

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 จะต้องมีความเร่งกระทำต่อมันที่ทำให้เกิดความเร่งนี้ 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 ไกลผิวโลกที่มีมวล 1 กิโลกรัม ต้องมีน้ำหนัก 9.8 นิวตัน ในกรณีทั่วไปวัตถุที่มีมวล m ต้องมีน้ำหนัก $\bar{W}$ ที่หาได้จากสมการที่ 1

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

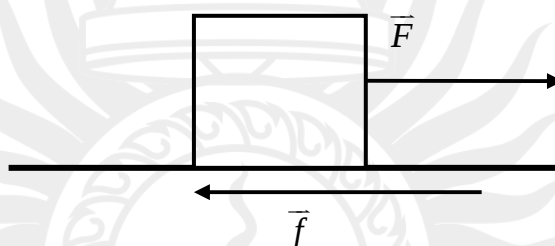
หน่วยของแรงที่นิยมใช้ในชีวิตประจำวันคือ แรงกิโลกรัม (kilogram-force) ซึ่งเป็นการบอกน้ำหนักในทางปฏิบัติ เขียนย่อเป็น kgf มีนิยามว่า แรง 1 kgf คือแรงที่มีค่าเท่ากับน้ำหนักของมวล 1 กิโลกรัม ดังนั้น 1 kgf เท่ากับ กรัมนิวตัน ประมาณ 9.8 นิวตัน ด้วยเหตุนี้จึงพูดติดปากเป็นภาษาพูดว่า ซื้อมือหุ้ 2 กิโลกรัม (หมายถึง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

โดยตัดคำว่าแรงออก อย่างไรก็ดีในทางทฤษฎีเราคงใช้หน่วยของแรง (รวมทั้งน้ำหนักด้วย) เป็นนิวตัน และใช้หน่วยของมวล เป็นกิโลกรัมเสมอ (อัญรา 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

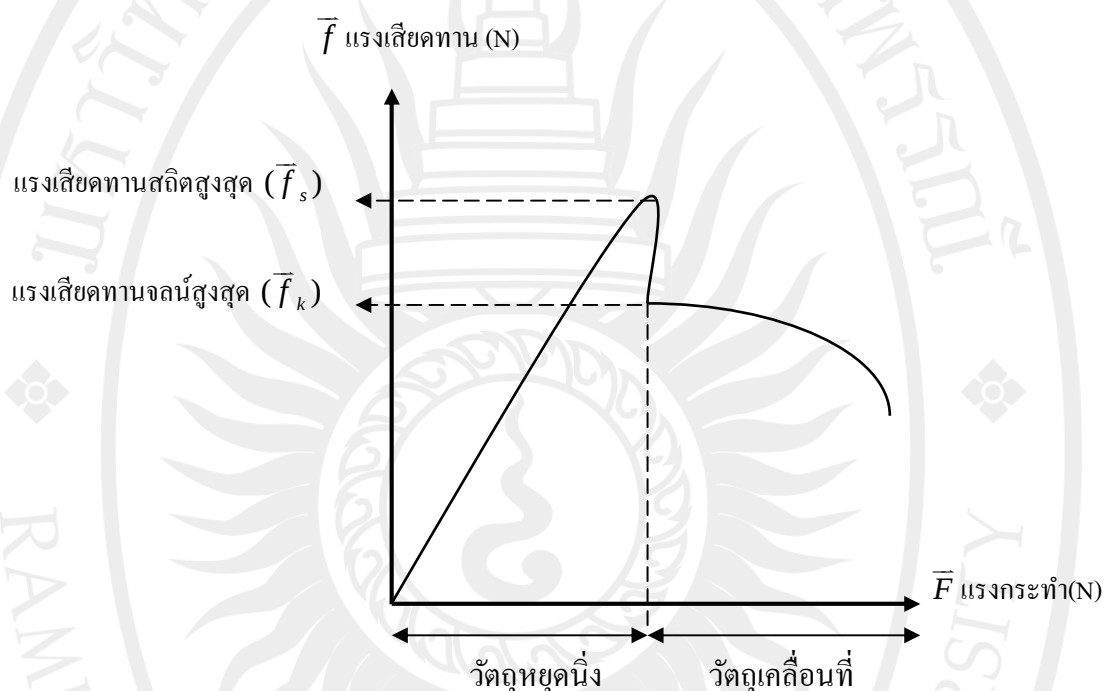
1.2 แรงเสียดทานแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

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

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

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

แรงเสียดทานสถิตจะมีค่าสูงสุดจากนั้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่จะทำให้แรงเสียดทานมีค่าลดลง ในช่วงนี้แรงกระทำจะมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานจลน์ ทำให้มวลเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วจนเกิดความเร่งขึ้น ในช่วงแรกของการเคลื่อนที่พบว่า ถ้าเพิ่มแรงกระทำไม่ทำให้แรงเสียดทานจลน์เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อแรงกระทำมีค่าเพิ่มสูงมากๆ จะส่งผลให้แรงเสียดทานจลน์มีค่าลดลง

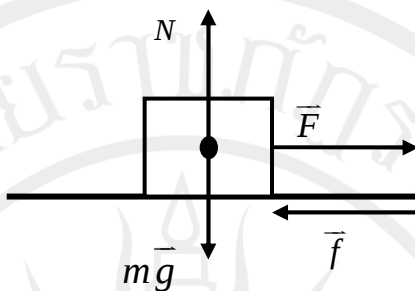


ภาพประกอบ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำและแรงเสียดทาน

2. สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction, μ) 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

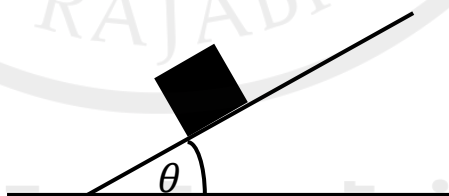
เมื่อวัตถุสมดุลแสดงดังภาพประกอบ 3

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

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

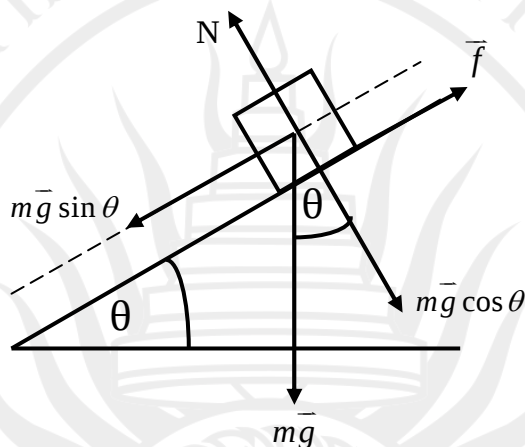
3. ความเสียดทานบนพื้นเอียง

เมื่อนำวัตถุวางไว้บนพื้นเอียงแล้วค่อยๆ ยกพื้นเอียงขึ้นให้มุมที่ฐานมากขึ้นจนวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จนวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่มุมนี้เรียกว่ามุมของแรงเสียดทาน



ภาพประกอบ 4 มุมพื้นเอียงที่ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่

เมื่อยกพื้นเอียงให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่พอดีจนวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (สมดุลสถิต)
สามารถพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุได้ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อยกพื้นเอียงให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่

เมื่อ N คือ แรงปฏิกิริยา หน่วยเป็น นิวตัน
 mg คือ น้ำหนักของวัตถุ หน่วยเป็น นิวตัน
 f คือ แรงเสียดทาน หน่วยเป็น นิวตัน

กำหนดแกนให้ตั้งฉากกับพื้นเอียงและขนานกับพื้นเอียงแตกแรง mg เข้าสู่แกนตั้งฉากดังภาพประกอบ 5 จะได้ $mg \sin \theta$ คือน้ำหนักของวัตถุที่พยายามทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียง ส่วน $mg \cos \theta$ คือน้ำหนักของวัตถุในแนวตั้งฉากกับผิวพื้นเอียงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่จะได้ $\sum \vec{F}_x = 0$ (ขนาดของแรงซ้าย เท่ากับขนาดของแรงขวา) $mg \sin \theta = f$ จะได้ขนาดของแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียงดังสมการที่ 4

$$mg \sin \theta = \mu N \quad (4)$$

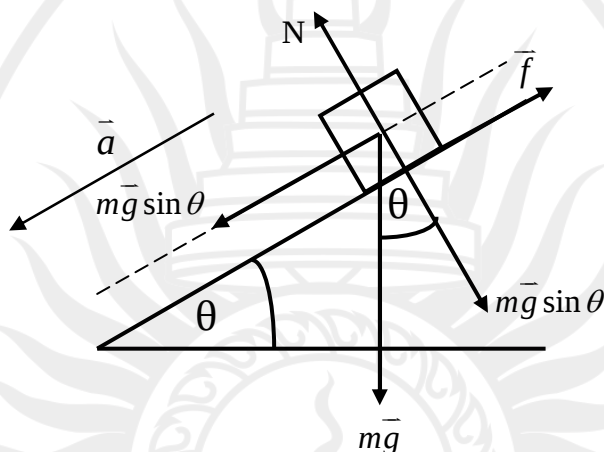
และ $\sum \vec{F}_y = 0$ (ขนาดของแรงขึ้นเท่ากับขนาดของแรงลง) จะได้ขนาดของแรงที่วัตถุกระทำในแนวตั้งฉากกับผิวพื้นเอียงดังสมการที่ 5

$$N = mg \cos \theta \quad (5)$$

แทนค่า N ในสมการที่ 4 จะได้ $mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตได้ดังสมการที่ 6

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

ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง เราจะพิจารณาแรงที่กระทำต่อวัตถุได้
ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แรงที่กระทำต่อวัตถุเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง

เมื่อ N คือ แรงปฏิกิริยา หน่วยเป็น นิวตัน
 mg คือ น้ำหนักของวัตถุ หน่วยเป็น นิวตัน
 f คือ แรงเสียดทาน หน่วยเป็น นิวตัน

กำหนดแกนให้ตั้งฉากกับพื้นเอียงและขนานกับพื้นเอียงแตกแรง mg เข้าสู่แกนตั้งฉาก
 ดังภาพประกอบ 6 จะได้ $mg \sin \theta$ คือ น้ำหนักของวัตถุที่พยายามทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ลงจาก
 พื้นเอียง ส่วน $mg \cos \theta$ คือ น้ำหนักของวัตถุในแนวตั้งฉากกับผิวพื้นเอียงเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วย
 ความเร่งจากกฎข้อที่สองของนิวตัน $\sum \vec{F}_x = m\vec{a}$ เมื่อเราพิจารณาขนาดของแรงจะได้
 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ได้ดังสมการที่ 7

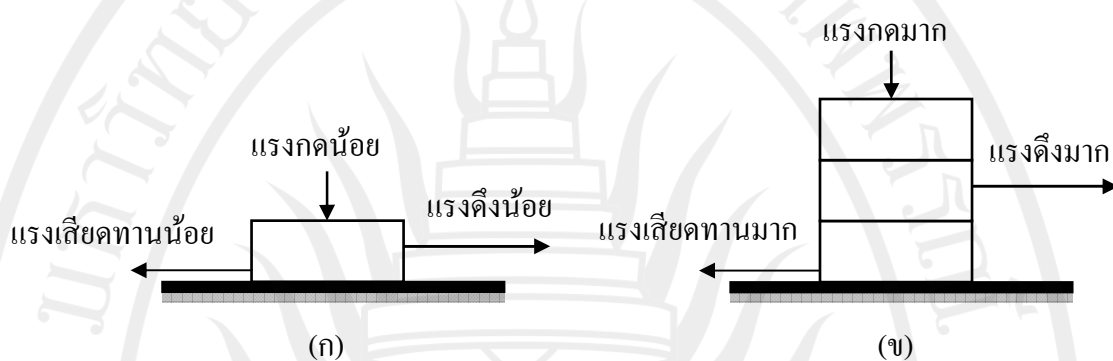
$$\mu_k = \frac{mg \sin \theta - ma}{mg \cos \theta} \quad (7)$$

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แสดงว่า ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าน้อยลง
 เรียกว่า สัมประสิทธิ์เสียดทานจลน์

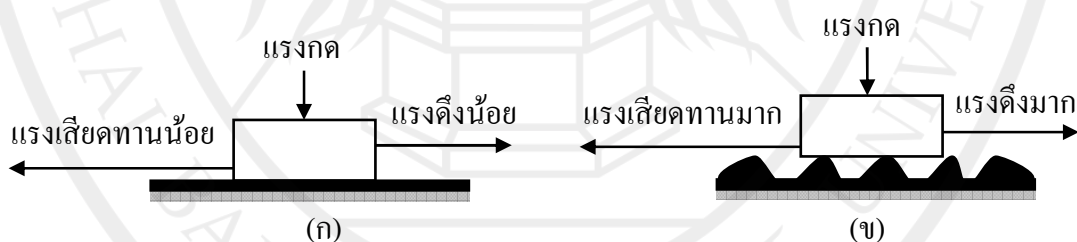
4. ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทาน

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. ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้ มีนักฟิสิกส์หลายท่านได้ศึกษาและบันทึกไว้ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันผู้วิจัยเลือกนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายมาจากหนังสือและจากเว็บไซต์ แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายระหว่างผิวสัมผัสไม้กับไม้

สัมประสิทธิ์ ความเสียหายสถิต (μ_s)		สัมประสิทธิ์ ความเสียหายจลน์ (μ_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 θ ด้วยการยกปลายของพื้นเอียงให้สูงขึ้นทีละน้อยจนวัตถุเคลื่อนที่ลงไปตามพื้นเอียง ด้วยความเร็วคงที่ วัดค่า θ ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนลงไปตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงที่นี้ แล้วบันทึกมุม θ

6.3 ลดระดับพื้นเอียงลงแล้วปฏิบัติซ้ำข้อที่ 6.1-6.2 อีก 4 ครั้ง

6.4 นำค่ามุม θ ไปเปิดตารางค่า $\tan \theta$ จะได้ค่า μ ของพื้นเอียงกับวัตถุ

สเตรนเกจ

ปริญญารจนา (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

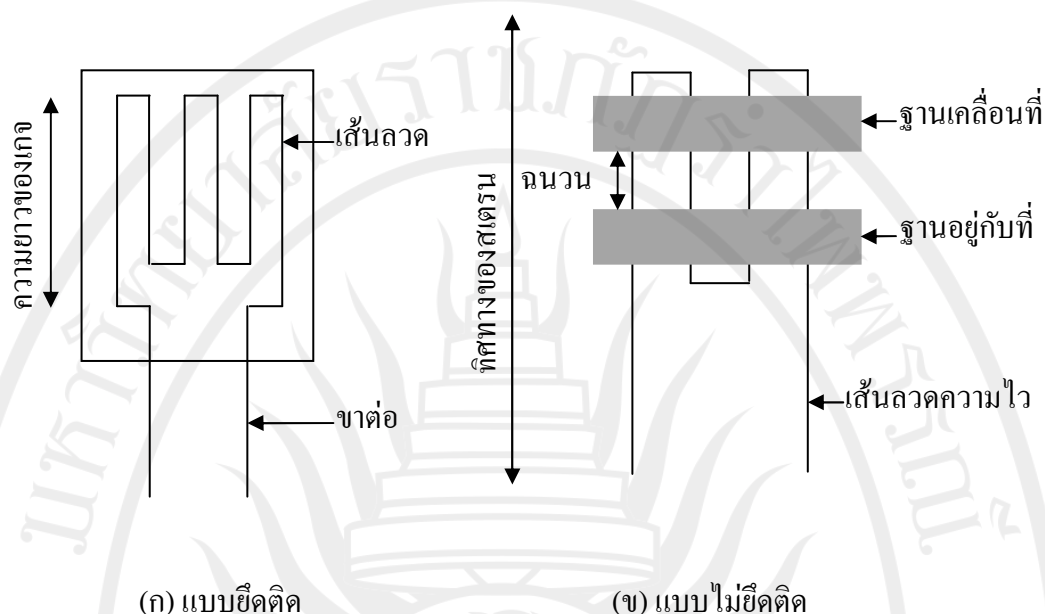
$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (8)$$

เมื่อ R คือ ความต้านทานของสเตรนเกจหน่วยโอห์ม (Ω)

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

L คือ ความยาวของเส้นลวดหน่วยเมตร (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวนำหน่วยตารางเมตร (m^2)



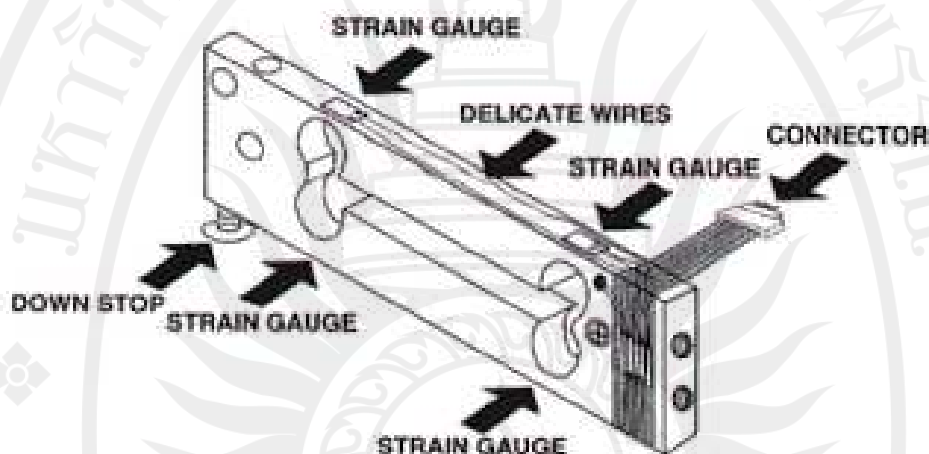
ภาพประกอบ 9 โครงสร้างของสเตรนเกจ (ก) โครงสร้างของสเตรนเกจแบบยึดติดที่ทำมาจากเส้นลวดเล็กๆ ขดไปขดมาหลายครั้งและยึดติดไว้บนแผ่นกระดาษหรือพลาสติกบางๆ เส้นลวดนี้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.001 นิ้ว และมีค่าความต้านทาน 120 โอห์ม และ (ข) โครงสร้างของสเตรนเกจแบบไม่ยึดติดจะทำจากเส้นลวดเล็กๆ ที่ติดอยู่กับฐานที่อยู่กับที่และฐานที่เคลื่อนที่

ส่วนประกอบเครื่องชั่งไฟฟ้า

1. โหลดเซลล์ มีหน้าที่เป็นตัวรับแรงกด หรือแรงดึง แล้วส่งสัญญาณดิจิทัล ออกไปยังส่วนประมวลผล โหลดเซลล์แบ่งออกเป็น 2 แบบ

1.1 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge Load Cell) มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยม มีร่องเว้า 4 ร่อง หลักการทำงานของโหลดเซลล์แบบนี้ คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียดจะเปลี่ยนความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ปกติจะใช้เกจวัดความเครียด 4 ตัว (วงจร Wheatstone Bridge Circuit) ในการวัดเพื่อให้ได้ความไวสูงสุดและมีการชดเชยผลของอุณหภูมิขณะทำการวัด เกจทั้ง 4 จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อช่วยในการปรับตั้งค่าชดเชยวงจร โดยทั่วไป เกจ 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 ส่วนประกอบของโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ

ที่มา : Precision Weighing Balances. Online. 2012

1.2 โหลดเซลล์แบบแม่เหล็ก (Electromagnetic Force) มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม หลักการทำงานของโหลดเซลล์แบบนี้ คือ โหลดเซลล์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อมีการวางวัตถุบนเครื่องชั่งก็จะเกิดการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก หลังจากนั้นก็จะส่งสัญญาณออกไปยังส่วนประมวลผล โหลดเซลล์ชนิดนี้มีราคาแพง มีความละเอียดสูง ความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงกว่า โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจประมาณ 10 เท่า ดังนั้นจึงนิยมนำมาติดตั้งในเครื่องชั่งความละเอียดสูง เช่น เครื่องชั่งห้องปฏิบัติการ เครื่องชั่งวิเคราะห์ เครื่องชั่งเพชร เครื่องชั่งพลอย เครื่องชั่งอัญมณี เครื่องชั่งทอง เครื่องชั่งเงิน เครื่องชั่งวัดความชื้น เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2. หน้าจอแสดงผล มีหน้าที่ประมวลผลของสัญญาณที่ส่งออกมาจาก โหลดเซลล์ให้เป็นตัวเลขแสดงค่าน้ำหนักที่เราชั่งบนหน้าจอแสดงผล สำหรับวงจรประมวลผลนี้บางเครื่องอาจติดตั้งในหัวอ่านเลข หรืออาจติดตั้งบนเมนบอร์ด

การสอบเทียบเครื่องชั่ง

การสอบเทียบเครื่องชั่ง (Calibration) หมายถึง การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงจากเครื่องชั่งกับค่าที่ถูกต้องภายใต้สภาวะเฉพาะ โดยผลจากการสอบเทียบจะให้ข้อมูลว่าเครื่องชั่งที่ใช้ยังคงมีคุณลักษณะทางด้านการชั่งที่เหมาะสมในการใช้งานต่อหรือไม่ ดังนั้นเครื่องชั่งจึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ โดยอาจทำการตรวจสอบเทียบทุก 1 ปี เพื่อให้ห้องปฏิบัติการสามารถมั่นใจได้ว่าเครื่องชั่งที่ใช้ และผลการทดสอบที่ได้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ (ฐิติรัตน์ จารูวาระกุล. 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

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

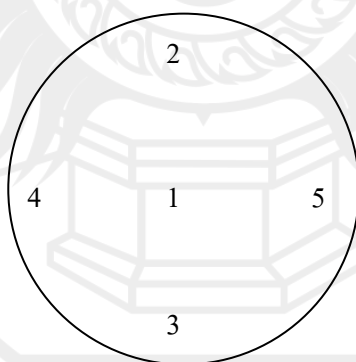
เมื่อ N คือ น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

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 บันทึกผลและคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่งแล้วนำมาคำนวณความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจานจากค่าที่แตกต่างกันที่สุดจากตรงกลาง



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 โดยการตั้งเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคือมุมที่เส้นเท้า 7 องศา มุมที่เท้า 15 องศา แรงในแนวตั้ง 500 ± 25 นิวตัน และความเร็วในการเลื่อนไถล 30 เซนติเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 9 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองมีการทำซ้ำชนิดละ 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) ได้ศึกษาปลายชนแปรงกับทิศแรงเสียดทานโดยผลิตเครื่องมือสาธิตทิศแรงเสียดทานผ่านการเอนของปลายชนแปรง ซึ่งเครื่องมือนี้ได้ถูกออกแบบและสร้างมาจากแปรงซักผ้า โดยการตัดแปรงซักผ้าออกมาเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วติดชิ้นชนแปรงดังกล่าวกับกล่องพลาสติก นำเครื่องมือไปใช้ในการสาธิตทิศแรงเสียดทานโดยนำแท่งไม้วางไว้ในกล่องชนแปรงแล้วนำไปจัดตามสถานการณ์ต่างๆ ที่ต้องการจะหาทิศแรงเสียดทานที่พื้นกระทำกับวัตถุนั้น ซึ่งเครื่องมือในการสาธิตทิศแรงเสียดทานนี้ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนการสอนในเรื่องการแสดงทิศของแรงเสียดทานที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจในเรื่องทิศของแรงเสียดทานดีขึ้น

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

Measurements JIS K7125 มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมาตรฐาน Clutch Facings for Automobiles JIS D4311 โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ในสภาวะอุณหภูมิและภาระน้ำหนักที่แตกต่างกันและใช้ตัวอย่างผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด จากผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบมีค่าความแตกต่างระหว่างเครื่องทดสอบ Pin on Disk และเครื่อง Friction Testing ค่าที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 17-22 ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยด้านความเร็วที่ใช้ในการทดสอบแตกต่างกันมาก และเป็นข้อจำกัดของเครื่องทดสอบทั้งสอง นอกจากนี้อุณหภูมิและความดันก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและจลน์เพิ่มขึ้น โดยจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ลดลง

งานวิจัยต่างประเทศ

เทอส์สกาย, แฮทซอร์ และซิตา (Tsesarsky, Hatzor and Sitar. 2005 : 153-167) ได้วิจัยการเคลื่อนที่ของกลองบนพื้นเอียง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการแก้ปัญหา และการวิเคราะห์ความผิดปกติดต่อเนื่อง (discontinuous deformation analysis : DDA) ในการวิจัยมีวัตถุประสงค์คือ 1) เปรียบเทียบ การวิเคราะห์โดย DDA และ การวิเคราะห์ด้วยการแก้ปัญหา 2) เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย DDA และผลที่ได้จากการทดลองบนโต๊ะที่ชัน 3) ศึกษาหน้าที่และความไวของตัวแปรและตัวเลขในการวิเคราะห์โดย DDA 4) คำนวณความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์โดย DDA ในการทดลองใช้พื้นเอียงที่ทำด้วยเหล็กเอียงเป็นมุม 11.37 องศา และประกอบกับพื้นที่ชันได้และใช้วัสดุที่ปล่อยบนพื้นเอียงเป็นกลองที่ทำจากเหล็กหนา 2.54 เซนติเมตร มีพื้นที่สัมผัส 25.8 ตารางเซนติเมตร มวล 1.6 กิโลกรัม ปล่อยวัตถุจากปลายพื้นเอียงให้เคลื่อนที่ลงมาในขณะที่พื้นชันผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธี DDA สามารถทำให้เป็นระบบแบบอย่างได้มีลำดับและขั้นตอนในการทำที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ค่าแรงเสียดทานที่ได้จากการไถล และเมื่อเปรียบเทียบการทดลองที่ได้จากพื้นเอียงที่ชันและค่าที่คำนวณได้จากวิธี DDA มีความแตกต่างเนื่องจากการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการทดลองกับวิธีการ DDA เพียงร้อยละ 2 สรุปได้ว่าในการทดลองการวัดแรงเสียดทานโดยใช้ระบบ DDA เป็นวิธีการที่แม่นยำ

กราทอน และ ดีเฟรนซ์โก (Gratton and DeFrancesco. 2006 : 232-235) ได้วิจัยเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากการไถล โดยงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือที่นำเสนอการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการหาค่าแรงเสียดทานจากการไถล โดยทดลองตามกฎของคูลอมบ์ที่บอกว่า แรงเสียดทานจากการไถลเกิดจาก 1) พื้นผิวของวัสดุที่สัมผัสกัน 2) แรงเสียดทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปกติ 3) ไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส 4) ไม่ขึ้นกับอัตราเร็วในการไถล โดย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าแรงเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขณะไถแบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วนคือ 1) วัสดุที่แตกต่างกัน คือ ไม้บนพลาสติก ไม้บนลูมเนียม ไม้บนไม้ และไม้บนกระดาษ 2) แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์ที่ได้จากวัตถุที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน 3) ทดสอบกฎข้อ 3 ของกลอมป์ใช้ลูมเนียม 4 ชิ้นที่มีพื้นที่แตกต่างกันและนำไปเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่บนพื้นพลาสติก 4) ทดสอบกฎข้อ 4 ใช้ความเร็วที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานว่าขึ้นกับความเร็วหรือไม่ จากการทดลองสรุปได้ว่าเครื่องมือนี้สามารถใช้ในการเรียนในห้องเรียนเพื่อให้นักเรียนเข้าใจกฎของกลอมป์ในเรื่องแรงเสียดทานได้

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

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