



เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน

ศุภชัย หลักคำ
กุลยศ สุวันทโรจน์
ชวณี สุภีรัตน์
ปิยธิดา รุจะศิริ



งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : เครื่องทดสอบพฤติกรรมการวัดความเสียดทาน
 ผู้วิจัย : นายศุภชัย หลักคำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
 นายกุลยศ สุวันทโรจน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
 นางสาวชานี สุภีรัตน์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร
 นางสาวปิยธิดา รุจะศิริ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร
 พ.ศ. : 2554

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตอย่างมากในประเทศไทย ผ้าเบรกเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบผลิตภัณฑ์ดังกล่าว แต่เนื่องจากวิธีการทดสอบและเครื่องทดสอบที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่แท้จริงนั้นมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยจึงได้คิดค้นและออกแบบสร้างเครื่องทดสอบวัดความเสียดทานตามรูปแบบมาตรฐาน The special test jigs for friction measurements JIS K7125[5] มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมาตรฐาน Clutch facings for automobiles JIS D4311[6] โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์(μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์(μ_k) ในสภาวะอุณหภูมิและภาระน้ำหนักที่แตกต่างกัน และใช้ตัวอย่างผ้าเบรก 3 ชนิด ที่ได้รับการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรมมาทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลทดสอบจากเครื่อง Pin on disk ที่ถูกทดสอบโดยบริษัท ซึ่งผลการทดสอบของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด สะท้อนให้เห็นว่าผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทั้ง 2 แบบ มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดยเครื่อง Pin on disk ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงกว่าเครื่อง Friction testing เท่ากับ 19.56% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มที่แปรผันตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และจะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความดันสูง



Title : Coefficient of Friction Testing

Researcher : Mr. Supachai Lakkam, Faculty of Engineering, RMUTP

Mr. Kullayot Suwantaroj, Faculty of Engineering, RMUTP

Ms. Chawanee Suphirat, Faculty of Science and Technology, RMUTP

Ms. Piyatida Rujasiri, Faculty of Science and Technology, RMUTP

Year : 2011

ABSTRACT

Nowadays, the Thailand automotive industry widely grows. Brake pad is one of the automotive productions that role to automotive industry because it is the most critical security parts. Consequently, testing products for quality are extremely requested. However, the equipment and function tests are not enough and are also high cost so it cannot supports to the automotive industry development. In this work, the initiation and design of frictional test were carried out. The testing procedure is referred to The special test jigs for friction measurements JIS K7125[5] and Clutch facings for automobiles JIS D4311[6]. A study of the frictional test emphasize on the static friction(μ_s) and kinetic friction(μ_k) in different condition. There are 3 specimens of brake pad supported by the industry company. These specimens were test and compared between the pin on disk's result and the friction testing's result. The two-sided results from the analysis correspond but the pin on disk's friction coefficient is more than the friction testing's friction coefficient by 19.56%. Moreover, the coefficient of friction tends to follow the temperature. Besides, the static friction(μ_s) is likely more than kinetic friction(μ_k) and will be high difference in high pressure condition.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2554 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งผ้าเบรกที่ใช้เป็นวัสดุในการทดสอบ รวมทั้งข้อมูลจำเพาะของผ้าเบรกที่ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชั่นแนล(1994) จำกัด สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณผู้ที่ให้ความร่วมมือและให้ความอนุเคราะห์ทุกท่าน ที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมติฐานและกรอบแนวคิดของการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1 แนวทางการออกแบบ	9
3.2 การเตรียมการทดลอง	14
3.3 วิธีการทดลอง	15
บทที่ 4 ผลการทดลอง	19
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อการสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์	19
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่มีผลกระทบต่อการสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์	23
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	26
5.1 สรุปผลการทดลอง	26
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการวิจัย	26

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก ก	29
ภาคผนวก ข	35
ประวัติผู้วิจัย	38



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายการทดสอบ	15
4.1 สภาวะและรายละเอียดการทดลอง	19
4.2 ผลการทดลองเนื่องจากความดันของผ้าเบรกแต่ละชนิด	25
ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กฉากตามมาตรฐาน JIS SS-400	34
ข.1 หมายเลขส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง	36



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุ	6
2.2 แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส	7
2.3 ลักษณะของผิวสัมผัส	7
2.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบ	7
2.5 กราฟที่ได้จากเครื่องทดสอบ	8
3.1 แบบมาตรฐาน JIS K7125	9
3.2 เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก	9
3.3 แผ่นระนาบทดสอบ	10
3.4 ชุดให้ความร้อน	10
3.5 โครงสร้างเครื่องทดสอบ	11
3.6 ชุดจับยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องตั้ง	11
3.7 ชุดควบคุมอุปกรณ์ทำความร้อน	12
3.8 ตั้มน้ำหนักมาตรฐาน	12
3.9 ชุดแผ่นยึดขึ้นทดสอบ	13
3.10 ฝาครอบกันร้อน	13
3.11 การติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องตั้ง	14
3.12 การปรับระดับขาเครื่องทดสอบ	14
3.13 ชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบขนาด 1"x1"	14
3.14 โปรแกรมการตั้งจากคอมพิวเตอร์	15
3.15 การติดตั้งชิ้นงานทดสอบ	16
3.16 การติดตั้งลวดติดกับชุดโพลิตเซลล์	16
3.17 การวางก้อนน้ำหนักขนาด 30 กิโลกรัม	16
3.18 การวัดอุณหภูมิบนแผ่นระนาบตามจุดต่างๆ	17
3.19 การบันทึกผลการทดลองในคอมพิวเตอร์	17
3.20 การเพิ่มก้อนน้ำหนัก 60kg และ 100kg	17
4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A	19
4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด B	20
4.3 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด C	21
4.4 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 ชนิดของเครื่อง Pin on disk	22
4.5 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 ชนิดของเครื่อง Friction testing	22
4.6 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A ที่ความดันต่างๆ เครื่อง Friction testing	23
4.7 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด B ที่ความดันต่างๆ เครื่อง Friction testing	24
4.8 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด C ที่ความดันต่างๆ เครื่อง Friction testing	24

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1 SFD และ BMD ของแรงแบบจุดกระทำไม่อยู่ตรงกลาง	30
ก.2 SFD และ BMD ของแรงแบบจุดกระทำอยู่ตรงกลาง	32
ก.3 ลักษณะเหล็กฉาก	33
ข.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง	36



บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตของการศึกษาประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย วัสดุความเสียดทานเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ จึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าในด้านการตรวจสอบผลกระทบต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการผลิตออกมา โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยอีกทั้งขั้นตอนกระบวนการทดสอบเฉพาะด้านยังไม่ชัดเจน ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดโครงการวิจัยเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาและปรับปรุงวัสดุความเสียดทาน

จากปัญหาข้างต้นจึงทำให้เกิดการคิดค้นและออกแบบเครื่องทดสอบวัสดุความเสียดทานที่มีลักษณะในการหาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นโดยตรง โดยโครงการวิจัยนี้จะศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผลิตภัณฑ์โดยเน้นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยเป็นหลัก เพื่อนำไปสู่ข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับรถยนต์แต่ละประเภท โดยการวิจัยจะคำนึงถึงปัจจัยพื้นฐานในการใช้งานของวัสดุเสียดทาน รวมไปถึงแนวทางการแก้ไขและพัฒนาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เหมาะสม เช่น การศึกษาความแตกต่างระหว่างวัสดุที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ ทั้งทางด้านสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอุณหภูมิของการทดสอบ

เพื่อเป็นองค์ความรู้ทางด้านวัสดุและเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการสามารถใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบที่ตอบสนองพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์ในลักษณะคล้ายกันนี้ บนสมมติฐานหลักการทำงานของวัสดุความเสียดทาน โดยเปรียบเทียบค่าความเสียดทานระหว่าง Friction Static และ Friction Dynamic ภายใต้อุณหภูมิทำงาน ผลที่ได้รับจากโครงการสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและนำไปสู่ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในด้านการวิจัยให้กับประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและสร้างแนวทางทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผ้าเบรกจากชุดทดสอบ Coefficient of Friction Testing
- 1.2.2 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เช่น อุณหภูมิ และ ความเร็วของการลื่นไถล
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากผ้าเบรกที่ต่างวัสดุ

1.3 สมมติฐานและกรอบแนวคิดของการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิตและลักษณะการวิจัยผลิตภัณฑ์ และความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องทดสอบใหม่ตามความต้องการของงานวิจัย พบว่าขั้นตอนการทำวิจัยของบริษัทผู้ผลิตทั่วไปนิยมหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานโดยใช้เครื่องทดสอบแบบ Pin-on-disc Test เป็นหลัก ซึ่งสามารถหาค่า Friction Static และ Friction Dynamic ได้ในระดับหนึ่งแต่ยังมีค่าคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับสภาวะการใช้งานจริง แต่ยังคงขาดการศึกษาเชิงปัจจัยพื้นฐานที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ซึ่งเครื่องทดสอบแบบ Pin-on-disc Test ไม่สามารถทำการควบคุมตัวแปรทั้งหมดได้ โดยเฉพาะการสั่นสะเทือนจากการทดสอบที่มีผลกระทบต่อข้อมูลที่ได้และอาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนได้ บนพื้นฐานของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทั้ง Friction Static และ Friction Dynamic ได้

คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องทดสอบแบบ Coefficient of Friction Testing ขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุความเสียดทานโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่า Friction Static และ Friction Dynamic ในสภาวะอุณหภูมิ (Temperature) และภาระน้ำหนัก (Dead Load) ที่แตกต่างกัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองจากเครื่องทดสอบแบบ Pin-on-disc Test โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องทดสอบแบบ Coefficient of Friction Testing จะประกอบไปด้วยเครื่องทดสอบ (Universal Test Machine) และแท่นยึด (Fixed Horizontal Table) แนวทางนี้ใช้หลักการเดียวกันกับเครื่องทดสอบแรงเสียดทานมาตรฐานดัง ASTM D1894[1] ซึ่งอุปกรณ์ทั้งคู่สามารถถอดแยกออกจากกันได้โดยออกแบบให้แท่นยึดสามารถใช้ได้กับเครื่องทดสอบ (Universal Test Machine) ทั้งของทางบริษัทและทางมหาวิทยาลัยการทำงาน of เครื่องทดสอบแบบ Coefficient of Friction Testing ถูกแสดงในรูปที่ 3 โดยเครื่องทดสอบ (Universal Test Machine) มีหน้าที่ลากชิ้นงานที่จะทำการทดสอบซึ่งสามารถปรับค่าความเร็วในการลากชิ้นงานได้ ส่วนตัวแท่นยึด (Fixed Horizontal Table) จะมีหน้าที่รองรับชิ้นงานและบังคับชิ้นงานให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ โดยมีลวดเป็นตัวส่งถ่ายแรงในการลากชิ้นงาน และมีรอกเป็นตัวเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่จากแนวตั้งของเครื่อง Universal Test Machine มาเป็นการเคลื่อนที่ในแนวระนาบของชิ้นงานทดสอบ ซึ่งตัวแท่นยึด (Fixed Horizontal Table) นั้นต้องทำจากวัสดุเหล็กหล่อชนิดเดียวกับที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนจานเบรกและมีอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) ทำหน้าที่สร้างอุณหภูมิติดตั้งที่บริเวณด้านล่างของแท่นยึด (Fixed Horizontal Table) ส่วนตัวชิ้นงานนั้นจะถูกยึดกับลวดเพื่อทำ

การลากชิ้นงานและมีภาระน้ำหนัก (Dead Load) กดอยู่บนชิ้นงาน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจะถูกคำนวณจากน้ำหนัก (Dead Load) และแรงที่ใช้ลากชิ้นงาน โดยสภาวะและขั้นตอนการทดสอบจะอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM G 99[2] มาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 สร้างชุดทดสอบพฤติกรรมสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่สร้างอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 300 องศาเซลเซียส
- 1.4.2 การประกอบชิ้นงานทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน JIS K7125[3]
- 1.4.3 ขั้นตอนการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน JIS 4311[4]
- 1.4.4 สํารวจปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
- 1.4.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับแบบ Pin-on-disc Test

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ส่งเสริมให้เกิดการคิดค้นและการนำผลที่ได้จากการทำงานวิจัยไปใช้งานในอุตสาหกรรมได้จริง
- 1.5.2 สร้างทางเลือกในกระบวนการทดสอบและเปรียบเทียบ
- 1.5.3 ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศในส่วนของการวิจัยและพัฒนา
- 1.5.4 เพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลดีต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก[5]

ระบบห้ามล้อส่วนใหญ่ในยานพาหนะถูกออกแบบให้อาศัยแรงเสียดทานโดยเปลี่ยนพลังงานกลในทิศทางการหมุนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งใช้ผ้าเบรกเป็นอุปกรณ์ในการชะลอหรือหยุดเพลาล้อเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หน้าที่ของผ้าเบรกคือสร้างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก เพื่อให้เกิดแรงเบรกที่ใช้ในการชะลอหรือหยุดเพลลา ดังนั้นผ้าเบรกจึงต้องสามารถตอบสนองการใช้งานได้ถูกต้องโดยปราศจากการสั่นไถลที่มากเกินไป ความต้องการระหว่างการทำหน้าที่ชะลอหรือหยุดเพลานั้น การสั่นไถลแบบชั่วขณะเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกตลอดกระบวนการทำงานนี้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสประมาณ 80 ถึง 300 องศาเซลเซียส(ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบห้ามล้อ ดังนั้นสมรรถนะของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผ้าเบรคนั้นจะต้องรักษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และมีค่ามากพอต่อความต้องการในสภาวะการทำงานอย่างสม่ำเสมอด้วย การลดลงอย่างรวดเร็วของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ปรารถนา การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างช่วงการทำงานหรือจากการสึกหรอของวัสดุจะต้องมีข้อจำกัด

นอกเหนือจากอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลแล้ว ยังมีความสัมพันธ์จากวัสดุที่นำมาใช้ ความสัมพันธ์ทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แต่กลไกเหล่านี้ซับซ้อนและไม่สามารถกำหนดได้ ในเชิงปฏิบัติผลกระทบเหล่านี้จะพบได้ทั่วไปส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่คงที่ การที่จะทำให้รถหยุดนั้นต้องมีความเผื่อที่สัมผัสจากผ้าเบรกกับจานเบรกผลก็ทำให้เกิดการสึกหรอที่ผ้าเบรกและความร้อนที่เกิดขึ้นดังนั้นสิ่งที่ถูกนำมาทำเป็นผ้าเบรกต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อน การสึกหรอ และป้องกันความชื้น รวมทั้งต้องมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากเพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการของพฤติกรรมการขับขี่ ซึ่งในปัจจุบันผ้าเบรกถูกผลิตจากสารเอสเบทตอสผสมกับฟิลเลอร์ และผงเรซิน โดยคลุกเคล้าให้เข้ากันและผ่านกระบวนการความร้อนและความดันเพื่อหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ส่วนการยึดผ้าเบรกกับฝักเบรกมีทั้งวิธียึดด้วยกาวและยึดด้วยรีเว็ตซึ่งวิธีที่นิยมอย่างมากคือการยึดด้วยกาวเพราะกาวสามารถยึดผ้าเบรกได้บางกว่ารีเว็ตมากวิธีการผลิตก็คือ แต่ละบริษัทที่ได้เตรียมสูตรของตนเองไว้ก็นำสารเคมีต่างๆมาผสมกันขณะเดียวกันก็เตรียมแผ่นเหล็กที่จะนำมาเป็นเหล็กที่เตรียมไว้ไปพันกาวแล้วอบให้แห้งเพื่อรอกระบวนการขึ้นรูปมีสองวิธีอีกเหมือนกันคือการขึ้นรูปเย็น(Press Forming) โดยการเทผงผ้าเบรกลงบนแม่พิมพ์แล้ววางเหล็กรองไว้ด้านบนแล้วอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์แรงกดประมาณ 160 ตัน แล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบส่วนใหญ่ผ้าเบรกประเภทนี้จะถูกผลิตเข้าสู่ตลาดหลังการขาย(After market)หรือร้านอะไหล่ทั่วไป อีกวิธีประเภทขึ้นรูปร้อนจะคล้ายๆกันใช้ความร้อนในการเทผงผ้าเบรกและมีการไล่ความชื้นเข้าไปด้วยเมื่อเสร็จแล้วผ้าเบรก

ประเภทนี้จะเป็นผ้าเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงานแล้วในแต่ละยี่ห้อจะมีสูตรของตัวเองที่โฆษณาว่าจะใช้กับรถประเภทต่างๆ เช่น รถมาตรฐานจากโรงงานม รถยนต์วิบาก และรถแข่งทางเรียบ ซึ่งแต่ละชนิดก็就会有การทนความร้อนสูงต่างกันไป ชนิดของผ้าเบรกรถยนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งาน โรงงานผลิตผ้าเบรกรถยนต์ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเกรด เกรดผ้าเบรกแต่ละโรงงานมีมาตรฐานที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายและทิศทางการทำธุรกิจของโรงงานนั้นผู้ผลิตผ้าเบรกยนต์มี 2 ประเภท คือ ผู้ผลิตสำหรับค้าปลีกโดยเฉพาะและผู้ผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ OEM ผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับค้าปลีกมีการผลิตผ้าเบรกออกมาหลากหลายเกรด หลายคุณภาพ และหลากหลายราคาออกสู่ตลาดบางผู้ผลิตอาจผลิตสินค้าโดยบรรจุในหลากหลายยี่ห้อเพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้จำหน่ายและผู้ใช้รถมากที่สุด ผู้ผลิตกลุ่มนี้จะเน้นราคาเป็นหลักในการทำตลาดกลุ่มเป้าหมายจะเป็นลูกค้าปลีกทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายจะอยู่ตั้งแต่กลุ่มตลาดล่างจนถึงกลุ่มตลาดขนาดกลางผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์, OEM ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นสินค้าเกรด, OEM ผู้ผลิตมุ่งเน้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานอะไหล่สำหรับรถยนต์ใหม่กลุ่มเป้าหมายจะเป็นโรงงานผลิตรถยนต์รวมทั้งศูนย์บริการรถยนต์ชั้นนำ, OES ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายในตลาดค้าปลีกจะอยู่ในกลุ่มตลาดรถที่มีมาตรฐานสูงเท่านั้นหากเราจำแนกชนิดของผ้าเบรกตามเกรดผู้ผลิตสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ชนิดผ้าเบรกแบ่งตามลักษณะการใช้งานต่างๆ

2.1.1 ประเภทผ้าเบรก : OEM Pad ผ้าเบรกเกรดโรงงานผลิตรถยนต์

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานเพื่อโรงงานผลิต รถยนต์ คุณสมบัติของวัตถุดิบแต่ละชนิดต้องตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์ ในเรื่องเขม่า ประสิทธิภาพการเบรกและการทำงานร่วมกับจานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะต่ำเหมาะสำหรับรถยนต์ใหม่และการขับขี่ทั่วไป จนถึงการใช้งานหนักไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาด

2.1.2 ประเภทผ้าเบรก : OES Pad ผ้าเบรกเกรดของแท้ห้าง (Genuine)

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานเพื่อเป็นอะไหล่ใช้ทดแทนคุณสมบัติของอะไหล่จะแตกต่างกันแต่ผู้ผลิตรถยนต์จะกำหนดขึ้นอยู่กับต้นทุนและการแข่งขัน ผู้ประกอบรถจะขายในรูปอะไหล่แท้เกรดหนึ่งยี่ห้อเดียวกับรถยนต์ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอาจผลิตอะไหล่เกรดรองออกจำหน่ายเพื่อรักษาราคาของลูกค้าที่มีกำลังซื้อต่ำและเพื่อการแข่งขันในเรื่องราคาในตลาดอะไหล่เหมาะสำหรับ ผู้ใช้รถทั่วไปที่ต้องการอะไหล่คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่หาซื้อได้ตามศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปหรือร้านค้าอะไหล่

2.1.3 ประเภทผ้าเบรก : Racing Pad ผ้าเบรกสำหรับรถแข่ง

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดเพื่อการแข่งขันวัตถุดิบในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อประสิทธิภาพการหยุดรถโดยเฉพาะรองรับการขับขี่ด้วยอัตราความเร็วสูงและการถ่ายเทความร้อนในระบบเบรกเหมาะสำหรับการขับขี่เพื่อการแข่งขันและใช้ความเร็วสูงในการขับขี่เป็นประจำผ้าเบรกชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับขี่ทั่วไปหรือการใช้งานหนักและบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้มีอัตราการทำลายจานเบรกค่อนข้างสูงเพราะส่วนผสมมีโลหะในอัตราที่สูง

2.1.4 ประเภทผ้าเบรก : Standard Pad ผ้าเบรกทั่วไป

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานสำหรับการขับขี่ทั่วไปหรือใช้งานหนักบ้างเป็นครั้งคราววัตถุดิบในการ ผลิตจะมีคุณสมบัติเท่ากับหรือต่ำกว่าผ้าเบรกเพื่อโรงงานผลิตรถยนต์, OEM

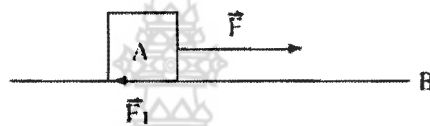
ผ้าเบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบและหลากหลายวัตถุดิบด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกันผู้บริโภคต้องใช้วิจารณญาณในการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์เพราะมีการแข่งขันสูงจากโรงงาน นอกจากนี้ มีสินค้าปลอมจากโรงงานผลิตอะไหล่ปลอมชั้นนำของประเทศออกมาแข่งขันในตลาด อะไหล่เหมาะสำหรับการขับรถทั่วไปหรือใช้งานเป็นครั้งคราว การเลือกใช้ควรดูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบ ผ้าเบรกโลหะหรือผ้าเบรกกลุ่ม NAO แต่ละชนิดมีผลดีและผลเสียแตกต่างกันอันมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง[6]

2.2.1 แรงเสียดทาน (friction) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหนึ่งพยายามเคลื่อนที่หรือกำลังเคลื่อนที่ไปบนผิวของอีกวัตถุ เนื่องจากมีแรงมากระทำ มีลักษณะที่สำคัญดังนี้

2.2.1.1 เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ

2.2.1.2 มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่หรือตรงข้ามทิศทางของแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุ[6]

ถ้าวง A อยู่บนวัตถุ B ออกแรง F ลากวัตถุ A จะเคลื่อนที่หรือไม่ก็ตามจะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นระหว่างผิวของ A และ B แรงเสียดทานมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรง F ที่พยายามต่อต้านการเคลื่อนที่ของ A

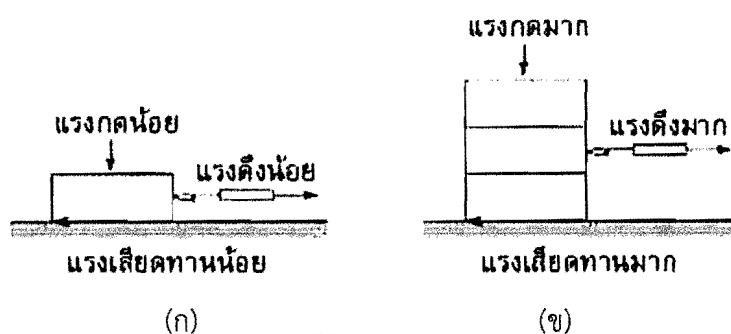
2.2.2 ประเภทของแรงเสียดทานแรงเสียดทานมี 2 ประเภทคือ

2.2.2.1 แรงเสียดทานสถิต (static friction) คือแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุในสถานะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วอยู่นิ่ง

2.2.2.2 แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุในสถานะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

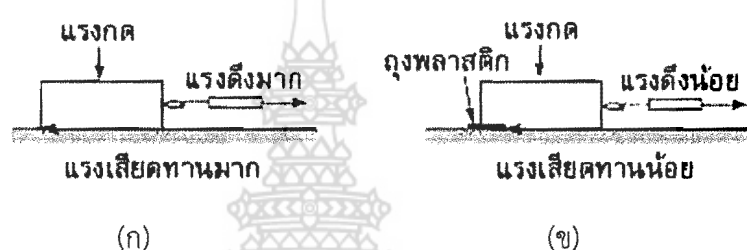
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

2.2.3.1 แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสมากจะเกิดแรงเสียดทานมากถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสน้อยจะเกิดแรงเสียดทานน้อย ดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส(ก) แรงเสียดทานน้อย (ข) แรงเสียดทานมาก[6]

2.2.3.2 ลักษณะของผิวสัมผัสถ้าผิวสัมผัสหยาบขรุขระจะเกิดแรงเสียดทานมาก ดังรูป 2.3 ส่วนผิวสัมผัสเรียบลื่นจะเกิดแรงเสียดทานน้อยดังรูป 2.3 ข

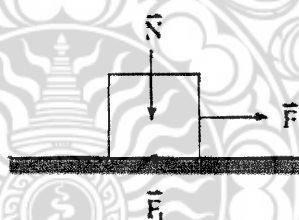


รูปที่ 2.3 ลักษณะของผิวสัมผัส (ก) แรงเสียดทานมาก (ข) แรงเสียดทานน้อย[6]

2.2.3.3 ชนิดของผิวสัมผัสเช่น คอนกรีตกับเหล็กเหล็กกับไม้ จะเห็นว่าผิวสัมผัสแต่ละคู่ มีความหยาบ ขรุขระ หรือเรียบลื่นเป็นมันแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงเสียดทานไม่เท่ากัน

2.2.4 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่งๆคือ อัตราส่วนระหว่างแรงเสียดทานต่อแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบ[6]

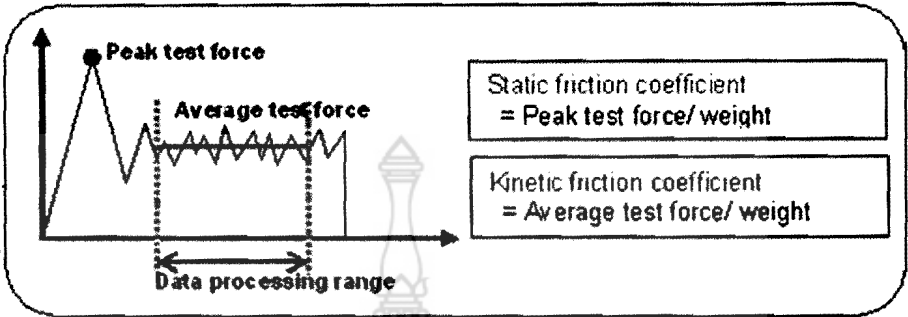
กำหนดให้	$\vec{F}$	=	แรงลากวัตถุ
	$\vec{F}_f$	=	แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส
	$\vec{N}$	=	แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส
	μ	=	สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

∴ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานหาได้จากสูตร

$$\mu = \frac{\vec{F_r}}{\vec{N}}$$

(2.1)

โดยที่การทดลองของโครงงานจะนำค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบ(Universal Test Machine) มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์และความเสียดทานจลน์ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟที่ได้จากเครื่องทดสอบ[3]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากผลการศึกษาวิธีการทดสอบพฤติกรรมการสั่นไถลบนผิววัสดุความเสียดทาน หลายมาตรฐานของการทดสอบถูกจัดทำขึ้น เช่น Raybestos tests[7] ของยุโรป, JIS D4311[4] ของญี่ปุ่น และ SAE J661[8] ของอเมริกา แต่ส่วนใหญ่ของการทดสอบเหล่านี้มีขั้นตอนที่ยาวนานและลงทุนสูง ทำให้ยากต่อการวิจัยและพัฒนา ดังนั้นจึงควรปรับปรุงขั้นตอนให้เหมาะสมกับลักษณะวัสดุที่จะทำการทดสอบ อย่างไรก็ตามการทดสอบพื้นฐานที่สัมพันธ์กับการใช้งานจริงจึงเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานของผลิตภัณฑ์ เพราะช่วยให้การทดสอบง่ายขึ้นและเป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นพื้นฐานการศึกษาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและพฤติกรรมการสึกหรอ

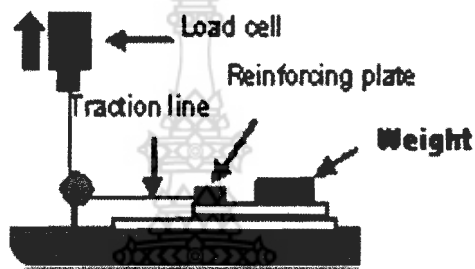
อย่างไรก็ตามการทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในกรณีที่เป็นวัสดุควบคู่อื่น[9,10,11] การทดสอบแบบ Pin-on-disc เป็นหนึ่งในการทดสอบที่สามารถนำไปใช้งานได้ และผลที่ได้รับเป็นที่เชื่อถือได้ อีกทั้งยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและการสึกหรอได้ในเวลาอันสั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แนวทางการออกแบบ

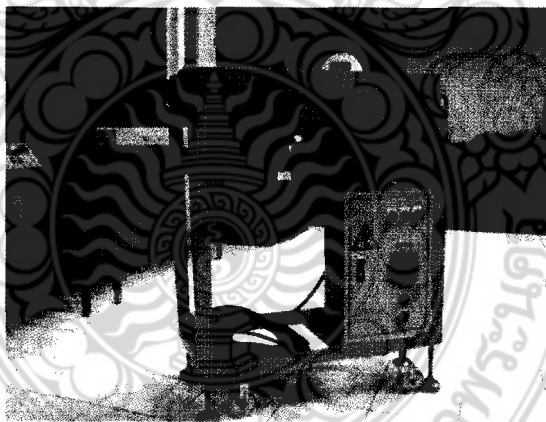
จากการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลถึงรูปแบบต่างๆ ของการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน นั้นมีหลายรูปแบบ แต่เพื่อความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและการลดต้นทุนการทดลอง ทางผู้วิจัยจึงยึดหลักตามรูปแบบมาตรฐาน JIS K7125 เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องทดสอบดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบมาตรฐาน JIS K7125[3]

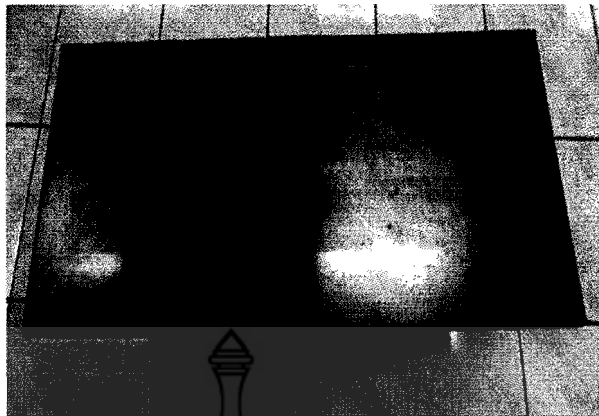
3.1 การดำเนินการสร้าง

ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆในการสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้า เบรก มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก

3.2.1 แผ่นระนาบทดสอบ



รูปที่ 3.3 แผ่นระนาบทดสอบ

ทำหน้าที่รองรับชิ้นงานที่จะทำการทดสอบให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ถูกลาก ขนาดความกว้างของแผ่นระนาบถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของดัมพ์น้ำหนักมาตรฐานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ในขณะที่ขนาดความยาวถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับระยะการเคลื่อนที่ขึ้นของโหลดเซลล์ และความหนาถูกกำหนดเพื่อให้สามารถรับความร้อนได้ 350 องศาเซลเซียส โดยที่ไม่เกิดการโก่งตัว ซึ่งมีขนาดขนาดกว้าง 350 มิลลิเมตร ยาว 900 มิลลิเมตร สูง 15 มิลลิเมตร น้ำหนัก 33 กิโลกรัม

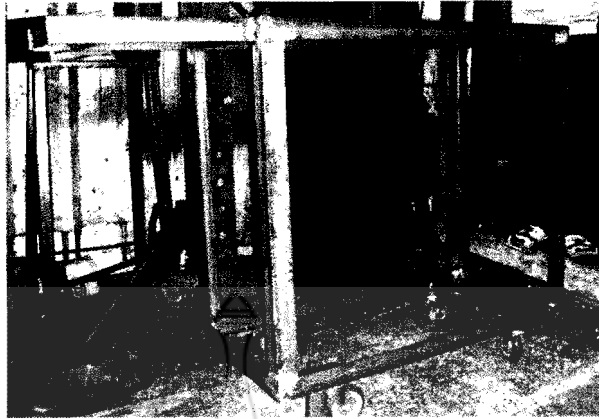
3.2.2 ชุดทำความร้อน(Heater)



รูปที่ 3.4 ชุดให้ความร้อน

ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับแผ่นระนาบทดสอบ โดยที่สามารถให้ความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 350 องศาเซลเซียส ตามที่ถูกออกแบบขั้นตอนการทดสอบไว้

3.2.3 โครงสร้างเครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.5 โครงสร้างเครื่องทดสอบ

โครงสร้างเครื่องทดสอบทำหน้าที่รองรับน้ำหนักทั้งหมดของเครื่องทดสอบด้วยขาทั้ง 4 ที่ถูกออกแบบให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถรองรับน้ำหนักของแผ่นระนาบทดสอบและตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

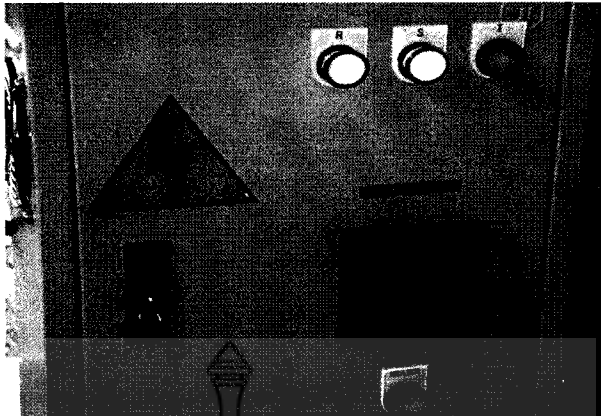
3.2.4 ชุดจับยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องดึง



รูปที่ 3.6 ชุดจับยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องดึง

ทำหน้าที่ยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องดึงเข้าด้วยกัน โดยที่ตัวที่จะถูกยึดติดกับเครื่องดึงส่วนร่องสลอตจะถูกยึดติดกับเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น

3.2.5 ชุดควบคุมอุปกรณ์ทำความร้อน



รูปที่ 3.7 ชุดควบคุมอุปกรณ์ทำความร้อน

ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำความร้อนโดยจะสามารถเปลี่ยนระดับความร้อนให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนดในการทดสอบ

3.2.6 ต้มน้ำหนักมาตรฐาน



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.8 ต้มน้ำหนักมาตรฐาน (ก) ขนาด 10kg (ข) ขนาด 20kg

ทำหน้าที่กีดขวางงานทดสอบเพื่อให้เกิดแรงดันตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยต้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 10kg มีจำนวน 4 ก้อน ขนาด 20kg มีจำนวน 3 ก้อน

3.2.7 ชุดแผ่นยึดชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.9 ชุดแผ่นยึดชิ้นทดสอบ

ทำหน้าที่ยึดชิ้นงานทดสอบไว้ด้านล่าง ส่วนด้านบนจะทำหน้าที่รับตม้น้ำหนักที่จะวางกดบนชิ้นทดสอบ

3.2.8 ฝาครอบกันร้อน



รูปที่ 3.10 ฝาครอบกันร้อน

ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนที่ผิวหน้าแผ่นระนาบทดสอบหลังการทดสอบ

3.2 การเตรียมการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมเครื่องทำการติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องตั้ง



รูปที่ 3.11 การติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องตั้ง

3.3.2 ทำการปรับระดับขาของเครื่องทดสอบให้ระดับน้ำ



รูปที่ 3.12 การปรับระดับขาเครื่องทดสอบ

3.3.3 การเตรียมชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบโดยการตัดให้ผ้าเบรกมีขนาด 1"x1"



รูปที่ 3.13 ชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบขนาด 1"x1"

3.3 วิธีการทดลอง

การทดสอบชิ้นงานจะทำการทดสอบจากตัวอย่างผ้าเบรก 3 สูตร คือสูตรA สูตรB และสูตร C โดยแต่ละสูตรจะทำการทดสอบตามรายการดังนี้

ตารางที่ 3.1 รายการทดสอบ

ชนิดผ้าเบรก	อุณหภูมิ°C	แรงดัน(MPa)	ความเร็ว(m/s)
สูตรA	100-300	0.215,0.367,0.570 (30,60,100) kg	0.0083
สูตรB	100-300	0.215,0.367,0.570 (30,60,100) kg	0.0083
สูตรC	100-300	0.215,0.367,0.570 (30,60,100) kg	0.0083

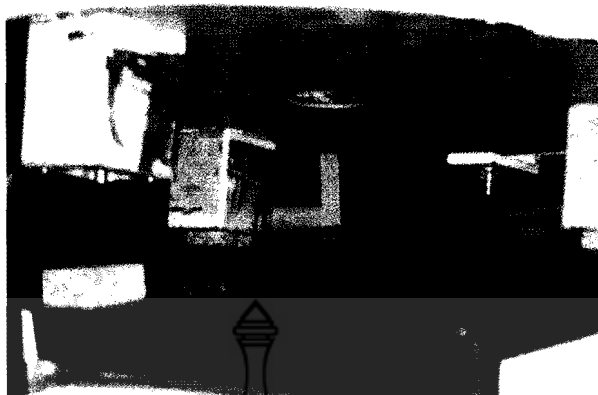
การทดสอบชิ้นงานของแต่ละสูตรจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 3.4.1 ทำการเสียบปลั๊กของเครื่องทดสอบ(ไฟ3เฟส) และปลั๊กของเครื่องตั้ง
- 3.4.2 เปิดอุปกรณ์ทำความร้อน และทำการปรับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100°C
- 3.4.3 เขียนโปรแกรมการตั้งจากคอมพิวเตอร์ควบคุมการตั้ง



รูปที่ 3.14 โปรแกรมการตั้งจากคอมพิวเตอร์

3.4.4 ติดตั้งชิ้นงานทดสอบที่เตรียมไว้กับชุด Support weight



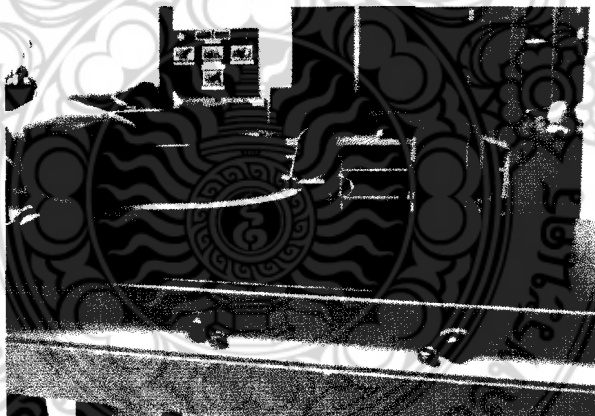
รูปที่ 3.15 การติดตั้งชิ้นงานทดสอบ

3.4.5 ติดตั้งลวดดึงกับชุดโหลดเซลล์



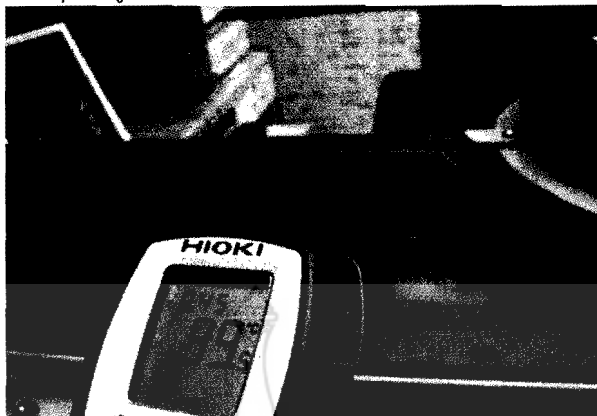
รูปที่ 3.16 การติดตั้งลวดดึงกับชุดโหลดเซลล์

3.4.6 วางก้อนน้ำหนักครั้งแรกขนาด 30 กิโลกรัม



รูปที่ 3.17 การวางก้อนน้ำหนักขนาด 30 กิโลกรัม

3.4.7 ตรวจสอบวัดอุณหภูมิบนแผ่นระนาบตามจุดต่างๆให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการจนทั่วแผ่นระนาบ โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.18 การวัดอุณหภูมิบนแผ่นระนาบตามจุดต่างๆ

3.4.8 ทำการตั้งโดยการสั่งจากคอมพิวเตอร์ตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้

3.4.9 บันทึกผลจากเครื่องตั้งไว้เป็น File Excel



รูปที่ 3.19 การบันทึกผลการทดลองในคอมพิวเตอร์

3.4.10 ทำการเพิ่มก้อนน้ำหนักจาก 30kg เป็น 60kg และ 100kg ตามลำดับ



รูปที่ 3.20 การเพิ่มก้อนน้ำหนัก 60kg และ 100kg

3.4.11 ทำการเพิ่มอุณหภูมิจาก 100°C เป็น 150°C แล้วทำตามข้อ 7-10 จนอุณหภูมิถึง 300°C

3.4.12 ทำการลดอุณหภูมิจาก 300°C เป็น 250°C แล้วทำตามข้อ 7-10 จนอุณหภูมิเหลือ 100°C



บทที่ 4

ผลการทดลอง

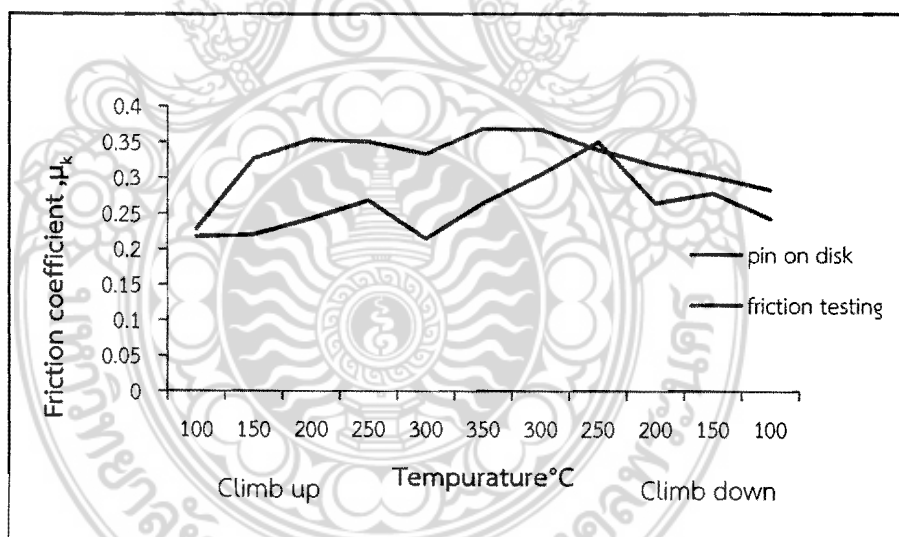
จากการดำเนินการทดลองตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนั้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลองระหว่างเครื่อง Pin on disk ซึ่งถูกทดลองโดยภาคอุตสาหกรรม และเครื่อง Friction testing ซึ่งถูกทดลองโดยคณะผู้วิจัยจะถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยการทดลองดังกล่าวอยู่ภายใต้สภาวะเดียวกัน คือ ความดันที่ 1 MPa และอุณหภูมิที่ 100 ถึง 350°C บนพื้นฐานชิ้นงานทดสอบประเภทเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันที่ความเร็วในการทดสอบเท่านั้นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะและรายละเอียดการทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิ°C	แรงดัน(MPa)	ความเร็ว(m/s)
Pin on disk	100-350	1	7
Friction testing	100-350	1.03	0.0083

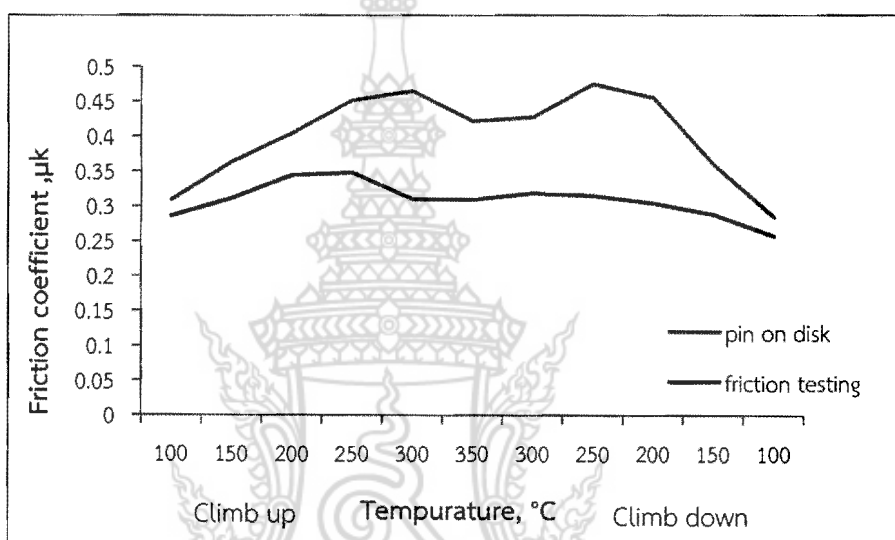
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลอง ระหว่างเครื่อง Pin on disk (กราฟเส้นสีฟ้า) ซึ่งถูกทดลองโดยภาคอุตสาหกรรม และเครื่อง Friction testing (กราฟเส้นสีแดง) ซึ่งถูกทดลองโดยคณะผู้วิจัย ดังรูปที่ 1 ถึง 3 นอกจากนี้ กราฟเส้นดังกล่าวยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 100 ถึง 350°C ที่มีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยมีค่าระดับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เป็นตัวชี้วัด



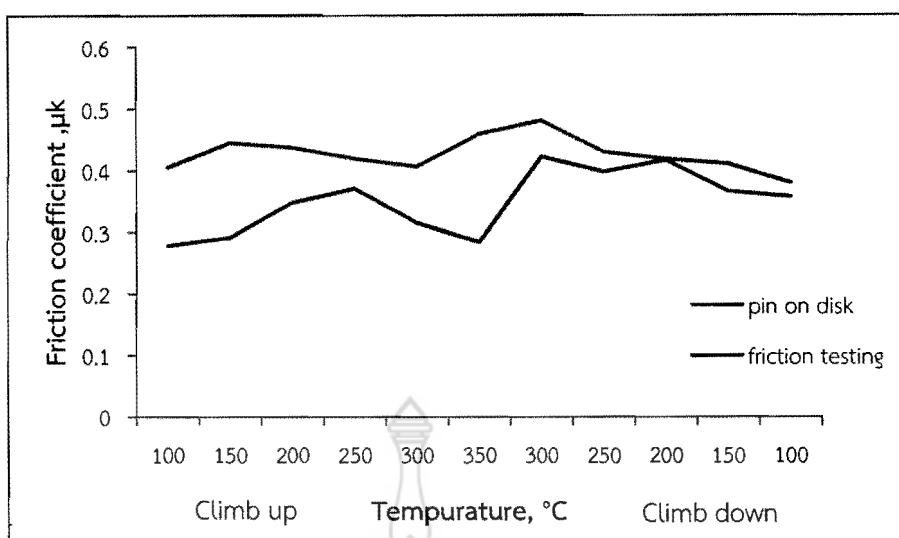
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A

การเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิดAถูกแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าผลจากเครื่อง Pin on disk มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงกว่าผลจากเครื่อง Friction testing โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on disk คือ 0.229 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลอง Climb up ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดของเครื่อง Friction testing มีค่าเท่ากับ 0.214 ที่อุณหภูมิ 300°C ในการทดลอง Climb up และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Pin on disk มีค่า 0.368 ที่อุณหภูมิ 350°C ในการทดลอง Climb up ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Friction testing มีค่าเท่ากับ 0.349 ที่อุณหภูมิ 250°C ในการทดลอง Climb down หลังจากนั้นค่าจะค่อยๆลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ดังกล่าวจะแปรผันตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ ข้อมูลจากการทดลองดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction testing เท่ากับ 18.9%



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิดB

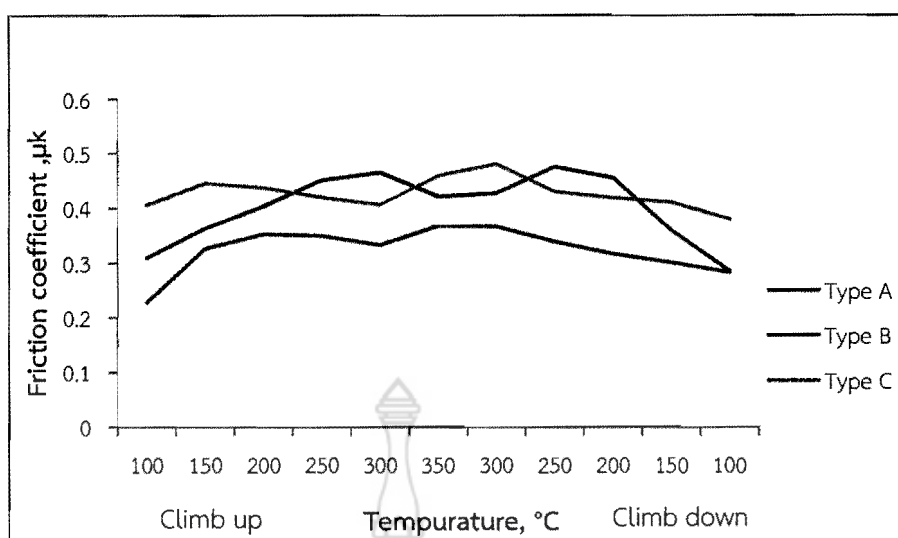
จากรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิดB จะเห็นว่าผลจากเครื่อง Pin on disk ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงกว่าผลจากเครื่อง Friction testing เช่นเดียวกันกับชนิดA แต่ก็ยังมีความสอดคล้องตามเครื่อง Pin on disk โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on disk คือ 0.285 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลอง Climb down ส่วนค่าต่ำสุดของเครื่อง Friction testing คือ 0.257 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลอง Climb down เช่นเดียวกัน ค่าสูงสุดของการทดลองชนิดนี้ของเครื่อง Pin on disk อยู่ที่ 0.475 ที่อุณหภูมิ 250°C ในการทดลอง Climb down และค่าจากเครื่อง Friction testing คือ 0.347 ที่อุณหภูมิ 250°C ในการทดลอง Climb up และจากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction testing เท่ากับ 21.96%



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิดC

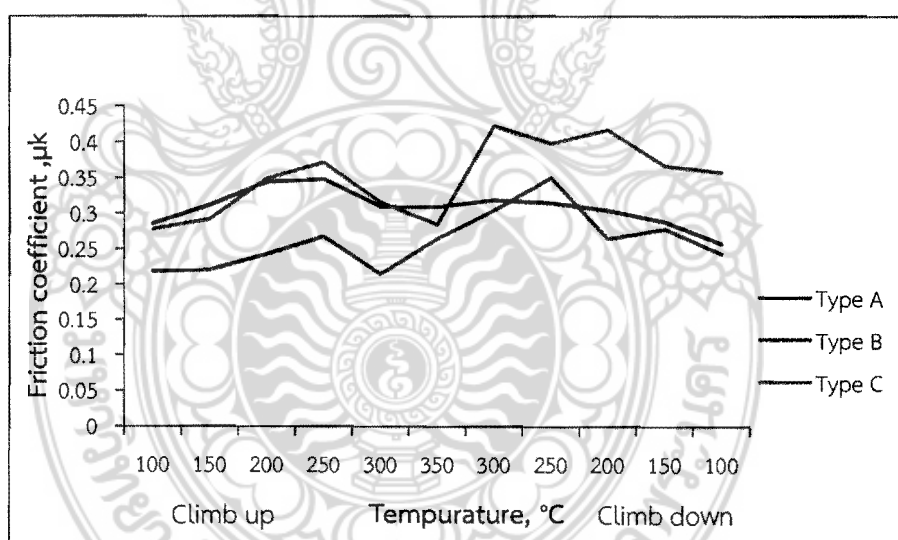
การเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกชนิดC ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นยังเป็นไปตามลักษณะของชนิดA และชนิดB คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของเครื่อง Pin on disk จะยังมีค่าสูงกว่าผลจากเครื่อง Friction testing โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on disk คือ 0.380 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลอง Climb down ส่วนค่าต่ำสุดของเครื่อง Friction testing คือ 0.278 ที่อุณหภูมิ 100°C ในการทดลอง 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%

จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นพบว่าผลจากเครื่อง Friction testing มีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลของ Pin on disk ตามจุดต่างๆแตกต่างกันไปและแต่ละชนิดก็มีความคลาดเคลื่อนรวมแตกต่างกันซึ่งอาจมีผลมาจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากความเร็วที่ใช้ในการทดลองของทั้ง 2 แบบนั้นต่างกันอยู่มาก นอกจากนี้การควบคุมตัวแปรขณะทำการทดลองทำได้ค่อนข้างยาก เช่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นแต่ละจุดบนแผ่นระนาบทดสอบมีค่าแตกต่างกันในช่วงการทดลอง



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 ชนิดของเครื่อง Pin on disk

จากรูปที่ 4.4 เมื่อนำพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่อุณหภูมิต่างๆของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด มาเปรียบเทียบกันแล้ว โดยรวมจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด A จะมีค่าต่ำที่สุด และผ้าเบรกชนิด B และ C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงอุณหภูมิของการทดลองพบว่าผ้าเบรกชนิด B และชนิด C จะมีค่ามากกว่าชนิด A ซึ่งมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ทั้งในช่วงการทดลอง Climb up และ Climb down โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด B มากกว่าชนิด C เท่ากับ 36.36% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด C มากกว่าชนิด B เท่ากับ 63.64%

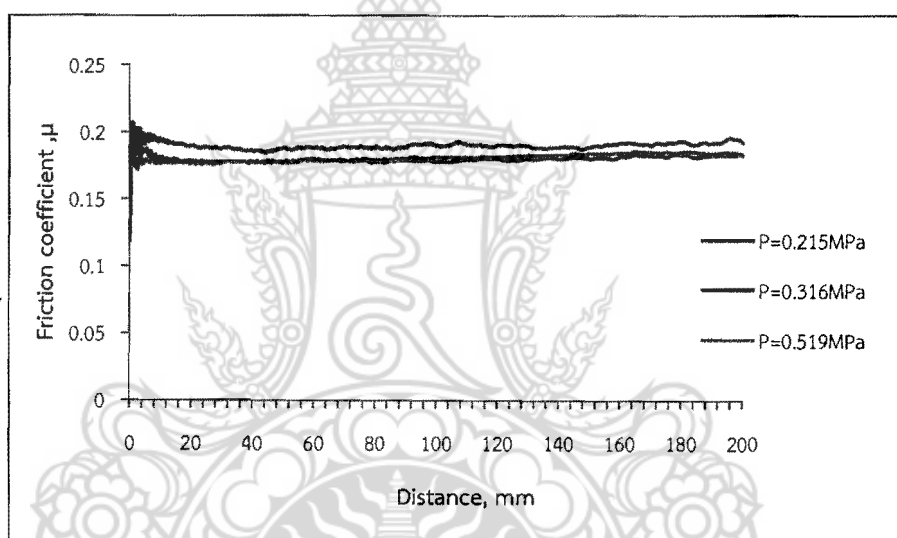


รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 ชนิดของเครื่อง Friction testing

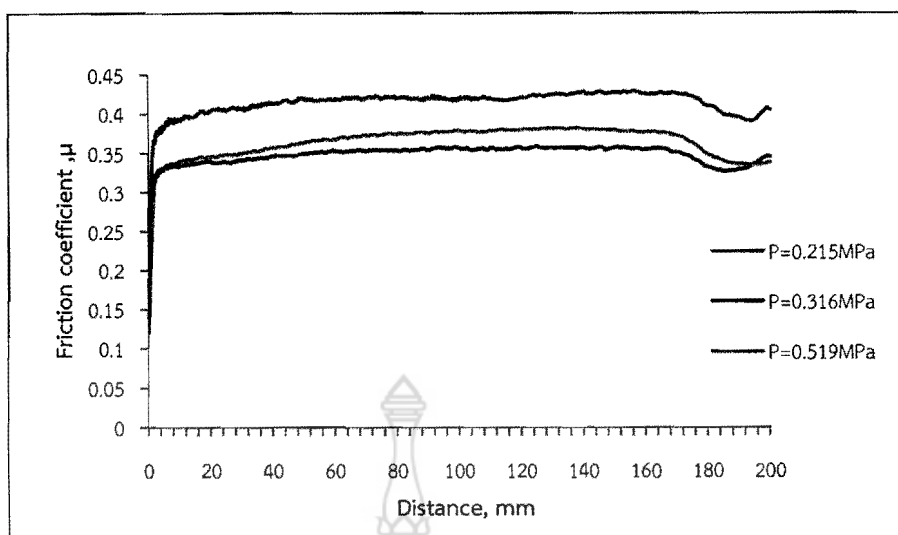
จากรูปที่ 4.5 เป็นการนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด ที่ทำการทดลองจากเครื่อง Friction testing มาทำการเปรียบเทียบผลเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4 จะเห็นว่าผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยรวมพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด A จะมีค่าต่ำที่สุดแต่จะมีความแปรปรวนเกิดขึ้นที่จุดอุณหภูมิ 250°C ในการทดลอง Climb down ผ้าเบรกชนิด A มีค่ามากกว่าผ้าเบรกชนิด B อันอาจเกิดจากปัจจัยดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนผ้าเบรกชนิด B และ C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงอุณหภูมิของการทดลองพบว่าผ้าเบรกชนิด B และชนิด C จะมีค่ามากกว่าชนิด A ซึ่งมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ทั้งในช่วงการทดลอง Climb up และ Climb down โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด B มากกว่าชนิด C เท่ากับ 27.27% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกชนิด C มากกว่าชนิด B เท่ากับ 72.73%

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่มีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

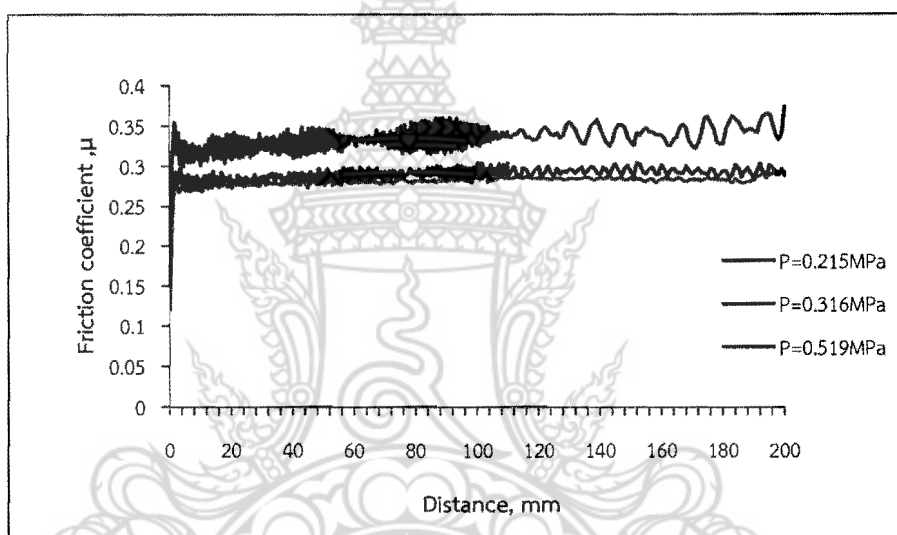
จากรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 เป็นกราฟแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ของผ้าเบรกชนิด A, B และ C ตามลำดับโดยการทดลองดังกล่าวจะทำการปรับเปลี่ยนความดันและอุณหภูมิเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าว



รูปที่ 4.6 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A ที่ความดันต่างๆจากเครื่อง Friction testing



รูปที่ 4.7 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด B ที่ความดันต่างๆจากเครื่อง Friction testing



รูปที่ 4.8 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกชนิด C ที่ความดันต่างๆจากเครื่อง Friction testing

ผลจากการทดลอง พบว่าโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สภาวะความดันสูงจะส่งผลกระทบให้ทั้งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีค่ามากกว่าที่สภาวะความดันต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในตารางที่ 4.2 และสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A ดังแสดงในรูปที่ 6 อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีความอ่อนไหวจะขึ้นขึ้นอยู่กับสูตรของผ้าเบรกแต่ละชนิดด้วย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเนื่องจากความดันของผ้าเบรกแต่ละชนิด

Pressure(MPa)	Type A		Type B		Type C	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
0.215(30 kg)	0.2066	0.1891	0.3656	0.4084	0.3539	0.3268
0.316(60 kg)	0.2008	0.1789	0.3221	0.3437	0.2920	0.2847
0.519(100 kg)	0.2006	0.1778	0.3307	0.3559	0.2822	0.2774



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการวิจัยรวมถึง ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาแนวทางการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียหายแบบใหม่ เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย โดยอาศัยแนวทางการสร้างตามรูปแบบมาตรฐาน JIS K7125 และอาศัยสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D4311 ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผ้าคลัทซ์มาประยุกต์ใช้กับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของผ้าเบรก นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียหายจลน์อีกด้วย

จากวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยที่ต้องการสร้างทางเลือกใหม่สำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายนั้นพบว่า ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 17-22% นอกจากนี้องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และความดันที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจลน์อย่างยิ่งซึ่งสามารถกล่าวโดยรวมได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียหายจลน์มีแนวโน้มจะแปรผันตาม นอกจากนี้ความดันก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายซึ่งพบว่าโดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตจะสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจลน์ และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจลน์เพิ่มขึ้นตามด้วย

อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นจากทั้งอุณหภูมิและความความดัน ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายจลน์นั้น ยังขึ้นอยู่กับสูตรของผ้าเบรกแต่ละชนิดที่มีส่วนการผสมของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันและหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดอีกด้วย

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการวิจัย

การควบคุมอุณหภูมิที่ผิวแผ่นระนาบทดสอบในช่วงอุณหภูมิสูงมีข้อจำกัดและทำได้ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ผิวระนาบแต่ละจุดมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากอันเป็นสาเหตุมาจากความสามารถของอุปกรณ์ทำความร้อนที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่สูงให้เท่ากันได้บริเวณพื้นที่ที่มีขนาดกว้าง อีกทั้งพฤติกรรมการพาความร้อนในขณะที่ทำการทดสอบก็มีอิทธิพลต่อการรักษาอุณหภูมิ

ที่ผิวระนาบเนื่องจากมีพฤติกรรมการพาความร้อนที่ค่อนข้างผันผวนระหว่างผิวระนาบทดสอบและชั้นบรรยากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบจะเกิดฝุ่นจากการตัดผ้าเบรก ควรมีการสวมอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน เช่น ถุงมือหนักันความร้อน ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดจมูก และสวมแว่นตานิรภัยเป็นต้น

5.3.2 ควรมีการยึดโครงสร้างของเครื่องทดสอบกับพื้นให้มั่นคงเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนขณะเครื่องทำงาน ซึ่งอาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองได้



บรรณานุกรม

- [1] ASTM D1894. Standard test method for static and kinetic coefficient of friction of plastic film and sheeting.
- [2] ASTM G 99-90. Standard test method for wear testing on a Pin-on-Disc apparatus.
- [3] JIS K7125. 1995. The special test jigs for friction measurements. Tokyo: Japanese Standards Association.
- [4] JIS D4311. 1995. Clutch facings for automobiles. Tokyo: Japanese Standards Association.
- [5] เรื่องของผ้าเบรก. <http://www.pickupextreme.com> [2 ธันวาคม 2553]
- [6] สมพงษ์ ใจดี. 2539. ฟิสส์มหาวิทยาลัยเล่ม1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] Raybestos. 1996. **RIP Test programs**. R + D Department. Morbach. Germany.
- [8] SAE J661. 1987. Brake Lining Quality Control Test Procedure. SAE International.
- [9] Davim JP. 2000. An experimental study of tribological behaviour of the brass/steel pair. *J Mater Process Technol* 100: 273-277.
- [10] Davim JP, Cardoso R. 2005. Thermo-mechanical model to predict the tribological behaviour of the composite PEEK-CF30/steel pair in dry sliding using multiple regression analysis. *IndLubricatTribol* 57: 181-186.
- [11] Davim JP, Cardoso R. 2006. Tribological behaviour of the composite PEEK-CF30 at dry sliding against steel using statistical techniques. *Mater Des* 27: 338-342. 2006.
- [12] DUDI A R, NARAIN M. 2000. **Brakes 2000**. Automotive Braking-Technologies the 21st Century.
- [13] ประเสริฐ เทียนนิมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี, ปานเพชร ชินินทร. 2547. **ทฤษฎีและคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์**. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [14] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์.ชาญ ถนัดงาน , 2522. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1**. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [15] ข้อมูลมาตรฐานเหล็กรูปพรรณ :http://www.sb-trademark.co.th/product-metal-steel_JIS.php [18 สิงหาคม 2554]

ภาคผนวก ก
การออกแบบเครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน



ก.1 การออกแบบชุดให้ความร้อน Heater

วัสดุที่ใช้ทำจานเบรก $C_p = 452 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$ [12]

หาขนาดชุดให้ความร้อนจากสมการ[13]

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

$$Q = 33 \text{ kg} \times 452 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \times 623 \text{ K}$$

$$Q = 9292.668 \text{ kJ}$$

ถ้าใช้เวลา 20 นาที เพื่อทำอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส

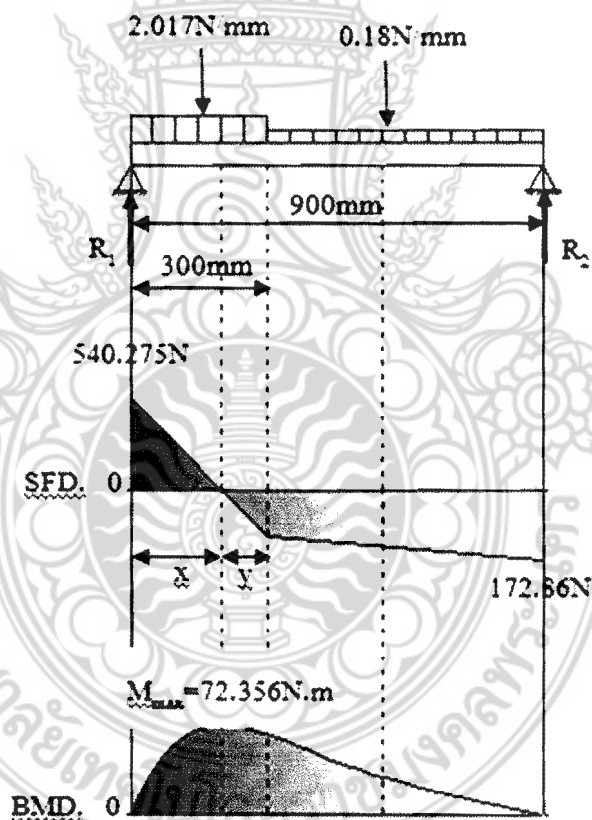
$$Q = \frac{9292.668 \text{ kJ}}{(20 \times 60) \text{ sec}}$$

$$Q = 7.744 \text{ kW}$$

ก.2 การออกแบบโครงสร้างเครื่องทดสอบ

สามารถรับน้ำหนักสูงสุด 112.4 กิโลกรัม

กรณีที่ 1 ถ้าพิจารณาโหลดสูงสุดอยู่ตำแหน่งขอบโครงสร้าง



รูปที่ ก.1 SFD และ BMD ของแรงแบบจุดกระทำไม่อยู่ตรงกลาง

คำนวณหาแรงปฏิกิริยา R_1 และ R_2

$$\begin{aligned}\sum M_{R_1} &= 0 \\ - (605.135 \times 150) - (108 \times 600) + (R_2 \times 900) &= 0\end{aligned}$$

$$R_2 = \frac{(605.135 \times 150) + (108 \times 600) N.mm}{900 mm}$$

$$\therefore R_2 = 172.86 N$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -605.135 - 108 + 172.86 + R_1 &= 0\end{aligned}$$

$$R_1 = 605.135 + 108 - 172.86 N$$

$$\therefore R_1 = 540.275 N$$

จากกฎสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{540.275}{64.86} = \frac{x}{300 - x}$$

$$64.86x = 162082.5 - 540.275x$$

$$x = \frac{162082.5}{(64.86 + 540.275)}$$

$$\therefore x = 267.85 mm$$

$$y = 300 - 267.85$$

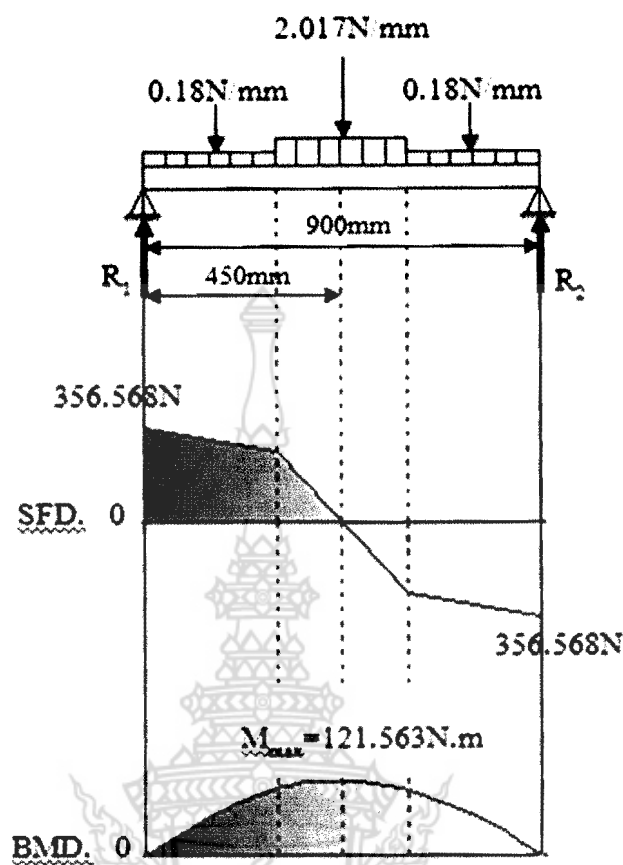
$$\therefore y = 32.15 mm$$

คำนวณหาโมเมนต์ตัดในคานที่ระยะ $x = 267.85 mm$

$$M_x = 0.5 \times 0.26785 \times 540.275 N.m$$

$\therefore$ ค่าโมเมนต์ตัดสูงสุดของกรณีนี้เท่ากับ $72.356 N.m$

กรณีที่2.ถ้าพิจารณาโหลดสูงสุดอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางโครงสร้าง



รูปที่ ก.2 SFD และ BMD ของแรงแบบจุดกระทำอยู่ตรงกลาง

คำนวณหาแรงปฏิกิริยา R_1 และ R_2

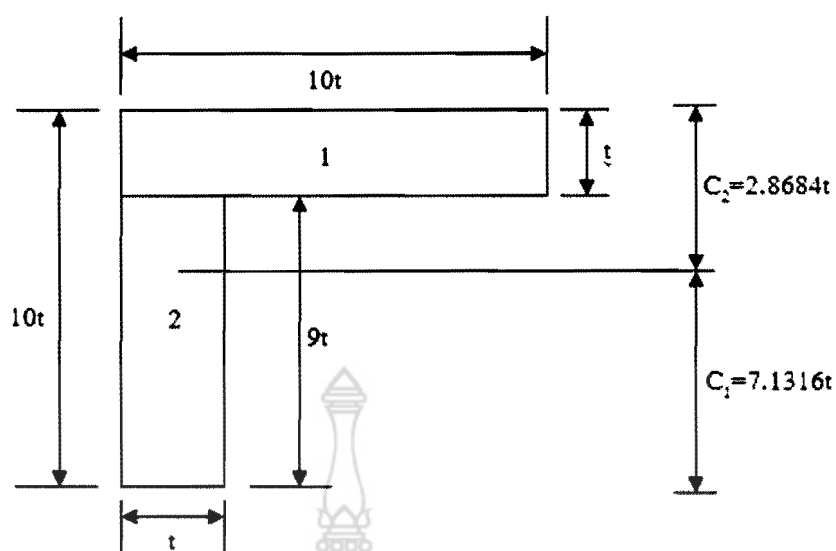
$$\therefore R_1 = R_2 = \frac{(0.18 \times 300) + (2.017 \times 300) + (0.18 \times 300)}{2} = 356.568 N$$

คำนวณหาโมเมนต์คัตในคานที่ระยะ $x=450mm$

$$M_{450} = (0.5 \times 0.3 \times 54) + (302.568 \times 0.3) + (0.5 \times 0.15 \times 302.568) N.m$$

$\therefore$ ค่าโมเมนต์คัตสูงสุดของกรณีที่2.เท่ากับ $121.563 N.m$

จากการพิจารณาโหลดทั้งกรณี พบว่ากรณีที่2.เกิดค่าโมเมนต์คัตสูงสุดจึงนำมาพิจารณาในการหาขนาดของเหล็กที่จะทำขาคีเครื่องทดสอบที่จะสร้างขึ้น



รูปที่ ก.3 ลักษณะเหล็กฉาก

ทางกลุ่มเลือกเหล็กโครงสร้างเป็นเหล็กฉากขาเท่ากัน จากรูปพิจารณาหาขนาดความหนาและความสูงเหล็กฉาก

กำหนดให้ L = ความสูงเหล็กฉาก

t = ความหนาเหล็กฉาก

และให้ $L = 10t$

จากสมการ[14]

$$\sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{N_y} = \frac{Mc}{I}$$

คำนวณหา $\bar{y}$ จาก

$$\bar{y} = \frac{(\bar{y}_1 \times A_1) + (\bar{y}_2 \times A_2)}{A_1 + A_2}$$

$$\bar{y} = \frac{(9.5t \times 10t^2) + (4.5t \times 9t^2)}{10t^2 + 9t^2}$$

$$\bar{y} = 7.1316t = c_1$$

$$d_1 = |7.1316t - 9.5t| = 2.3684t$$

$$d_2 = |7.1316t - 4.5t| = 2.6316t$$

คำนวณหา จาก $I = (I_1 + A_1 \times d_1^2) + (I_2 + A_2 \times d_2^2)$

$$I = \left[\frac{1}{12} \times 10t \times t^3 + 10t^2 \times (2.3684t)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times t \times 9t^3 + 9t^2 \times (2.6316t)^2 \right]$$

$$I = 0.833t^4 + 56.09t^4 + 0.75t^4 + 62.33t^4$$

$$\therefore I = 120.003t^4$$

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กฉากตามมาตรฐาน JIS SS-400[15]

ความหนา(mm)	คุณสมบัติทางกล(ไม่ต่ำกว่า)		
	Tensile Strength (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Elongation (%)
ต่ำกว่า5	400-510	245	21
5-16	400-510	245	17
16-40	400-510	235	21
40ขึ้นไป	400-510	215	23

สมมุติความหนาเริ่มต้นต่ำกว่า 5mm ใช้ค่า $\sigma_y = 245 \text{ N/mm}^2$
จากตารางค่าความปลอดภัยใช้ค่า $N_y = 3$
แทนค่า

$$\frac{245}{3} = \frac{(121.563 \times 10^3) \times 7.1316t}{120.003t}$$

$$81.67 = \frac{866938.70t}{120.003t^4}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{866938.70}{(81.67 \times 120.003)}}$$

$$t = 4.45 \text{ mm}$$

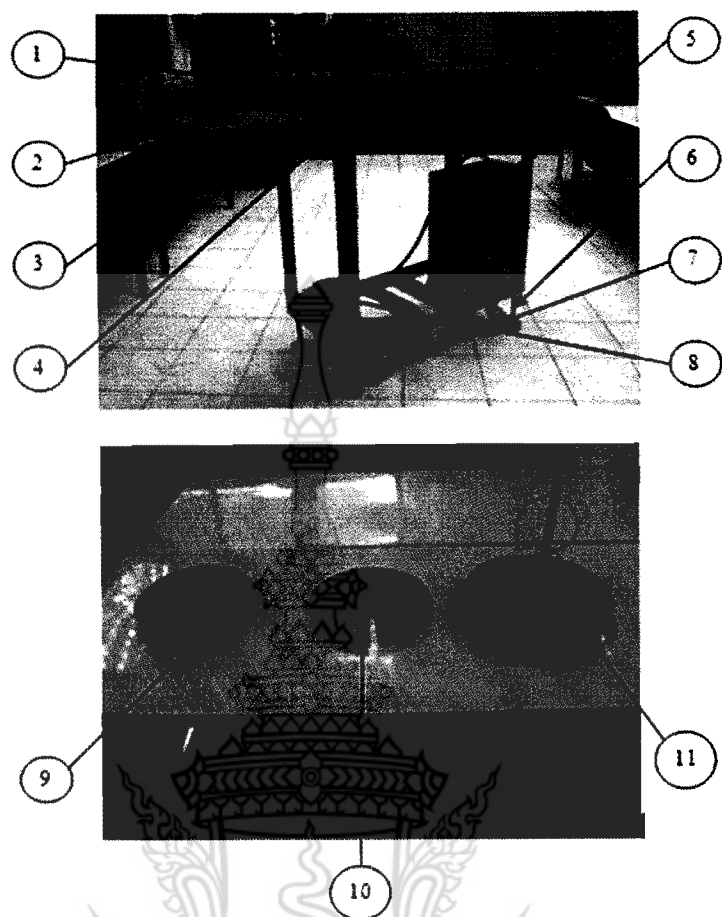
$$\therefore L = 10 \times 4.45 \text{ mm} = 44.5\text{mm}$$

เลือกใช้เหล็กฉากขาเท่ากันขนาด L50×50×5mm SS400 PSS1

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งานเครื่อง



แสดงส่วนประกอบ



รูปที่ ข.1 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง

ตารางที่ ข.1 หมายเลขส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง

หมายเลข	ส่วนประกอบ
1	ชุดลูกโลก
2	แผ่นระนาบ
3	อุปกรณ์ทำความร้อน
4	ฝาครอบ
5	ตู้คอนโทรล
6	ขาตั้ง
7	ล้อเลื่อน
8	ปลั๊กสายไฟ
9	ก้อนน้ำหนัก 20kg
10	ก้อนน้ำหนัก 10kg
11	ชุดรองก้อนน้ำหนัก(support weight)

วิธีการใช้งาน

1. ทำการติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องตั้งแล้วใส่สลักยึดให้เรียบร้อย
2. ปรับความสูงของขาเครื่องทดสอบที่ขาตั้งให้ได้ระดับทั้งสี่ขา
3. เสียบปลั๊กเปิดเครื่องทดสอบ เครื่องตั้ง และคอมพิวเตอร์ควบคุมการตั้ง
4. ตั้งอุณหภูมิที่ตู้ควบคุมอุปกรณ์ทำความร้อนโดยเริ่มจากอุณหภูมิต่ำไปสูง
5. เขียนโปรแกรมการตั้งจากคอมพิวเตอร์
6. วางชุดรองก้นน้ำหนัก (support weight) บนแผ่นระนาบทดสอบติดตั้งลวดติดกับโหนดเซลล์
7. ติดตั้งชิ้นงานทดสอบที่ชุดรองก้นน้ำหนัก (support weight) และวางก้นน้ำหนัก
8. วัดอุณหภูมิที่แผ่นระนาบ แล้วทำการเริ่มตั้ง
9. เมื่อทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ปิดสวิทซ์ OFF ที่เครื่องทดสอบและเครื่องตั้ง
10. หลังการใช้งานทุกครั้งทำความสะอาดที่แผ่นระนาบทดสอบ และเครื่องตั้ง

ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่
2. ก่อนการใช้งานควรปรับความสูงเครื่องให้ได้ระดับ และยึดสลักที่ขาตั้งให้แน่น
3. ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานแผ่นระนาบทดสอบจะร้อนไม่ควรเข้าใกล้
4. ปิดฝาครอบแผ่นระนาบทันทีที่ทำการทดสอบเสร็จ

การบำรุงรักษา

1. ทำความสะอาดและเช็ดน้ำมันบางๆ ที่แผ่นระนาบทดสอบเพื่อป้องกันสนิม
2. ทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้าสะอาดทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จเพื่อป้องกันฝุ่นละออง



ประวัติผู้วิจัย



หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายศุภชัย หลักคำ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Supachai Lakkam
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 1201 01788 03 1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์:02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร:02-9132424 ต่อ 138
E-mail: bus_supachai@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับ ปริญญา	อักษรย่อ ปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่ สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญา โท	M.Sc.	Automotive Engineering	The SirindhornInternational Thai- German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ	2552	ไทย
ปริญญา ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับสอง)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2549	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ ระบุสาขาวิชาการ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา)
 - เทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computation and Simulation Techniques)
 - เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน (Energy Technology and Management)
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
 - 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย :
 - 7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ดังตารางที่แสดงถัดไป

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1.Effectiveness and Efficiency Research of brake pads in noise and friction coefficients	พ.ศ.2552	Industry Subcontracting Exhibition of Thailand 2009	บริษัท คอมแพ็ค อินเทอร์เน็ต เนชั่น (1994) จำกัดและ Industrial Technology Assistance Program (iTAP)	ผู้ช่วยวิจัย
2.Investigation of Brake Noise Parameters Using Single Dynamometer	Apr.2009	The 5 th International Conference on Automotive Engineering ICAE-5	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	นักวิจัย/ ผู้นำเสนอ
3.Econo Power Car	June.2010	The 2 nd RMUTP International Conference : Green Technology and Productivity	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย/ ผู้นำเสนอ
4.Analysis of Clutch Materials behaviour : Comparison between Coefficient of Friction Testing and Full Size Testing		รอเผยแพร่	EXEDY Friction Material Co. LTD	ผู้ช่วยวิจัย
5.Study and Trend of Development for Electric Railway and Related Industries in Thailand(Phase 2)		รอเผยแพร่	Industrial Technology Assistance Program (iTAP)	ผู้ร่วมวิจัย
6.โครงการศึกษาเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ เพื่อจัดทำร่างกฎกระทรวงเฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงาน ตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550		รอเผยแพร่	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ผู้ช่วยผู้เชี่ยวชาญ ด้านเครื่องยนต์

7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ:ดังตารางที่แสดงถัดไป

ชื่อข้อเสนอการวิจัย	แหล่งทุน	ตำแหน่ง	สถานภาพ
1.Design and Development of Bus structure for single and double deck	กรมขนส่งทางบก	ผู้ช่วยวิจัย/ วิศวกร โครงการ	80%



ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อนามสกุล- (ภาษาไทย) นางสาวปิยธิดา รุจะศิริ
(ภาษาอังกฤษ) Miss. Piyatida Rujasiri
2. หมายเลขประจำตัวประชาชน 5-7706-00049-42-1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: 02-9132424 ต่อ 194
โทรสาร : -
E-mail : kittylovely555@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับ ปริญญา	อักษรย่อ ปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่ สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วท.ม (สถิติ)	สถิติ	ม.เกษตรศาสตร์	2552	ไทย
	ป.บัณฑิต	การสอนวิทยาศาสตร์	ม.มหิดล	2549	ไทย
ปริญญาตรี	วท.บ. (คณิตศาสตร์)	คณิตศาสตร์	ม.เกษตรศาสตร์	2548	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

1. การใช้โปรแกรมทางสถิติ เช่น SPSS, MATLAB
2. Multivariate Analysis

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

- 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : -
- 7.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ดังตารางที่แสดงถัดไป

ผลงานวิจัย	ปีที่ พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
Comparison of Clustering Techniques for Cluster Analysis	2009	Kasetsart Journal Natural Science.	ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มเกษตรศาสตร์ .	ผู้วิจัย

- 7.3 งานวิจัยที่กำลังทำ : -