



การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ



พลรัชต์ บุญมี
ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
ศุภชัย หลักคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ



พลรัชต์ บุญมี
ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
ศุภชัย หลักคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ
 ผู้วิจัย : นายพลรัชต์ บุญมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
 ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
 นายศุภชัย หล้าคำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
 พ.ศ. : 2556

บทคัดย่อ

ระบบเบรกอาศัยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก ในสภาวะการขับขี่จริง ผู้ขับขี่มีพฤติกรรมเบรกที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายบริเวณผ้าเบรกและจานเบรก หากพิจารณาถึงผ้าเบรกในปัจจุบัน ที่มีสัดส่วนของวัสดุผสมที่หลากหลาย ประกอบกับอุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรกในประเทศไทย ยังไม่มีกระบวนการทดสอบที่ชัดเจน ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ความเสียหายของผ้าเบรกในสภาวะการเบรกแบบต่างๆ

จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการจึงทำการทดสอบและวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆของผ้าเบรก โดยมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์พฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ และพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ 3 ชนิดของผ้าเบรกแบบดิสก์ และแบบดรัม โดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นเครื่องมือหลักในการทดสอบ ผ่านกระบวนการทดสอบบางส่วนที่อ้างอิงมาตรฐาน Brake Lining and Disc Brake Pads Compressibility Test Procedure JIS D 4413 ที่สามารถจำลองสภาวะการเบรก 3 สภาวะคือ สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ และสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว

ผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นว่า สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น ผ้าเบรกแบบดรัมและดิสก์ ชนิด A และ C มีพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุสูงสุดและต่ำสุดที่อุณหภูมิ 200 °C ส่วนสภาวะสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น ผ้าเบรกแบบดรัมและดิสก์ ชนิด C และ A มีพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุสูงสุดและต่ำสุดที่อุณหภูมิ 30 °C เช่นเดียวกัน สำหรับพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ผ้าเบรกชนิด C และ B มีค่าพลังงานภายในสูงสุดและต่ำสุด ส่วนในกรณีการทดสอบที่อุณหภูมิ 200 และ 400 °C ผ้าเบรกชนิด A และ B มีค่าพลังงานภายในสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งกล่าวได้ว่าวัสดุผสมที่มีพฤติกรรมความยืดหยุ่นสูง ส่งผลให้ค่าพลังงานภายในสูงในสภาวะการเบรกที่อุณหภูมิสูง

Title : Compressive testing of compound material under difference temperatures

Researcher : Mr. Polrut Boonme, Faculty of Engineering, RMUTP
Acting2 Sub.L.T.Songwut Mongkonlerdmanee, Faculty of Engineering, RMUTP
Mr. Supachai Lakkam, Faculty of Engineering, RMUTP

Year : 2011

ABSTRACT

Brake system is used the friction between disk and pads. In the driving conditions, the brake behavior from the driver is difference. Based on this reason, the damage on disk and pads are occurring. Nowadays, the ratio of compound materials in pads is several and involved automotive industry has not available enough to experiment. Thus, it is difficult to brake pads damaged analyzing in several driving conditions.

In this problem, the mechanical property tester is main tool for experimental works, and test procedure base on the Brake lining and disc brake pads compressibility JIS D 4413. The experiment emphasizes on the flexibility behavior and internal energy by volume with 3 types of brake lining and pads. For the experiment focused on conditions by normal apply brake, repeat apply brake and suddenly apply brake.

The results revealed the normal apply brake condition, the maximum and minimum of flexibility behavior was appeared on brake lining and pads type A and type C with testing temperature at 200°C. By the repeat and suddenly apply brake conditions, the brake lining and pads type C and type A with 300C is given to the maximum and minimum flexibility behavior. In case of internal energy by volume, the maximum and minimum energy was appeared on pads type C and type B at the 30°C of testing temperature. For the testing temperature at 200 and 400°C, the pads type A and type B were got the maximum and minimum energy respectively. On the other hand, at the high flexibility behavior is given to high internal energy at the high temperature of the apply brake condition.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2556 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งผ้าเบรกที่ใช้เป็นวัสดุในการทดสอบรวมทั้งข้อมูลจำเพาะของผ้าเบรกที่ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชั่นแนล(1994) จำกัด สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณผู้ที่ให้ความร่วมมือและให้ความอนุเคราะห์ทุกท่าน ที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	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	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก	4
2.2 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องทดสอบ	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	13
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณ	13
3.2 การดำเนินการสร้าง	14
บทที่ 4 วิธีการทดสอบและผลการทดลอง	18
4.1 การเตรียมการทดสอบ	18
4.2 วิธีการทดสอบ	22
4.3 ผลการทดสอบ	25

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
บรรณานุกรม	44
ภาคผนวก	45
คู่มือการใช้งานเครื่อง	45
ประวัติผู้วิจัย	47



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 สภาวะการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ	22
4.2 สภาวะการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ	24
4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดรัมเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa	25
4.4 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa	27
4.5 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa	28
4.6 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa	29
4.7 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 kPa	30
4.8 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa	31
4.9 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa	32
4.10 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa	33
4.11 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa	34
4.12 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa	35
4.13 สรุปผลการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกชนิดต่างๆ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิต่างๆ	42

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องทดสอบ Universal testing machine	3
1.2 ลักษณะการกดขึ้นงานลงบนแผ่นระนาบความร้อน	3
2.1 ความเครียดอัด	9
2.2 ความเครียดดึง	10
2.3 ความเค้นอัด	11
2.4 ความเค้นดึง	11
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ	13
3.2 แผ่นรองรับวัสดุ	14
3.3 ชุดให้ความร้อน	15
3.4 ชุดให้ความร้อนของแผ่นรองรับวัสดุ	15
3.5 ฐานรองรับแผ่นรองรับวัสดุ	16
3.6 หัวกดวัสดุ	16
3.7 แท่นกดวัสดุ	17
3.8 กล่องครอบวัสดุ	17
4.1 การเตรียมความพร้อมเครื่องทดสอบ	18
4.2 การติดตั้งกล่องครอบวัสดุ	19
4.3 การติดตั้งโหลดเซลล์เข้ากับแท่งกดวัสดุ	19
4.4 การติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ	20
4.5 การติดตั้งฐานรองรับวัสดุ	20
4.6 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน	21
4.7 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและสายไฟฟ้าเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน	21
4.8 รูปแบบการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ	23
4.9 รูปแบบการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ	24
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	26
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	27

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C	28
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C	29
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C	30
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C	31
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	32
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	33
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	34
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	35
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด A	36
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด A	36
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด A	37
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด B	38
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด B	38
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด B	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด C	40
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด C	40
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด C	41



บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตของการศึกษาประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโต และเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย ผ้าเบรกเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ แต่เนื่องจากผ้าเบรกเป็นวัสดุผสมที่ผลิตจากสารตั้งต้นมากกว่า 1 ชนิด เป็นเหตุให้มีพฤติกรรมที่หลากหลายแตกต่างกันออกไปตามส่วนผสม จึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าในด้านการตรวจสอบผลกระทบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการผลิตออกมา โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทย และองค์ความรู้เฉพาะทางที่มีน้อยมาก ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกที่เป็นวัสดุผสม

จากปัญหาข้างต้นจึงทำให้เกิดการคิดค้นออกแบบรูปแบบการทดสอบ และเครื่องทดสอบ ผ้าเบรกซึ่งเป็นวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ ที่มีลักษณะในการหาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นโดยตรง โดยโครงการนี้จะศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ โดยเน้นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยเป็นหลัก เพื่อนำไปสู่ข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยการคำนึงถึงปัจจัยพื้นฐานในการใช้งานของผ้าเบรก เพื่อศึกษาความแตกต่างของผ้าเบรกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น การศึกษาความแตกต่างระหว่างวัสดุที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ ทั้งทางด้านความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของการทดสอบ

เพื่อเป็นองค์ความรู้ทางด้านวัสดุ และเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการสามารถใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบเพื่อหาพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นวัสดุผสมคล้ายกันนี้ บนสมมติฐานหลักการหาค่าคุณสมบัติวัสดุทางกลภายใต้สภาวะการรับความร้อน โดยเปรียบเทียบค่าความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ผลที่ได้รับจากโครงการสามารถนำไปใช้ในการพัฒนา และนำไปสู่ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ให้กับประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาทดสอบพฤติกรรมการอัดตัวของผ้าเบรกภายใต้สภาวะการรับความร้อน
- 1.2.2 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรกจากส่วนผสมที่ต่างกัน
- 1.2.3 เพื่อสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมการอัดตัวของผ้าเบรก

1.3 สมมติฐานและกรอบแนวคิดของการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนการทดสอบสำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายกับวัสดุที่จะทำการวิจัยแล้วนั้นพบความเป็นไปได้ที่จะทำการวิจัยโดยการสร้างชุดทดสอบขึ้นมาใหม่ตามความต้องการของลักษณะงานวิจัย และขั้นตอนการทดสอบโดยทั่วไปนิยมหาค่าความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่น จากเครื่องทดสอบแบบ Universal testing machine เป็นหลัก ซึ่งสามารถหาค่าดังกล่าวได้ตามต้องการสำหรับวัสดุโดยทั่วไป แต่เนื่องจากผ้าเบรกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมจากสารตั้งต้นหลายชนิด ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุผสม อีกทั้งยังมีลักษณะการใช้งานภายใต้สภาวะการรับพลังงานความร้อนจึงเป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุประเภทนี้ได้จากเครื่องทดสอบแบบ Universal testing machine โดยทั่วไป เพราะจะส่งผลให้ได้รับค่าที่คาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่อาจยอมรับได้

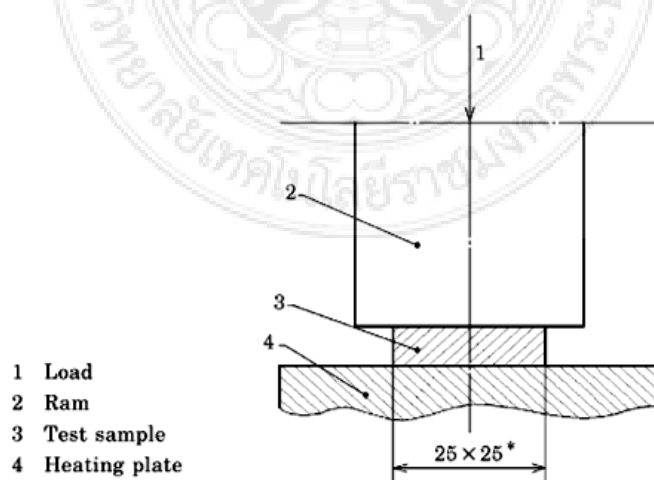
คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องทดสอบ Compressibility testing ขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกซึ่งเป็นวัสดุผสมโดยเฉพาะ ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่า ความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่น ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ (Temperature) และความดัน (Pressure) ที่แตกต่างกัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าดังกล่าว อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผ้าเบรกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสภาวะการใช้งานไปยังสารตั้งต้นที่ใช้ผลิตผ้าเบรกอันเป็นวัสดุผสมที่แตกต่างกัน โดยอาศัยเครื่องทดสอบแบบ Universal testing machine ดังรูปที่ 1.1 และแผ่นระนาบความร้อน (Heating plate) โดยมีแนวทางการทดสอบใช้หลักการเดียวกันกับมาตรฐาน Automotive parts-Brake linings and disc brake pads: Compressibility test procedure (JIS D 4413: 1998) และ Road Vehicles-Brake Linings-Compressive Strain Method (ISO 6310: 2001) ซึ่งอุปกรณ์ทั้งคู่สามารถถอดแยกออกจากกันได้การทำงานของเครื่องทดสอบแบบ Compressibility testing ถูกแสดงในรูปที่ 1.2 โดยเครื่องทดสอบ Universal testing machine มีหน้าที่เป็นต้นกำลังทำการกดชิ้นงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 25×25 เซนติเมตร ลงบนแผ่นระนาบความร้อน (Heating plate) ที่สามารถสร้างอุณหภูมิได้ตามสภาวะที่กำหนด โดยมีปากก้าจับชิ้นงานทำหน้าที่ประคองชิ้นงานให้อยู่ในทิศทางเคลื่อนที่ที่ต้องการและทำการเปลี่ยนขนาดแรงที่ใช้กดเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมการใช้

งานโดยหลังจากชิ้นงานถูกกดลงบนแผ่นระนาบความร้อน(Heating plate)แล้ว จะถูกทำการวัดระยะยุบตัวด้วยเครื่องวัดระยะแบบละเอียด(Micrometer) ซึ่งจะทำการวัดระยะยุบตัวทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนปริมาณแรงที่ใช้กด ส่วนการควบคุมอุณหภูมินั้นจะทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับแผ่นระนาบความร้อน(Heating plate)เป็นหลักโดยตัวตรวจจับอุณหภูมิจะถูกติดตั้งที่บริเวณด้านในของแผ่นระนาบความร้อน(Heating plate)โดยสภาวะและขั้นตอนการทดสอบจะอ้างอิงจากมาตรฐาน Automotive parts-Brake linings and disc brake pads: Compressibility test procedure (JIS D 4413: 1998) มาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ

ตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาวิจัยนี้ก็คือปัจจัยที่ทำให้ค่า ความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลงไปในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 1.1 เครื่องทดสอบ Universal testing machine



รูปที่ 1.2 ลักษณะการกดชิ้นงานลงบนแผ่นระนาบความร้อน (JIS D 4413: 1998)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 สร้างชุดทดสอบพฤติกรรมคุณสมบัติทางกลที่สร้างอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 400 °C
- 1.4.2 ขั้นตอนการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน JIS 4413
- 1.4.3 สำรวจปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าคุณสมบัติการอัดตัว
- 1.4.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างวัสดุที่มีส่วนผสมต่างกัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ส่งเสริมให้เกิดการคิดค้นและการนำผลที่ได้จากงานวิจัยไปใช้งานในอุตสาหกรรมได้จริง
- 1.5.2 สร้างทางเลือกในกระบวนการทดสอบและเปรียบเทียบ
- 1.5.3 ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศในส่วนของการวิจัยและพัฒนา
- 1.5.4 เพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก

ระบบห้ามล้อส่วนใหญ่ในยานพาหนะถูกออกแบบให้อาศัยแรงเสียดทานโดยเปลี่ยนพลังงานกลในทิศทางการหมุนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งใช้ผ้าเบรกเป็นอุปกรณ์ในการชะลอหรือหยุดเพลาล้อเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หน้าที่ของผ้าเบรกคือสร้างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก เพื่อให้เกิดแรงเบรกที่ใช้ในการชะลอหรือหยุดเพลลา ดังนั้นผ้าเบรกจึงต้องสามารถตอบสนองการใช้งานได้ถูกต้องโดยปราศจากการลื่นไถลที่มากเกินไปเกินความต้องการระหว่างการทำหน้าที่ชะลอหรือหยุดเพลลา นั้น การลื่นไถลแบบชั่วขณะเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกตลอดกระบวนการทำงานนี้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสประมาณ 80 ถึง 300 องศาเซลเซียส(ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้มีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบห้ามล้อ ดังนั้นสมรรถนะของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผ้าเบรคนั้นจะต้องรักษาคุณสมบัติความเสียดทาน และมีค่ามากพอต่อความต้องการในสภาวะการทำงานอย่างสม่ำเสมอด้วย การลดลงอย่างรวดเร็วของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ปรารถนา การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างช่วงการทำงานหรือจากการสึกหรอของวัสดุจะต้องมีข้อจำกัด

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

ส่วนการยัดผ้าเบรกกับฝักเบรกมีทั้งวิธียัดด้วยกาวและยัดด้วยรีเว็ตซึ่งวิธีที่นิยมอย่างมากคือการยัดด้วยกาวเพราะกาวสามารถยัดผ้าเบรกได้บางกว่ารีเว็ตมากวิธีการผลิตก็คือ แต่ละบริษัทที่ได้เตรียมสูตรของตนเองไว้ก็นำสารเคมีต่างๆมาผสมกันขณะเดียวกันก็เตรียมแผ่นเหล็กที่จะนำมาเป็นเหล็กที่เตรียมไว้ไปพ่นกาวแล้วอบให้แห้งเพื่อรอกระบวนการขึ้นรูปมีสองวิธีอีกเหมือนกันคือการขึ้นรูปเย็น(Press forming) โดยการเทผงผ้าเบรกลงบนแม่พิมพ์แล้ววางเหล็กรองไว้ด้านบนแล้วอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิกส์แรงกดประมาณ 160 ตัน แล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบส่วนใหญ่ผ้าเบรกประเภทนี้จะถูกผลิตเข้าสู่ตลาดหลังการขาย(After market)หรือร้านอะไหล่ทั่วไป อีกวิธีประเภทขึ้นรูปร้อนจะคล้ายๆกันใช้ความร้อนในการเทผงผ้าเบรกและมีการไล่ความชื้นเข้าไปด้วยเมื่อเสร็จแล้วผ้าเบรกประเภทนี้จะเป็นผ้าเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงานแล้วในแต่ละยี่ห้อจะมีสูตรของตัวเองที่โฆษณาว่าจะใช้กับรถประเภทต่างๆ เช่น รถมาตรฐานจากโรงงานม รถยนต์วิบาก และรถแข่งทางเรียบ ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีกำหนดความร้อนสูงต่างกันไป ชนิดของผ้าเบรกรถยนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งาน โรงงานผลิตผ้าเบรกรถยนต์ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเกรด เกรดผ้าเบรกแต่ละโรงงานมีมาตรฐานที่แตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายและทิศทางการทำธุรกิจของโรงงานนั้นผู้ผลิตผ้าเบรกรถยนต์มี 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 ในเรื่องเคมี ประสิทธิภาพการเบรกและการทำงานร่วมกับจานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะต่ำเหมาะสมสำหรับรถยนต์ใหม่และการขับขี่ทั่วไป จนถึงการใช้งานหนักไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาด

2.1.2 ประเภทผ้าเบรก : OES Pad ผ้าเบรกเกรดของแท้ห้าง (Genuine)

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานเพื่อเป็นอะไหล่ใช้ทดแทนคุณสมบัติของอะไหล่จะแตกต่างกันแต่ผู้ผลิตรถยนต์จะกำหนดขึ้นอยู่กับต้นทุนและการแข่งขัน ผู้ประกอบรถจะขายในรูปแบบ

อะไหล่แท้เกรดหนึ่งยี่ห้อเดียวกับรถยนต์ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอาจผลิตอะไหล่เกรดรองออกจำหน่ายเพื่อรักษาฐานลูกค้าที่มีกำลังซื้อต่ำและเพื่อการแข่งขันในเรื่องราคาในตลาดอะไหล่ที่เหมาะสมสำหรับ ผู้ใช้รถทั่วไปที่ต้องการอะไหล่คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่หาซื้อได้ตามศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปหรือร้านค้าอะไหล่

2.1.3 ประเภทผ้าเบรก : Racing pad ผ้าเบรกสำหรับรถแข่ง

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดเพื่อการแข่งขันวัตถุประสงค์ในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อประสิทธิภาพการหยุดรถโดยเฉพาะรองรับการขับด้วยอัตราความเร็วสูงและการถ่ายเทความร้อนในระบบเบรกเหมาะสำหรับการขับซิ่งเพื่อการแข่งขันและใช้ความเร็วสูงในการขับซิ่งเป็นประจำผ้าเบรกชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับซิ่งทั่วไปหรือการใช้งานหนักและบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้มีอัตราการทำลายจานเบรคค่อนข้างสูงเพราะส่วนผสมมีโลหะในอัตราที่สูง

2.1.4 ประเภทผ้าเบรก : Standard pad ผ้าเบรกทั่วไป

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานสำหรับการขับซิ่งทั่วไปหรือใช้งานหนักบ้างเป็นครั้งคราววัตถุประสงค์ในการผลิตจะมีคุณสมบัติเท่ากับหรือต่ำกว่าผ้าเบรกเพื่อโรงงานผู้ผลิต, OEM ผ้าเบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบและหลากหลายวัตถุประสงค์ด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกันผู้บริโภคต้องใช้วิจารณญาณในการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์เพราะมีการแข่งขันสูงจากโรงงาน นอกจากนี้ มีสินค้าปลอมจากโรงงานผลิตอะไหล่ปลอมชั้นนำของประเทศออกมาแข่งขันในตลาดอะไหล่เหมาะสำหรับการขับรถทั่วไปหรือใช้งานเป็นประจำ การเลือกใช้ควรดูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบผ้าเบรกโลหะหรือผ้าเบรกกุ่ม NAO แต่ละชนิดมีผลดีและผลเสียแตกต่างกันอันมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่แตกต่างด้วยเช่นกัน

2.2 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องทดสอบ

2.2.1 ทฤษฎีความดัน (สายสุนีย์ พุทธาคุณเจริญ, 2546)

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สำหรับของไหลที่อยู่นิ่งหรือของไหลสถิต จะมีความดันเท่ากันทุกทิศทาง หน่วยของความดันคือ N/mm^2

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ความดันเฉลี่ยที่กระทำต่อผิวของวัตถุ (N/mm^2)
 F คือ แรงที่กระทำบนวัตถุ (N)
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (mm^2)

2.2.2 ทฤษฎีความร้อน (มนตรี พิรุณเกาตร, 2548)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนเมื่ออุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อมต่างกัน ความร้อนจะมีการถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปหาแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หน่วยของความร้อนในระบบเมตริกคือ กิโลแคลอรี (kcal) ในระบบอังกฤษเป็นบีทียู (BTU) ดังนั้น ความร้อน 1 kcal คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำจำนวน 1 kg ที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ 14.5°C และความดัน 1 atm หรือเท่ากับ 1.013 bar มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 15.5°C

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้น ความร้อนต่างก็เป็นพลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ซึ่งมักจะเกิดขึ้นด้วยกันเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหา จึงใช้หน่วยชนิดเดียวกันคือ จูล (J) หรือกิโลจูล (kJ) สำหรับหน่วยของงาน และความร้อนในระบบเอสไอ (SI) การเปลี่ยนหน่วย ความร้อน (kcal) มาใช้เป็นหน่วยของงาน (kJ) ทำได้โดยการใช้ค่าคงที่ที่เรียกว่า จูล หรือ Mechanical equivalent of heat; J แต่ในระบบอังกฤษความร้อนมีหน่วยเป็น บีทียู (BTU)

2.2.3 ความร้อนจำเพาะ (มนตรี พิรุณเกาตร, 2548)

ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลจำนวนหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งจะมีค่าต่างกัน อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ให้แก่วัตถุกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ความจุความร้อน (Heat capacity) ของวัตถุนั้นๆ ดังนั้นค่าความร้อนจำเพาะสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.2)$$

$$Q = mC\Delta T \quad (2.3)$$

เมื่อ	Q	คือ	ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (kJ)
	C	คือ	ความร้อนจำเพาะ (kJ / kg K)
	m	คือ	มวล (kg)
	ΔT	คือ	ความแตกต่างของอุณหภูมิ

ความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันบรรยากาศจะค่อยๆ ลดลงในช่วง 0 ถึง 35°C และมีค่าต่ำสุดประมาณ 35°C แล้วจะค่อยๆ สูงขึ้นอีก ดังนั้นความร้อนจำเพาะในสมการ (2.2) จึงเป็นค่าประมาณในช่วงอุณหภูมิ ΔT ความร้อนจำเพาะของวัตถุที่อุณหภูมิใดๆ กำหนดจาก

$$C = dQ / (m)(dT) \quad (2.4)$$

ในกรณีที่เป็น การเปลี่ยนแปลงสภาวะของแข็ง หรือของเหลว เช่น การรับ หรือการคาย ความร้อนที่ความดันคงที่ ค่าความร้อนจำเพาะที่ใช้ในกรณีนี้เรียกว่า ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

(Specific heat at constant pressure) ใช้สัญลักษณ์ C_p (ดังนั้นปริมาตรความร้อนที่ถ่ายเทเมื่อความดันคงที่หาได้จาก

$$Q = mC_p \Delta T \quad (2.5)$$

2.2.4 ความเครียด และการเปลี่ยนรูป (สุระเชษฐ์ รุ่งวัฒนพงษ์, 2544)

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกกระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก หรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic deformation or elastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยังคงกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืดและสปริง ถ้าเราดึงแล้วปล่อยจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิมการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic deformation or plastic strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิมวัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากกระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic limit) แล้ว วัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวร หรือแบบพลาสติก (Plastic deformation) นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งอีลาสติกจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากจากแรงที่กระทำต่อวัสดุแล้วจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม การวัดและคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

ความเครียดแรงอัดกับความเครียดแรงดึง ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิมดังแสดงตามสมการที่ 2.6 ประกอบไปด้วยความเครียดแรงอัดกับความเครียดแรงดึงที่แสดงในสมการที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.6)$$

เมื่อ ϵ คือ ความเครียด (mm/mm)

ϵ_c คือ ความเครียดอัด (mm/mm) ตามรูปที่ 2.4

ϵ_t คือ ความเครียดดึง (mm/mm) ตามรูปที่ 2.5

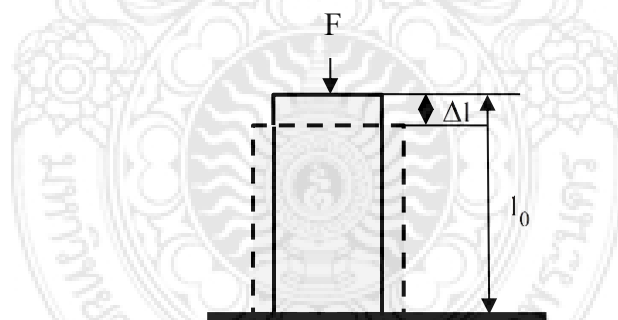
Δl คือ ความยาวของวัตถุที่เปลี่ยนไป (mm)

l_0 คือ ความยาวเดิมของวัตถุ (mm)

2.2.4.1 ความเครียดอัด (Compressive strain)

ความเครียดที่เกิดจากวัตถุถูกแรงอัดทำให้วัตถุ หดลง แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะหาค่าความเครียดอัดของวัตถุได้ตามสมการที่ 2.7

$$\epsilon_c = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.7)$$

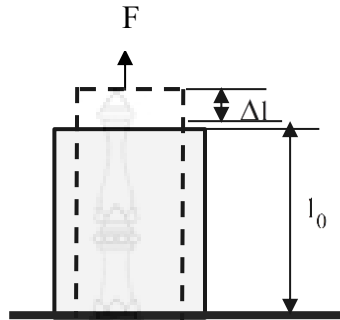


รูปที่ 2.1 ความเครียดอัด (สุระเชษฐ์ รุ่งวัฒนพงษ์, 2544)

2.2.4.2 ความเครียดดึง (Tensile strain)

ความเครียดที่เกิดจากวัตถุถูกแรงดึงทำให้ยืดออกแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะหาค่าความเครียดดึงของวัตถุได้ตามสมการที่ 2.8

$$\epsilon_t = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.2 ความเครียดดึง (สุระเชษฐ์ รุ่งวัฒนพงษ์, 2544)

2.2.5 ความเค้น (สุระเชษฐ์ รุ่งวัฒนพงษ์, 2544)

ความเค้น หมายถึงแรงต้านทานภายในของวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายในดังแสดงตามสมการที่ 2.9 ประกอบไปด้วยความเค้นดึง และความเค้นอัด ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้นที่เกิดขึ้น (N/mm^2)
 σ_c คือ ความเค้นอัด (N/mm^2) ตามรูปที่ 2.3
 σ_t คือ ความเค้นดึง (N/mm^2) ตามรูปที่ 2.4

2.2.5.1 ความเค้นแรงอัด (Compressive stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง แสดงดังรูปที่ 2.3

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.3 ความเค้นอัด (สุระเชษฐ์ รุ่งวัฒนพงษ์, 2544)

2.2.5.2 ความเค้นแรงดึง (Tensile stress)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางโดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2.4

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.4 ความเค้นดึง (สุระเชษฐ์ รุ่งวัฒนพงษ์, 2544)

2.2.6 ค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ

เป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิด และระยะการยุบตัวของวัสดุโดยค่าความยืดหยุ่นของวัสดุแสดงดังสมการที่ 2.12

$$F = kx \quad (2.12)$$

เมื่อ k คือ ค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ

x คือ ระยะยุบของวัสดุเมื่อเกิดการกด (mm)

2.2.7 พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร

เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดอัด และค่าความเค้นอัดของวัสดุที่เกิดขึ้นจากการกดวัสดุ โดยพลังงานต่อหน่วยปริมาตรแสดงดังสมการที่ 2.13

$$\frac{U}{V} = \sigma_c \times \epsilon \quad (2.13)$$

เมื่อ U คือ พลังงานภายในของวัสดุ (J)

V คือ ปริมาตรของวัสดุ (mm³)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุผสมพบว่าการทดสอบหาคูณสมบัติหลายด้านจากวัสดุผสมหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่จะทำการศึกษาโดย N.K. Naik และคณะ(2008: 474) ได้ทำการสำรวจพฤติกรรมความเครียดของวัสดุผสมด้วยวิธี Compressive split Hopkinson pressure bar (SHPB) เพื่อหาคูณสมบัติการอัดตัวในลักษณะระนาบการสั่นของวัสดุผสมระหว่างแก้ว/อีพอกซี และคาร์บอน/อีพอกซี โดยมุ่งเน้นการวัดค่าความเครียดบริเวณตำแหน่งการตัดตัวสูงสุด

นอกจากนี้ยังพบการศึกษาความเค้นและความเค้นเหนือนของวัสดุผสมคาร์บอนโดย Edgar Lara-Curzio และคณะ(1996: 230) ซึ่งได้ทำการทดสอบในห้องบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง และในห้องที่บรรจุก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1,000°C ภายใต้สภาวะความดันต่างๆ เพื่อคำนวณหาความเค้นเหนือน 1 มิติ และ 2 มิติ

สำหรับผ้าเบรคนั้น S.F. Scieszka(1980: 64) ได้มีการทดสอบคุณสมบัติทาง Tribology โดยวิธีการลากผ่านระนาบเพื่อตรวจสอบอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครื่องมือวัดไมโครสโคป และฉายรังสีเพื่อตรวจสอบความร้อนที่เกิดขึ้นหลังการทดลอง

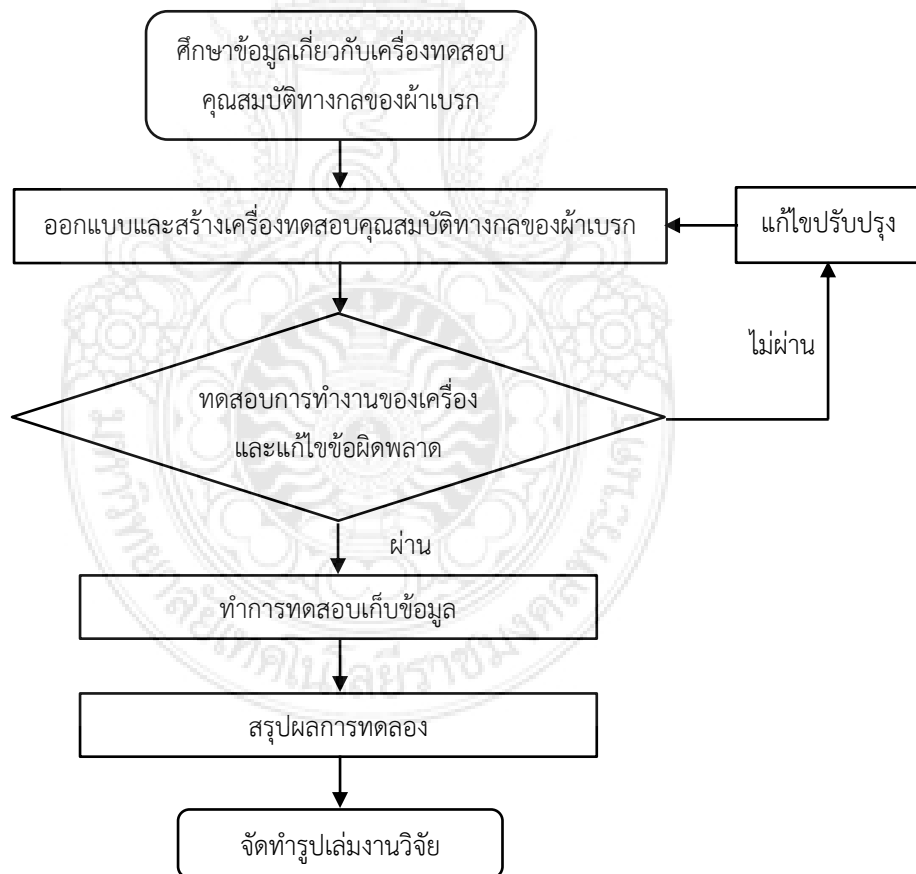
นอกเหนือจากการวิเคราะห์วัสดุผสมหลังจากการผลิตแล้ว การคำนึงถึงสารตั้งต้นก่อนการผลิตยังถูกศึกษาโดย Rukiye Ertan และคณะ(2010: 268) ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยทางกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติทาง Tribology ของวัสดุ โดยมีผลลัพธ์หลายประเด็นเช่น การต้านทานการสึกหรอและความสามารถในการรักษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

คุณสมบัติด้านการนำความร้อนก็เป็นอีกประเด็นที่มีการศึกษา โดย A. Shojaei และคณะ (2007:67) ซึ่งได้ยกเอาวัสดุความเสียดทานที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุผสมโดยมียางเป็นสารตั้งต้นพื้นฐานผสมกับสารอีกหลายชนิด และทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณ

- 3.1.1 วางแผนการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการปฏิบัติงาน
- 3.1.2 ค้นคว้าหาข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ
- 3.1.3 คำนวณและออกแบบชิ้นส่วนที่ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด
- 3.1.4 สร้างชิ้นส่วนต่างๆ ตามมาตรฐานสากล ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ตามแบบที่วางไว้
- 3.1.5 ทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.2 การดำเนินการสร้าง

ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ในการสร้างเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 แผ่นรองรับวัสดุ

แผ่นรองรับวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่รองรับวัสดุที่จะทำการทดสอบโดยใช้การกด ขนาดความกว้าง และความยาวของแผ่นระนาบถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับผ้าเบรกที่จะใช้ในการทดสอบซึ่งมีขนาดความกว้าง 25 mm ยาว 25 mm หนา 10 mm ส่วนความหนาของแผ่นรองรับวัสดุถูกกำหนดเพื่อให้สามารถรับความร้อนได้ถึง 400°C โดยที่แผ่นรองรับวัสดุไม่เกิดการโก่งตัว ซึ่งมีขนาดความกว้าง 100 mm ยาว 100 mm หนา 30 mm แล้วมีมวล 1.5 kg แสดงดังรูปที่ 3.2



(ก) ดิสก์เบรก

(ข) ดรัมเบรก

รูปที่ 3.2 แผ่นรองรับวัสดุ

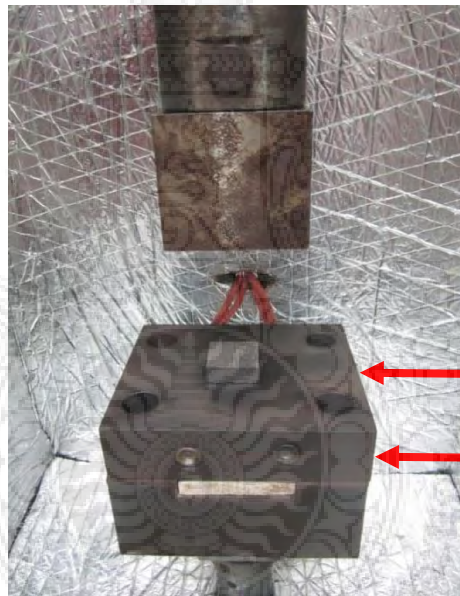
3.2.2 ชุดให้ความร้อน (Heater)

ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับแผ่นรองรับวัสดุ โดยที่สามารถให้ความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 400°C ตามที่ถูกรอกแบบขั้นตอนการทดสอบไว้ โดยทางคณะผู้จัดทำได้เลือกชุดให้ความร้อนแบบแท่ง แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ชุดให้ความร้อน (Heater)

3.2.3 คำนวณหาขนาดชุดให้ความร้อน (Heater)



Stage 1 = 30 °C

Stage 1 = 400 °C

รูปที่ 3.4 ชุดให้ความร้อนของแผ่นรองวัสดุ

จากสมการที่ (2.5)

$$Q = mc_p \Delta T$$

กำหนด

$$c_p = 440 \text{ J/kg.K}$$

$$= 1.5 \times 440 \times (400 - 29)$$

$$Q = 244860 \text{ J}$$

ใช้เวลา 15 นาทีเพื่อทำให้ที่แผ่นรองวัสดุมีอุณหภูมิ 400 °C

ดังนั้น

$$Q = \frac{244860}{(15 \times 60)} = 272.067 \text{ W}$$

ใช้ค่า Safety Factor เท่ากับ 2

$$Q = 544 \text{ W}$$

ดังนั้น ขนาดฮีตเตอร์ (Heater) ที่ใช้มีขนาด 600 W

3.2.4 ฐานรองรับวัสดุ

ฐานรองรับวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่รองรับแผ่นรองรับวัสดุ และยึดแผ่นรองรับวัสดุเข้ากับเครื่องทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฐานรองรับแผ่นรองรับวัสดุ

3.2.5 หัวกดวัสดุ

หัวกดวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่กดวัสดุ แสดงดังรูปที่ 3.6



(ก) ดิสก์เบรก



(ข) ดรัมเบรก

รูปที่ 3.6 หัวกดวัสดุ

3.2.6 แท่นกดวัสดุ

แท่นกดวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และความแข็งแรง ทำหน้าที่ยึดหัวกดวัสดุเข้ากับเครื่องทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แท่นกดวัสดุ

3.2.7 กล่องครอบวัสดุ

ทำหน้าที่ครอบวัสดุ และป้องกันไม่ให้ความร้อนออกมาจากชุดให้ความร้อน (Heater) โดยมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กล่องครอบวัสดุ

บทที่ 4

วิธีการทดสอบและผลการทดลอง

ในการทำโครงการนี้หลังจากทำการออกแบบและการสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้อุณหภูมิต่างๆของผ้าเบรก จะต้องมีการทดสอบหาประสิทธิภาพเพื่อทำการประเมินผลการทดสอบ โดยมีขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

- 4.1 การเตรียมการทดสอบ
- 4.2 วิธีการทดสอบ
- 4.3 ผลการทดสอบ

4.1 การเตรียมการทดสอบ

4.1.1 การเตรียมเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก

การเตรียมเครื่องทดสอบเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบการกดผ้าเบรกที่ความดันต่างๆ โดยมีแท่งกดผ้าเบรกที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวดิ่ง แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเตรียมความพร้อมเครื่องทดสอบ

4.1.2 การติดตั้งกล่องครอบวัสดุเข้ากับเครื่องทดสอบ

การติดตั้งกล่องครอบวัสดุโดยภายในกล่องครอบวัสดุนี้สามารถรักษาอุณหภูมิการทดสอบให้มีค่าค่อนข้างคงที่ เพื่อผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยการติดตั้งตู้กล่องครอบวัสดุ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การติดตั้งกล่องครอบวัสดุกับเครื่องทดสอบ

4.1.3 การติดตั้งโหลดเซลล์เข้ากับแท่งกดวัสดุ

การติดตั้งโหลดเซลล์เพื่อใช้ในการรับค่าของแรงที่กดวัสดุทดสอบและส่งค่าการทดสอบไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4.3



โหลดเซลล์

รูปที่ 4.3 การติดตั้งโหลดเซลล์เข้ากับแท่งกดวัสดุ

4.1.4 การติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ

การติดตั้งหัวกดวัสดุนี้จะใช้สลักเป็นตัวยึดเข้ากับแท่งกดวัสดุ ทั้งกรณีหัวกดของดิสก์เบรกและดรัมเบรก ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ

4.1.5 การติดตั้งฐานรองรับวัสดุ

ฐานรองรับแผ่นรองรับวัสดุเป็นชิ้นส่วนที่อยู่บริเวณล่างสุดของชุดทดสอบ มีหน้าที่เป็นตัวรับแรงกดที่เกิดจากแท่งกดวัสดุ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การติดตั้งฐานรองรับวัสดุ

4.1.6 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน

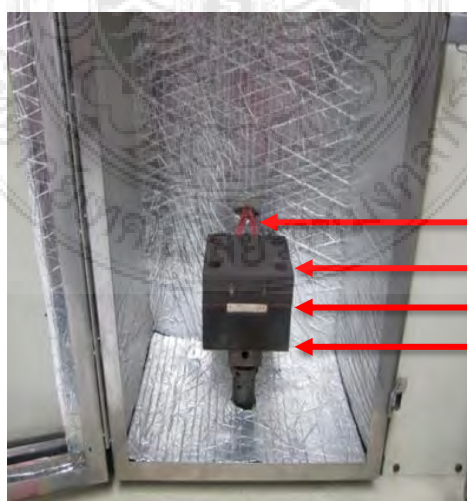
การติดตั้งฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากชุดกำเนิดความร้อนถ่ายเทไปยังชุดทดสอบวัสดุ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน

4.1.7 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน

การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุโดยต่อสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน โดยการเตรียมการทดสอบที่เสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.7



สายไฟ (ชุดกำเนิดความร้อน)

แผ่นรองรับวัสดุ

ฉนวน

ฐานรองรับวัสดุ

รูปที่ 4.7 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน

4.2 วิธีการทดสอบ

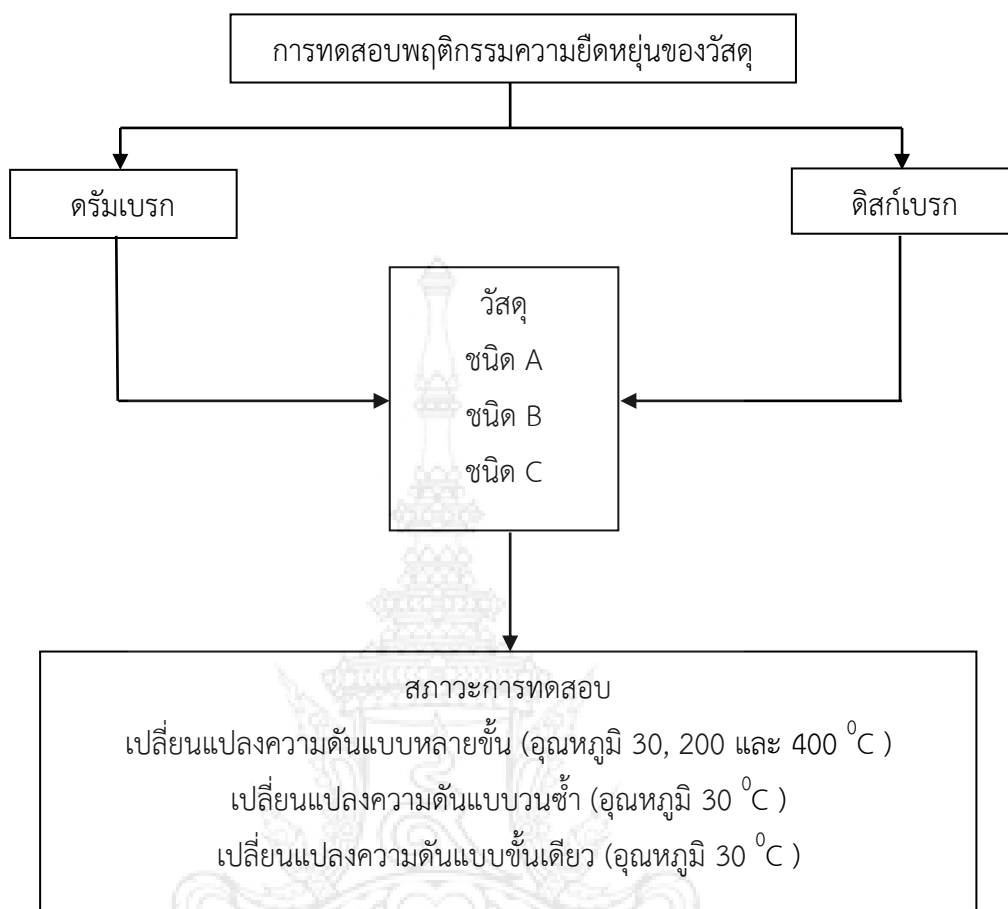
สำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของผ้าเบรกทั้ง 2 ชนิด คือดิสก์เบรก และดรัมเบรคนั้น ทางคณะผู้จัดทำโครงการได้อ้างอิงกระบวนการทดสอบ JIS D 4413 โดยกระบวนการทดสอบดังกล่าวจะพิจารณาถึงตัวแปรดังต่อไปนี้คือ ระยะเวลาขยับตัว ค่าความเค้นอัด และความเครียดอัด ของวัสดุ ภายใต้อุณหภูมิและความดันต่างๆ โดยการทดสอบนั้นจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 การทดสอบหลักคือ การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ (k) และการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ $\frac{U}{V}$

4.2.1 การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ

การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะใช้สภาวะการทดสอบตามตารางที่ 4.1 ซึ่งรูปแบบการทดสอบนี้เสมือนดังการจำลองการการเบรกในขณะขับซึ่งจริงในสภาวะการเบรกแบบต่างๆ โดยรูปแบบการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.1 สภาวะการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ (JIS D 4413: 1998)

สภาวะการจำลองการเบรก	ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาคงตำแหน่งการกด (sec)	กระทำซ้ำ (ครั้ง)	ชนิดผ้าเบรก	
					แบบดิสก์	แบบดรัม
เตรียมการใช้งาน	0.50	30	600	-	●	●
เปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น	1.50	30, 200 และ 400	60	-	-	●
	3.00	30, 200 และ 400	60	-	-	●
	4.00	30, 200 และ 400	60	-	●	-
	6.00	30, 200 และ 400	60	-	●	-
	8.00	30, 200 และ 400	60	-	●	-
เปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ	0 – 3.00	30	-	5		●
	0 – 8.00	30	-	5	●	
เปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว	0 – 3.00	30	-			●
	0 – 8.00	30	-		●	



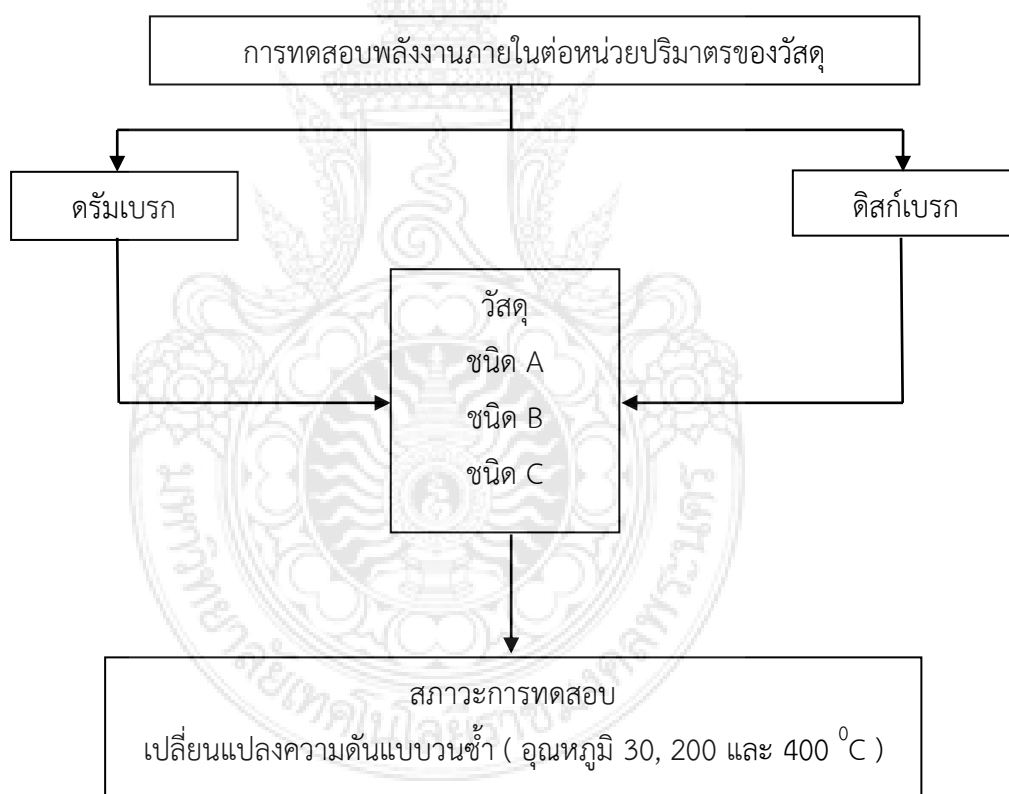
รูปที่ 4.8 รูปแบบการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ

4.2.2 การทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

การทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะพิจารณาจากผลคูณของค่าความเค้นอัดและความเครียดอัดของวัสดุ อันเป็นผลจากความสัมพันธ์ระยะยืดตัว และระยะการคืนตัวของวัสดุ รูปแบบการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุดังรูปที่ 4.9 อย่างไรก็ตามสภาวะการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้นจะทำการทดสอบตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สภาวะการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

สภาวะการจำลอง การเบรก	ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาคง ตำแหน่งการ กด (sec)	กระทำซ้ำ (ครั้ง)
เตรียมการใช้งาน	0.50	30	600	-
เปลี่ยนแปลงความ ดันแบบวนซ้ำ	0 – 3.00	30, 200 และ 400	-	-
	0 – 8.00	30, 200 และ 400	-	-



รูปที่ 4.9 รูปแบบการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

4.3 ผลการทดสอบ

4.3.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของผ้าเบรกแบบดรัมเบรก และดิสก์เบรก

4.3.1.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของผ้าเบรกแบบดรัมเบรก และดิสก์เบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30, 200 และ 400 °C

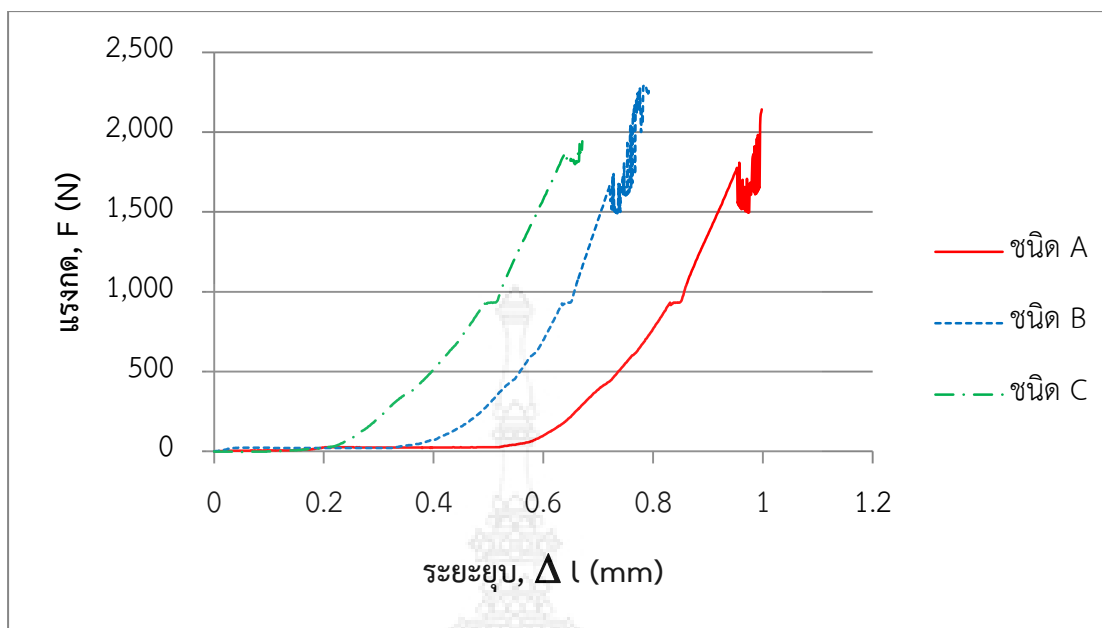
ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของผ้าเบรกแบบดรัมเบรก และดิสก์เบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30, 200 และ 400 °C ดังตารางที่ 4.3 ถึง 4.8

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดรัมเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)	
		@ 1.50 MPa	@ 3.00 MPa
A	10.61	0.18	0.98
B	11.36	0.65	0.75
C	10.54	0.51	0.67

หมายเหตุ : ความหนาเริ่มต้น, l_0 เป็นผลจากการวัดความหนาของวัสดุทดสอบจำนวน 5 จุด แล้วนำค่ามาหาผลเฉลี่ย

: ระยะยุบ, Δl เป็นผลจากการตรวจวัดระยะที่วัสดุยุบตัวภายใต้การกดสภาวะต่างๆ ซึ่งค่าที่ได้มาจากการแสดงผลตามโปรแกรมทดสอบ

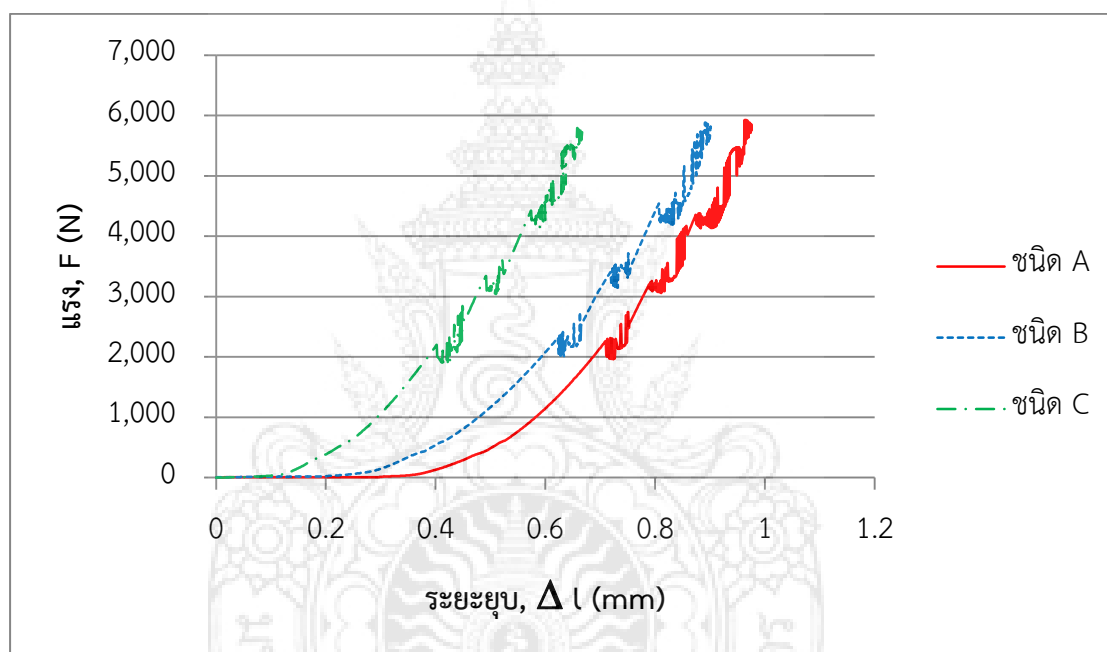


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยวบของผ้าเบรกแบบดรัมในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

จากรูปที่ 4.10 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 30 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดรัมเบรก ชนิด A มีระยะยวบตัวมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.98 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยวบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.75 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 23.48% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยวบตัวน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.67 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 31.91%

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย
ชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)		
		@ 4.00 MPa	@ 6.00 MPa	@ 8.00 MPa
A	10.91	0.73	0.84	0.95
B	10.64	0.66	0.76	0.86
C	10.17	0.43	0.54	0.63

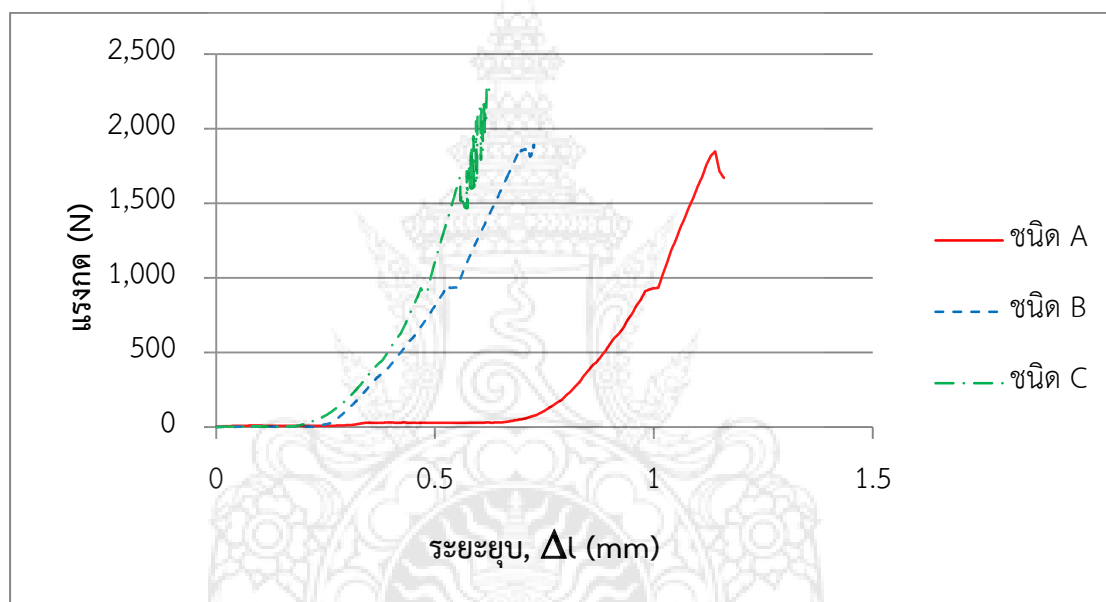


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์เบรกในสภาวะการเปลี่ยนแปลง
ความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

จากรูปที่ 4.11 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุม
อุณหภูมิแบบคงที่ 30 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งมีค่า
เท่ากับ 0.95 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.86 mm
โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 8.81% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัว
น้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.63 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 33.15%

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย
ชั้นของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)	
		@ 1.50 MPa	@ 3.00 MPa
A	10.61	1.01	1.14
B	11.36	0.55	0.72
C	10.54	0.50	0.60

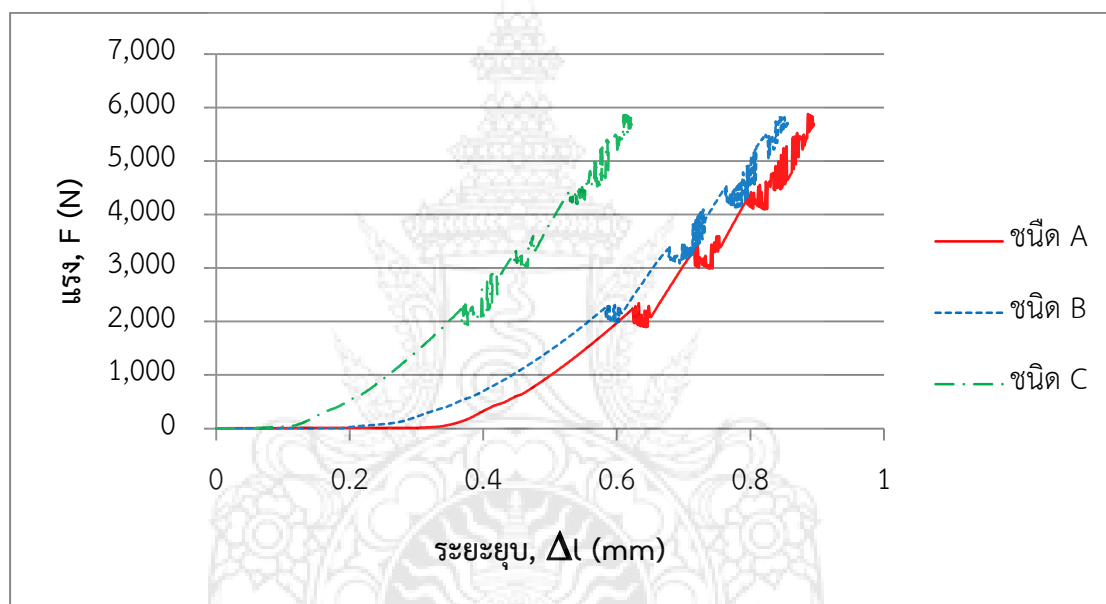


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัมในสภาวะการเปลี่ยนแปลง
ความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C

จากรูปที่ 4.12 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุม
อุณหภูมิแบบคงที่ 200 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดรัมเบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งค่า
เท่ากับ 1.14 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.72 mm
โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 36.22% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัว
น้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.60 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 46.57%

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย
ชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)		
		@ 4.00 MPa	@ 6.00 MPa	@ 8.00 MPa
A	10.91	0.67	0.77	0.84
B	10.64	0.62	0.71	0.80
C	10.17	0.41	0.49	0.56

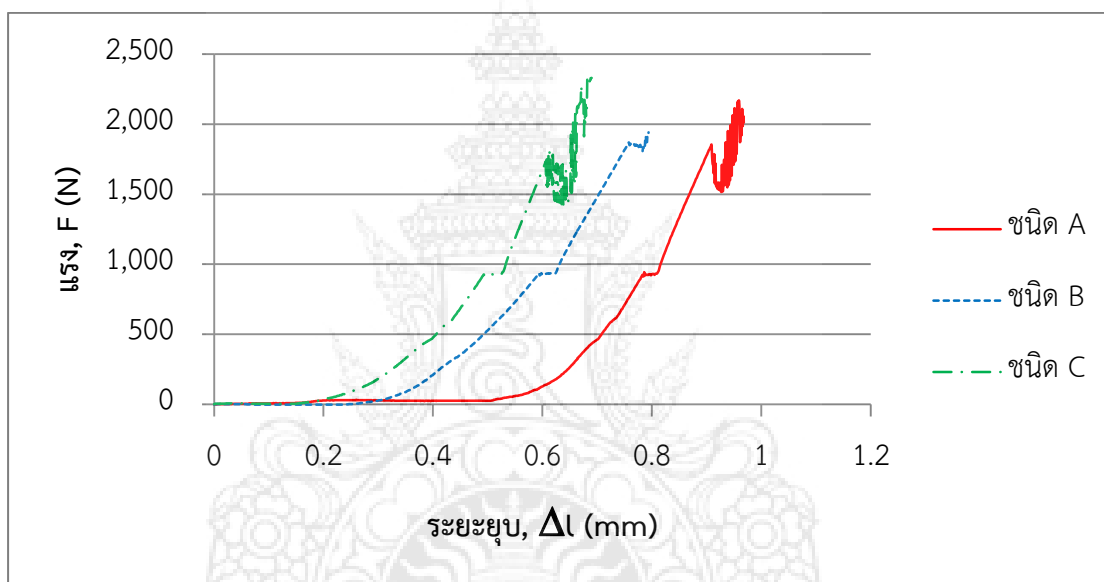


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการเปลี่ยนแปลง
ความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C

จากรูปที่ 4.13 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 200 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.84 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 4.86% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัวน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.57 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 32.54%

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย
ชั้นของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 kPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)	
		@ 1,500 MPa	@ 3,000 MPa
A	10.61	0.87	0.96
B	11.36	0.69	0.79
C	10.74	0.58	0.69

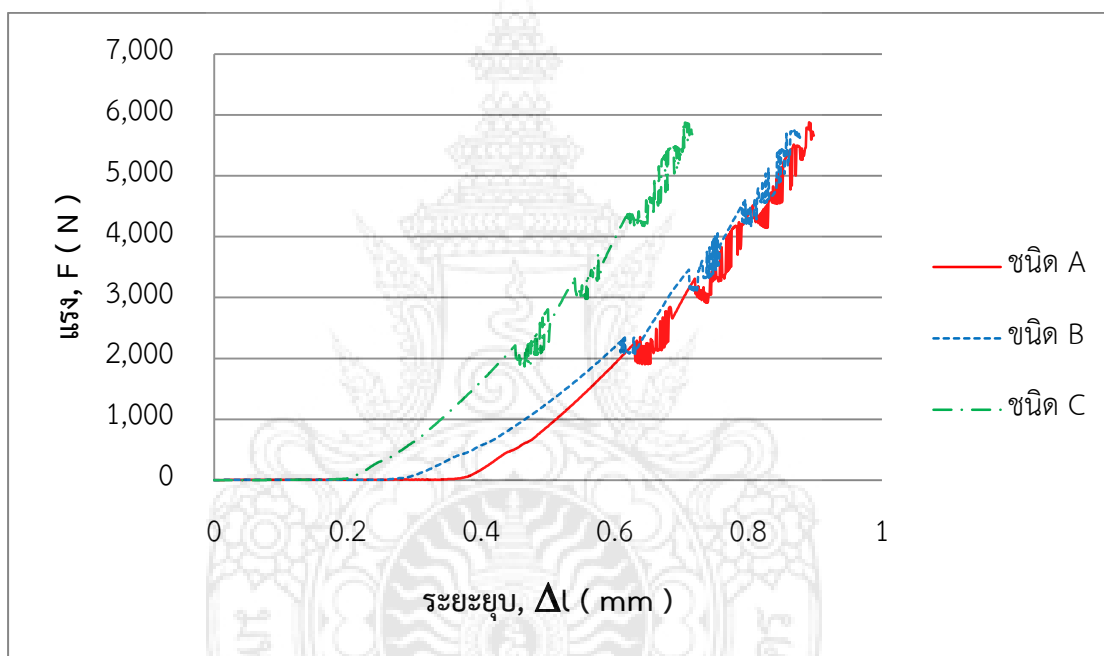


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัมในสภาวะการ
เปลี่ยนแปลงความดันหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C

จากรูปที่ 4.14 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุม
อุณหภูมิแบบคงที่ 400 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดรัมเบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งค่า
เท่ากับ 0.91 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.79 mm
โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 17.37% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัว
น้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.69 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 28.19%

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย
ชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)		
		@ 4.00 MPa	@ 6.00 MPa	@ 8.00 MPa
A	10.91	0.68	0.78	0.84
B	10.64	0.65	0.74	0.83
C	10.17	0.49	0.59	0.65



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการเปลี่ยนแปลง
ความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C

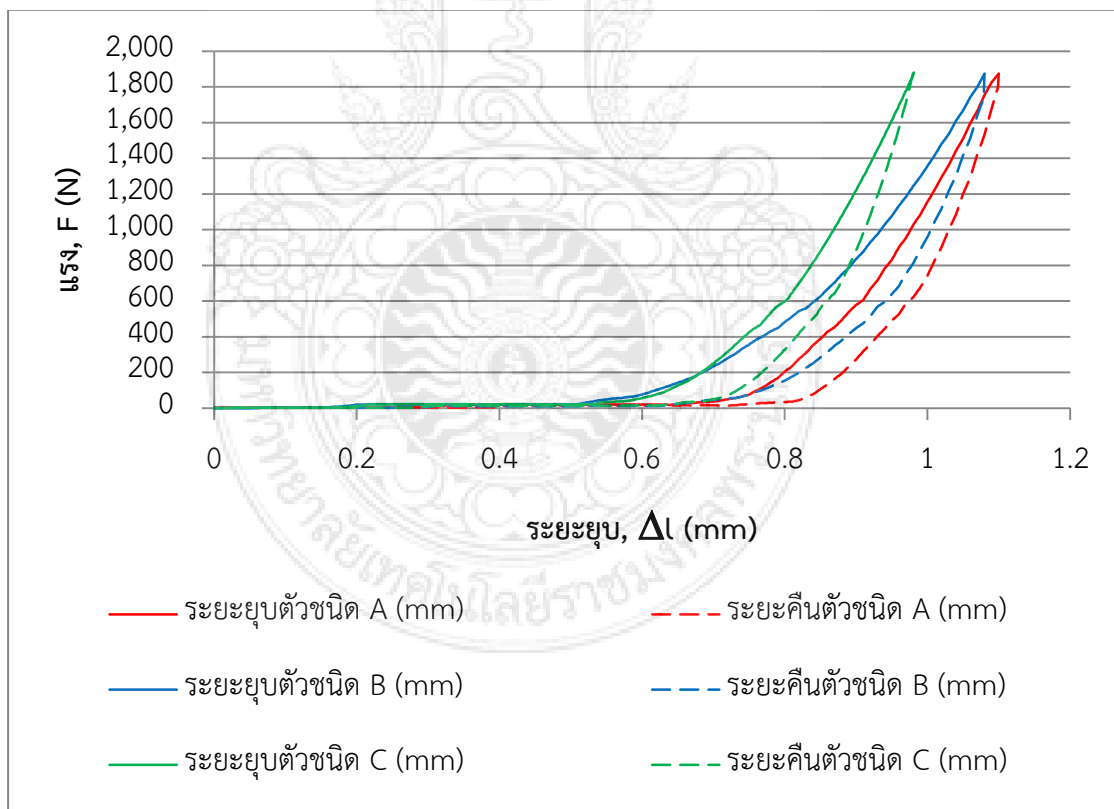
จากรูปที่ 4.13 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกด ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 400 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งค่าเท่ากับ 0.84 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.83 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 1.19% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัวน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.65 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 21.66%

4.3.1.2 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของผ้าเบรกแบบดรัมเบรกและดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของผ้าเบรกแบบดรัมเบรกและดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C แสดงดังตารางที่ 4.9 ถึง 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของ ดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa

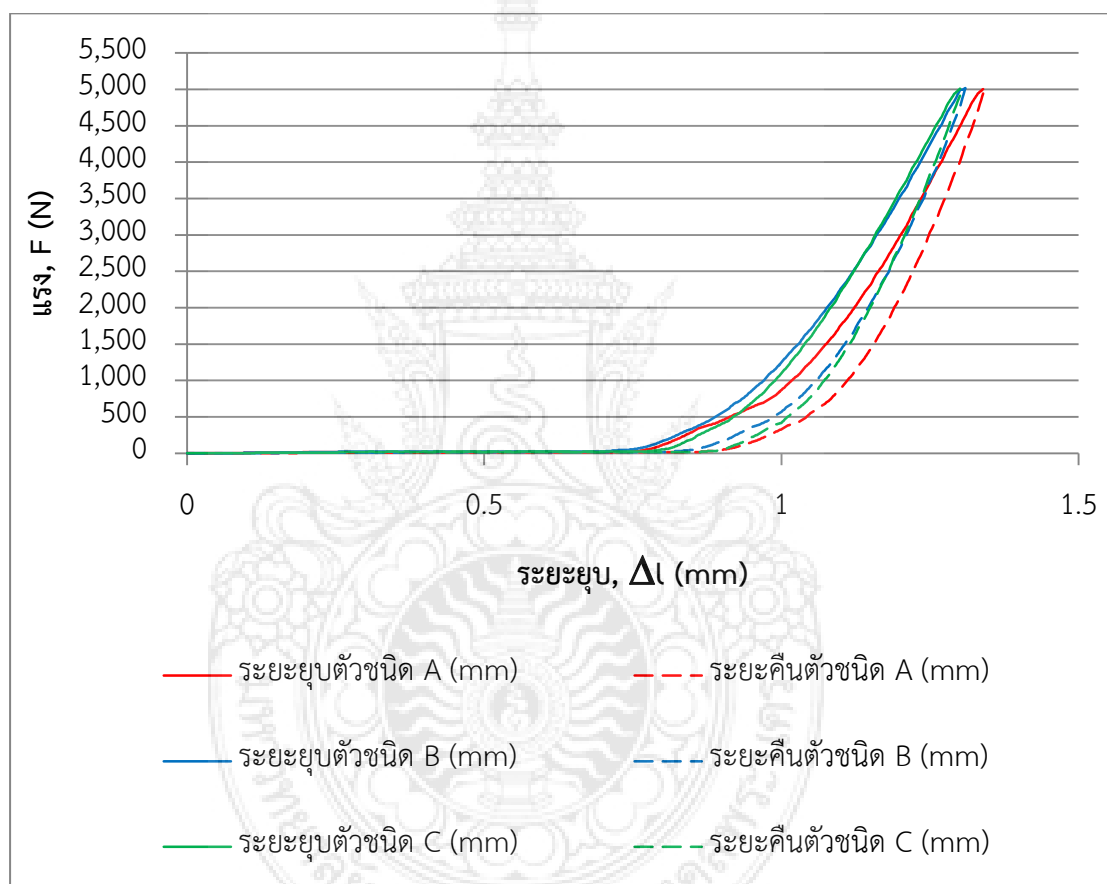
ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)
A	10.61	1.12
B	11.36	1.09
C	10.54	0.99



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัมในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa

ดิสก์เบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)
A	10.17	1.30
B	10.64	1.27
C	10.91	1.25



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

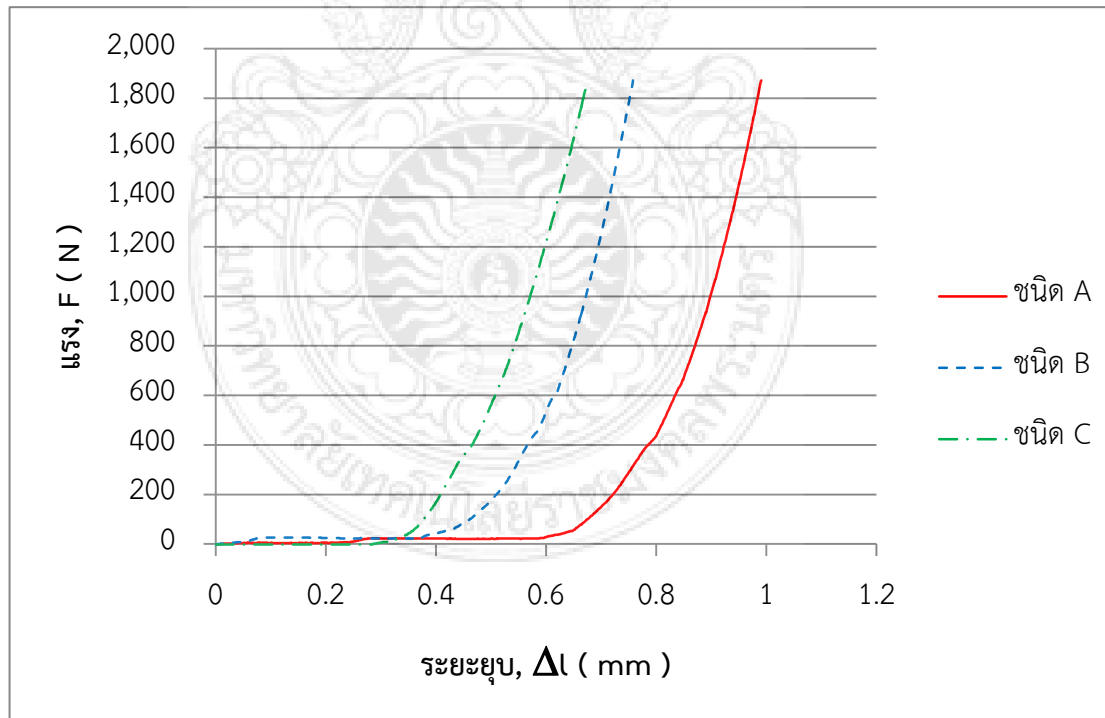
จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงให้เห็นว่า ความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแบบดิสก์มีพฤติกรรมเดียวกับผ้าเบรกแบบดรัม โดยค่าสูงสุดของระยะยุบตัวของผ้าเบรกชนิด A มีค่าสูงสุดและผ้าเบรกชนิด C มีค่าต่ำสุด ภายใต้แรงกดคงที่

4.3.1.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว ของผ้าเบรกแบบดรัมเบรก และดิสก์เบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว ของผ้าเบรกแบบดรัมเบรก และดิสก์เบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C แสดงดังตารางที่ 4.11 ถึง 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa

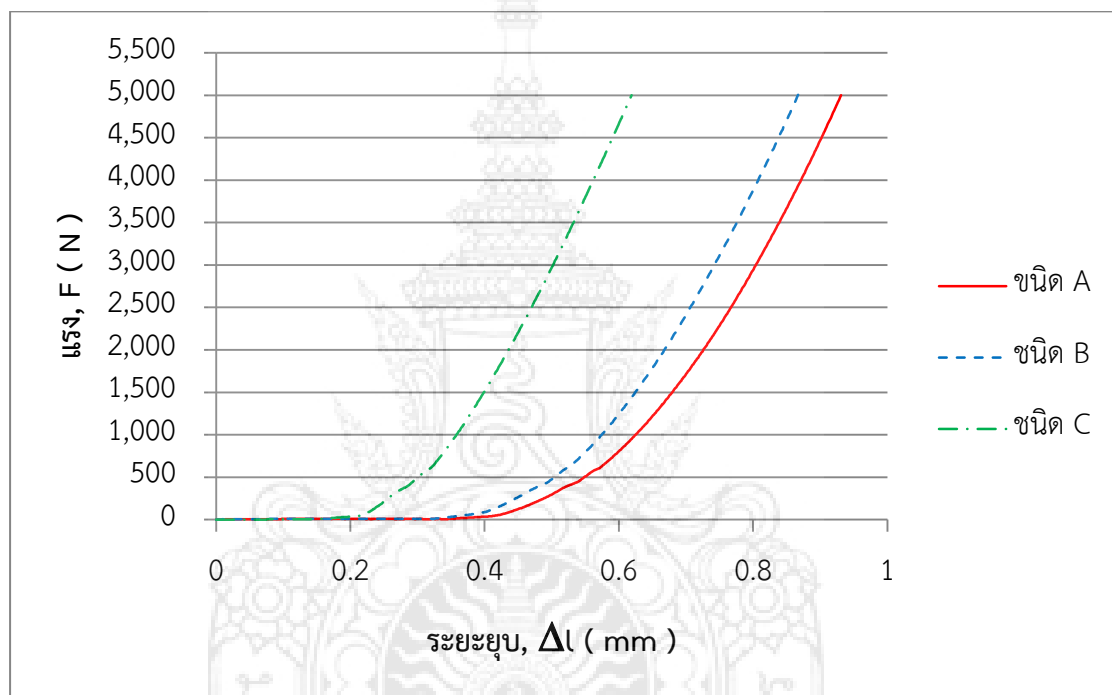
ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)
A	10.61	0.99
B	11.36	0.75
C	10.54	0.67



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัมในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa

ดิสก์เบรก	ความหนาเริ่มต้น, l_0 (mm)	ระยะยุบ, Δl (mm)
A	10.91	0.93
B	10.64	0.86
C	10.170	0.47

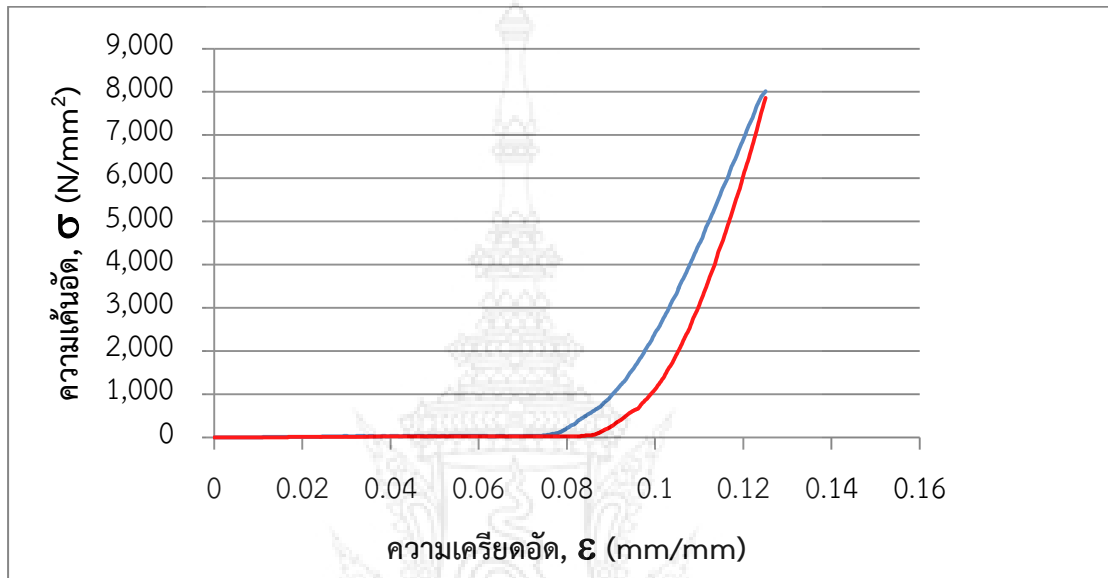


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

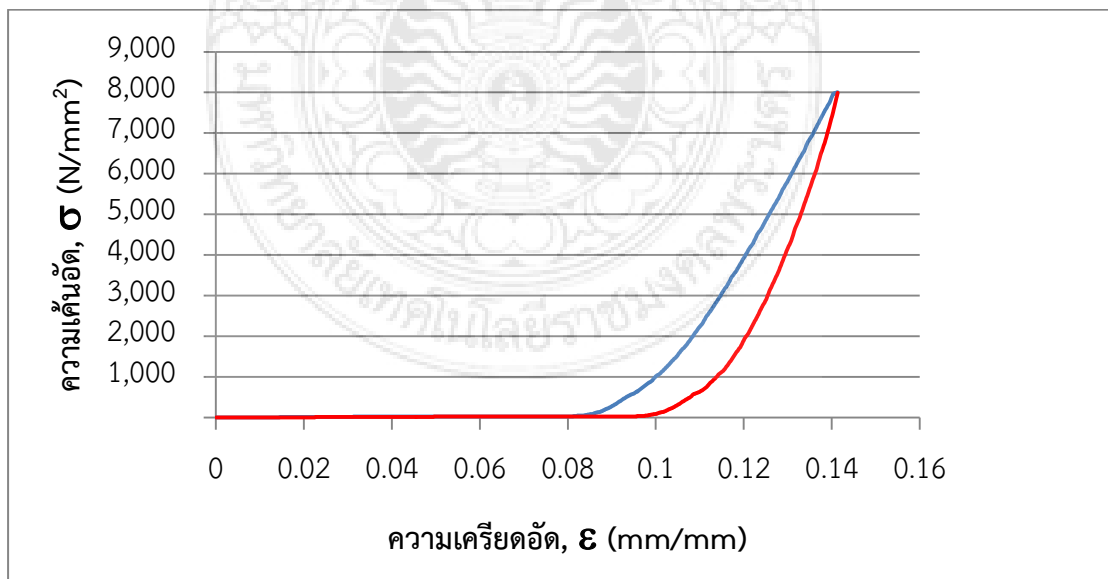
จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 ภายใต้แรงกดคงที่ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวพบว่าทั้งในกรณีดรัมเบรกและดิสก์เบรก ค่าระยะการยุบตัวต่ำสุดเป็นของผ้าเบรกชนิด C ในขณะที่ระยะยุบตัวของผ้าเบรกชนิด A มีค่าสูงสุด ซึ่งค่าระยะการยุบตัวของผ้าเบรกดังกล่าวส่งผลให้พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกชนิด C มีค่าสูงที่สุด

4.3.2 ผลการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

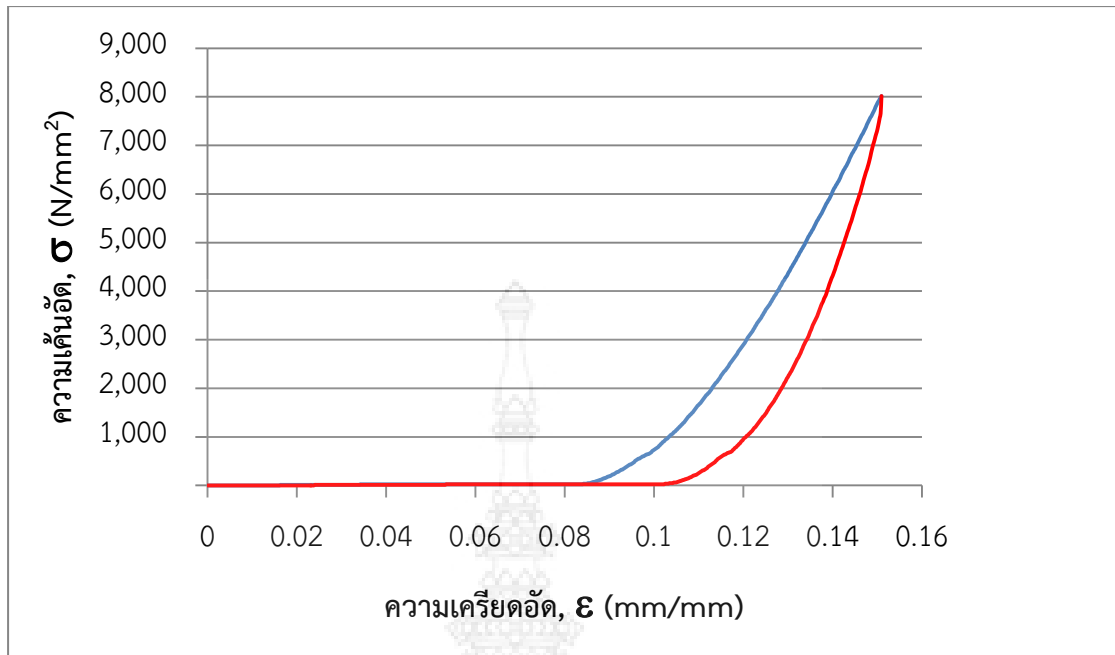
สำหรับพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุทั้ง 3 ชนิด (A, B และ C) พิจารณาจากความเค้นอัดและความเครียดอัด อันเป็นผลมาจากกระแยะยุบตัวและกระแยะคืบตัว ด้วยเงื่อนไขการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวอร์ซ้าภายใต้อุณหภูมิ 30, 200 และ 400 °C



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด A

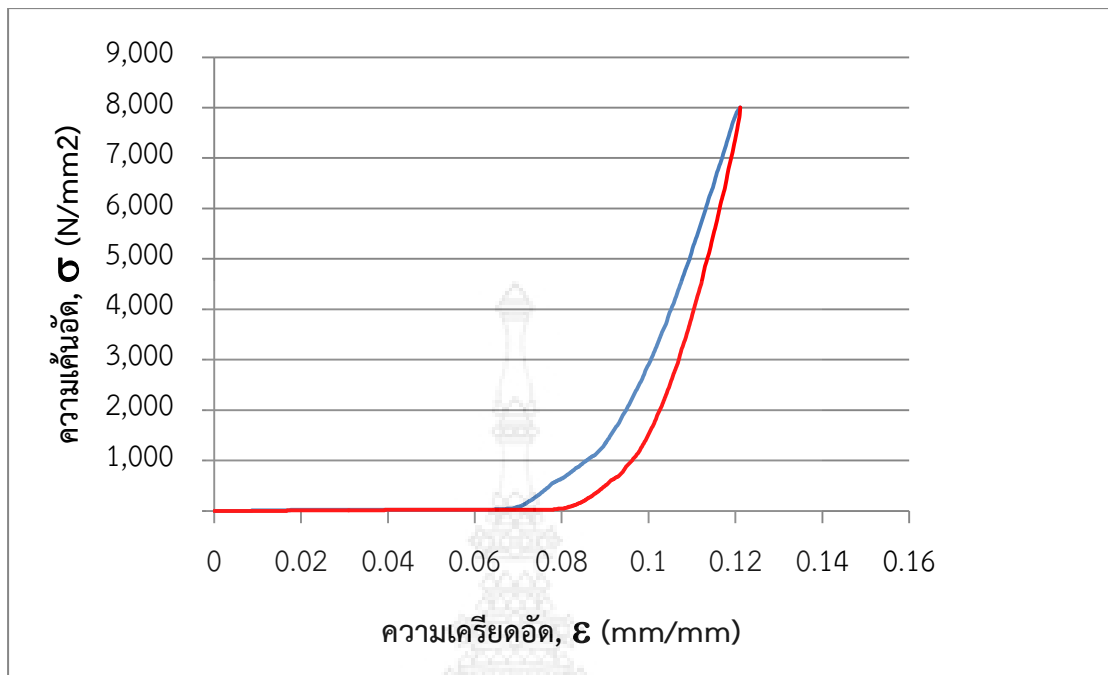


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด A

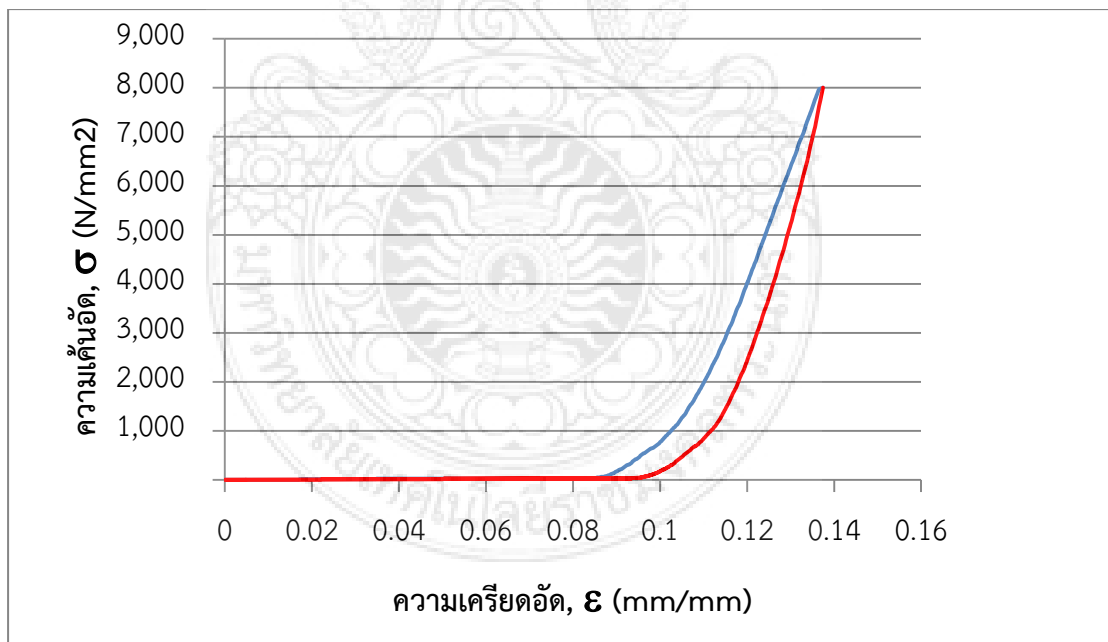


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด A

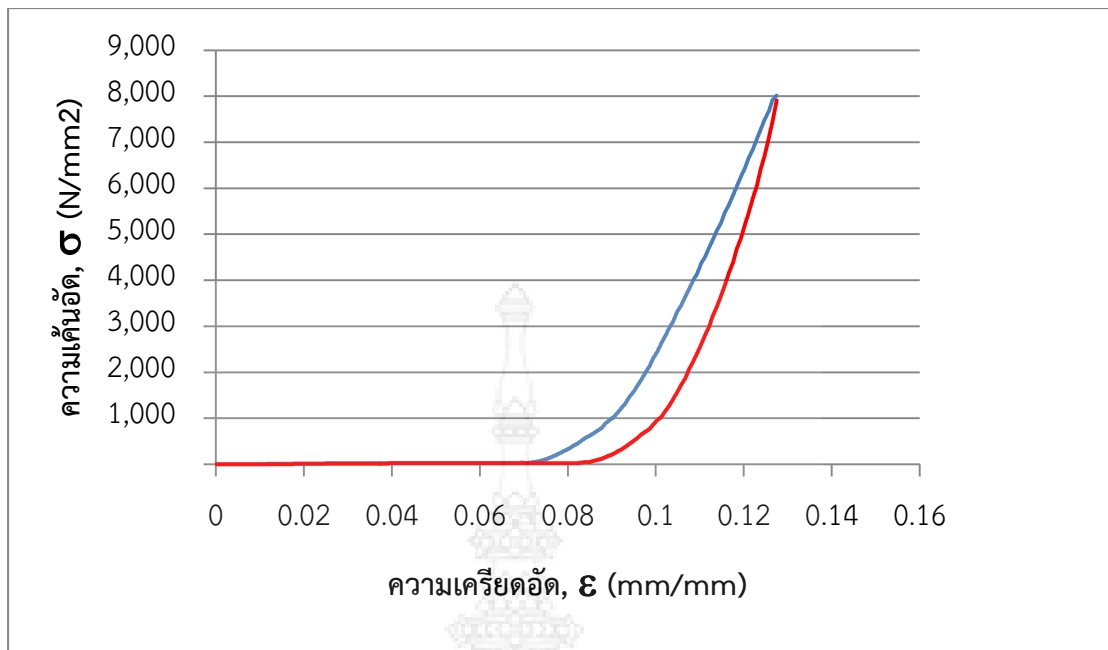
จากรูปที่ 4.20 ถึง 4.22 กราฟแสดงพฤติกรรมของพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร ของผ้าเบรกแบบดิกส์ชนิด A ภายใต้ความเค้นอัดของการทดสอบคงที่ที่ 8,000 N/mm² ส่งผลให้ค่าความเครียดอัดสูงสุด ระดับปานกลาง และต่ำสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 400, 200 และ 30 °C ตามลำดับ ดังนั้นส่งผลให้ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรเกิดขึ้นมากที่สุด และน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 400 และ 30 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 30 °C
ของผ้าเบรกชนิด B

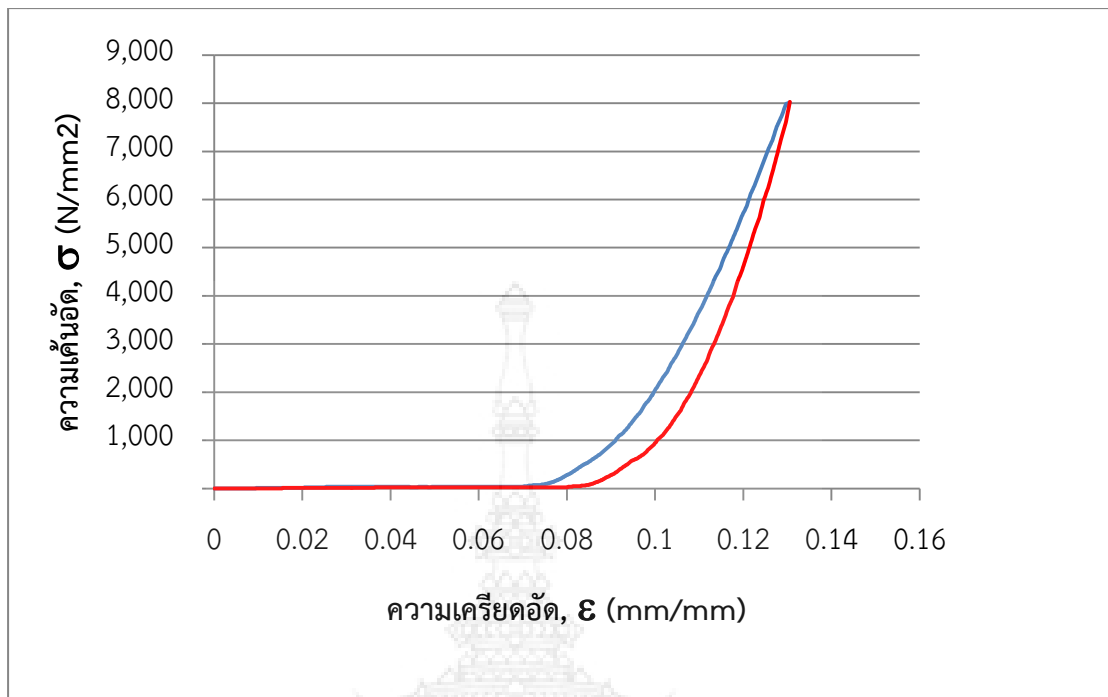


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 200 °C
ของผ้าเบรกชนิด B

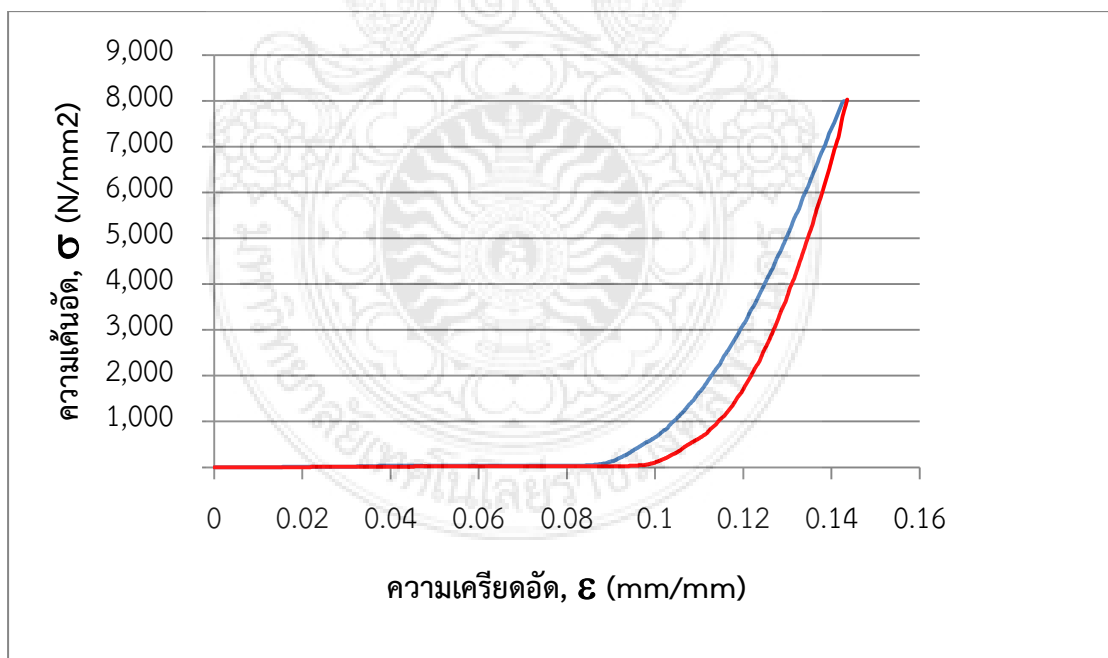


รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด B

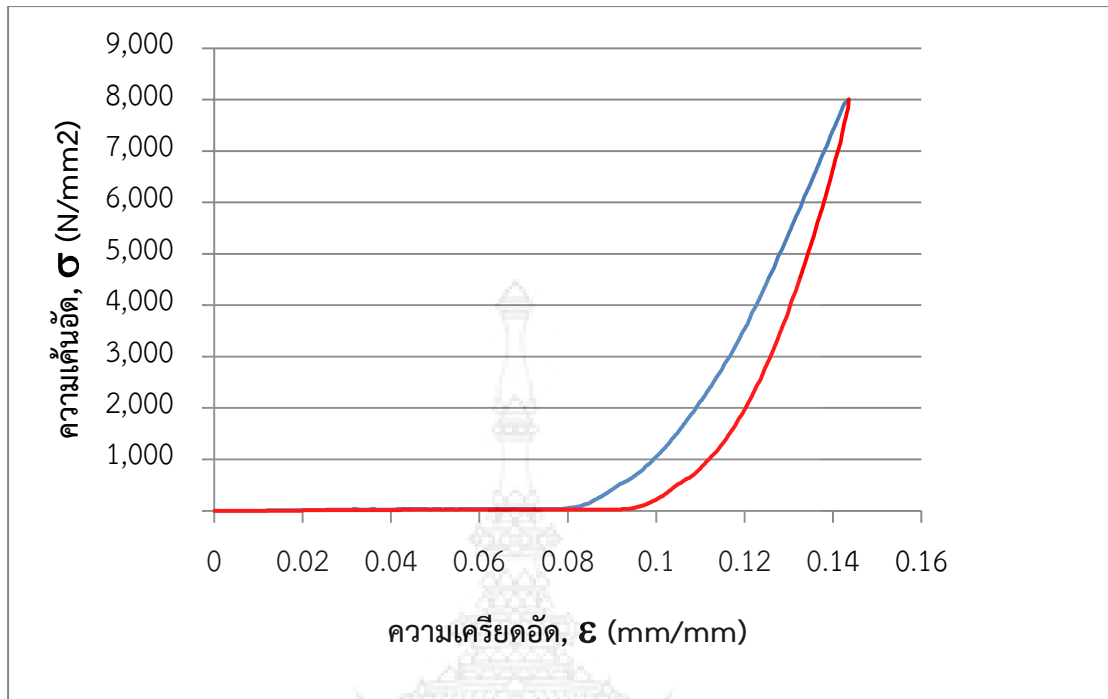
สำหรับค่าความเครียดอัดของผ้าเบรกชนิด B ที่อุณหภูมิ 400 °C มีค่าสูงสุด ดังรูปที่ 4.25 ดังนั้นค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรมีค่าสูงสุดตามไปด้วย ในทางกลับกันตามรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าค่าต่ำสุดของความเครียดอัดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งส่งผลให้พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำสุดอีกด้วย



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด C



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด C



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด C

ผลการทดสอบของผ้าเบรกชนิด C ตามรูปที่ 4.26 ถึง 4.28 พบว่าค่าความเครียดอัดที่อุณหภูมิ 400 °C มีค่าสูงสุดในขณะที่ค่าต่ำสุดของความเครียดอัดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งสรุปได้ว่าค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกชนิด C นี้ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่อุณหภูมิ 400 °C และ 30 °C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 สรุปผลการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกชนิดต่างๆในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิต่างๆ

ดิสก์เบรก	ส่วนประกอบของผ้าเบรกโดยประมาณ (%)				อุณหภูมิ (°C)	พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร (J/mm ³)
	ไฟเบอร์	สารหล่อลื่น	เหล็ก, ทองแดง	อื่นๆ		
ชนิด A	2	10	5	83	30	0.44
					200	0.69
					400	0.85
ชนิด B	15	15	6	64	30	0.42
					200	0.46
					400	0.57
ชนิด C	18	13	15	54	30	0.47
					200	0.50
					400	0.62

การพิจารณาพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรใช้ระบบการคำนวณตามระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม (Steven C. Chapra, 2008) โดยผลของพลังงานภายในจากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่อุณหภูมิ 30°C ผ้าเบรกชนิด B มีค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูงสุด ส่วนพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรต่ำสุดเป็นของผ้าเบรกชนิด A ในกรณีของการทดสอบที่อุณหภูมิ 200 °C ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรต่ำสุดและสูงสุดเป็นของผ้าเบรกชนิด B และ A ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดของการทดสอบที่ 400 °C เปิดเผยให้เห็นว่า ผ้าเบรกชนิด A และผ้าเบรกชนิด B มีค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาแนวทางการทดสอบพฤติกรรมผ้าเบรกภายใต้สภาวะการรับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ พฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุจะเปลี่ยนไปตามการเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 30, 200 และ 400 °C

นอกจากนี้การหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรกที่ได้จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่น และพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุอย่างมาก

ในขณะที่การเปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ของค่าคุณสมบัติทางกลจากส่วนผสมผ้าเบรกที่ต่างกัน ภายใต้ขั้นตอนการทดสอบบางส่วนที่อ้างอิงจากมาตรฐาน JIS D 4413 พบว่าเมื่อวัสดุได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 30, 200 และ 400 °C พฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุจะเปลี่ยนไปตามการเพิ่มแรงกด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก และดรัมเบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุด ในขณะที่เดียวกันผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลาง และผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัวน้อยที่สุด

จากผลการสำรวจปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกล ยังสามารถสะท้อนให้เห็นว่าสารหล่อลื่นส่งผลกระทบต่อแปรผันผกผันกับค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิกงที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเปลี่ยนชุดให้ความร้อนเป็นแบบขดลวดเพื่อให้ค่าความร้อนคงที่

5.2.2 เพื่อความแม่นยำของผลการทดสอบ พื้นที่สัมผัสของวัสดุทดสอบควรเรียบ

บรรณานุกรม

- มนตรี พิรุณเกาตร. 2548. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.
- สายสุนีย์ พุทธาคุณเจริญ. 2546. **ชลศาสตร์**. กรุงเทพฯ: ไลบรารี.
- สุระเชษฐ์ รุ่งวัฒนพงษ์. 2544. **กลศาสตร์ของแข็ง**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- Edgar Lara-Curzio, David Bowers and Mattison K. Ferber. 1996. The interlaminar tensile and shear behavior of a unidirectional C---C composite. **Journal of Nuclear Materials** 230: 226-232.
- International Organization for Standardization, **Road Vehicles-Brake Linings-Compressive Strain Method**. (ISO 6310): Geneva; 2001.
- Japanese Standard Association, **Automotive parts-Brake linings and disc brake pads: Compressibility test procedure**. (JIS D 4413): The Association; 1998.
- Naik, N.K. and Venkateswara Rao Kavala. 2008. High strain rate behavior of woven fabric composites under compressive loading. **Materials Science and Engineering** 474: 301-311.
- Rukiye Ertan and Nurettin Yavuz. 2010. An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials. **Wear** 268: 1524-1532.
- Scieszka, S.F. 1980. Tribological phenomena in steel-composite brake material friction pairs. **Wear** 64: 367-378.
- Shojaei, A., Fahimian, M. and Derakhshandeh, B. 2007. Thermally conductive rubber-based composite friction materials for railroad brakes – Thermal conduction characteristics. **Composites Science and Technology** 67: 2665-2674.
- Steven C. Chapra and Raymond P. Canale. 2008. **Numerical Methods for Engineers**. 6th ed. Mcgraw-Hill.

ภาคผนวก
คู่มือการใช้งานเครื่อง



วิธีการใช้งาน

1. เตรียมเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก
2. ติดตั้งกล่องครอบวัสดุกับเครื่องทดสอบ
3. ติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกดวัสดุ
4. ติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ
5. ติดตั้งฐานรองรับวัสดุ
6. ติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน
7. ติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและต่อสายสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน
8. ป้อนคำสั่งการกดด้วยโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์
9. ตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนเริ่มทำการทดสอบ
10. ทำการทดสอบตามตารางการทดสอบ (4.1 และ4.2)
11. บันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง
12. เมื่อทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ปิดสวิตซ์ OFF ที่เครื่องทดสอบและชุดกำเนิดความร้อน
13. หลังจากการทดสอบควรทำความสะอาดที่แผ่นรองรับวัสดุทุกครั้ง

ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่
2. ก่อนการใช้งานควรปรับ (Stopper) ความสูงของเครื่องทดสอบให้ได้ระดับ
3. ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานไม่ควรเปิดกล่องครอบวัสดุ เพราะอาจเกิดอันตรายได้
4. เมื่อทำการตัดผ้าเบรกควรมีผ้าปิดจมูกทุกครั้ง
5. ควรสวมถุงมือทนความร้อนขณะจับวัสดุ

การบำรุงรักษา

1. ทำความสะอาดและชโลมน้ำมันบางๆที่แผ่นรองรับวัสดุเพื่อป้องกันสนิม
2. ทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้าสะอาดทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จเพื่อป้องกันฝุ่นละออง
3. ควรติดตั้งระบบไฟสำรองทุกครั้งก่อนใช้งาน

ประวัติผู้วิจัย



หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายพลรัตน์ บุญมี
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Polrut Boonme
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 1605 00360 48 4
3. ตำแหน่งบริหาร/วิชาการ ที่เป็นปัจจุบัน
 - ตำแหน่งบริหาร
 - ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ ระดับ-
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ10800 พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ.
โทรศัพท์:02-9132424 ต่อ 138โทรสาร:02-9132424 ต่อ 138
E-mail : me_boon@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วศม..	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	2551	ไทย
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2543	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - ความร้อนประยุกต์ (Applied Thermal System)
 - เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน (Energy Technology and Management)
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
 - 7.1 ผู้อำนวยการวิจัย : -
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :
 - เครื่องคัดแยกขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า
 - การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ
 - การออกแบบเครื่องทดสอบการโค้งงอของคานายึดปลายแน่นสองข้างภายใต้แรงกระจาย

สมัคร

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1.จลนพลศาสตร์การอบแห้ง. เนื้อสับปะรดแว่น	2551	การประชุมวิชาการ เครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่ง ประเทศไทยครั้งที่ 9	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผู้วิจัย
2.The Specific Energy Consumption of Robusta Coffee Bean Separating	2553	Green Technology and Productivity	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2553	
3.เครื่องคัดแยกขนาดเมล็ด สารกาแฟโรบัสต้า		รอกการเผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2553	หัวหน้า โครงการ
4. การทดสอบการอัดตัวของ วัสดุผสมภายใต้สภาวะ อุณหภูมิต่างๆ	2556	KKU Research Journal Vol.18, No.2	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2555	หัวหน้า โครงการ
5.เครื่องสีกะลากาแฟโรบัสต้า.		รอกการเผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2555	ผู้วิจัย
6.การออกแบบเครื่องทดสอบ การโค้งงอของคานยึดปลายแน่น สองข้างภายใต้แรงกระจาย สม่ำเสมอ		รอกการเผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2555	หัวหน้า โครงการ
7.การสีกะลากาแฟโรบัสต้า มลพิษต่ำ	2556	การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคล ครั้งที่ 5	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2555	ผู้ร่วม วิจัย
8.การทดสอบการอัดตัวของ วัสดุผสมภายใต้สภาวะ อุณหภูมิต่างๆ	2556	KKU Research Journal Vol.18, No.2	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2556	หัวหน้า โครงการ

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ :-

ผู้ร่วมโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ว่าที่เรือตรี ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
(ภาษาอังกฤษ) Acting2. Sub L.T. Songwut Mongkonlerdmanee
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 1101 01799 00 8
3. ตำแหน่งบริหารวิชาการ ที่เป็นปัจจุบัน/
ตำแหน่งบริหาร -
ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ ระดับ 5
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ10800 พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ.
โทรศัพท์:02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร:02-9132424 ต่อ 138
E-mail : songwut41@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา

ระดับ ปริญญา	อักษร ย่อ ปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่ สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	M.Sc.	Automotive Engineering	The SirindhornInternational Thai- German Graduate School of Engineering (TGGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ นครเหนือ	2551	ไทย
ปริญญาตรี	อส.บ.	เทคโนโลยีเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2547	ไทย
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2555	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ ระบุสาขาวิชาการ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา)
 - ระบบเบรกสำหรับรถยนต์ 2 และ 3 เพลา (Hydraulic, Air over hydraulic, Full air)
 - เครื่องจักรกลการเกษตรและการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า (Agricultural machine, process)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย :

- การศึกษาจุดศูนย์กลางมวลและสัดส่วนการเบรกที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับยานยนต์

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :-

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. Investigation of brake force distribution for Three axle Double Deck Bus in Thailand	2549	การประชุมวิชาการ เครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20	ม. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ผู้วิจัย
2. Experimental Investigation of Brake Behavior for Modified Three-Axle Double Deck Bus in Thailand	2550	วารสารวิศวกรรมศาสตร์ เล่มที่ 15	ม. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	ผู้ร่วมวิจัย
3. The Specific Energy Consumption of Robusta Coffee Bean Separating	2553	การประชุมวิชาการ นานาชาติ ครั้งที่ 2: Green Technology and Productivity	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้วิจัย/ ผู้นำ เสนอ ผลงาน
4. เครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า	2555	ลิขสิทธิ์ ประเภท วรรณกรรม	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ 2553	ผู้ร่วมวิจัย
5. เครื่องบดเมล็ดถั่วเหลืองแบบผสมผสาน	2556	การประชุมวิชาการ มทร. ครั้งที่ 5 (5 TH RMUTNC)	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ 2554	ผู้ร่วมวิจัย
6. การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ	2556	KKU Research Journal Vol.18, No.2	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนครประจำปีงบประมาณ 2556	ผู้ร่วมวิจัย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ :

ชื่อข้อเสนอการวิจัย	แหล่งทุน	ตำแหน่ง	สถานภาพ
1.การศึกษาจุดศูนย์กลางมวลและสัดส่วนการเบรกที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับยานยนต์	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ 2556	ผู้อำนวยการ แผนงาน	10%



ผู้ร่วมโครงการ

- ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายศุภชัย หล้าคำ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Supachai Lakkam
- หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 1201 01788 03 1
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
- 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

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	M.Sc.	Automotive Engineering	The Sirindhorn International Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2552	ไทย
ปริญญาตรี	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 ผู้อำนวยการงานวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :-

- เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน
- การศึกษาปัจจัยการออกแบบท่อพักไอเสียเพื่อลดเสียงรบกวนและรักษาสมรรถนะของเครื่องยนต์

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. ผลกระทบและประสิทธิภาพผ้าเบรกเชิงเสียงรบกวน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	พ.ศ.2552	Industry Subcontracting Exhibition of Thailand 2009	บริษัท คอมแพ็ค อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัดและ (1994) Industrial Technology Assistance Program (iTAP)	นักวิจัย
2. Investigation of Brake Noise Parameters Using Single Dynamometer	Apr.2009	The 5 th International Conference on Automotive Engineering ICAE-5	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	นักวิจัย/ ผู้นำ เสนอ
3. Econo Power Car	Jun.2010	The 2 nd RMUTP International Conference : Green Technology and Productivity	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วม วิจัย/ ผู้นำ เสนอ
4. Analysis of Clutch Materials behaviour : Comparison between Coefficient of Friction Testing and Full Size Testing	Jun.2012	World Academe of Science, Engineering and Technology 66, 2012	EXEDY Friction Material Co. LTD	ผู้ช่วย วิจัย
5. Study and Trend of Development for Electric Railway and Related Industries in Thailand		รอเผยแพร่	Industrial Technology Assistance Program (iTAP)	ผู้ร่วม วิจัย

6.โครงการศึกษาเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ	พ.ศ.2555	RMUTP Research Journal, Vol.6, No.2,	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ผู้ร่วมวิจัย
7.Design and Development of Bus structure for single and double deck		รอยเผยแพร่	กรมขนส่งทางบก	ผู้ช่วยวิจัย
8.เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน	พ.ศ.2555	วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่ 2	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้าโครงการ
9.การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ	พ.ศ.2556	KKU Research Journal Vol.18, No.2	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ :

ชื่อข้อเสนอการวิจัย	แหล่งทุน	ตำแหน่ง	สถานภาพ
1.โครงการจัดทำแผนแม่บทและศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานสำหรับการเดินขบวนรถภายใต้มาตรฐาน ISO 50001	การรถไฟแห่งประเทศไทย	ผู้ช่วยวิจัย/ วิศวกร โครงการ	50%
2.การออกแบบงานเบรกเชิงการสะสมความร้อนเพื่อความปลอดภัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ช่วยวิจัย	10%
3.การศึกษาปัจจัยของโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ที่ส่งผลต่อการดูดซับพลังงาน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ช่วยวิจัย	10%
4.การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์จากกากผักตบชวา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ช่วยวิจัย	10%
5.การศึกษาปัจจัยการออกแบบท่อพักไอเสียเพื่อลดเสียงรบกวนและรักษาสมรรถนะของเครื่องยนต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้าโครงการ	10%