

บทความวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก

A Study of Parameters Affecting The Specific Heat Capacity of Brake Pads

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก

A Study of Parameters Affecting The Specific Heat Capacity of Brake Pads

ประภัสร์ วัฒนา¹, กฤษณะ แยมะมัง¹, สุทธิกิจ นิเทศพัตรพงศ์¹, ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย¹ และศุภชัย หล้าคำ¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้ผลิตชิ้นส่วนผ้าเบรกต่างประสบปัญหาด้านสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุ และปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพต่อการใช้งาน ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรกรถยนต์ ได้ถูกศึกษาขึ้น โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน JIS D4413 ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่า ส่วนผสมจากผง โลหะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งผ้าเบรกชนิด B สภาวะความดัน 8 MPa ให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 2,429.7 kJ/kg.K เนื่องจากมีผง โลหะอยู่เพียง 5.5 % เมื่อค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง ส่งผลดี คือลดความเสียหายจากความร้อนที่เกิดจากการเบรกได้ และยังช่วยลดการสึกหรอในเนื้อผ้าเบรก

คำสำคัญ: ค่าความจุความร้อนจำเพาะ, ผ้าเบรก, ผง โลหะ,

ลดความเสียหาย

Abstract

However nowadays, many problems to the brake pads manufacturer about thermal properties of the material. And most important factor that affects directly to the efficiency in the brake. To develop products to be effective to use. Therefore, factors that affect the specific heat capacity of automotive brake pads was conducted to study has the reference from the standard JIS D4413. From the experimental results that the ingredients of metal powder are factors influencing the specific heat capacity. The brake pad type B has the highest specific heat capacity is 2,429.7 kJ / kg. K. at the pressure 8 MPa. Because the proportion of the metal powder is 5.5%. When the high specific heat capacity, Benefit is Reduce damage from heat generated by braking. And also reduces wear in brake pads.

Keywords: Specific Heat Capacity, brake pads, metal powder,

reduce damage

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโต และเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย ผ้าเบรก ถือว่าเป็นวัสดุความเสียดทานที่เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์และด้วยหน้าที่ การทำงานของผ้าเบรกที่จำเป็นจะต้องสัมผัสกับจานเบรก ที่เป็นโลหะในช่วงสภาวะอุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้บ่อยครั้งที่ผ้าเบรกไม่สามารถระบายความร้อน และรักษาสมบัติของตัวเองได้ (เกิดการเฟดตัว) เป็นสาเหตุ ให้ผ้าเบรกแตกร้าวและหลุดร่อน นอกจากนี้ความเร็วรถยนต์ยังเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของจานเบรกในขณะที่เบรก และเป็นปัจจัยส่งเสริมให้เกิดการสันสะเทือน[1] อีกทั้งยังกระทบต่อการสูญเสียความสามารถในการสร้างแรงเสียดทานนำไปสู่การเสียความควบคุมเกิดอันตรายต่อผู้ขับขี่ และผู้ร่วมทางบนท้องถนนในที่สุด

เนื่องจากผ้าเบรกเป็นวัสดุผสมที่ผลิตจากสารตั้งต้น มากกว่า 1 ชนิด ดังนั้นพฤติกรรมของวัสดุดังกล่าวจึงมีความหลากหลายแตกต่างกันออกไปตามส่วนผสม ค่าการนำความร้อนจึงถือเป็นสมบัติสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน เนื่องจากเป็นค่าที่ชี้วัดความสามารถการส่งถ่ายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการห้ามล้อ ไปยังอุปกรณ์ใกล้เคียง ไม่เพียงแต่กระทบต่อความสามารถในการรักษาสมบัติความเสียดทานเท่านั้น แต่ยังมีผลกระทบต่ออายุการใช้งาน และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ข้างเคียงด้วย ซึ่งผลกระทบที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยในการใช้งาน

จากการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุผสมพบว่ามีการทดสอบหา สมบัติหลายด้านจากวัสดุผสมหลายชนิด ซึ่งมีจุดประสงค์ของการศึกษาแตกต่างกันออกไป สำหรับการศึกษายุติกรรมความเครียดของวัสดุผสมสามารถใช้วิธี Compressive split Hopkinson pressure bar (SHPB) เพื่อหาสมบัติการอัดตัวในลักษณะระนาบการสั้นของวัสดุผสมระหว่าง แก้ว/อีพอกซี และคาร์บอน/อีพอกซี ได้โดยมุ่งเน้นการวัดค่าความเครียดบริเวณตำแหน่งการตัดตัวสูงสุด[2] ซึ่งผลของการศึกษาคือค่าสมบัติของวัสดุที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผลิตตามจุดประสงค์การใช้งาน

นอกจากนี้ยังการทดสอบการอัดตัวของผ้าเบรกที่ได้ จากส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของผ้าเบรก[3] และการหาทั้งความเค้นและความเค้นเฉือนของวัสดุผสมคาร์บอน[4] ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง และในห้องปฏิบัติการที่บรรจุก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1,000°C ภายใต้สภาวะความดันต่างๆ เพื่อคำนวณหา

บทความวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก

A Study of Parameters Affecting The Specific Heat Capacity of Brake Pads

ความเค้นเดือน 1 มิติ และ 2 มิติทำให้เข้าใจพฤติกรรมวัสดุมากขึ้นและสามารถนำผลจากการทดสอบไปช่วยออกแบบผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้

สำหรับวิธีการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ผ้าเบรกโดยการประยุกต์ใช้เครื่องทดสอบแบบ Universal Testing ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ [5] และการทดสอบสมบัติทาง Tribology โดยวิธีการลาก ผ่านระนาบเพื่อตรวจสอบอิเล็กตรอนผ่านเครื่องมือวัด ไมโครสโคปและฉายรังสีเพื่อตรวจสอบความร้อนที่เกิดขึ้นหลังการทดลอง[6]

นอกเหนือจากการวิเคราะห์วัสดุผสมหลังจากการผลิตแล้วการคำนึงถึงสารตั้งต้นก่อนการผลิตยังเป็นการศึกษา ปัจจัยทางกระบวนการผลิตที่มีผลต่อสมบัติทาง Tribology ของวัสดุ[7] โดยมีผลลัพธ์หลายประเด็นเช่น การต้านทานการสึกหรอ และความสามารถในการรักษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นสมบัติด้านการนำความร้อนจึงถือได้ว่าเป็นอีกประเด็นของการศึกษา[8] ซึ่งได้ยกเอาวัสดุความเสียดทานที่มีสมบัติเป็นวัสดุผสมโดยมียางเป็นสารตั้งต้นพื้นฐานผสมกับสารอีกหลายชนิด ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำมาสร้างความเชื่อมโยงระหว่างสมบัติทางTribology และสารตั้งต้นของวัสดุได้

จากการสำรวจวรรณกรรมดังกล่าวยังไม่พบการศึกษาค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การแตกร้าว และหลุ่ร้อนของผ้าเบรกในการใช้งาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าเบรก [9]

หน้าที่ของผ้าเบรกคือสร้างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก เพื่อให้เกิดแรงเบรกที่ใช้ในการชะลอหรือหยุดรถยนต์ ดังนั้นผ้าเบรกจึงต้องสามารถตอบสนองการใช้งานได้ถูกต้องโดยปราศจากการสั่นไถลที่มากเกินไปจนเกิดความถี่ของการ กระบวนการทำงานนี้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสประมาณ 80 °C ถึง 300 °C (ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบห้ามล้อ

นอกเหนือจากอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยและมีอิทธิพลแล้ว ยังมี ความสัมพันธ์จากวัสดุ, ความสัมพันธ์ทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การที่จะทำให้รถหยุดนั้นต้องมีความฝืดที่สัมผัสจากผ้าเบรกกับจานเบรก ส่งผลให้เกิดการสึกหรอที่ผ้าเบรกและความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสิ่งที่ถูกนำมาทำเป็นผ้าเบรกต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อน การสึกหรอ ป้องกันความชื้น และมีค่าความฝืดสูง หากเราจำแนกชนิดของผ้าเบรกตามเกรดผู้ผลิต สามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะการใช้งานต่างๆ 4 กลุ่มดังนี้

2.1.1 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐาน โรงงานผลิตรถยนต์

โดยคุณสมบัติของวัสดุโดยตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์ ทั้งด้านประสิทธิภาพการเบรก และการทำงานร่วมกับจานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะต่ำเหมาะสำหรับรถยนต์ใหม่ใช้ในขับเคลื่อนทั่วไป จนถึงการใช้งานหนัก

2.1.2 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานจากผู้ผลิตทั่วไป

คุณสมบัติของอะไหล่จะแตกต่างกันตามผู้ผลิตรถยนต์ จะจำหน่ายในรูปอะไหล่จะใช้สัญลักษณ์เดียวกับสัญลักษณ์รถยนต์ เหมาะสำหรับผู้ซื้อทั่วไปที่ต้องการอะไหล่คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่

2.1.3 ผ้าเบรกสำหรับรถสมรรถนะสูง

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพสูงที่ใช้เพื่อการแข่งขัน วัตถุประสงค์ในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อประสิทธิภาพการหยุดรถ โดยเฉพาะรองรับการขับเคลื่อนด้วยอัตราความเร็วสูง และการถ่ายเทความร้อนในระบบเบรก เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนเพื่อการแข่งขันที่ใช้ความเร็วสูงในการขับเคลื่อนเป็นประจำ ผ้าเบรกชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนทั่วไปรวมถึงการใช้งานหนักและบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้มีอัตราการทำลายจานเบรกสูง เพราะส่วนผสมมีโลหะอยู่ในอัตราที่สูง

2.1.4 ผ้าเบรกมาตรฐานทั่วไป

วัตถุประสงค์ในการผลิตจะมีคุณสมบัติเท่ากับ หรือต่ำกว่าผ้าเบรกที่ผลิตเพื่อโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ ผ้าเบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบและหลากหลายวัตถุประสงค์ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนทั่วไปหรือใช้งานเป็นครั้งคราว การเลือกใช้ควรดูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบผ้าเบรกโลหะหรือผ้าเบรกกลุ่ม Non Asbestos Organics (NAO)

2.2 การถ่ายเทความร้อน [10]

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ซึ่งความร้อนจะมีการถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปหาแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ให้แก่วัตถุกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ความจุความร้อน (Heat capacity) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่สารนั้นสามารถรับไว้ (หรือคายออก) ต่อหนึ่งหน่วยมวล แล้วทำให้สารนั้นมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) หนึ่งองศา ซึ่งมีหน่วยเป็น “kJ/kg.K” สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$C = Q / m \cdot \Delta T \quad (1)$$

เมื่อ	Q	คือ	ค่าปริมาณความร้อน, “kJ”
	C	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะ, “kJ/kg.K”
	m	คือ	มวล, “kg”
	ΔT	คือ	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ, “K”

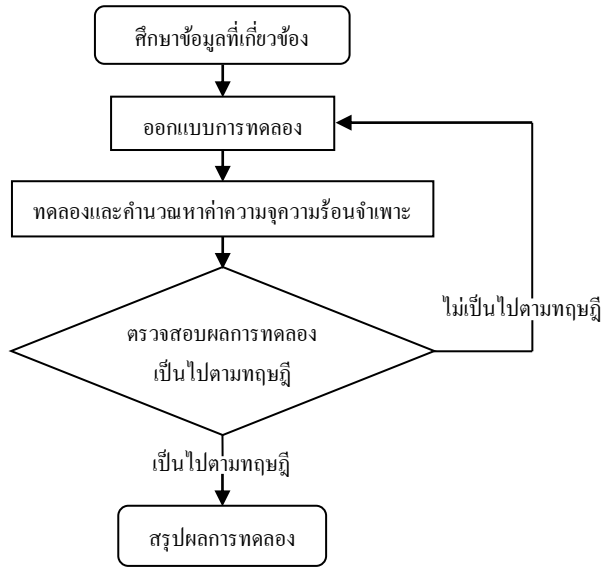
3. การเตรียมการและการทดลอง

ในการดำเนินโครงการให้มีประสิทธิภาพและสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องมีการศึกษาข้อมูลของผ้าเบรกในท้องตลาดว่ามีคุณสมบัติต่างกันอย่างไร เพื่อให้ผลทดลองมีความคล้ายกับการใช้งานจริงมากที่สุด โดยผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานเป็นขั้นตอนมากขึ้น สามารถกำหนดการปฏิบัติงานได้ดังแผนภาพต่อไปนี้

บทความวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก

A Study of Parameters Affecting The Specific Heat Capacity of Brake Pads



รูปที่ 1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองชิ้นงานจะทำการทดลองจากตัวอย่างผ้าเบรก 3 ชนิด คือ ชนิด A, B และ C โดยแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบของวัสดุต่างกันออกไป แสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด

ส่วนประกอบ	ชนิด A (%)	ชนิด B (%)	ชนิด C (%)
ไฟเบอร์	13.5	12.5	33
ผงโลหะ	8	5.5	25
สารหล่อลื่น	17.5	27	22.5
อื่นๆ	61	55	19.5

3.2 สภาวะการทดสอบ [11]

เพื่อให้สภาวะการทดลองเหมือนสภาวะใช้งานจริงที่สุด การทดลองจึงใช้ผ้าเบรกชนิดแบบดิสก์เบรกชนิด A, B และ C กำหนดสภาวะความดันที่ 1, 5 และ 8 MPa ภายใต้แรงในการกด 242, 1,210 และ 1,936 N ตามลำดับ แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 สภาวะการทดสอบ

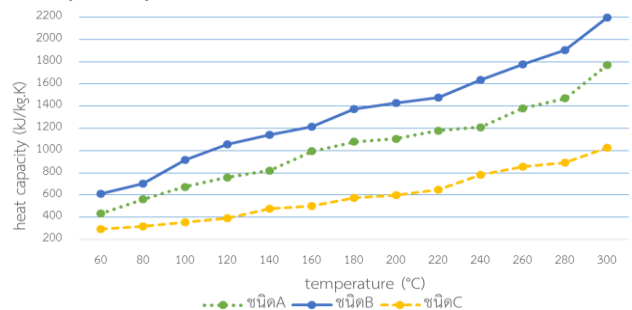
ชนิดผ้าเบรก	มวล (g)	ความดัน (Mpa)	ช่วงอุณหภูมิ (°C)	กำลังไฟฟ้า (W)
A	11	1	50 - 300	475.2
		5		
		8		
B	9	1		
		5		
		8		
C	13	1		
		5		
		8		

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

จากขั้นตอนการดำเนินโครงการดังกล่าว นำไปสู่การทดลองผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด ภายใต้สภาวะการทดลองจะเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ จาก 50°C ถึง 300°C และนำช่วงเวลาที่ผ้าเบรกเปลี่ยนแปลงไป 1°C มาคำนวณ โดยจะเก็บผลการทดสอบทุก 10°C ที่ความดัน 1, 5 และ 8 MPa

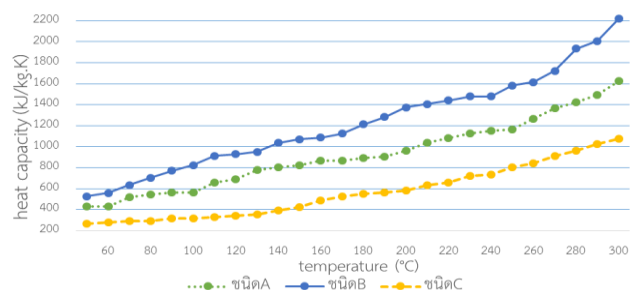
4.1 ผลการทดลอง

ผลการทดลองผ้าเบรกที่สภาวะความดัน 1 MPa พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มค่าความจุความร้อนจำเพาะที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น จากผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A, B และ C มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 1,771.2 kJ/kg.K, 2,135.4 kJ/kg.K และ 1,010.1 kJ/kg.K ตามลำดับ โดยผ้าเบรกชนิด B มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุด ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความจุความร้อนจำเพาะที่สภาวะความดัน 1 MPa

ผลการทดลองผ้าเบรกที่สภาวะความดัน 5 MPa ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก พบว่ามีพฤติกรรมเช่นเดียวกับการทดลองสภาวะความดันที่ 1 MPa จากผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A, B และ C มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 1,624.32 kJ/kg.K, 2,156 kJ/kg.K และ 1,058.2 kJ/kg.K ตามลำดับ โดยผ้าเบรกชนิด B มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุด ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความจุความร้อนจำเพาะที่สภาวะความดัน 5 MPa

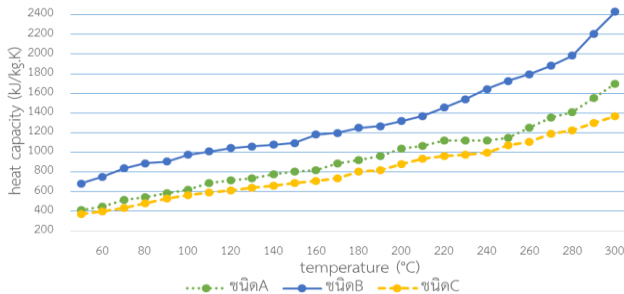
ผลการทดลองผ้าเบรกที่สภาวะความดัน 8 MPa ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก พบว่ามี

บทความวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก

A Study of Parameters Affecting The Specific Heat Capacity of Brake Pads

พฤติกรรมเช่นเดียวกับการทดลองสภาวะความดันที่ผ่านมา จากผลการทดลองผ้าเบรกชนิด A, B และ C มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุดอยู่ที่ 1,697.7 kJ/kg.K, 2,429.7 kJ/kg.K และ 1,370.9 kJ/kg.K ตามลำดับ โดยผ้าเบรกชนิด B มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุด ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความจุความร้อนจำเพาะที่สภาวะความดัน 8 MPa

5. สรุปผลการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของผ้าเบรก จากผลการทดลองที่ได้รับจากเครื่องทดสอบที่มีความต่างกันทั้งสภาวะการทดลอง และส่วนผสมภายในผ้าเบรก พบว่าพฤติกรรมของค่าความจุความร้อนจำเพาะค่อนข้างเป็นแบบเชิงเส้น แต่เมื่อสภาวะความดันเพิ่มขึ้น (5 MPa) ค่าความจุความร้อนจำเพาะเริ่มเปลี่ยนแปลงเป็นแบบไม่เชิงเส้นที่ช่วงอุณหภูมิ 240 ถึง 300 °C และยิ่งชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อสภาวะความดันเพิ่มมากขึ้น (8 MPa) ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาผ้าเบรกชนิด A, B และ C ที่อุณหภูมิ 300 °C มีการกระจายตัวของค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ คือ 8.2, 12.1 และ 26.3 % ตามลำดับ ซึ่งผ้าเบรกแต่ละชนิดมีสัดส่วนของวัสดุผสมภายในผ้าเบรกแตกต่างกัน และสภาวะความดันต่างๆ

ผลที่ได้จากการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่า ส่วนผสมของผ้าเบรกเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะ เนื่องจากผ้าเบรกแต่ละชนิดมีการกระจายตัวของค่าความจุความร้อนจำเพาะแตกต่างกัน สภาวะความดันจึงมีผลต่อค่าความจุความร้อนจำเพาะน้อยมาก สังเกตได้จากผ้าเบรกชนิด B นั้นมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงสุดในทุกสภาวะการใช้งาน เนื่องจากมีสัดส่วนของผงโลหะอยู่เพียง 5.5 % ซึ่งปัจจัยขององค์ประกอบในผ้าเบรกเหล่านี้ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผ้าเบรกให้สอดคล้องกับการใช้งานของผ้าเบรกแต่ละชนิดและความหลากหลาย ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดอีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้ความสะดวกต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่จัดทำโครงการ

ขอขอบพระคุณบริษัท คอมแพคอินเตอร์เนชั่นแนล (1994) จำกัด ซึ่งได้ให้การสนับสนุนผ้าเบรกเพื่อนำมาทำการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1]. Chutima, S., Kamnerdtong, T. and Siriwattanapolkul, A. 2007, "Effect of Automotive Speed on The Behaviors of Brake Disc during Braking", KMUTT Research and Development Journal, 30 (2), pp. 277-292
- [2] Naik, N.K. and Venkateswara, R.K., 2008, "High Strain Rate Behavior of Woven Fabric Composites under Compressive Loading", Materials Science and Engineering, 474 (1-2), pp. 301-311.
- [3] Mongkonlerdmanee, S., Boonmee, P. and Lakkam, S., 2013, "Influence of Volume Fraction from Brake Linings to the Flexibility Behavior and Internal Energy", KRU Research Journal, 18 (2), pp. 297-310. (in Thai)
- [4] Curzio, E.L., Bowers, D. and Ferber, M.K., 1996, "The Interlaminar Tensile and Shear Behavior of a Unidirectional C-C composite", Journal of Nuclear Materials, 230 (3), pp. 226-232.
- [5] Lakkam, S. and Suwataroj, K., 2012, "A Study of Friction Coefficient of Brake Pads Using Alternative Testing Method", The Journal of KMUTNB., 22 (2), pp. 315-324. (in Thai)
- [6] Scieszka, S.F., 1980, "Tribological Phenomena in Steel-composite Brake Material Friction Pairs", Wear, 64 (2), pp. 367-378.
- [7] Ertan, R. and Yavuz, N., 2010, "An experimental Study on the Effects of Manufacturing Parameters on the Tribological Properties of Brake Lining Materials", Wear, 268 (11-12), pp. 1524-1532.
- [8] 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 (3), pp. 2665-2674.
- [9] "อุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรก", :www.digi.library.tu.ac.th/thesis/ec/1062/10CHAPTER_3.pdf, ค้นเมื่อ วันที่ 13 พฤศจิกายน, 2560
- [10] ประเสริฐ เทียนมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี และปานเพชร ชนินทร, 2554, "ทฤษฎีและการคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์", กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยุคชั่น.
- [11] "มาตรฐานการทดสอบชิ้นส่วนเบรก JIS D4413 : 2005", :www.0kikakurui.com/d4/D4413-2005-01.html, ค้นเมื่อ วันที่ 3 กรกฎาคม, 2560