด กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2554	หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพครู มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี
พ.ศ. 2557	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี