



สัดส่วนผสมของผ้าเบรกที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมความยืดหยุ่นและพลังงานภายใน

Influence of Volume Fraction from Brake Linings to the Flexibility Behavior and Internal Energy

ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี^{1*}, พลรัชต์ บุญมี¹ และศุภชัย หลักคำ¹

Songwut Mongkonlerdmanee^{1*}, Polrut Boonmee¹ and Supachai Lakkam¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Correspondent author: songwut-wut1@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนผสมของผ้าเบรกที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมความยืดหยุ่นและพลังงานภายใน โดยทดสอบกับผ้าเบรกแบบดรัมและแบบดิสก์ที่มีสัดส่วนผสมของวัสดุต่างกันจำนวน 3 ชนิด คือชนิด A ชนิด B และชนิด C ซึ่งทั้ง 3 ชนิดมีวัสดุผสมประกอบด้วย ไฟเบอร์ สารหล่อลื่น ทองแดง และอื่นๆ โดยการทดสอบถูกจำลองตามสภาวะการเบรก 3 สภาวะคือ สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ และสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขึ้นเดียว ด้วยกระบวนการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D 4413:1998 (1) เพื่อวัดค่าระยะยุบตัวและระยะคืนตัวของผ้าเบรก ผลการศึกษาพบว่า พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกทั้งแบบดรัมและแบบดิสก์มีแนวโน้มเดียวกัน คือผ้าเบรกชนิด C มีความยืดหยุ่นสูงสุด ตามปริมาณสัดส่วนผสมของไฟเบอร์สูงสุด ส่วนกรณีของค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของสัดส่วนผสมของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด ขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนของสารหล่อลื่น และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยผ้าเบรกชนิด A มีปริมาณสัดส่วนของสารหล่อลื่นต่ำสุด ทำให้ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูงสุด

Abstract

The purpose of this research is to study the effects of volume fraction on the flexibility behavior and internal energy of brake linings with different constituents of material of the brake lining and pads. They were divided into 3 types as follows: type A, type B and type C respectively. These three kinds of composite materials consist of fiber, lubricants, copper and other. The testing procedure referred on JIS D 4413:1998 (1). In this condition can be simulated the testing by multi-state changing pressure, loop pressure and one-step changing pressure. The reduction and the deflection of thickness on the sample due to the compression forces and temperatures were measured. The results of experiment discovered to the flexibility behavior of all samples are also same to the tendency. By the sample type C of linings and pads, given to the maximum flexibility behavior with the highest of fiber composition. In term of the internal energy by volume of all samples depended on the proportion of

lubricant and increased with high temperature. By the sample type A has the lowest of lubricant was given to the maximum internal energy by volume.

คำสำคัญ: ผ้าเบรก สัดส่วนผสม พฤติกรรมความยืดหยุ่น พลังงานภายใน

Keywords: brake linings, volume fraction, flexibility behavior, internal energy

1. บทนำ

ระบบเบรกถือเป็นระบบความปลอดภัยหลัก (Active Safety) ของรถยนต์ ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ไปเป็นความเสียดทานความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างจานเบรกและผ้าเบรก (2) ความเสียดทานความร้อนหรือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนี้เป็นผลจากการแรงกดผ้าเบรกที่กระทำต่อจานเบรก ทำให้รถยนต์เกิดการชะลอหรือหยุดการเคลื่อนที่โดยประสิทธิภาพในการเบรกที่ดีนั้นจะต้องอาศัยชั้นความเสียดทานบริเวณผิวของผ้าเบรกที่เป็นผลจากกระบวนการออกแบบชั้นผิวความเสียดทานของผ้าเบรกที่เรียกว่า Third body formation ซึ่งหากเกิดความไม่ต่อเนื่องของความเสียดทานที่กระทำระหว่างเบรคนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพการเบรกลดลง และเป็นสาเหตุหลักของการสึกหรอบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก (3,4) อย่างไรก็ตามมีการศึกษาถึงวัสดุที่ใช้ทำงานเบรกและผ้าเบรกโดยพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน การสะสมของความร้อนและการสึกหรอเป็นหลัก วัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ทำงานเบรคนั้นคือเหล็กหล่อสีเทา (gray cast iron) และพัฒนาวัสดุเป็น cast iron aluminide alloy (Fe_3Al) ส่วนผ้าเบรกมีวัสดุที่ใช้กันอยู่ 3 แบบคือ Non-Asbestos Organic Pads (NAO), Semi-Metallic Pads (SM) และ Low-Metallic pads (LM) โดยสัดส่วนผสมของผ้าเบรกที่เหมาะสมและวัสดุที่เลือกใช้ทำผ้าเบรกจะต้องที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (5,6) นอกจากนี้สัดส่วนของสารหล่อลื่นที่ถูกผสมเข้าไปในผ้าเบรก ส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่นของผ้าเบรก อันเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความเสียหายระดับโครงสร้างและเกิดเสียงดังในขณะที่ทำการเบรก (7) สำหรับกรณีของการทดสอบคุณสมบัติของผ้าเบรกส่วนใหญ่นิยมศึกษาถึงการสึกหรอ สัมประสิทธิ์

ความเสียดทาน และพฤติกรรมของความร้อน อันเป็นผลจากสัดส่วนผสมของวัสดุที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดสอบคุณลักษณะของผ้าเบรกจะใช้เครื่องมือหลัก 2 แบบคือ Brake Dynamometer และ Pin-on-disc โดยการทดสอบแบบ Brake Dynamometer มีความแม่นยำของข้อมูลที่ได้มากกว่าและมีข้อจำกัดน้อยกว่าการทดสอบแบบ Pin-on-disc หากแต่มีค่าใช้จ่ายและกระบวนการเตรียมการทดสอบที่ยุ่งยากกว่า ในขณะที่การทดสอบด้วยวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ (Numerical Method) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการพยากรณ์ผลการศึกษา ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด สำหรับของการผลิตผ้าเบรกเชิงอุตสาหกรรมทั้งในและต่างประเทศนั้นถูกกำหนดด้วยวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมเท่านั้น เนื่องจากจุดประสงค์ด้านความปลอดภัยในการใช้งานและสิ่งแวดล้อม หากแต่ไม่ได้มีข้อจำกัดด้านปริมาณสัดส่วนผสมของวัสดุ

อย่างไรก็ตามการทดสอบคุณลักษณะของผ้าเบรกด้วยวิธีการจำลองสภาวะการเบรกแบบต่างๆ เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบผ้าเบรกเชิงอุตสาหกรรม สำหรับตอบสนองการใช้งานที่หลากหลายนอกเหนือจากปัจจัยด้านความเสียดทานและการสึกหรอ เช่น ความนุ่มนวลในการเบรกและกำลังจากการเบรก เป็นต้น ซึ่งความนุ่มนวลและกำลังจากการเบรกดังกล่าวนี้ถูกพิจารณาจากพฤติกรรมความยืดหยุ่นและพลังงานภายในของผ้าเบรกอันเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ของสัดส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุ ด้วยเหตุผลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นและพลังงานภายในของผ้าเบรกด้วยการจำลองการทดสอบสภาวะการเบรกแบบต่างๆ ภายใต้มาตรฐานกระบวนการทดสอบของ JIS D 4413: Brake linings and disc brake pads-Compressibility test procedure (1) โดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรกเป็นเครื่องมือ

2. วิธีวิจัย

2.1 การเตรียมการทดสอบ

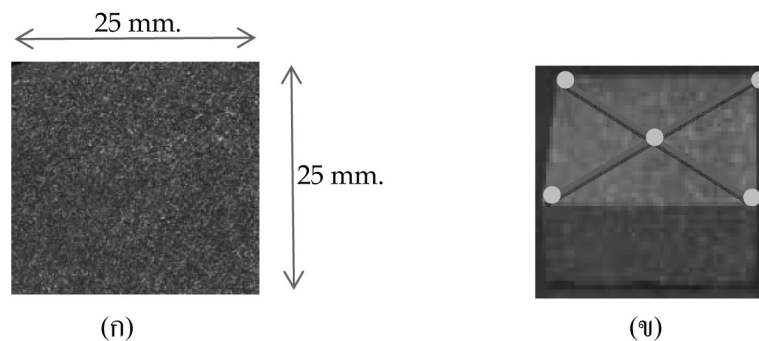
2.1.1 การเตรียมวัสดุทดสอบ

วัสดุทดสอบเป็นผ้าเบรกแบบดรัม และแบบดิสก์ที่มีสัดส่วนผสมของวัสดุแตกต่างกัน 3 ชนิด

โดยสัดส่วนผสมของวัสดุแสดงดังตารางที่ 1. จากนั้นทำการตัดผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด โดยไม่มีแผ่นหลังกรอง (backing plate) เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25x25 ตารางมิลลิเมตรดังรูปที่ 1(ก) แล้วทำการวัดความหนาเริ่มต้นเฉลี่ยของผ้าเบรกแต่ละชนิดจากการวัด 5 จุด ดังรูปที่ 1(ข) ตามมาตรฐานกระบวนการทดสอบของ JIS D 4413 (1)

ตารางที่ 1. สัดส่วนผสมของผ้าเบรกแบบดรัมและดิสก์

ชนิดผ้าเบรก	ส่วนประกอบโดยประมาณ (Vol%)			
	ไฟเบอร์	สารหล่อลื่น	ทองแดง	อื่นๆ
A	2	10	5	83
B	15	15	6	64
C	18	13	15	54

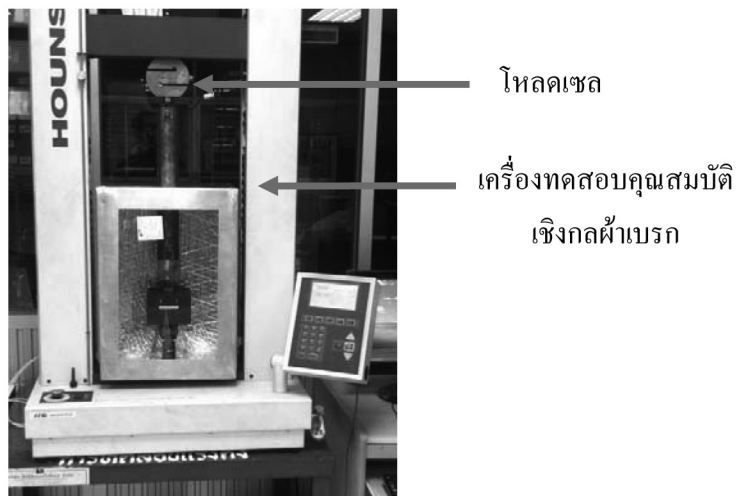


รูปที่ 1. การเตรียมผ้าเบรกทดสอบ (ก) ตัดผ้าเบรก (ข) วัดความหนาเฉลี่ยผ้าเบรก 5 จุด

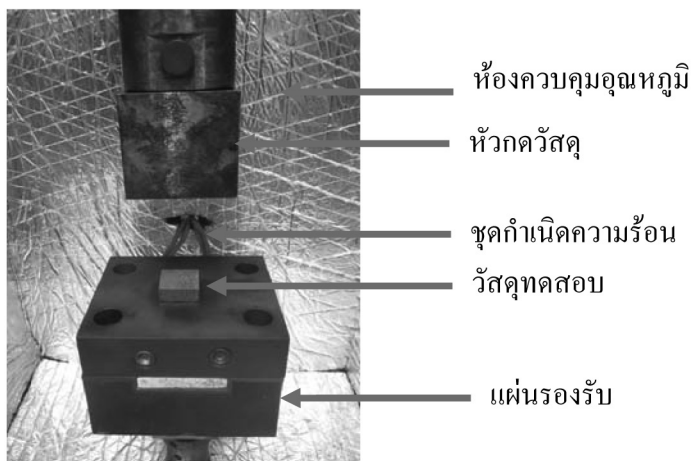
2.1.2 การเตรียมเครื่องมือทดสอบ

เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบการกดผ้าเบรกที่ความดันต่างๆ โดยมีแท่งกดผ้าเบรกที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวดิ่ง แสดงดังรูปที่ 2 จากนั้นติดตั้งหัวกดผ้า

เบรกเข้ากับโหลดเซลล์เพื่อส่งค่าแรงกดจากการทดสอบเข้าไปบันทึกผลการทดสอบ การทดสอบอุณหภูมิจะถูกควบคุมให้คงที่โดยใช้ฮีตเตอร์ (Heater) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2. การเตรียมเครื่องทดสอบผ้าเบรก



รูปที่ 3. การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

2.2. การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรก

2.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

สำหรับการเตรียมชิ้นงานทดสอบ พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรก จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ผ้าเบรกแบบดรัม และผ้าเบรกแบบดิสก์ที่มีสัดส่วนผสมตามตารางที่ 1 ซึ่งในแต่ละแบบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ ชนิด A ชนิด B และชนิด C

2.2.2 กระบวนการทดสอบ

กระบวนการทดสอบพฤติกรรม

ความยืดหยุ่นของผ้าเบรกทั้ง 2 แบบ 3 ชนิด ที่อ้างอิง กระบวนการทดสอบของ JIS D 4413 (1) กระทำโดยการกดผ้าเบรกในแนวตั้งทิศทางตั้งฉากกับผ้าเบรกที่ถูกควบคุมอุณหภูมิ ด้วยความเร็วคงที่ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเพิ่มแรงกดจนถึงค่าที่กำหนด จากนั้นผลการทดสอบ ระยะยุบตัวถูกนำมาใช้คำนวณค่าความยืดหยุ่น ตามสภาวะการทดสอบทั้ง 3 สภาวะ ซึ่งสภาวะการทดสอบ พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. สภาวะการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรก (1)

สภาวะการจำลองการเบรก	ความดัน (MPa.)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลาคงตำแหน่งการกด (sec)	กระทำซ้ำ (ครั้ง)	ชนิดผ้าเบรก	
					Disc	Drum
เปลี่ยนแปลง	1.50	30, 200 และ 400	60	-	-	•
ความดัน	3.00	30, 200 และ 400	60	-	-	•
แบบหลาย	4.00	30, 200 และ 400	60	-	•	-
ขึ้น	6.00	30, 200 และ 400	60	-	•	-
	8.00	30, 200 และ 400	60	-	•	-
เปลี่ยนแปลง	0 – 3.00	30	-	5		•
ความดัน	0 – 8.00	30	-	5	•	
แบบวนซ้ำ						
เปลี่ยนแปลง	0 – 3.00	30	-			•
ความดัน	0 – 8.00	30	-		•	
แบบขึ้นเดียว						

หมายเหตุ : สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขึ้น คือการทดสอบที่จำลองการกดที่เป็นเบรกด้วยแรงกดที่หลายค่า (เสมือนการจำลองพฤติกรรมการเบรกแบบปกติ)

สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำคือการทดสอบที่จำลองการกดที่เป็นเบรกด้วยแรงเท่ากัน 5 ครั้ง (เสมือนการจำลองพฤติกรรมการเบรกแบบซ้ำเบรกหลายครั้ง)

สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขึ้นเดียวคือการทดสอบที่จำลองการกดที่เป็นเบรกด้วยแรงเท่ากันครั้งเดียว (เสมือนการจำลองพฤติกรรมการเบรกแบบกะทันหัน)

2.2.3 การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่น

หลังจากทดสอบตามกระบวนการทดสอบตามตารางที่ 2 ค่าของแรงกดผ้าเบรกจะถูกส่งผ่านไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อจัดเก็บข้อมูลระยะยุบตัวของผ้าเบรก ข้อมูลที่ได้ถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบความยืดหยุ่นของผ้า

เบรกที่สัดส่วนผสมที่แตกต่างกัน ซึ่งความยืดหยุ่นของผ้าเบรกสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของแรงกดในสภาวะสถิตและระยะยุบตัวผ้าเบรก ตามสมการที่ (1)

$$\sum F = kx \quad (1)$$

โดย F คือ แรงในสภาวะสถิต (N)
 k คือ ค่าความยืดหยุ่นผ้าเบรก (N/mm)
 x คือ ระยะการยุบตัวผ้าเบรก (mm)

2.2.4 การทดสอบพลังงานภายใน

ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแต่ละชนิด มีความสอดคล้องกับค่าความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก อันเป็นผลที่เกิดจากระยะยุบตัวและระยะคืนตัวของผ้าเบรก ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มพลังงานภายในของผ้าเบรกที่สามารถรับได้ต่อปริมาตร หรือพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของ hysteresis loop ที่มีการ

เปลี่ยนแปลงแรงกด (load) สมมติเสมอ อย่างไรก็ตามการประเมินผลของพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมูแบบหลายช่วง (8) ซึ่งการประมาณค่าจะใช้ช่วงจำนวนที่มีการยุบตัวและการคืนตัวอันเป็นผลจากแรงที่กระทำในสภาวะสถิต

$$U_V = \int_0^n \sigma_y d\varepsilon_y \quad (2)$$

โดย U_V คือ พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร (J/mm^3)

σ_y คือ ความเค้นอัดผ้าเบรกจากการกดในแนวตั้ง (N/mm^2)

ε_y คือ ความเครียดอัดผ้าเบรกจากการกดในแนวตั้ง (mm/mm)

$0, n$ คือ ช่วงการจำกัดเขตการพิจารณาพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรในตำแหน่งเริ่มต้น, สูดท้าย (-)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่น

ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแบบครัมและแบบดิสก์ สามารถแบ่งออกตามสภาวะการทดสอบได้ดังนี้คือ

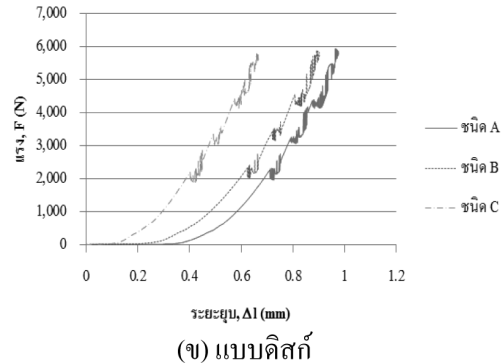
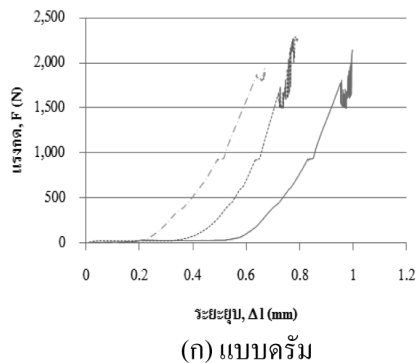
3.1.1 ความยืดหยุ่นผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น

ตารางที่ 3. ผลการทดสอบระยะยุบตัวผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น

ชนิดผ้าเบรก	ระยะยุบตัวผ้าเบรก (mm)														
	@ 30°C, ความดัน (MPa.)					@ 200°C, ความดัน (MPa.)					@ 400°C, ความดัน (MPa.)				
	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0
A	0.18	0.98	-	-	-	1.01	1.14	-	-	-	0.87	0.96	-	-	-
Drum B	0.65	0.75	-	-	-	0.55	0.72	-	-	-	0.69	0.79	-	-	-
C	0.51	0.67	-	-	-	0.50	0.60	-	-	-	0.58	0.69	-	-	-
A	-	-	0.73	0.84	0.95	-	-	0.67	0.77	0.84	-	-	0.68	0.78	0.84
Disc B	-	-	0.66	0.76	0.86	-	-	0.62	0.71	0.80	-	-	0.65	0.74	0.83
C	-	-	0.43	0.54	0.63	-	-	0.41	0.49	0.56	-	-	0.49	0.59	0.65

จากตารางที่ 3 เปิดเผยให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบครัมชนิด A ระยะยุบตัวมีค่าสูงสุด 1.14 mm. และผ้าเบรกชนิด C ระยะยุบตัวมีค่าต่ำสุด 0.60 mm. ภายใต้ความดันเดียวกันที่ 3.0 MPa. ในขณะที่ผ้าเบรกแบบดิสก์ชนิด A และชนิด C มีระยะยุบตัวสูงสุดและต่ำสุดที่ความดัน 8

MPa. เช่นเดียวกับผ้าเบรก แบบครัม ดังนั้นระยะยุบตัวผ้าเบรกมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความดันที่สูงขึ้น ทั้งในกรณีแบบครัมและแบบดิสก์ โดยระยะยุบตัวของผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นแสดงดังรูปที่ 4 และค่าความยืดหยุ่นแสดงดังตารางที่ 4



รูปที่ 4. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัวของผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น

ตารางที่ 4. ผลของความยืดหยุ่นผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น

ชนิดผ้าเบรก	ความยืดหยุ่นผ้าเบรก (N/mm)														
	@ 30°C, ความดัน (MPa.)					@ 200°C, ความดัน (MPa.)					@ 400°C, ความดัน (MPa.)				
	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0	1.5	3.0	4.0	6.0	8.0
A	5208	1913	-	-	-	928	1645	-	-	-	1078	1953	-	-	-
Drum B	1442	2500	-	-	-	1705	2604	-	-	-	1359	2373	-	-	-
C	1838	2799	-	-	-	1875	3125	-	-	-	1616	2717	-	-	-
A	-	-	3425	4464	5263	-	-	3731	4870	5952	-	-	3736	4808	5952
Disc B	-	-	3788	3289	5814	-	-	4032	5282	6250	-	-	3846	5068	6024
C	-	-	5814	3968	7937	-	-	6098	6696	8929	-	-	5102	6356	7692

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่าความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแบบดรัมชนิด A มีค่าสูงสุด 5,208 N/mm ที่อุณหภูมิ 30 °C ความดัน 1.5 MPa. เนื่องจากผลต่างของระยะยุบตัวภายใต้การเปลี่ยนแปลงความดันจาก 1.5 เป็น 3.0 MPa. ตามตารางที่ 3 นั้นมีผลต่างมากกว่าหากเปรียบเทียบกับผ้าเบรกชนิด B และชนิด C ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่นของผ้าเบรกชนิด B มีค่าต่ำสุด 2,604 N/mm ที่อุณหภูมิ 200 °C ความดัน 3.0 MPa. อย่างไรก็ตาม

พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแบบดรัมมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความดันที่สูงขึ้น ส่วนในกรณีผ้าเบรกแบบดิสก์ชนิด B และชนิด A มีค่าความยืดหยุ่นสูงสุดและต่ำสุดที่ 3,425 และ 8,929 N/mm ตามลำดับ ดังนั้นพฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มสูงขึ้นตามความดันที่สูงขึ้นเช่นเดียวกับผ้าเบรกแบบดรัม

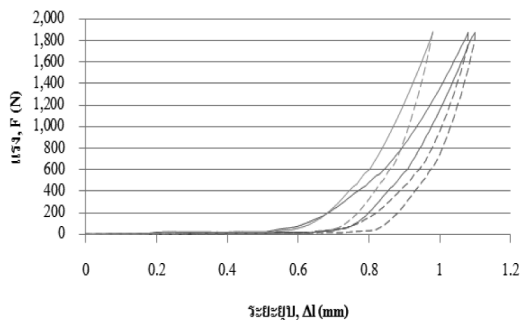
3.1.2 ความยืดหยุ่นผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ

ตารางที่ 5. ผลการทดสอบระยะยวบตัวของผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ

ชนิดผ้าเบรก	ระยะยวบตัวผ้าเบรก (mm)		ความยืดหยุ่นผ้าเบรก (N/mm)	
	@ 30°C, ความดัน (MPa.)		@ 30°C, ความดัน (MPa.)	
	3.0	8.0	3.0	8.0
A	1.12	-	1674	-
Drum B	1.09	-	1720	-
C	0.99	-	1894	-
A	-	1.30	-	3846
Disc B	-	1.27	-	3937
C	-	1.25	-	4000

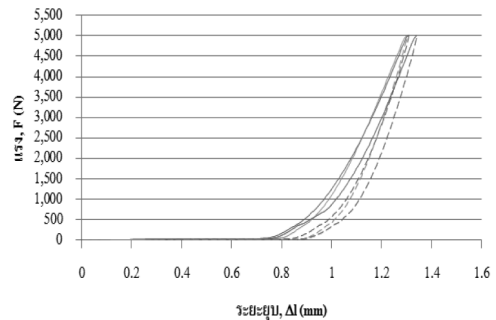
ผลการทดสอบตามตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าทั้งในกรณีผ้าเบรกแบบดรัมและแบบดิสก์ ระยะการยวบตัวของผ้าเบรกชนิด A มีค่าสูงที่สุดและผ้าเบรกชนิด C มีระยะยวบตัวต่ำที่สุด ซึ่งหากเปรียบเทียบระยะยวบตัวของผ้าเบรกแต่ละชนิดในกรณีเพิ่มความดันจาก 3.0 เป็น 8.0 MPa. แล้วนั้น ผ้าเบรกชนิด C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

การยวบตัวสูงที่สุด 26.3% ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด A มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการยวบตัวต่ำสุด 16.1% ดังนั้นค่าระยะยวบตัวของผ้าเบรกที่ต่ำและผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะยวบตัวที่สูง ส่งผลให้พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกมีแนวโน้มสูงขึ้นตามรูปที่ 5



— ระยะยวบตัวชนิด A (mm) - - - - ระยะคืนตัวชนิด A (mm)
 — ระยะยวบตัวชนิด B (mm) - - - - ระยะคืนตัวชนิด B (mm)
 — ระยะยวบตัวชนิด C (mm) - - - - ระยะคืนตัวชนิด C (mm)

(ก) แบบดรัม



— ระยะยวบตัวชนิด A (mm) - - - - ระยะคืนตัวชนิด A (mm)
 — ระยะยวบตัวชนิด B (mm) - - - - ระยะคืนตัวชนิด B (mm)
 — ระยะยวบตัวชนิด C (mm) - - - - ระยะคืนตัวชนิด C (mm)

(ข) แบบดิสก์

รูปที่ 5. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยวบตัวของผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ

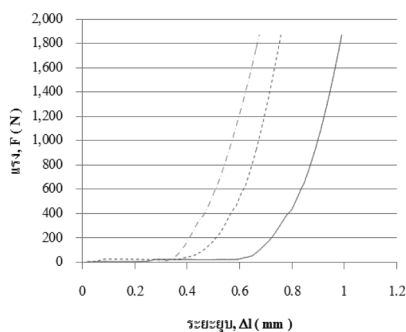
3.1.3 ความยืดหยุ่นผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว

ตารางที่ 6. ผลการทดสอบในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว

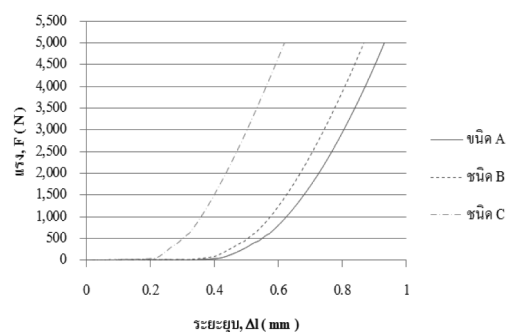
ชนิดผ้าเบรก	ระยะยุบตัวผ้าเบรก (mm)		ความยืดหยุ่นผ้าเบรก (N/mm)		
	@ 30°C, ความดัน (MPa.)		@ 30°C, ความดัน (MPa.)		
	3.0	8.0	3.0	8.0	
Drum	A	0.99	-	1894	-
	B	0.75	-	2500	-
	C	0.67	-	2799	-
Disc	A	-	0.93	-	5376
	B	-	0.86	-	5814
	C	-	0.47	-	10638

ผลการทดสอบในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวตามตารางที่ 6 สะท้อนให้เห็นว่า ทั้งผ้าเบรกแบบดรัมและแบบดิสก์ ค่าระยะการยุบตัวของผ้าเบรกชนิด A และผ้าเบรกชนิด C มีค่าสูงและต่ำที่สุด โดยผ้า

เบรกชนิด A และชนิด C มีแนวโน้มการยุบตัวลดลงเมื่อความดันสูงขึ้นซึ่งแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด B ที่ระยะยุบตัวเพิ่มขึ้นตามความดันที่สูงขึ้น ดังแสดงตามรูปที่ 6



(ก) แบบดรัม

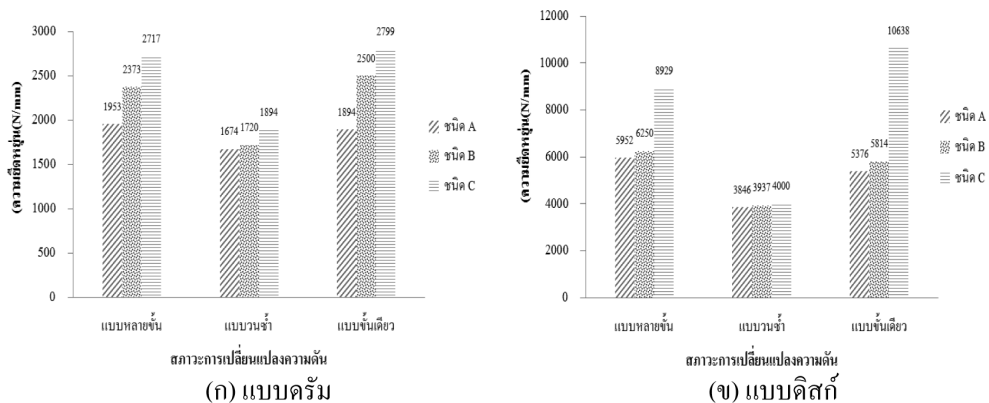


(ข) แบบดิสก์

รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบตัวของผ้าเบรกในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว

แนวโน้มของพฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกทั้งในกรณีแบบดรัม และแบบดิสก์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยผ้าเบรกชนิด C มีค่าความยืดหยุ่นสูงสุด

ผ้าเบรกชนิด B มีค่าความยืดหยุ่นปานกลาง และชนิด A มีค่าความยืดหยุ่นต่ำสุดในทุกสภาวะการทดสอบ ดังรูปที่ 7



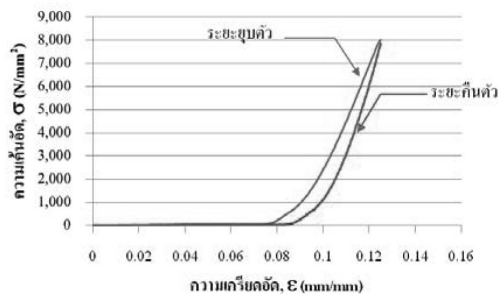
รูปที่ 7. พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแบบดรัมและแบบดิสก์

3.2 ผลการทดสอบพลังงานภายใน

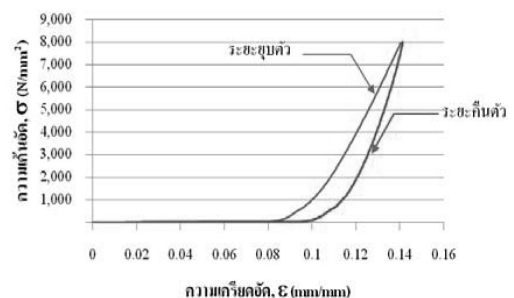
ผลการทดสอบพลังงานภายในจะพิจารณาเพียงในสภาวะเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำเท่านั้น เนื่องจากในสภาวะดังกล่าวเป็นการจำลองการเบรกของ

รถยนต์ที่กระทำอย่างต่อเนื่อง โดยผลการทดสอบถูกแบ่งตามชนิดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิทดสอบ 30, 200 และ 400°C

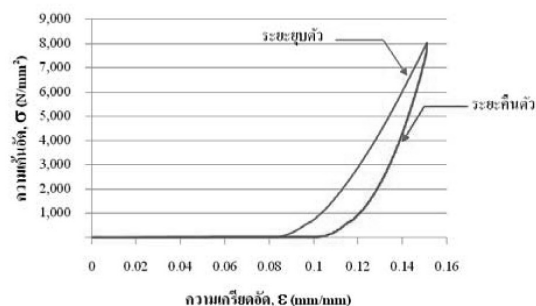
3.2.1 พลังงานภายในของผ้าเบรกชนิด A



(ก) 30°C



(ข) 200 °C



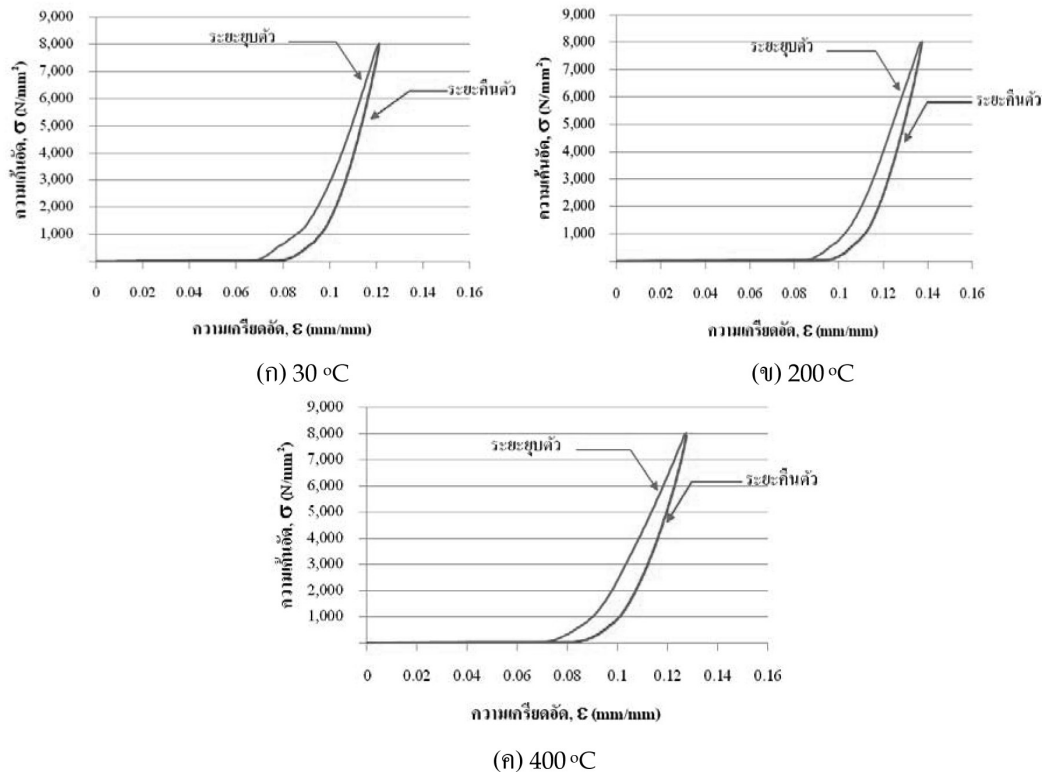
(ค) 400°C

รูปที่ 8. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกชนิด A

จากรูปที่ 8 ผลของความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรคชนิด A ในการทดสอบทั้ง 3 อุณหภูมิ (30, 200 และ 400 °C) ที่มีสัดส่วนของสารหล่อลื่นต่ำที่สุด ในผ้าเบรคทั้ง 3 ชนิด โดยแนวโน้มของระยะขยุบตัวและ

ระยะคืนตัวเป็นในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 อุณหภูมิ หากแต่พื้นที่ใต้กราฟระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัด (hysteresis loop) ภายใต้อุณหภูมิ 400 °C มีค่าสูงสุด ส่งผลให้มีค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูงสุด

3.2.2 พลังงานภายในของผ้าเบรคชนิด B

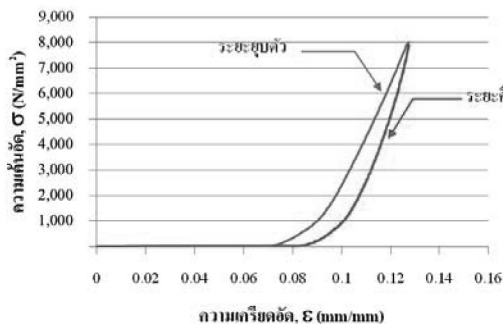


รูปที่ 9. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรคชนิด B

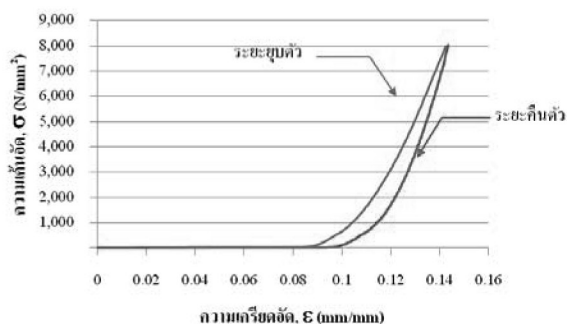
ผลการทดสอบพลังงานภายในของผ้าเบรคชนิด B ที่มีสัดส่วนของสารหล่อลื่นสูงที่สุด ตามรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่า hysteresis loop มีพื้นที่มากที่สุดที่อุณหภูมิ

400 °C และมีพื้นที่น้อยสุดที่อุณหภูมิ 30 °C เช่นเดียวกับผ้าเบรคชนิด A จึงทำให้ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรคชนิด B มีค่าต่ำที่สุด

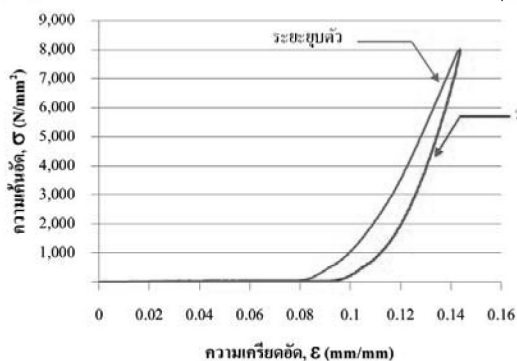
3.2.3 พลังงานภายในของผ้าเบรกชนิด C



(ก) 30 °C



(ข) 200 °C



(ค) 400 °C

รูปที่ 10. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกชนิด C

แนวโน้มของค่าพลังงานภายในของผ้าเบรกชนิด C ที่มีสัดส่วนของสารหล่อลื่นปานกลาง ทำให้ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกชนิด C มีค่าปานกลาง ซึ่งมีพฤติกรรมของพลังงานภายในสอดคล้องกับผ้าเบรกชนิด A และชนิด B โดยค่าสูงสุดจะเกิดขึ้นกับ

อุณหภูมิที่สูงสุด และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง ซึ่งผลสรุปการทดสอบค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด ภายใ้การทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7. สรุปผลการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกชนิดต่างๆ

ชนิด ผ้าเบรก	ส่วนประกอบของผ้าเบรกโดยประมาณ (Vol %)				อุณหภูมิ (°C)	พลังงานภายในต่อ หน่วยปริมาตร (J/mm ³)
	ไฟเบอร์	สาร หล่อลื่น	ทองแดง	อื่นๆ		
A	2	10	5	83	30	0.44
					200	0.69
					400	0.85
B	15	15	6	64	30	0.42
					200	0.46
					400	0.57
C	18	13	15	54	30	0.47
					200	0.50
					400	0.62

4. สรุป

การศึกษาผลกระทบของสัดส่วนผสมที่มีต่อพฤติกรรมความยืดหยุ่นและพลังงานภายในของผ้าเบรก 2 แบบ 3 ชนิด ด้วยการจำลองสภาวะการเบรก 3 แบบ พบว่าพฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกทั้งแบบครีမ် และแบบดิสก์มีแนวโน้มเดียวกัน คือสัดส่วนผสมของผ้าเบรกชนิด C มีค่าความยืดหยุ่นสูงสุด เนื่องจากอิทธิพลของสัดส่วนผสมของผ้าเบรกที่มีปริมาณไฟเบอร์สูง ทำให้ระบุตัวค่า ส่วนกรณีของผ้าเบรกที่มีปริมาณสัดส่วนสารหล่อลื่นต่ำ ส่งผลให้ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูง และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จึงทำให้ผ้าเบรกชนิด A มีค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับ hysteresis loop ที่มีพื้นที่ใหญ่ที่สุด ทำให้สามารถดูดซับพลังงานได้ดีกว่าผ้าเบรกชนิด B และชนิด C อีกทั้งผลของพฤติกรรมความยืดหยุ่นและพลังงานภายในของผ้าเบรก สามารถใช้กำหนดแนวทางการผลิตผ้าเบรกเชิงอุตสาหกรรมที่ตอบสนองด้านความนุ่มนวล และกำลังจากการเบรกเพื่อรองรับการใช้งานของรถยนต์ประเภทต่างๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ รวมไปถึงบริษัทคอมพิวเตอร์เนชั่นแนล (1994) จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุในการทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

- (1) Japanese Standard Association, Automotive parts-Brake linings and disc brake pads: Compressibility test procedure. (JIS D 4413): The Association; 1998 July. 9 p.
- (2) Robert CJ, Kurt M. Fundamental of machine component design. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.; 2003.
- (3) Werner O, Ingrid U. Third body formation on brake pads and rotors. Int J Tribology. 2006;39(5): 401–408.

- (4) Peter JB, Brian CJ. Wear of truck brake lining materials using three different test methods. *Int J Wear of Materials*. 2005;259(7): 1022–1030.
- (5) Jens W, Anders S, Lars O, Anders J, Ulf O. A pin-on-disc simulation of airborne wear particles from disc brakes. *Int J Wear of Materials*. 2010;268(5): 763–769.
- (6) Adem K, Mustafa B. Wear performance and wear debris of semimetallic automotive brake materials. *Int J Wear of Materials*. 2010;268(1): 86–93.
- (7) Sherif HA. Investigation on effect of surface topography of pad/disc assembly on squeal generation. *Int J Wear of Materials*. 2004;257(7): 687–695.
- (8) Dechaumphai P. *Numerical Methods in Engineering*. 4th ed. Chulalongkorn University Printing House: Bangkok; 2003. Thai.