

การศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรกโดยวิธีการทดสอบทางเลือก

A Study of Friction Coefficient of Brake Pads Using Alternative Testing Method

ศุภชัย หลักคำ^{1*} และ กุลยศ สุวันทโรจน์¹
Supachai Lakkam^{1*} and Kullayot Suwantaroj¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตอย่างมากในประเทศไทย ผ้าเบรกเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ดังกล่าว แต่เนื่องจากวิธีการทดสอบและเครื่องทดสอบที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่แท้จริงนั้นมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยจึงได้คิดค้นและออกแบบสร้างเครื่องทดสอบวัสดุความเสียดทานตามรูปแบบมาตรฐาน The Special Test Jigs for Friction Measurements JIS K7125 มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมาตรฐาน Clutch Facings for Automobiles JIS D4311 โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ในสภาวะอุณหภูมิและภาระน้ำหนักที่แตกต่างกัน และใช้ตัวอย่างผ้าเบรก 3 ชนิด ที่ได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรมมาทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลทดสอบจากเครื่อง Pin on Disk ที่ถูกทดสอบโดยบริษัท ผู้ผลิตผ้าเบรก ซึ่งผลการทดสอบของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด สะท้อนให้เห็นว่าผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทั้ง 2 แบบ มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดย Pin on Disk ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงกว่าเครื่อง Friction Testing เท่ากับ 19.56% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมี

แนวโน้มที่จะแปรผันตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความดันสูง

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

Abstract

Nowadays, automotive industry in Thailand grows rapidly. Brake pads play an important role in the industry as they are the most vital security part of automobiles. Testing the products is, consequently, necessary. However, effective testing method and equipment are costly. This study was conducted to create a tool for testing material friction, basing on The Special Test Jigs for Friction Measurements JIS K7125 and Clutch Facings for Automobiles JIS D4311 standards. Coefficient of static friction (μ_s) and kinetic friction (μ_k) in different temperature and load were calculated. Three kinds of brake pads given

¹ อาจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* Corresponding Author, Tel 0-2913-2424 Ext138, E-mail: bus_supachai@hotmail.com

by automobile companies were tested. The results obtained from the constructed tool and from Pin on Disk machine operated by brake pad production companies were compared. It was found that the results of the testing from both tools were slightly different; the friction coefficient of Pin on Disk was 19.56% higher than that of the constructed tool. The friction coefficient tended to vary according to temperature change. Besides, the coefficient of the static friction (μ_s) was higher than that of the kinetic one (μ_k) and tended to be more different in higher pressure condition.

Keywords: Coefficient of Friction, Static Friction, Kinetic Friction

1. บทนำ

จากปัญหาด้านต้นทุนการทดสอบผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก จึงทำให้เกิดการคิดค้นและออกแบบเครื่องทดสอบวัสดุความเสียดทานที่มีลักษณะในการหาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นโดยตรง เพื่อเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรกโดยเน้นผ้าเบรกที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยเป็นหลัก เพื่อนำไปสู่ข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าเบรกที่เหมาะสมกับรถยนต์แต่ละประเภท

ดังนั้นเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบและให้เกิดองค์ความรู้ทางด้านวัสดุและเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการสามารถใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบที่ตอบสนองพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์ในลักษณะคล้ายกันนี้ บนสมมติฐานหลักการทำงานของวัสดุความเสียดทาน โดยเปรียบเทียบค่าความเสียดทานระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ภายใต้อุณหภูมิทำงาน ผลที่ได้รับจากโครงการสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและนำไปสู่ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์

อีกทั้งยังช่วยการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในด้านการวิจัยให้กับประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

จากผลการศึกษาวิธีการทดสอบพฤติกรรมการลื่นไถลบนผิววัสดุความเสียดทาน หลายมาตรฐานของการทดสอบถูกจัดทำขึ้น เช่น The Special Test Jigs for Friction Measurements JIS K7125 [1] ของญี่ปุ่น Clutch Facings for Automobiles JIS D4311 [2] ของญี่ปุ่น Raybestos Tests [3] ของยุโรป และ Brake Lining Quality Control Test Procedure SAE J661[4] ของอเมริกา แต่ส่วนใหญ่ของการทดสอบเหล่านี้มีขั้นตอนที่ยาวนานและลงทุนสูง ทำให้ยากต่อการวิจัยและพัฒนา ดังนั้นจึงควรปรับปรุงขั้นตอนให้เหมาะสมกับลักษณะวัสดุที่จะทำการทดสอบ อย่างไรก็ตามการทดสอบพื้นฐานที่สัมพันธ์กับการใช้งานจริงจึงเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานของผลิตภัณฑ์ เพราะช่วยให้การทดสอบง่ายขึ้นและเป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นพื้นฐานการศึกษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและพฤติกรรมการสึกหรอ

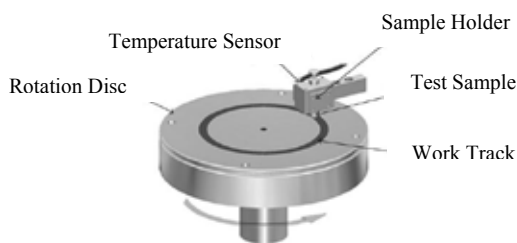
อย่างไรก็ตามการทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในกรณีที่เป็นวัสดุควบคู่อื่นๆ ได้มีความพยายามที่จะลดขั้นตอนในการทดสอบ รวมถึงการใช้การคำนวณเชิงตัวเลขเข้ามาช่วยในการทำนายค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานดังกล่าว [5]-[7] โดยในเชิงการทดสอบนั้น การทดสอบโดยใช้เครื่องแบบ Pin on Disc เป็นหนึ่งในการทดสอบที่สามารถนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และผลที่ได้รับเป็นที่เชื่อถือได้ อีกทั้งยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและการสึกหรอได้ในเวลาอันสั้น อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบนี้ยังคงมีต้นทุนที่สูง และไม่เหมาะกับการทดสอบภายในประเทศที่ยังไม่มีความสามารถที่จะผลิตเครื่องทดสอบชนิดนี้ขึ้นเองได้ เนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีค่อนข้างสูงในการควบคุมสภาวะการทดสอบให้มีเสถียรภาพ นอกจากนี้ยังพบว่ามีความพยายามนำลักษณะการทดสอบตามมาตรฐาน JIS K7125 [1] มาประยุกต์ใช้กับการทดสอบผ้าคลัตช์ [8]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิตและลักษณะการวิจัยผลิตภัณฑ์ และความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องทดสอบใหม่ตามความต้องการของงานวิจัย พบว่าขั้นตอนการทำวิจัยของบริษัทผู้ผลิตทั่วไปนิยมหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้เครื่องทดสอบแบบ Pin on Disc Test เป็นหลัก ซึ่งสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ได้เท่านั้น แต่ยังขาดการศึกษาเชิงปัจจัยพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งเครื่องทดสอบแบบ Pin on Disc Test ไม่สามารถทำการควบคุมตัวแปรทั้งหมดได้ โดยเฉพาะการสั่นสะเทือนจากการทดสอบที่มีผลกระทบต่อข้อมูลที่ได้ และอาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ บนพื้นฐานของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทั้งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ได้

คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องทดสอบแบบ Coefficient of Friction Testing ขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุความเสียดทานโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ในสภาวะอุณหภูมิ (Temperature) และภาระน้ำหนัก (Dead Load) ที่แตกต่างกัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองจากเครื่องทดสอบแบบ Pin on Disc Test ที่มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 1 โดยมีจานหมุน (Rotation Disc) หมุนรอบแกนตั้งและมีเครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) อยู่ด้านล่างเพื่อสร้างอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสระหว่างจานหมุนและชิ้นงานทดสอบ โดยมีตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ช่วยควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่สภาวะการทดสอบที่กำหนดไว้ และมีชุดจับยึดชิ้นงาน (Sample Holder) ทำหน้าที่กดชิ้นงานทดสอบตามความดันที่กำหนด ซึ่งลักษณะการทดสอบดังกล่าวสามารถสร้างสภาวะการทดสอบได้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง อย่างไรก็ตามการทดสอบแบบนี้



รูปที่ 1 ลักษณะของเครื่องทดสอบแบบ Pin on Disc [10]



รูปที่ 2 เครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (Universal Test Machine)

ยังคงมีต้นทุนที่สูง และไม่เหมาะกับการทดสอบภายในประเทศที่ยังไม่มีความสามารถที่จะผลิตเครื่องทดสอบชนิดนี้ขึ้นเองได้ เนื่องจากต้องใช้เทคโนโลยีค่อนข้างสูงในการควบคุมสภาวะการทดสอบในมิสเถียรภาพ

สำหรับเครื่องทดสอบแบบ Coefficient of Friction Testing จะมีส่วนประกอบหลักที่ประกอบไปด้วยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (Universal Test Machine) ดังรูปที่ 2 และตัวแท่นยึดในแนวนอน (Fixed Horizontal Table) ดังรูปที่ 3 แนวทางนี้ใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องทดสอบแรงเสียดทานมาตรฐาน ASTM D1894 [8] ซึ่งอุปกรณ์ทั้งคู่สามารถถอดแยกออกจากกันได้ โดยออกแบบให้แท่นยึดสามารถใช้ได้กับเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (Universal Test Machine) ทั้งของทางบริษัทและทางมหาวิทยาลัย การทำงานของ



รูปที่ 3 ตัวแท่นยึดในแนวนอน (Fixed Horizontal Table)



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแบบ Coefficient of Friction Testing

เครื่องทดสอบแบบ Coefficient of Friction Testing ถูกแสดงในรูปที่ 4 โดยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ มีหน้าที่ลากชิ้นงานที่จะทำการทดสอบซึ่งสามารถปรับค่าความเร็วในการลากชิ้นงานได้ ตัวแท่นยึดในแนวนอน จะมีหน้าที่รองรับชิ้นงานและบังคับชิ้นงานให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ โดยมีลวดเป็นตัวส่งถ่ายแรงในการลากชิ้นงาน และมีรอกเป็นตัวเปลี่ยนแปลง

ทิศทางการเคลื่อนที่จากแนวตั้งของเครื่อง ทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ มาเป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งตัวแท่นยึดในแนวนอนนั้นต้องทำจากวัสดุเหล็กหล่อชนิดเดียวกับที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนจานเบรกและมีอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) ทำหน้าที่สร้างอุณหภูมิติดตั้งที่บริเวณด้านล่างของตัวแท่นยึดในแนวนอน ส่วนตัวชิ้นงานนั้นจะถูกยึดกับลวดเพื่อทำการลากชิ้นงานและมีภาชนะน้ำหนักคดยบนชิ้นงานซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะถูกคำนวณจากน้ำหนัก และแรงที่ใช้ลากชิ้นงาน โดยสภาวะและขั้นตอนการทดสอบจะอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM G-99 [9] มาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ

ตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาวิจัยนี้ก็คือปัจจัยที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) เปลี่ยนแปลงในสภาวะต่างๆ

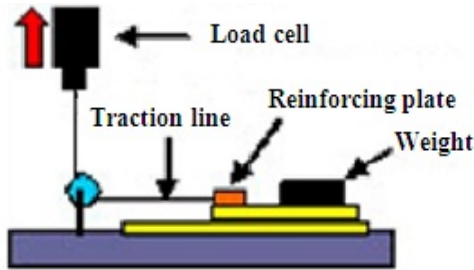
2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การเตรียมการ

1. ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน (Preparation of Specimen) ชิ้นงานทดสอบจะถูกตัดให้มีขนาด 1"x1" หรือขึ้นอยู่กับความดันที่ต้องการจะทำการทดสอบ โดยบริเวณผิวชิ้นงานด้านล่างจะต้องทำการบำบัดผิวให้เรียบที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2. ขั้นตอนการสร้างแท่นยึด (Formation of Fixed Horizontal Table Surface) ศึกษาและออกแบบแท่นยึดให้มีขนาดเหมาะสมกับชิ้นงานและเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ โดยกำหนดให้บริเวณผิวหน้าของแท่นยึดทำจากวัสดุชนิดเดียวกับจานเบรกและติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อนเพื่อสร้างอุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัส ซึ่งระดับอุณหภูมิสามารถปรับระดับได้และอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริง

3. ขั้นตอนการเตรียมผิวของแท่นยึด (Preparation of Fixed Horizontal Table Surface) ระบายของแท่นทดสอบจะถูกทำความสะอาดและอยู่ในสภาพที่แห้งปราศจากฝุ่นผงตลอดทุกครั้งก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบ



รูปที่ 5 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานทดสอบ [1]

4. ขั้นตอนการประกอบชิ้นงานทดสอบ (Assembly of Friction Coefficient Jig) ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานแล้วจะถูกประกอบเข้ากับตัวจับยึดชิ้นงาน (Jig) และแทนยึดในแนวนอนเพื่อทดสอบ ซึ่งอ้างอิงจาก ASTM D1894 [11], ISO 8295 [12] และ JIS K7125 [1] ดังแสดงในรูปที่ 5

2.2.2 รายการและสภาวะการทดสอบ

1. รายการทดสอบคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ที่มีความสัมพันธ์ต่อพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลง เช่น อุณหภูมิ ความเร็ว และแรงดันทำงานในระดับต่างๆ ซึ่งถูกอ้างอิงจาก JIS 4311 [2] และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) สามารถหาได้จากสมการที่ 1 และ 2

$$\mu_s = \frac{\overrightarrow{F_s}}{\overrightarrow{N}} \quad (1)$$

$$\mu_k = \frac{\overrightarrow{F_k}}{\overrightarrow{N}} \quad (2)$$

โดย

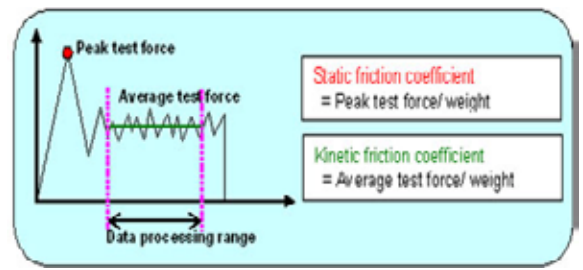
μ_s คือสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานสถิต

μ_k คือสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานจลน์

$\overrightarrow{N}$ คือแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส

$\overrightarrow{F_s}$ คือแรงสูงสุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง

$\overrightarrow{F_k}$ คือแรงเฉลี่ยเมื่อวัตถุผ่านจุดแรงเสียดทานสถิตเป็นระยะทาง 70 มิลลิเมตร



รูปที่ 6 ตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) [1]

2. สภาวะการทดสอบจะทดสอบภายใต้ปัจจัยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะการทดสอบ

การทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลจากเครื่องทดสอบ			
การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	แรงดัน (MPa)	ความเร็ว (m/s)
Pin on Disk*	100-350	1	7**
Friction testing	100-350	1.03	0.0083**
การทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลจากเครื่องทดสอบ			
การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	แรงดัน (MPa)	ความเร็ว (m/s)
Friction Testing	200***	0.215	0.0083
		0.316	
		0.519	

หมายเหตุ * เป็นผลการทดลองที่ได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรม

** ข้อจำกัดด้านสภาวะการทดสอบของเครื่องทดสอบที่ไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนให้ใกล้เคียงได้

*** อุณหภูมิการใช้งานเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในสภาวะการใช้งานจริง

3. ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยนั้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ระหว่างเครื่อง Pin on Disk ซึ่งถูกทดลองโดยภาคอุตสาหกรรมและเครื่อง Friction Testing ซึ่งถูกทดลองโดยคณะวิจัยได้

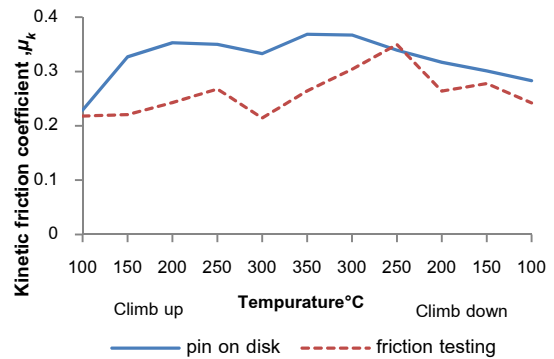
ถูกนำมาเปรียบเทียบโดยผลการทดลองระหว่างเครื่อง Pin on Disk (กราฟเส้นเต็มสีฟ้า) ซึ่งถูกทดลองโดยภาคอุตสาหกรรมและเครื่อง Friction Testing (กราฟเส้นประสีแดง) ซึ่งถูกทดลองโดยคณะผู้จัดทำโครงการ ดังรูปที่ 7 ถึง 11 นอกจากนี้ กราฟเส้นดังกล่าวยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 100°C ถึง 350°C ที่มีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยมีค่าระดับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เป็นตัวชี้วัด

3.1 ผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A

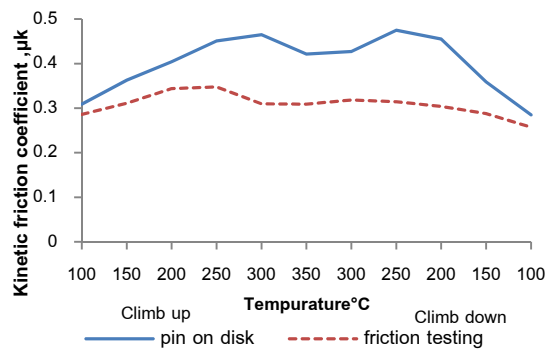
การเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A ถูกแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าผลจากเครื่อง Pin on Disk มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงกว่าผลจากเครื่อง Friction Testing โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on Disk คือ 0.229 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดของเครื่อง Friction Testing มีค่าเท่ากับ 0.214 ที่อุณหภูมิ 300°C ในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Pin on Disk มีค่า 0.368 ที่อุณหภูมิ 350°C ในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Friction Testing มีค่าเท่ากับ 0.349 ที่อุณหภูมิ 250°C ในการทดลองช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) หลังจากนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ดังกล่าวจะแปรผันตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ ข้อมูลจากการทดลองดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on Disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction Testing เท่ากับ 18.9%

3.2 ผลการทดลองผ้าเบรกชนิด B

รูปที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด B จะเห็นว่าผลจากเครื่อง Pin on Disk ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงกว่าผลจากเครื่อง

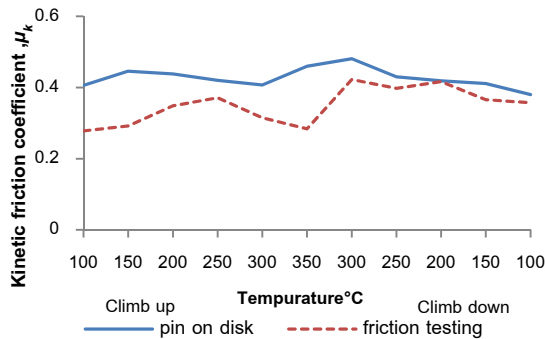


รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด B

Friction Testing เช่นเดียวกับกับชนิด A แต่ก็ยังมีความสอดคล้องตามเครื่อง Pin on Disk อยู่ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on Disk คือ 0.285 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลองช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) ส่วนค่าต่ำสุดของเครื่อง Friction Testing คือ 0.257 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลองช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) เช่นเดียวกัน ค่าสูงสุดของการทดลองชนิดนี้ของเครื่อง Pin on Disk อยู่ที่ 0.475 ที่อุณหภูมิ 250°C ในการทดลองช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) และค่าจากเครื่อง Friction Testing คือ 0.347 ที่อุณหภูมิ 250°C ในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) และจากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on Disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction Testing เท่ากับ 21.96%

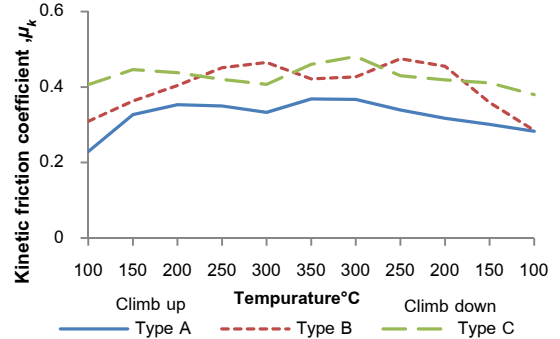


รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด C

3.3 ผลการทดลองผ้าเบรกชนิด C

การเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นยังเป็นไปตามลักษณะของชนิด A และชนิด B คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของเครื่อง Pin on Disk จะยังมีค่าสูงกว่าผลของชนิด A และชนิด B คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของเครื่อง Pin on Disk จะยังมีค่าสูงกว่าผลจากเครื่อง Friction Testing โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on Disk คือ 0.380 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลองช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) ส่วนค่าต่ำสุดของเครื่อง Friction Testing คือ 0.278 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Pin on Disk และเครื่อง Friction Testing เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกันคือที่อุณหภูมิ 300°C โดยค่าของเครื่อง Pin on Disk เท่ากับ 0.481 ส่วนค่าของเครื่อง Friction Testing เท่ากับ 0.422 และจากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on Disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction Testing เท่ากับ 17.82%

จากผลการทดลองสามารถสังเกตเห็นได้ว่าในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) และช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) ณ จุดที่อุณหภูมิที่เท่ากัน จะ



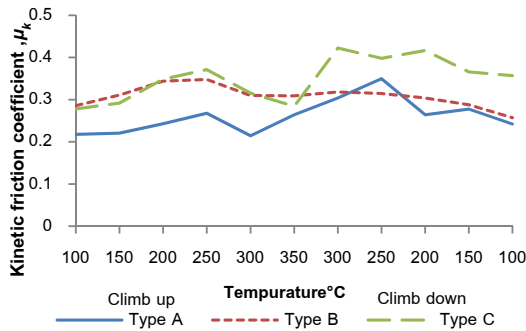
รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 ชนิดของเครื่อง Pin on Disk พฤติกรรมโดยปกติ

มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่แตกต่างกัน อันเป็นผลมาจากการค่อยๆ เลื่อน หรือเสื่อมตัวของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก (Fade in / Fade out) ซึ่งเป็นของผ้าเบรกที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากได้รับปริมาณความร้อน

นอกจากนี้ ผลการทดลองที่เกิดขึ้นยังพบว่าผลจากเครื่อง Friction Testing มีค่าความแตกต่างจากผล รูปของเครื่อง Pin on Disk ตามสภาวะต่างๆ แตกต่างกันไป ซึ่งอาจมีผลมาจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากความเร็วที่ใช้ในการทดลองของทั้ง 2 แบบนั้นต่างกันอยู่มาก นอกจากนี้การควบคุมตัวแปรขณะทำการทดลองทำได้ค่อนข้างยาก เช่นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นแต่ละจุดบนแผ่นระนาบทดสอบมีค่าแตกต่างกันในช่วงการทดลอง

3.4 แนวโน้มผลการทดลองจากเครื่อง Pin on Disk

จากรูปที่ 10 เมื่อนำพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด มาเปรียบเทียบกันแล้ว โดยรวมจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด A จะมีค่าต่ำที่สุด และผ้าเบรกชนิด B และ C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงอุณหภูมิของการทดลองพบว่า



รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 ชนิดของเครื่อง Friction Testing

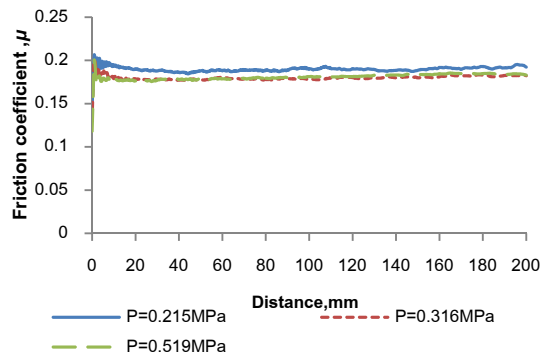
ผ้าเบรกชนิด B และชนิด C จะมีค่ามากกว่าชนิด A ซึ่งมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ทั้งในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) และช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด B มากกว่าชนิด C เท่ากับ 36.36% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด C มากกว่าชนิด B เท่ากับ 63.64%

3.5 แนวโน้มผลการทดลองจากเครื่อง Friction Testing

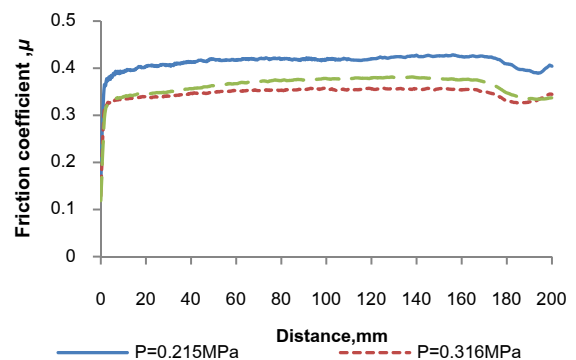
จากรูปที่ 11 เป็นการนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด ที่ทำการทดลองจากเครื่อง Friction Testing มาทำการเปรียบเทียบผลเช่นเดียวกันกับรูปที่ 10 จะเห็นว่าผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยรวมพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด A จะมีค่าต่ำที่สุดแต่จะมีความแปรปรวนเกิดขึ้นที่จุดอุณหภูมิ 250°C ในการทดลองช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) ผ้าเบรกชนิด A มีค่ามากกว่าผ้าเบรกชนิด B อันอาจเกิดจากปัจจัยดังกล่าวไว้ข้างต้น ส่วนผ้าเบรกชนิด B และ C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงอุณหภูมิของการทดลองพบว่าผ้าเบรกชนิด B และ ชนิด C จะมีค่ามากกว่าชนิด A ซึ่งมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ทั้งในการทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (Climb up) และช่วงลดอุณหภูมิ (Climb down) โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด B มากกว่าชนิด C เท่ากับ 27.27% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด C มากกว่าชนิด B เท่ากับ 72.73%

3.6 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

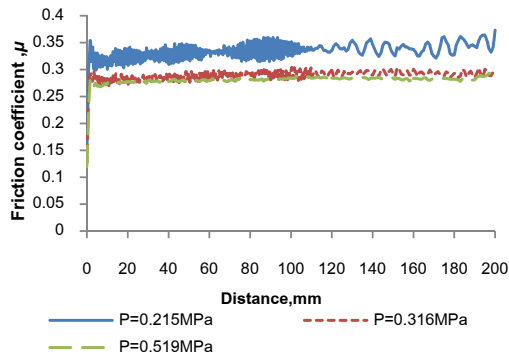
จากรูปที่ 12, 13 และ 14 เป็นกราฟแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ของผ้าเบรกชนิด A, B และ C ตามลำดับโดยการทดลองดังกล่าวจะทำการปรับเปลี่ยนความดันส่วนผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิ นั้น จากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะแปรเปลี่ยนไปตามความมุ่งหมายของการออกแบบส่วนผสมของผ้าเบรกให้สามารถใช้งานได้ในย่านอุณหภูมิใดๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงขอสงวนสิทธิ์การนำเสนอผลกระทบจากปัจจัยดังกล่าว เนื่องจากเป็นความลับทางการค้าของบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 12 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A ที่ความดันต่างๆ จากเครื่อง Friction Testing



รูปที่ 13 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด B ที่ความดันต่างๆ จากเครื่อง Friction Testing



รูปที่ 14 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด C ที่ความดันต่าง ๆ จากเครื่อง Friction Testing

ผลจากการทดลอง พบว่าโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สภาวะความดันสูงจะส่งผลให้มองเห็นความแตกต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ได้ดียิ่งขึ้น ดังข้อมูลในตารางที่ 2 และสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A และ C ดังแสดงในรูปที่ 12 และ 14 ซึ่งแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด B ดังแสดงในรูปที่ 13 ที่มีค่าความยืดหยุ่นต่ำกว่าชนิดอื่น อันเป็นผลมาจากการออกแบบของบริษัผู้ผลิต นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์โดยเฉลี่ยจะลดลงเมื่อใช้ความดันสูงขึ้นในขณะทำการทดลอง อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีความอ่อนไหวจะขึ้นขึ้นอยู่กัสูตรของผ้าเบรกแต่ละชนิดด้วย

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบที่สภาวะความดันต่าง ๆ

Pressure (MPa)	Type A		Type B		Type C	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
0.215	0.206	0.189	NA	0.408	0.353	0.326
0.316	0.200	0.178	NA	0.343	0.292	0.284
0.519	0.200	0.177	NA	0.355	0.282	0.277

4. อภิปรายผลและสรุป

การศึกษาแนวทางการทดสอบสัมประสิทธิ์ความ

เสียดทานสำหรับผ้าเบรกแบบใหม่นี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยอาศัยแนวทางการสร้างตามรูปแบบมาตรฐาน JIS K7125 [1] และอาศัยสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D4311 [2] ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าคลัตช์มาประยุกต์ใช้กับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์อีกด้วย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่ต้องการสร้างทางเลือกใหม่สำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนั้นพบว่า ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบมีความแตกต่างระหว่างเครื่องทดสอบทั้ง 2 แบบ อยู่ในช่วง 17-22% ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยด้านความเร็วที่ใช้ในการทดสอบแตกต่างกันมาก และเป็นข้อจำกัดของเครื่องทดสอบทั้งสอง นอกจากนี้ยังมีความรู้ที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และความดันที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์อย่างยิ่งซึ่งสามารถกล่าวโดยรวมได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีแนวโน้มจะแปรผันตาม นอกจากนี้ความดันก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งพบว่าโดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้น และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์โดยเฉลี่ยลดลง อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นจากทั้งอุณหภูมิและความดัน ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์นั้นยังขึ้นอยู่กัสูตรของผ้าเบรกแต่ละชนิดที่มีส่วนการผสมของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันและหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยมีความยินดีที่จะกล่าวขอบคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งผ้าเบรกที่ใช้เป็นวัสดุในการทดสอบรวมทั้งข้อมูลจำเพาะของผ้าเบรกที่ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท คอมแพ็ค อินเตอร์เนชั่นแนล (1994) จำกัด สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] The special test jigs for friction measurements, JIS K7125, 1995.
- [2] Clutch facings for automobiles, JIS D4311, 1995.
- [3] RIPTest programs, catalog number RQR-11, 1996.
- [4] Brake Lining Quality Control Test Procedure, SAE, 1987.
- [5] J.P. Davim. (2003, Apr.) An experimental study of tribological behaviour of the brass/steel pair. *Journal of Materials Processing Technology* [Online]. 100(1-3), pp. 273–277. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013699004914>
- [6] J.P. Davim and R. Cardoso. (2005) Thermo-mechanical model to predict the tribological behaviour of the composite PEEK-CF30/steel pair in dry sliding using multiple regression analysis. *Industrial Lubrication and Tribology* [Online]. 57(5), pp.181 – 186. Available: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1513218>
- [7] J.P. Davim and R. Cardoso. (2006, Dec.) Tribological behaviour of the composite PEEK-CF30 at dry sliding against steel using statistical techniques. *Materials & Design* [Online]. 27(4), pp. 338-342. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306904002936>
- [8] A. Chaikittiratana, S. Koetnuyom, and S. Lakkam. (2012). Static/kinetic Friction behaviour of a Clutch Facing Material : Effects of Temperature and Pressure. *world Academy of Science, Engineering and Technology*. [Online]. 66 2012 pp. 1-9 Available: <http://www.waset.org/journals/waset/v66.php>
- [9] Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM G99-05, 2010.
- [10] N. B. Dhokey and K. K. Rane.(2011, Aug.). Wear Behavior and Its Correlation with Mechanical Properties of TiB₂ Reinforced Aluminium-Based Composites. *Hindawi Publishing Corporation. Advances in Tribology* [Online]. 2011 (2011), pp. 1-8. Available: <http://www.hindawi.com/journals/at/2011/837469>
- [11] Standard test method for static and kinetic coefficient of friction of plastic film and sheeting, ASTM D1894-11e1, 2003.
- [12] ISO 8295: Plastic film and sheeting determination of the coefficient of friction, 1995.