

## การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอชนิดเคลื่อนที่ไปกลับ Designs and fabrication reciprocating wear testing machine

นราธิป ภาวะศรี<sup>1</sup>, ณภัทร อินทนนท์<sup>2\*</sup>, สุกลักษณ์ ศรีน้อย<sup>3</sup>  
Naratrip Pawaree<sup>1</sup>, Naphatara Intanon<sup>2\*</sup>, Supalak Sreenoi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

<sup>2</sup>คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (วิทยาเขตขอนแก่น)

<sup>3</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

<sup>1</sup>Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

<sup>2</sup>Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen campus

<sup>3</sup>Faculty of engineering, North Eastern University

\*Corresponding author. Tel: 08 6635 6986, E-mail: mppm345@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและผลิตเครื่องทดสอบการสึกหรอชนิดเคลื่อนที่ไปกลับ โดยเป็นระบบควบคุมด้วยมือ โดยเครื่องทดสอบที่ได้ต้องเกิดความสะดวกในการใช้งานและความคงทนสามารถที่จะใช้ทดสอบได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีความเที่ยง และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าในทางทฤษฎี ไม่เกิน 10 % ผลปรากฏว่าเครื่องที่ได้มีขนาด 40 x 40 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 30 กิโลกรัม ความเร็วรอบสูงสุดในการทดสอบ 600 รอบต่อนาที สามารถรับน้ำหนักกดได้สูงสุด 15 N จากการทดลองใช้เครื่องเพื่อทดสอบ โดยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM G133 พบว่าเครื่องที่สร้างขึ้นมีความเที่ยงตรงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีความคลาดเคลื่อนจากค่าในทางทฤษฎี ต่ำกว่า 10 %

**คำสำคัญ :** เครื่องทดสอบการสึกหรอ อัตราการสึกหรอ การทดสอบแบบเคลื่อนที่ไปกลับ ASTM G133

### Abstract

This research aims to design and fabricate a manual reciprocating wear testing machine which is easy to use, durable, long-time continuous testing, reliability and the error of testing result must not exceed than 10%. The result showed that the size of the machine was 40 x 40 cm. and a load of a machine was 30 kg. maximum speed was 600 rpm and maximum load was 15 N. The testing result of the machine (refer to ASTM G133) showed that the machine has reliability at 95 % confidence and testing result error was less than 10 % of theoretically.

**Keywords:** Wear testing machine, Wear rate, Reciprocating method, ASTM G133

Received 03-09-2019

Revised 03-10-2019

Accepted 07-10-2019

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนเครื่องจักรกลของประเทศไทย เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย แต่ละปีประเทศไทยมีการนำเข้าชิ้นส่วนเครื่องจักรกลประมาณ 450,000 ล้านบาท และมีมูลค่าการส่งออกประมาณ 200,000 – 250,000 ล้านบาท และมูลค่าการส่งออกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น [1] ทั้งนี้เพราะ ประเทศไทยมีการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยตัวเองมากยิ่งขึ้น ทำให้มูลค่าการส่งออกมีเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะชิ้นส่วนเครื่องจักรกลการเกษตร ซึ่งมีมูลค่าการส่งออก 30,000 ล้านบาทต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามด้วยมูลค่าของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีมูลค่าสูงนี้ ทำให้มูลค่าของการบำรุงรักษาสูงตามไปด้วย จากการศึกษาเรื่องโทรโบลีย์ (แรงเสียดทานการสึกหรอ และการหล่อลื่น) ของประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปเนื่องจากการบริหารจัดการเรื่องดังกล่าวไม่ดั้นนั้น มีประมาณ ร้อยละ 6 - 7 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ หรือคิดเป็นเงินประมาณ 240 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ [2] ซึ่งค่าใช้จ่ายดังกล่าวก่อให้เกิดความสูญเสียต่อระบบการผลิตและระบบเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก หากทราบถึงอัตราการสึกหรอก็จะสามารถที่จะคำนวณหรือประมาณการอายุการใช้งานของแต่ละชิ้นส่วนได้ อันเป็นแนวทางในการป้องกันการเสียหายที่รุนแรงของเครื่องจักรได้

การศึกษาการสึกหรอของวัสดุนั้นมีผู้วิจัยทำกันมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน Charles Hatchett [3] ได้ศึกษาการสึกหรอของโลหะผสมทองคำด้วยการทดลอง ต่อมาในปี George Rennie [4] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของแรงเสียดทาน (Friction) และการสึกหรอแบบขัดสี

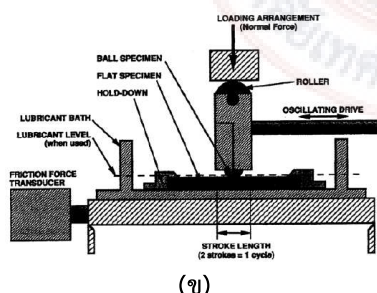
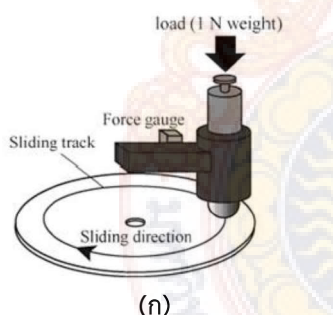
(Abrasion) ของพื้นผิวของของแข็ง (Surface of solids) จากนั้นเป็นต้นมาก็มีการศึกษาเกี่ยวข้องกับการสึกหรออีกเป็นจำนวนมาก และมีเครื่องมือมาตรฐานสำหรับตรวจสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุหลายประเภท แต่การพยากรณ์และการควบคุมการสึกหรอนั้นยังคงทำได้ยาก [5] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของวัสดุที่มีความแข็งแตกต่างกันค่อนข้างมาก Archard [6] ได้พัฒนาสมการสำหรับการพยากรณ์การสึกหรอที่เกิดจากการเลื่อนไถล (Sliding wear) ซึ่งเป็นสมการที่มีผู้นิยมนำมาใช้อ้างอิงเป็นจำนวนมาก ในสมการ Archard นั้น อัตราการสึกหรอ (Q) จะแปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอ (K) แรงกด (P) และความเร็วของการเลื่อนไถล และแปรผกผันกับความแข็ง (H) ของวัสดุที่อ่อนกว่า สมการนี้มีความเหมาะสมในการพยากรณ์การสึกหรอที่เป็นการสึกหรอที่ละน้อย (Mild wear) เท่านั้น ไม่เหมาะกับการพยากรณ์การสึกหรอที่รุนแรง (Severe wear) [7] จากสมการของ Archard ดังกล่าว ทำให้การศึกษาเรื่องของการสึกหรอมีปัจจัยที่สนใจอยู่ 3 ประการ คือ อัตราการสึกหรอ (Wear rate) แรงเสียดทาน (Friction) และการหล่อลื่น (Lubrication) และเรียกว่าการศึกษาโทรโบลีย์ (Tribology) ทั้งนี้เพราะปัจจัยทั้ง 3 มีความสัมพันธ์โดยตรง แรงเสียดทานที่สูง ก่อให้เกิดอัตราการสึกหรอที่สูง และสามารถลดแรงเสียดทานได้โดยการหล่อลื่น นั่นหมายความว่า การหล่อลื่นสามารถลดอัตราการสึกหรอได้ อย่างไรก็ตามแรงเสียดทานของวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวของชิ้นงานที่สัมผัสกัน ลักษณะของผิวที่แตกต่างกันจะทำให้สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานแตกต่างกัน และทำให้อัตราการสึกหรอที่แตกต่างกัน อัตราการสึกหรอจึงมีความสัมพันธ์กับความเรียบของผิวชิ้นงานด้วย ผิวชิ้นงานที่เรียบสูง

ทำให้แรงเสียดทานสถิตสูง แต่แรงเสียดทานจลน์ต่ำ ดังนั้นแรงเสียดทานที่ทำให้เกิดการสึกหรอจึงเป็นแรงเสียดทานจลน์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการยึดติดกันระหว่างจุดยอดของผิวชิ้นงาน และเมื่อมีการเคลื่อนที่ซ้ำจุดเดิมเรื่อย ๆ ก็อาจทำให้ชิ้นงานชิ้นงานเกิดการแตกหักออกมา และทำให้เกิดการสึกหรอ อัตราการแตกหักที่เกิดขึ้นจะเป็นผลมาจากความแข็งแรงของวัสดุ ความแข็งแรงของวัสดุจึงเป็นองค์ประกอบของการสึกหรอเช่นกัน จากการศึกษาความสัมพันธ์ของการสึกหรอแรงเสียดทาน และการหล่อลื่น ที่ผ่านมาได้ข้อสรุปที่น่าสนใจในหลายกรณี เช่น Eshaghi และคณะ[8] พบว่า กระบวนการทางความร้อน (Heat treatment) ทำให้อลูมิเนียมผสมมีความต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะกระบวนการทางความร้อนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคของโลหะ แต่ถ้าชิ้นงานทำงานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง การสึกหรอของวัสดุจะเพิ่มมากขึ้น เพราะแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมในสภาวะอุณหภูมิสูงจะมีค่าลดลง [9] ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการสึกหรอที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ความเรียบของผิวสัมผัส จากผลการศึกษาที่ผ่านมามีประเด็นที่น่าสนใจ คือ การศึกษาของ Albers, Savio และ Lorentz [10] พบว่า ความเรียบของผิวชิ้นงานที่มาสัมผัสกัน มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction coefficient :  $\mu$ ) โดย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อชิ้นงานที่มาสัมผัสกันมีความเรียบผิวมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะลดลงเมื่อความเร็วของการสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตามแรงเสียดทาน มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเมื่อพื้นผิวเกิดการเปลี่ยนแปลงขณะเกิดการเสียดสี ดังนั้นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจึงไม่สามารถอธิบายได้ด้วยค่าแรงเสียดทานแต่เพียงอย่างเดียว หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า

ความเรียบของพื้นผิวมีผลกระทบต่อการสึกหรอแต่ไม่ใช่ปัจจัยหลักแต่เพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม Kubiak และคณะ [11] กล่าวว่า พื้นผิวที่หยาบ (Rough surface) มีสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ และมีอัตราการสึกหรอสูง และพื้นที่ผิวที่เรียบกว่าจะช่วยลดกระบวนการการสึกหรอแบบติดยึด (Fretting) ได้ดีกว่า จากความสำคัญของการสึกหรอที่มีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ และการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและระบบการทำงานของเครื่องจักรกลอย่างทีกล่าวมาแล้วนั้น การทดสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีการเสียดสีกัน จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล และมีความจำเป็นสำหรับการวางแผนการบำรุงรักษา และเพื่อให้การทดสอบมีความเที่ยงตรงและแม่นยำนั้น ลักษณะของการทดสอบควรที่จะมีลักษณะใกล้เคียงกันกับการทำงานจริงของชิ้นส่วนนั้น ๆ ทำให้ปัจจุบันมีเครื่องทดสอบหลายรูปแบบ เช่นเครื่องทดสอบชนิดจานหมุน (Pin on disc) (ภาพที่ 1 ก) โดยเครื่องทดสอบแบบนี้มีลักษณะการทำงานคือชิ้นงานที่ต้องการทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งกลม ปลายมน เรียกแท่งทดสอบนี้ว่า พิน (Pin) มีน้ำหนักกด (Load) อยู่ด้านบน แรงกระทำที่เกิดขึ้นจะต้องอยู่ในแนวตั้งฉาก (Normal force) ในขณะทำการทดสอบ พินจะถูกกดให้สัมผัสกับจานหมุน (Disc) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นโลหะหรือเป็นวัสดุอื่นที่ต้องการทดสอบเช่นกระดาดทราย เป็นต้น ตัวพินจะอยู่กับที่แต่สามารถปรับระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของจานหมุนเพื่อกำหนดรัศมีของการหมุนได้ จานหมุนจะหมุนด้วยความเร็วคงที่ แต่สามารถปรับความเร็วรอบของการหมุนได้ตามการออกแบบการทดสอบที่กำหนดขึ้น เครื่องทดสอบการสึกหรออีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้คือชนิดเคลื่อนที่ไปกลับ

(Reciprocating) (ภาพที่ 1 ข) เครื่องทดสอบชนิดนี้ พินและน้ำหนักรวมมีลักษณะเหมือนกันกับพินและ น้ำหนักกดของชนิด จานหมุน แต่ส่วนที่เป็นแผ่นรอง ด้านล่างจะเป็นลักษณะแบบเรียบ และรูปแบบของ การเคลื่อนที่จะเป็นแบบเคลื่อนที่ไปกลับด้วยความเร็ว และระยะคงที่ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการ ทดสอบของผู้ทดสอบ ซึ่งความเร็วของการเคลื่อนที่ และระยะของการเคลื่อนที่สามารถปรับได้ ตาม มาตรฐานของเครื่องแต่ละเครื่อง

ข้อกำหนดที่สำคัญของเครื่องทดสอบทั้ง 2 แบบมีเหมือนกันคือ ส่วนที่เป็นแท่งทดสอบ ต้องอยู่ กับที่และให้ส่วนที่เป็นแผ่นทดสอบเคลื่อนที่ โดย น้ำหนักกด ความเร็วของการหมุน (หรือการเคลื่อนที่ ไปกลับ) อุณหภูมิ ระยะเวลา หรือสภาพแวดล้อม ต้องสามารถควบคุมให้คงที่ได้ตลอดระยะเวลาของ การทดสอบ และสามารถปรับได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด



ภาพที่ 1 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบการสึกหรอ  
(ก) ชนิดจานหมุน[12] (ข) ชนิดเคลื่อนที่ไปกลับ[13]

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงเห็นว่า ควรมีการศึกษา ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ ดังกล่าวเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบการสึกหรอของ ชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการกำหนดอายุ การใช้งาน หรือการเลือกวัสดุเพื่อนำมาใช้ในการผลิต ชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งนี้ในการออกแบบและสร้างเครื่อง ทดสอบการสึกหรอในครั้งนี้เลือกชนิดเคลื่อนที่ไปกลับ (Reciprocating) เพราะมีความสอดคล้องกับการ- ทำงานของชิ้นส่วนเครื่องจักรมากกว่า และการ- ดำเนินการทดสอบจะอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM G133 เป็นมาตรฐานในการเตรียมการ- ทดสอบ เพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกับค่าทางทฤษฎีมากที่สุด

## 2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 การออกแบบและการสร้างเครื่องทดสอบ

ในการออกแบบครั้งนี้ สามารถแบ่ง ขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

ชุดส่งกำลัง เลือกใช้มอเตอร์ที่เป็น ดีซี- มอเตอร์ เพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมและมีขนาดให้ เลือกลงมาเหมาะกับกำลังที่ต้องการใช้ และจะมีชุด ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า เพื่อควบคุมการหมุน โดยการหมุนมีความสอดคล้องกับมาตรฐานที่กำหนด คือ สามารถหมุนได้ตั้งแต่ 0 – 600 รอบต่อนาที อย่างไรก็ตามเนื่องจาก มอเตอร์เมื่อหมุนด้วย ความเร็วสูงกำลังของมอเตอร์จะลดลง ดังนั้นเพื่อ ป้องกันไม่ให้มอเตอร์ทำงานที่รอบสูงจนเกินไป จะ ใช้มุขเกียร์ที่ติดกับมอเตอร์มีขนาดใหญ่กว่า มุขเกียร์ที่ติด กับจาน การทำอย่างนี้จะทำให้มอเตอร์ไม่ทำงานที่ รอบสูงจนเกินไป และจานก็สามารถหมุนได้ตามที่ กำหนด ชุดทำงานอื่น ๆ มีการออกแบบให้มีความเหมาะสมกับขนาดของแรงบิดของมอเตอร์

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องทดสอบการสึกหรอชนิดเคลื่อนที่ไปกลับที่มีชิ้นส่วนและองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้ (ภาพที่ 2)

- ขนาด กว้าง x ยาว x สูง : 40 x 40 x 65 เซนติเมตร
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24V ความเร็วรอบสูงสุด : 600 รอบต่อนาที.
- แรงกดในแนวตั้งฉาก (Normal force) สูงสุด : 15 N
- ขนาดของแท่งทดสอบ : 10 มิลลิเมตร เป็นชนิดปลายแบน (Flat)
- ระยะชัก (Stroke length) : สูงสุด 20 มิลลิเมตร (สามารถปรับได้ 3 ระยะคือ 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร)



ภาพที่ 2 เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบเคลื่อนที่ไปกลับ

## 2.2 การทดสอบการใช้งาน

ในการทดสอบการใช้งาน แบ่งการทดสอบเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทดสอบความเที่ยง ตรงของเครื่องที่สร้างขึ้น และ

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดสอบการใช้งาน เพื่อนำผลการทดสอบมาคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอมาตรฐานที่มีการใช้งาน และอ้างอิงทั่วไป การทดสอบการสึกหรอของแต่ละขั้นมีการดำเนินการดังนี้

### 2.2.1 การเตรียมแท่งทดสอบ (Pin)

การเตรียมแท่งทดสอบทำได้โดยการตัดวัสดุให้ได้ความยาวตามที่ต้องการ และผิวชิ้นงานส่วนที่จะสัมผัสกับแผ่นทดสอบให้ได้ความเรียบผิวอยู่ในช่วงที่กำหนดคือ 0.02 – 0.05  $\mu\text{m}$  จากนั้นนำไปแช่น้ำหนักด้วยเครื่องที่มีความละเอียดเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกข้อมูลน้ำหนัก และเก็บชิ้นงานในกล่องกันความชื้น



ภาพที่ 3 การชั่งน้ำหนักแท่งทดสอบ

### 2.2.2 การเตรียมแผ่นทดสอบ (Plate)

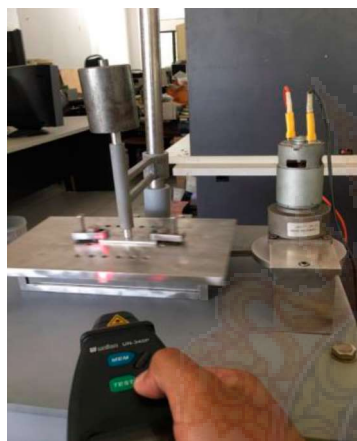
การเตรียมแผ่นทดสอบทำเหมือนกับการเตรียมแท่งทดสอบ คือตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ และขัดผิวด้านที่ต้องการทดสอบให้มีความเรียบผิวอยู่ระหว่าง 0.02 – 0.05  $\mu\text{m}$  ทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ และจากนั้นนำไปแช่



น้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความละเอียดเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกค่าน้ำหนัก และเก็บใส่กล่องป้องกันความชื้น

### 2.2.3 การติดตั้งชิ้นงานเพื่อทดสอบ

ในการทดสอบมีการยึดชิ้นงานที่เป็นแผ่นทดสอบกับชุดเคลื่อนที่ของเครื่องโดยให้จุดกึ่งกลางของแผ่นทดสอบกับจุดกึ่งกลางของแท่งทดสอบ หลังจากนั้นนำแท่งน้ำหนัก ที่เตรียมไว้ วางลงบนแท่งทดสอบ และเปิดเครื่องเพิ่มความความเร็วรอบให้ได้ตามที่ต้องการ ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ความเร็ว 300 รอบต่อนาที ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การติดตั้งเครื่อง

เวลาในการทดสอบจะแตกต่างกันตามน้ำหนักกดที่ใช้ในการทดสอบ ถ้าใช้น้ำหนักกด 5 N จะใช้เวลาในการทดสอบ 25 นาที และหากใช้น้ำหนักกด 10 N จะใช้เวลาในการทดสอบ 12.5 นาที ทั้งนี้เพราะจากสมการการสึกหรอค่าน้ำหนักกด จะคู่กับระยะทางในการทดสอบ ดังนั้น เพื่อให้ดังกล่าวกังที่เมื่อเพิ่มน้ำหนักกดจาก 5 N เป็น 10 N ค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น 2 เท่า เวลาในการทดสอบต้องลดลงครึ่งหนึ่ง เพื่อให้ระยะทางในการทดสอบลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ผลคูณของน้ำหนักและระยะทางมีค่าคงที่

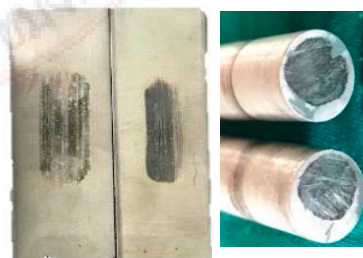
เมื่อทำการทดสอบครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วจะนำชิ้นงานทั้งที่เป็นแท่งทดสอบและแผ่นทดสอบออกมาทำความสะอาดโดยการเช็ดด้วยแอลกอฮอล์และนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง บันทึกข้อมูลน้ำหนักหลังการทดสอบ และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

## 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

### 3.1 การทดสอบความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่อง

ในการทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องทำการทดสอบการสึกหรอของเหล็กเหนียว จำนวน 10 ครั้ง โดยเป็นการทดสอบที่ระดับน้ำหนักกด 5 N 5 ครั้ง และ 10 N 5 ครั้ง ก่อนการทดสอบมีการเตรียมผิวชิ้นงาน ให้ได้ตามข้อกำหนด โดยในการทดสอบครั้งนี้ผิวชิ้นทดสอบ มีความเรียบผิวเฉลี่ย  $0.044 \mu\text{m}$  และความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงาน มีค่าเท่ากับ 274.58 HV ผลการทดสอบ เป็นดังตารางที่ 1 และ 2

จากการทดสอบเพื่อหาความเที่ยงดังกล่าวข้างต้น ทำการวิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรง โดยทำการทดสอบค่าที กรณีกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียว (One sample t-test) ผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 3 (วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS V16)



ภาพที่ 5 ลักษณะของชิ้นงานหลังการทดสอบ (ชิ้นงานสแตนเลส น้ำหนักกด 10 N)

ตารางที่ 1 น้ำหนักที่หายไปของแท่งทดสอบและ แผ่นทดสอบกรณีน้ำหนักกด 5 N

ครั้งที่	น้ำหนักของแท่งทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักของแผ่นทดสอบ (กรัม)		
	ก่อนการ ทดสอบ	หลังการ ทดสอบ	น้ำหนักที่ หายไป	ก่อนการ ทดสอบ	หลังการ ทดสอบ	น้ำหนักที่ หายไป
1	91.6801	91.6708	0.0102	116.3327	116.3200	0.0127
2	91.3924	91.3899	0.0025	118.3044	118.2922	0.0122
3	91.3698	91.3605	0.0093	115.7632	115.7506	0.0126
4	92.0615	92.0581	0.0034	119.3066	119.2932	0.0134
5	88.9418	88.9390	0.0028	112.2945	112.2822	0.0123
เฉลี่ย	91.0891	91.0836	0.0055	116.4003	116.3876	0.0126

ตารางที่ 2 น้ำหนักที่หายไปของแท่งทดสอบ และแผ่นทดสอบ กรณีน้ำหนักกด 10 N

ครั้งที่	น้ำหนักของแท่งทดสอบ (กรัม)			น้ำหนักของ แผ่นทดสอบ (กรัม)		
	ก่อนการ ทดสอบ	หลังการ ทดสอบ	น้ำหนักที่ หายไป	ก่อนการ ทดสอบ	หลังการ ทดสอบ	น้ำหนักที่ หายไป
1	88.9364	88.9176	0.0188	117.6936	117.6798	0.0138
2	90.8873	90.8831	0.0042	115.4796	115.4660	0.0136
3	91.4811	91.4707	0.0104	116.2574	116.2432	0.0142
4	90.9351	90.9320	0.0031	119.9156	119.9020	0.0136
5	88.4222	88.4148	0.0074	117.6067	117.5938	0.0129
เฉลี่ย	90.1324	90.1236	0.0088	117.3906	117.377	0.0136

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ ค่าความเที่ยงของผลการทดสอบ

ชิ้นทดสอบ	ค่า t	df	Sig.(2-tailed)	Test value
แท่งทดสอบ น้ำหนักกด 5N	0.083	4	.938	0.0055
แผ่นทดสอบ น้ำหนักกด 5N	0.189	4	.895	0.0126
แท่งทดสอบ น้ำหนักกด 10N	-0.007	4	.995	0.0088
แผ่นทดสอบ น้ำหนักกด 10N	0.095	4	.929	0.0136

จากตารางที่ 1 – 3 พบว่า น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบมีความแตกต่างกันไปในแต่ละครั้งของการทดสอบ โดยชิ้นงานที่เป็นแท่งทดสอบกรณีที่น้ำหนักกด 5 N น้ำหนักที่หายไปอยู่ระหว่าง 0.0028 – 0.0102 กรัม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0055 กรัม และเมื่อทำการทดสอบทางสถิติเพื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของน้ำหนักที่หายไปว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้การวิเคราะห์ค่า t ชนิดกลุ่มตัวอย่างเดียว (One sample t-test) ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ค่า t มีค่าเท่ากับ 0.083 และค่า Sig. เท่ากับ 0.938 โดยเทียบกับค่าเฉลี่ย (0.0055) ซึ่งค่า Sig. มีค่าสูงกว่าค่านัยสำคัญ (0.05) หมายความว่า ค่าน้ำหนักที่ได้ถือว่ามีความไม่แตกต่างกัน และค่าน้ำหนักที่หายไปของแผ่นทดสอบ ที่มีแรงกด 5 N แท่งทดสอบที่มีแรงกด 10 N และแผ่นทดสอบที่มีแรงกด 10 N ค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.895, 0.995 และ 0.929 ตามลำดับ ซึ่งทุกค่ามีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ หมายความว่าผลการทดสอบโดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยแล้ว ไม่แตกต่างกัน ถือว่าเครื่องทดสอบมีความเที่ยง สามารถที่จะนำไปใช้งานได้

### 3.2 การทดสอบเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

ในการทดสอบการสึกหรอเพื่อเปรียบเทียบกับค่าการสึกหรอทางทฤษฎีในครั้งนี้เลือกน้ำหนักการกด 10 N และวัสดุทดสอบเป็นสแตนเลส ทั้งนี้เพราะสแตนเลสเป็นวัสดุที่มีการควบคุมส่วนผสมในการผลิตค่อนข้างดี ทำให้สแตนเลสเป็นวัสดุที่มีส่วนผสมเป็นมาตรฐาน และมีการศึกษาเกี่ยวกับการสึกหรอของ สแตนเลสอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มีข้อมูลที่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบได้เป็นจำนวนมาก โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการสึกหรอของสแตนเลสมีค่าเท่ากับ  $6.34 \times 10^{-5} - 8.94 \times 10^{-5}$  [14] ค่าความหนาแน่น  $7700 \text{ kg/m}^3$  ( $7.7 \times 10^3$

$\text{g/mm}^3$ ) และสมการที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอได้แก่สมการการสึกหรอของ Archard [2]

$$V = K \frac{WL}{H} \quad (1)$$

หรือ

$$K = \frac{VH}{WL} \quad (2)$$

โดยที่

$K$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอ (wear coefficient)

$V$  คือ ปริมาตรที่หายไป ( $\text{mm}^3$ )

$H$  คือ ค่าความแข็ง (Vickers:  $\text{N/mm}^2$ )

$W$  คือ ค่าน้ำหนักกด (g)

$L$  คือ ระยะของการเสียดสี (mm)

จากตาราง ที่ 4 น้ำหนักที่หายไปของแท่งทดสอบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0039 กรัม ดังนั้นคิดเป็นปริมาตร ที่หายไปเท่ากับ  $0.0039 / 7.7 \times 10^3 = 0.506 \text{ mm}^3$ , ค่าความแข็งของสแตนเลสเท่ากับ  $210 \text{ N/mm}^2$  ในการทดสอบ ใช้ความเร็วรอบ 300 รอบ ต่อนาที เวลาในการทดสอบ 12.5 นาที ดังนั้นระยะทางในการทดสอบ  $= 300 \times 12.5 \times 20 \times 2 = 150,000 \text{ mm}$  แทนค่าในสมการจะได้

$$K = \frac{0.506 \times 210}{10 \times 1.5 \times 10^5} = 7.08 \times 10^{-5}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าในทางทฤษฎี ค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอที่ได้จากการทดลอง จะอยู่ในช่วงของค่าทางทฤษฎี ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเครื่องทดสอบการสึกหรอที่สร้างขึ้น มีความเที่ยงและความตรง สามารถที่จะนำไปใช้ทดสอบได้



ตารางที่ 4 น้ำหนักที่หายไปจากการทดสอบการเสียดสีกันของสแตนเลส ที่น้ำหนักกด 10N

ครั้งที่	น้ำหนักของ Pin (กรัม)			น้ำหนักของ Plate (กรัม)		
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	น้ำหนักที่หายไป	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	น้ำหนักที่หายไป
1	90.0645	90.0585	0.0060	29.4709	29.4682	0.0027
2	90.0075	90.0040	0.0035	29.2321	29.2289	0.0032
3	89.8810	89.8777	0.0033	29.5522	29.5499	0.0023
4	90.0583	90.0554	0.0029	29.0261	29.0230	0.0031
5	90.0938	90.0903	0.0035	29.5115	29.5073	0.0042
เฉลี่ย	90.0210	90.0171	0.0039	29.3585	29.3554	0.0030

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากผลทดสอบการความเที่ยงและความตรงตามทฤษฎีของเครื่องทดสอบการสึกหรอนิดเคลื่อนที่ไปกลับที่สร้างขึ้น โดยมีวัสดุที่ใช้ในการทดสอบเป็นเหล็กเพลาชาวและสแตนเลส ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ผลการทดสอบและการคำนวณค่าทางสถิติพบว่า เมื่อทำการทดสอบการสึกหรอของส่วนที่เป็นแท่งทดสอบและแผ่นทดสอบแล้วพบว่า น้ำหนักที่หายไปในแต่ละครั้งของการทดสอบ มีค่าแตกต่างกัน แต่เมื่อทำการคำนวณค่าทางสถิติเพื่อพิจารณาว่าค่าความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ พบว่า น้ำหนักที่หายไปในการทดสอบแต่ละครั้งนั้น ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผลการทดสอบที่เที่ยงตรง และเมื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานที่เป็นสแตนเลส มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอตามสมการการสึกหรอของ Archard เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอที่ใช้อ้างอิงกันทั่วไป พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอที่ได้จากการคำนวณ มีค่าเท่ากับ  $7.08 \times 10^{-5}$  อยู่ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอที่ใช้กันทั่วไป (  $6.34 \times 10^{-5} - 8.94 \times 10^{-5}$  ) ดังนั้น

สามารถสรุปได้ว่าเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นมีความเที่ยงตรง ค่าความแตกต่างของน้ำหนักที่หายไปไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และค่าสัมประสิทธิ์การสึกหรอแตกต่างจากค่าทฤษฎีไม่เกิน 10 % ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนด เครื่องที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ทดสอบการสึกหรอของวัสดุทั่วไปได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่สนับสนุนทุนวิจัย เลขที่สัญญาทุน 2561FUND20TE7-IM5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ให้ความร่วมมืออนุเคราะห์ในการเตรียมและทดสอบชิ้นงาน

#### 6. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ภาวะอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล. ศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล [อินเทอร์เน็ต]. 2562. [เข้าถึงเมื่อ 20 มิถุนายน 2562]. จาก: miu.isit.or.th

- [2] Rabinowicz E. Investing in knowledge: Friction, Wear and Lubrication [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 20 พ.ย. 2561]. จาก: [www.machine design.com/](http://www.machine design.com/)
- [3] Hatchett C. Experiments and observations on the various alloys, on the specific gravity, and on the comparative wear of gold. Phil Trans Roy Soc Lond. 1893; (93):43-194.
- [4] Rennie G. Experiment on the friction and Abrasive wear of solids. Phil Trans Roy Soc Lond. 1829;(119).
- [5] Zmitrowicz A. Wear patterns and laws of wear. Theor Appl Mech. 2006; (44):219-253.
- [6] Archard JF. Contact and rubbing of flat surface. J Appl Phys. 1953; (24):981-88.
- [7] Hirst W. Lancaster JK. The influence of oxide and lubricant films on the friction and surface damage of metals. Phil Trans Roy Soc Lond Math Phys Sci. 1960; (259): 228-41.
- [8] Eshaghi A. Ghasemi HM. Rassizadehghani J. Effect of heat treatment on microstructure and wear behavior of Al-Si alloys with various iron contents. Materials and Design. 2011; 3(32):1520 – 25.
- [9] Okonkwo PC, Kelly G, Rolfe BF. et al. The effect of temperature on sliding wear of steel tool steel pairs. Wear. 2012; (282):22-30.
- [10] Albers A, Savio D, Lorentz B. A model to investigate the influence of surface roughness on the tribological behavior of dry friction systems. GFT Fachtagung für Tribologie proceeding. 2010 Sep 29. Göttingen. 2010.
- [11] Kubiak KJ, Liskiewicz TW, Mathia TG. Surface morphology in engineering applications: Influence of roughness on sliding and wear in dry fretting. Tribol Int. 2011; (44) :1427-32.
- [12] Nakamura Y, Muto J, Nagahama H. et al. Amorphization of quartz by friction: Implication to silica-gel lubrication of fault surfaces. Geophysical Research Letter. 2012; (39):21303-15.
- [13] ASTM Committee on Standards. International Designation: G133. Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear. Annual Book of Standards (03.02). West Conshohocken: Astm Intl; 2016.
- [14] Rajan RK, Kumar H, Albert SK. et al. Sliding friction and wear characteristics of grade 410 martensitic stainless steel. Appl Mech Mater. 2014; (592-594):1346-51.