



การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนในระบบเบรกเพื่อกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก
ที่เหมาะสม

A STUDY OF HEAT TRANSFER BEHAVIOR IN BRAKE SYSTEM TO OPTIMIZE HEAT
CONDUCTIVITY OF BRAKE PAD

ภุภุมิ พ่วงเจริญชัย
ศุภชัย หลีกคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนในระบบเบรกเพื่อกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก
ที่เหมาะสม

A STUDY OF HEAT TRANSFER BEHAVIOR IN BRAKE SYSTEM TO OPTIMIZE HEAT
CONDUCTIVITY OF BRAKE PAD

ภุภุมิ พ่วงเจริญชัย
ศุภชัย หล้าคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนในระบบเบรกเพื่อกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่เหมาะสม

ผู้วิจัย : นายภูภูมิ พ่วงเจริญชัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
นายศุภชัย หลักคำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

พ.ศ. : 2561

บทคัดย่อ

ผ้าเบรกเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยโดยตรง ดังนั้นจึงมีการออกแบบผ้าเบรกกันอย่างแพร่หลายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนของผ้าเบรก และกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่เหมาะสม อีกทั้งแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนในระบบเบรกรถยนต์ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์ที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน 3 ชนิด ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากบริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชันแนล (1994) จำกัด มาทำการทดสอบด้วยการจำลองการห้ามล้อบนเครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์แบบเพลลาเดียว ในสภาวะการทดลองที่ความเร็วการห้ามล้อ 50, 100 และ 130 km/h จากการศึกษาพบว่าส่วนผสมของผ้าเบรกที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญคือ สารเติมเต็ม และ ทองแดง ตามลำดับ โดยส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อนจากบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกไปยังคาลิเปอร์ องค์กรผู้วิจัยดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบส่วนผสมผ้าเบรกเพื่อกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่เหมาะสมต่อไป

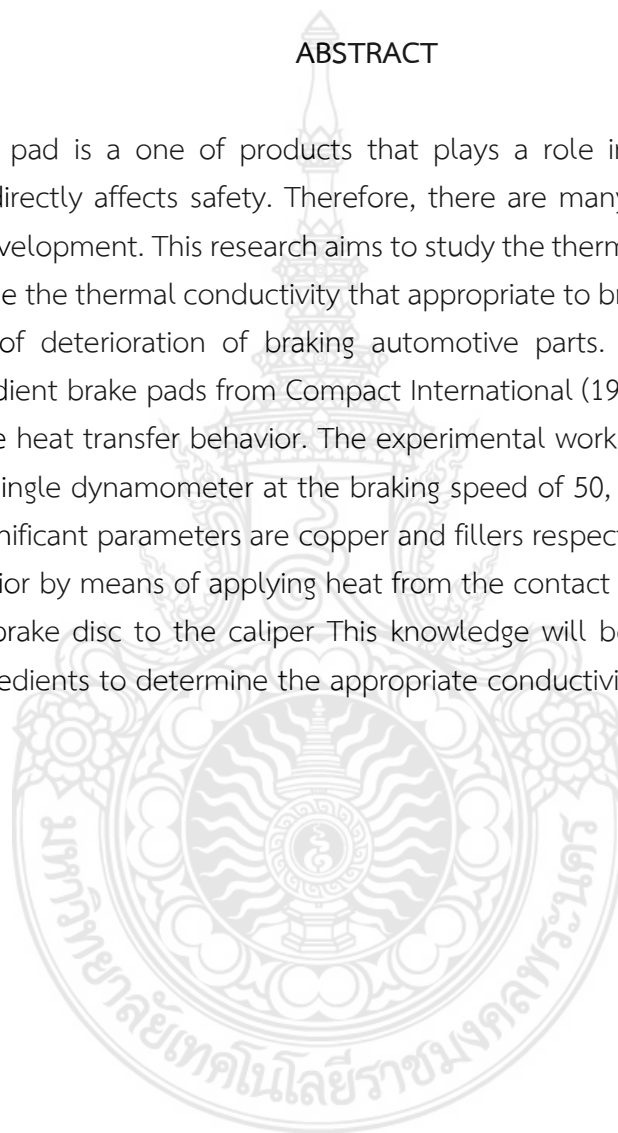
Title : A study of heat transfer behavior in brake system to optimize heat conductivity of brake pad

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

Year : 2018

ABSTRACT

Brake pad is a one of products that plays a role in the automotive parts industry and directly affects safety. Therefore, there are many designs of brake pads for product development. This research aims to study the thermal conductivity of brake pads and define the thermal conductivity that appropriate to brake pads and also solve the problem of deterioration of braking automotive parts. To achieve this, the 3 different ingredient brake pads from Compact International (1994) Co., Ltd. are studied in terms of the heat transfer behavior. The experimental work was set by simulating a brake on the single dynamometer at the braking speed of 50, 100 and 130 km/h. As a results, the significant parameters are copper and fillers respectively. It affects the heat transfer behavior by means of applying heat from the contact area between the brake pad and the brake disc to the caliper This knowledge will be used in the design of brake pad ingredients to determine the appropriate conductivity of the brake pads.



กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2561 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณผู้ที่มีความร่วมมือและให้ความอนุเคราะห์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้

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 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	5
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ผ้าเบรก ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรก	7
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการถ่ายเทความร้อน	9
2.2.1 การนำความร้อน	10
2.2.2 การพาความร้อน	11
2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน	13
2.2.4 การถ่ายเทความร้อนในสถานะสมดุล	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	16

3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	16
3.2	การพัฒนาเครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์แบบเพลลาเดี่ยว	17
3.3	การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อ	18
บทที่ 4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล	27
4.1	ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรก	27
4.2	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมของวัสดุที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อน	28
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	29
5.1	สรุปผลการทดลอง	29
5.2	ปัญหาและอุปสรรค	29
5.3	ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม		30
ประวัติผู้วิจัย		33



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 JASO C406:2000	3
1.2 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก	4
3.1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด	18
3.2 รายการทดสอบมาตรฐาน JIS D441144	20
4.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรกชนิด A	27
4.2 ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรกชนิด B	27
4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรกชนิด C	27
4.4 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด	28



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความร้อนที่เกิดจากการเบรก	2
1.2 เครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบเพลลาเดี่ยว	3
1.3 สมมุติฐานการตรวจวัดอุณหภูมิ	4
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	16
3.2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับแรงบิด	17
3.3 อุโมงค์ลมระบายความร้อน	18
3.4 ลักษณะการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิ	19
3.5 ความเร็วลมในอุโมงค์	19
3.6 การตรวจวัดความหนาของผ้าเบรก	20
3.7 การตรวจวัดความหนาของจานเบรก	21
3.8 การตรวจวัดอุณหภูมิ	22
3.9 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล	22
3.10 โปรแกรมบันทึกข้อมูล Kyowa DCS-100A	23
3.12 ปีมเบรก	24
3.13 การเปิดเครื่องทดสอบจานเบรก	25
3.14 การปิดเครื่องทดสอบจานเบรก	25
3.15 การปล่อยตุ้มน้ำหนักเบรก	26
3.16 การบันทึกข้อมูล	26

บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ขอบเขตของการศึกษาประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย ผ้าเบรกถือว่าเป็นวัสดุความเสียดทานที่เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และด้วยหน้าที่การทำงานของผ้าเบรกที่จำเป็นจะต้องสัมผัสกับจานเบรกที่เป็นโลหะ ในช่วงสภาวะอุณหภูมิสูงอยู่ทำให้เกิดความร้อนที่สะสมอยู่ตลอดเวลาจำเป็นต้องมีการระบายออกอย่างเหมาะสม นอกจากการพาความร้อนด้วยอากาศแล้ว การนำความร้อนเป็นอีกช่องทางหนึ่งของการระบายความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์ โดยอาศัยตัวกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนและอุปกรณ์ในระบบเบรกที่สัมผัสกับผ้าเบรก

คุณสมบัติการนำความร้อนของผ้าเบรกซึ่งมีค่าแปรผันไปตามอุณหภูมิการใช้งานและส่วนผสมของสูตรผ้าเบรกมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการถ่ายโอนความร้อนจากผ้าเบรกไปสู่ชิ้นส่วนและอุปกรณ์หลายชิ้นในระบบเบรก เช่น ลูกสูบ ลูกปั๊ม(คาลิปเปอร์) ประเกณยางลูกสูบ และน้ำมันเบรก ดังรูปที่ 1.1 อุปกรณ์ดังกล่าวมีความสามารถในการทนความร้อนที่จำกัด และมีประสิทธิภาพการใช้งานที่แปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อนที่มากเกินไปจากผ้าเบรกสู่ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของระบบเบรกรถยนต์จึงส่งผลเสียต่อความสามารถการเบรก และหมายถึงความปลอดภัยในการใช้งานของผู้ขับขี่และผู้ร่วมทางบนท้องถนนในที่สุด



รูปที่ 1.1 ความร้อนที่เกิดจากการเบรก

เนื่องจากผ้าเบรกเป็นวัสดุผสมที่ผลิตจากสารตั้งต้นมากกว่า 1 ชนิด ดังนั้นการกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกจากการกำหนดส่วนผสมของผ้าเบรกสามารถทำได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัด เนื่องจากผู้ผลิตไม่ทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนในระบบเบรกจากปริมาณการถ่ายโอนความร้อน และต้องการข้อมูลสนับสนุนในด้านดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พฤติกรรมการนำความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน เริ่มต้นจากการเกิดความร้อนจากการเสียดสีระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกไปสู่การนำความร้อนไปสู่ชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรก ซึ่งยังไม่พบว่ามีการศึกษาในขณะนี้

ด้วยเหตุผลดังกล่าว คณะวิจัยผู้ซึ่งเคยได้ทำการศึกษาค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกร่วมกับบริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชันแนล จำกัด (1994) จึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนของผ้าเบรกที่กระจายไปยังชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของระบบเบรกรถยนต์ เช่น ลูกสูบ ลูกปั๊ม (คาลิปเปอร์) ประเกนยางลูกสูบ และน้ำมันเบรก เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการออกแบบและกำหนดข้อจำกัดของชิ้นส่วนของระบบเบรก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การกำหนดค่าการนำความร้อนผ้าเบรกที่เหมาะสมด้วยสูตรส่วนผสมผ้าเบรกซึ่งทางบริษัทผู้ผลิตมีฐานข้อมูลอยู่ ผลที่ได้รับจากโครงการสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและนำไปสู่ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในด้านการวิจัยให้กับประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

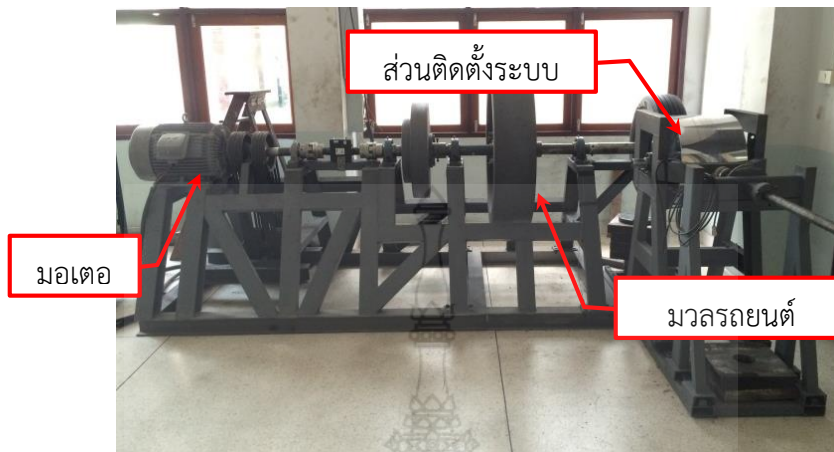
1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนจากผ้าเบรกไปยังชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรก
2. เพื่อกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่เหมาะสม
3. เพื่อแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนในระบบเบรกรถยนต์

1.3 สมมติฐานและกรอบแนวคิดของการวิจัย

จากงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 คณะผู้วิจัยได้ศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์ ซึ่งได้รับการสนับสนุนผ้าเบรกที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน 3 ชนิด จากบริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชันแนล (1994) จำกัด เพื่อหาอิทธิพลของส่วนผสมที่มีต่อค่าการนำความร้อน ค่าการนำความร้อนดังกล่าวมีแนวโน้มแปรผันผกผันกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ อย่างไรก็ตาม ความสามารถการเบรกเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตและผู้บริโภคต้องการสูงสุด ซึ่งค่าการนำความร้อนที่ได้ศึกษาไปแล้วข้างต้นยังไม่สามารถตอบโจทย์การใช้งานได้อย่างสิ้นเชิง ประสิทธิภาพของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ในระบบเบรกซึ่งแปรผันไปตามสภาวะการใช้งานเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต้องคำนึงถึง ดังนั้นการนำความร้อนของผ้าเบรกจำเป็นจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกันได้ดีกับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆในระบบเบรก

คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงานของระบบเบรก ด้วยการจำลองสภาวะการใช้งานบนเครื่องทดสอบแบบไดนามิเตอร์เพลลาเดี่ยว (Single Dynamometer) ที่มีใช้อยู่ในสาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ดังรูปที่ 1.2 อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวจำเป็นต้องสร้างอุโมงค์ลมเพิ่มเติม เพื่อสร้างความเร็วลมสำหรับการระบายความร้อนของระบบเบรก ซึ่งเป็น

สภาวะการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ JASO C 406 และนำมาเป็นแนวทางในการทดสอบ ดังตารางที่ 1.1



รูปที่ 1.2 เครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบเพลลาเดี่ยว

ณ สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ 1.1 JASO C406:2000 [3]

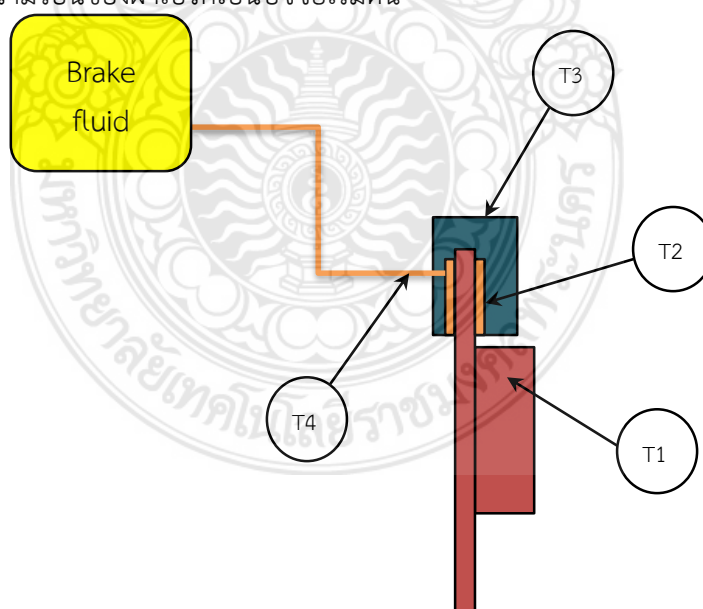
Test Conditions Vehicle Class		Initial Speed km/hr	Intervals (s)	Initial Temperature (°c)	Braking Deceleration (m/s ²)		
						Test Items & Sequence	
a	Initial Measurement	All	-	-	-		
b	Preburnish Check	All	50	-	80 or less: Front 60 or less: Rear	3.0	
c	First Effect. Check	P1	50	100	-	80: Front 60: Rear	1.0~10.0 range
		P2	50	100			
		P3	50	80			
		P4	50	65			
d	Burnish	All	65	-	80: Front 60: Rear	3.5	

สำหรับผ้าเบรกที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ คณะผู้วิจัยจะได้รับการสนับสนุนจากบริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชั่นแนล (1994) จำกัด ซึ่งเป็นผ้าเบรกที่มีค่าการนำความร้อนที่แตกต่างกันโดยอ้างอิงจากผลการทดสอบในงานวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก

ชนิด	อุณหภูมิ, (°C)	100	150	200	250	300	350	300	250	200	150	100
A	k (W/m·k)	0.157	0.203	0.141	0.136	0.102	0.137	0.122	0.079	0.082	0.084	0.020
B	k (W/m·k)	0.144	0.124	0.075	0.077	0.073	0.064	0.057	0.075	0.077	0.083	0.539
C	k (W/m·k)	0.195	0.148	0.042	0.040	0.020	0.039	0.072	0.046	0.017	0.127	0.361

การตรวจวัดพฤติกรรมถ่ายโอนความร้อนในงานวิจัยครั้งนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การนำ และการพาความร้อน สำหรับปริมาณการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเบรกและถูกถ่ายโอนไปยังชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรกด้วยการนำความร้อน โดยวิธีการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิตามชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรกที่มีการสัมผัสกับผ้าเบรก เช่น จานเบรก ลูกสูบ ลูกปั๊ม(คาลิเปอร์) ประเกณยางลูกสูบ และน้ำมันเบรก เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนด้วยการนำความร้อนขณะการเบรก ดังรูปที่ 1.3 ในขณะเดียวกัน ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนด้วยการพาความร้อนจะถูกตรวจวัดเช่นกัน ผลการตรวจวัดดังกล่าวจะทำให้ทราบร้อยละการถ่ายโอนความร้อนซึ่งถูกแบ่งออกเป็นความร้อนจากการนำและการพาความร้อนในขณะทำการเบรก นอกจากนี้ ร้อยละปริมาณการนำความร้อนไปยังชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรกจะถูกคำนวณได้จากข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ โดยมีค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเป็นปัจจัยเริ่มต้น



รูปที่ 1.3 สมมุติฐานการตรวจวัดอุณหภูมิ

1.4 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุผสมพบที่มีการทดสอบหาคุณสมบัติหลายด้าน จากวัสดุผสมหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่จะทำการศึกษาโดย N.K. Naik และคณะ (2008) ได้ทำการสำรวจพฤติกรรมความเครียดของวัสดุผสมด้วยวิธี Compressive split Hopkinson pressure bar (SHPB) เพื่อหาคุณสมบัติการอัดตัวในลักษณะระนาบการสั้นของวัสดุผสมระหว่าง แก้ว/อีพอกซี และคาร์บอน/อีพอกซี โดยมุ่งเน้นการวัดค่าความเครียดบริเวณตำแหน่งการตัดตัวสูงสุด

นอกจากนี้ยังพบว่า S. Mongkonlerdmanee และคณะ (2013) ได้ทำการทดสอบการอัดตัวของผ้าเบรกที่ได้จากส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงพลังงาน ภายในของผ้าเบรก อีกทั้งความเค้นและความเค้นเฉือนของวัสดุผสมคาร์บอนโดย Edgar Lara-Curzio และคณะ (1996) ซึ่งได้ทำการทดสอบในห้องบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง และในห้องที่บรรจุ ก๊าซออกซิเจนที่อุณหภูมิ 1,000°C ภายใต้สภาวะความดันต่างๆ เพื่อคำนวณหาความเค้นเฉือน 1 มิติ และ 2 มิติ

สำหรับผ้าเบรคนั้น S. Lakkam และคณะ (2012) ได้คิดค้นวิธีการทดสอบสัมประสิทธิ์ ความเสียดทานผ้าเบรก โดยการประยุกต์ใช้เครื่องทดสอบแบบ Universal Testing ภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและความดันต่างๆ ซึ่งใกล้เคียงกับ S.F. Scieszka (1980) ได้มีการทดสอบคุณสมบัติทาง Tribology โดยวิธีการลากผ่านระนาบเพื่อตรวจสอบอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครื่องมือวัดไมโครสโคป และฉาย รังสีเพื่อตรวจสอบความร้อนที่เกิดขึ้นหลังการทดลอง

นอกเหนือจากการวิเคราะห์วัสดุผสมหลังจากการผลิตแล้ว การคำนึงถึงสารตั้งต้นก่อน การผลิตยังถูกศึกษาโดย Rukiye Ertan และคณะ (2010) ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยทางกระบวนการผลิต ที่มีผลต่อคุณสมบัติทาง Tribology ของวัสดุ โดยมีผลลัพธ์หลายประเด็นเช่น การต้านทานการสึกหรอ และความสามารถในการรักษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นคุณสมบัติ ด้านการนำความร้อนก็เป็นอีกประเด็นที่มีการศึกษา โดย A. Shojaei และคณะ (2007) ซึ่งได้ยกเอา วัสดุความเสียดทานที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุผสมโดยมียางเป็นสารตั้งต้นพื้นฐานผสมกับสารอีกหลาย ชนิด และทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สำหรับงานวิจัยล่าสุด P. Puangcharoenchai และคณะ (2016) ใช้ผ้าเบรกที่มีส่วนผสม หลักแตกต่างกัน 3 สูตร ทดสอบหาค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้น ด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 ถึง 400 °C ที่สภาวะความดัน 1, 5 และ 8 MPa จากนั้นทำการตรวจวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายใต้ สภาวะคงตัว (Steady state) และนำไปเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่สภาวะ เดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าค่าการนำความร้อนดังกล่าวจะแปรผกผันกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน จลน์

จากการสำรวจวรรณกรรมทั้งหมด ยังไม่พบการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อน ของระบบเบรกไปยังชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญที่จะใช้สนับสนุนการตัดสินใจและออกแบบค่า

การนำความร้อนและคุณสมบัติด้านความร้อนของผ้าเบรกให้กับผู้ผลิตผ้าเบรกและภาคอุตสาหกรรม
ชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อผลิตผ้าเบรกที่เหมาะสมต่อการใช้งานให้กับผู้บริโภค

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาพฤติกรรมการนำความร้อนบนเครื่องไดนาโมมิเตอร์แบบเพลลาเดี่ยว
2. อาศัยขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน JASO C406 เป็นแนวทางในการทดสอบ
3. ใช้ผ้าเบรกที่มีค่าการนำความร้อนที่แตกต่างกันไม่น้อยกว่า 3 ค่า

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลที่ใช้กำหนดและออกแบบค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่เหมาะสม รวมถึงชิ้นส่วนระบบเบรกอื่นๆ
2. ลดและขจัดปัญหาการนำความร้อนที่ไม่เหมาะสมของผ้าเบรก ซึ่งส่งผลต่อความเสียหายและอันตรายระหว่างการใช้งาน
3. ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีให้กับผู้ประกอบการภายในประเทศ
4. เพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลดีต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าเบรก ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรก, (2553)

ระบบห้ามล้อส่วนใหญ่ในยานพาหนะถูกออกแบบให้อาศัยแรงเสียดทานโดยเปลี่ยนพลังงานกลในทิศทางการหมุนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งใช้ผ้าเบรกเป็นอุปกรณ์ในการชะลอ หรือหยุดเพลาล้อ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หน้าที่ของผ้าเบรกคือสร้างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก เพื่อให้เกิดแรงเบรกที่ใช้ในการชะลอหรือหยุดเพลลา ดังนั้นผ้าเบรกจึงต้องสามารถตอบสนองการใช้งานได้ถูกต้องโดยปราศจากการลื่นไถลที่มากเกินไปเกินความต้องการระหว่างการทำหน้าที่ชะลอหรือหยุดเพลานั้น การลื่นไถลแบบชั่วขณะเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกตลอดกระบวนการทำงานนี้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสประมาณ 80 ถึง 300 °C (ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบห้ามล้อ ดังนั้นสมรรถนะของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผ้าเบรคนั้นจะต้องรักษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และมีค่ามากพอต่อความต้องการในสภาวะการทำงานอย่างสม่ำเสมอ การลดลงอย่างรวดเร็วของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ปรารถนา การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างช่วงการทำงาน หรือจากการสึกหรอของวัสดุจะต้องมีข้อจำกัด

นอกเหนือจากอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยและมีอิทธิพลแล้ว ยังมีความสัมพันธ์จากวัสดุที่นำมาใช้ ความสัมพันธ์ทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แต่กลไกเหล่านี้ซับซ้อน และไม่สามารถกำหนดได้ในเชิงปฏิบัติผลกระทบเหล่านี้จะพบได้ทั่วไปส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่คงที่ การที่จะทำให้รถหยุดนั้นต้องมีความฝืดที่สัมผัสจากผ้าเบรกกับจานเบรก ส่งผลให้เกิดการสึกหรอที่ผ้าเบรกและความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสิ่งที่ถูกนำมาทำเป็นผ้าเบรกต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อน การสึกหรอ ป้องกันความชื้น และมีค่าความฝืดสูง (ค่าสัมประสิทธิ์) ซึ่งในปัจจุบันทำจากสารประเภทเอสเบทผสมกับฟิลเลอร์ และผงเรซิน คลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนและความดันจนกระทั่งแข็งตัว

จากนั้นยึดผ้าเบรกเข้ากับฝักเบรกซึ่งมีวิธีการยึดแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบยึดด้วยกาวแบบยึดด้วยหมุดย้ำ โดยวิธีที่นิยมใช้ในการยึดทั่วไป คือการยึดด้วยกาวเนื่องจากสามารถยึดผ้าเบรกได้ บางกว่าการใช้หมุดย้ำ ในการผลิตผ้าเบรกของบริษัทผู้ผลิตจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อตอบสนองในการใช้งาน ส่วนผสมในผ้าเบรกเป็นสิ่งที่ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลที่สำคัญได้ การเลือกวัสดุเพื่อนำมาเป็นโครงสร้างแผ่นเหล็กที่เตรียมจะถูกพันด้วยกาวเพื่อรอกระบวนการขึ้นรูปซึ่งมีสองวิธี คือ วิธีแรกจะผลิตด้วยการขึ้นรูปเย็นโดยการเทผงผ้าเบรกลงบนแม่พิมพ์จากนั้นวางเหล็กทรงไว้ด้านบนเพื่อทำการ

อัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ซึ่งใช้แรงกดขนาด 160 ตัน จึงนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบ ผ้าเบรกที่ผลิตจาก กระบวนขึ้นรูปเย็นจะมีจำหน่ายในตลาดขายอะไหล่ทั่วไป อีกวิธีหนึ่งการผลิตเป็นการขึ้นรูปร้อนซึ่ง กระบวนการผลิตมีลักษณะเดียวกับการขึ้นรูปเย็นจะแตกต่างกันในขั้นตอนการให้ความร้อนในการเท ผงผ้าเบรกและมีการควบคุมความชื้นไม่ให้มีในกระบวนการ เป็นผ้าเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงานการผลิตผ้าเบรกของบริษัทผู้ผลิตเพื่อผลิตผ้าเบรกที่มีประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับยานพาหนะแต่ละ ประเภทมาโดยเฉพาะ เช่น รถยนต์ทั่วไป, รถยนต์ที่ใช้ในทางฝุ่น เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถ ในการทนความร้อนต่างกันไป ชนิดของผ้าเบรกรถยนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งานโรงงานผลิตผ้า เบรกรถยนต์ มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายคุณภาพ คุณภาพผ้าเบรกแต่ละโรงงานมีมาตรฐานที่แตกต่าง กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบาย และทิศทางการทำธุรกิจของโรงงานนั้น ผู้ผลิตผ้าเบรกรถยนต์มี 2 ประเภท คือ ผู้ผลิตสำหรับค้าปลีกโดยเฉพาะและผู้ผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ Original Equipment Manufacturing (OEM) ผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับค้าปลีก มีการผลิตผ้าเบรกออกมาหลากหลายคุณภาพ รวมถึงราคา บางผู้ผลิตอาจผลิตสินค้าโดยบรรจุในหลากหลายบริษัทเพื่อให้ตรงตามความต้องการของ ผู้จำหน่ายและผู้ใช้รถมากที่สุด ผู้ผลิตจะเน้นราคาในการทำตลาด กลุ่มเป้าหมายจะเป็นลูกค้าปลีก ทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่น่าออกจำหน่ายจะอยู่ตั้งแต่กลุ่มตลาดล่าง จนถึงกลุ่มตลาดขนาดกลางผู้ผลิตผ้า เบรกสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นสินค้าคุณภาพมาตรฐานอุตสาหกรรม ผลิตรถยนต์ ผู้ผลิตมุ่งเน้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานอะไหล่สำหรับรถยนต์ใหม่ กลุ่มเป้าหมายจะเป็นโรงงานผลิตรถยนต์รวมทั้งศูนย์บริการรถยนต์ชั้นนำ Original Equipment Service (OES) ผลิตภัณฑ์ที่น่าออกจำหน่ายในตลาดค้าปลีกจะอยู่ในกลุ่มตลาดรถที่มีมาตรฐานสูง เท่านั้น หากเราจำแนกชนิดของผ้าเบรกตามเกรดผู้ผลิต สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ (แบ่ง ตามลักษณะการใช้งานต่างๆ)

2.1.1 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานโรงงานผลิตรถยนต์

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานจากโรงงานผลิตรถยนต์ มีคุณสมบัติของวัตถุดิบ แต่ละชนิดตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์ ทั้งด้านประสิทธิภาพการเบรกและการทำงานร่วมกับ จานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะต่ำเหมาะสำหรับรถยนต์ใหม่ใช้ในขับเคลื่อนทั้งไป จนถึงการใช้งานหนักซึ่งไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาด

2.1.2 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานจากผู้ผลิตทั่วไป

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานเพื่อใช้เป็นอะไหล่ทดแทน คุณสมบัติของอะไหล่ จะแตกต่างจากผู้ผลิตรถยนต์ขึ้นอยู่กับต้นทุนและการแข่งขัน ผู้ประกอบรถจะขายในรูปอะไหล่จะใช้ สัญลักษณ์เดียวกับสัญลักษณ์รถยนต์ ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอาจผลิตอะไหล่คุณภาพต่ำลงจำหน่าย เพื่อรักษารฐานลูกค้าที่มีกำลังซื้อต่ำ และเพื่อการแข่งขันเรื่องราคาในตลาดเหมาะสำหรับผู้ซื้อทั่วไปที่ ต้องการอะไหล่คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่หาซื้อได้ตามศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปหรือร้านค้าอะไหล่

2.1.3 ผ้าเบรกสำหรับรถสมรรถนะสูง

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพสูงที่ใช้เพื่อการแข่งขันวัตถุดิบในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อ ประสิทธิภาพการหยุดรถ โดยเฉพาะรองรับการขับรถด้วยอัตราความเร็วสูงและการถ่ายเทความร้อน ในระบบเบรก เหมาะสำหรับการขับขี่เพื่อการแข่งขันที่ใช้ความเร็วสูงในการขับขี่เป็นประจำ ผ้าเบรก

ชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนทั่วไปรวมถึงการใช้งานหนักและบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้มีอัตราการทำให้ลายจานเบรกสูง เพราะส่วนผสมมีโลหะอยู่ในอัตราที่สูง

2.1.4 ผ้าเบรกมาตรฐานทั่วไป

ผ้าเบรกมาตรฐานทั่วไปมีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานเหมาะสำหรับการใช้งานในขับเคลื่อนทั่วไปหรือใช้งานหนัก วัตถุประสงค์ในการผลิตจะมีคุณสมบัติเท่ากับ หรือต่ำกว่าผ้าเบรกที่ผลิตเพื่อโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ ผ้าเบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบและหลากหลายวัตถุประสงค์ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ผู้บริโภคต้องใช้วิจารณญาณในการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนทั่วไปหรือใช้งานเป็นครั้งคราว การเลือกใช้ควรดูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบผ้าเบรกโลหะหรือผ้าเบรกกลุ่ม Non Asbestos Organics (NAO) แต่ละชนิดมีผลดีและผลเสียแตกต่างกัน อันมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการถ่ายเทความร้อน (Bergmann และคณะ, 2007)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนเมื่ออุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อมต่างกัน ความร้อนจะมีการถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปหาแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หน่วยของความร้อนในระบบเมตริก คือ กิโลแคลอรี (kcal) ในระบบอังกฤษเป็นบีทียู (BTU) ดังนั้น ความร้อน 1 กิโลแคลอรี คือปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำจำนวน 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ 14.5 °C และความดัน 1 บรรยากาศ หรือเท่ากับ 1.013 บาร์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 15.5 °C

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้น ความร้อนต่างก็เป็นพลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นด้วยกัน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหาจึงใช้หน่วยชนิดเดียวกันคือ จูล (J) หรือกิโลจูล (kJ) สำหรับหน่วยของงานและความร้อนในระบบเอสไอ (SI) การเปลี่ยนหน่วยความร้อน (kcal) เป็นหน่วยของงาน (kJ) ทำได้โดยใช้ค่าคงที่ที่เรียกว่า จูล หรือ (Mechanical equivalent of heat; J) แต่ในระบบอังกฤษความร้อนมีหน่วยเป็น บีทียู (BTU)

สารต่างชนิดกันปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลจำนวนหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งจะมีค่าต่างกัน อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ให้แก่วัตถุกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ความจุความร้อนของวัตถุนั้น ๆ คำว่า “ความจุ” อาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นปริมาณความร้อนที่วัตถุจุได้ แต่ความจริง ความจุความร้อน หมายถึง ปริมาณความร้อนที่เข้าไปต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของวัตถุเรียกว่า ความร้อนจำเพาะความแตกต่างของอุณหภูมิก่อน และหลังการเปลี่ยนแปลงความร้อนของวัตถุใดมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ เช่น ความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันบรรยากาศจะค่อย ๆ ลดลงในช่วง 0 ถึง 35 °C และมีค่าต่ำสุดประมาณ 35 °C แล้วจะค่อย ๆ สูงขึ้นอีก ค่าความร้อนจำเพาะที่ใช้ในกรณีนี้เรียกว่า ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat at constant pressure) ใช้สัญลักษณ์ C_p ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเมื่อความดันคงที่หาได้ดังนี้

$$Q = mc_p(T_2 - T_1) \quad (2.1)$$

เมื่อ	Q	คือ	ค่าความร้อน, kJ
	c_p	คือ	ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่, kJ / kg · K
	m	คือ	มวล, kg
	T_1	คือ	อุณหภูมิที่จุดแรก, K
	T_2	คือ	อุณหภูมิที่จุดที่ต้องการวัด, K

การถ่ายเทความร้อนมีทั้งสิ้น 3 แบบ ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) การพาความร้อน (Convection heat transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การนำความร้อน (Heat conduction)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำหรือการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนในตัวกลางต่าง ๆ เมื่อมีความชันของอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัตถุ ชี้นั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ q_{cond} นี้จะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ $\frac{dT}{dx}$ คูณกับพื้นที่ตั้งฉาก A ที่ความร้อนไหลผ่านจะได้สมการ

$$Q_{cond} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.2)$$

เมื่อ	Q_{cond}	คือ	พลังงานจากการนำความร้อน, W
	k	คือ	ค่าการนำความร้อน, W/m · K
	A	คือ	พื้นที่รับความร้อน, m ²
	ΔT	คือ	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ, K
	Δx	คือ	ผลต่างระหว่างระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, m

อัตราการถ่ายเทความร้อนจริงนั้น ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity), k ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่ความร้อนไหลผ่านโดยปกติแล้วจะแปรผันไปตามอุณหภูมิสมการ (2.2) นี้เรียกว่ากฎการนำความร้อนของฟูเรียร์ (Fourier's law of conduction) เครื่องหมายลบที่อยู่ทางขวามือ เนื่องจากกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งกำหนดไว้ว่าอุณหภูมิความร้อนต้องไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่เนื่องจากความลาดชันของอุณหภูมิทำให้ค่าการนำความร้อนมีค่าเป็นลบ สมการ (2.2) เป็นสมการที่ใช้สำหรับนิยามความหมายของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

การนำความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านพื้นผิวที่กำหนดมีหน่วยของอัตราความร้อนเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ ฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ในหน่วย SI ฟลักซ์ความร้อนเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร(W/m²) อัตราความร้อนเป็นปริมาณสเกลาร์ในขณะที่การไหลของความร้อนเป็นปริมาณ (Vectorial) เพื่อกำหนดฟลักซ์ความร้อน

ที่จุดหนึ่งในอวกาศหนึ่งจะใช้เวลาที่จำกัด กรณีที่ขนาดของพื้นผิวจะกลายเป็นขนาดเล็กซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$q''_{cond} = \frac{Q_{cond}}{A} = k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.3)$$

เมื่อ q''_{cond} คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการนำ, W/m²

2.2.2 การพาความร้อน (Heat convection) (ประเสริฐ และคณะ, 2547)

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็จะมี การแลกเปลี่ยนพลังงาน ความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน โดยการพาหรือการพาความร้อน กระบวนการพาความร้อนดังกล่าวนี้เป็นปรากฏการณ์พื้นฐานการถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อนนี้แบ่งออกได้เป็น ลักษณะ 2 คือ

2.2.2.1 การพาความร้อนแบบอิสระหรือธรรมชาติ (Free or natural convection)

แรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนไหวของการพาความร้อนแบบอิสระนั้น เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล เนื่องจากการที่ของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จนทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างการพาความร้อนแบบอิสระนี้ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้านที่เกิดขึ้นในวันที่ไม่มีลมพัด การพาความร้อนภายในการต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนจนผิวของตัวเก็บความร้อนที่ได้มาจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่ไม่มีลมพัดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$CRa_L^n = \frac{\bar{h}_c L}{k} \quad (2.4)$$

เมื่อ Ra_L คือ Rayleigh number
 \bar{h}_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m²K
 L คือ ความยาว, m
 k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไหล, W/mK
 $C n$, คือ $0.59 = C$ ค่าคงที่ และ $n = \frac{1}{4}$ เมื่อ $(10^4 \leq Ra_L \leq 10^9)$ หรือ $C = 0.10$ และ $n = \frac{1}{3}$ เมื่อ $(10^9 \leq Ra_L \leq 10^{13})$

สมการหาค่า Rayleigh number

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (2.5)$$

เมื่อ g คือ ,แรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s²

β	คือ	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร $\frac{1}{K}$,
ν	คือ	ความหนืด, m/s^2
α	คือ	ค่าแพร่กระจายความร้อน, m/s^2

2.2.2.2 การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection)

การพาความร้อนแบบบังคับจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เนื่องการไหลของการพาความร้อนแบบบังคับมีความเร็วที่สูงกว่าแบบอิสระ ดังนั้นถ้าหากความแตกต่างของอุณหภูมิมีขนาดเท่า ๆ กันแล้ว การพาความร้อนแบบบังคับก็จะมีอัตราการพาความร้อนที่สูงกว่า แต่ไม่ว่าจะเป็นการพาความร้อนแบบไหนก็ตามต่างมีสมการสำหรับหาอัตราการพาความร้อนที่อยู่ในรูปของ กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's law of cooling) ซึ่งมีรูปสมการเป็น

$$Q_{conv} = \bar{h}_c A (T_s - T_\infty) \quad (2.6)$$

เมื่อ	Q_{conv}	คือ	พลังงานการพาความร้อน, W
	T_s	คือ	อุณหภูมิของผิววัตถุ, K
	T_∞	คือ	อุณหภูมิของของไหลอิสระที่อยู่ห่างออกไปจากผิววัตถุมาก ๆ, K

โดย \bar{h}_c สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (Average convective heat transfer coefficient) ที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับวัตถุ หรือหนึ่งหน่วยการนำจากการพาความร้อน (Unit thermal convective conductance)

การพาความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านพื้นผิวที่กำหนดมีหน่วยของอัตราความร้อนเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ ฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ในหน่วย (SI) ฟลักซ์ความร้อนเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) อัตราความร้อนเป็นปริมาณสเกลาร์ในขณะที่การไหลของความร้อนเป็นปริมาณ (Vectorial) เพื่อกำหนดฟลักซ์ความร้อนที่จุดหนึ่งในอวกาศหนึ่งจะใช้เวลาที่จำกัด กรณีที่ขนาดของพื้นผิวจะกลายเป็นขนาดเล็กซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$q''_{conv} = \frac{Q_{conv}}{A} = \bar{h}_c (T_s - T_\infty) \quad (2.7)$$

เมื่อ	q''_{conv}	คือ	ฟลักซ์ความร้อนจากการพา, W/m^2
-------	--------------	-----	---------------------------------

2.2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Heat radiation) (สมพงษ์, 2539)

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีต่างไปจากการนำและการพาความร้อน เพราะไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ด้วยนี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการให้ความร้อน และหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม พิจารณาของแข็งในสภาวะสุญญากาศที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น T_s สูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม T_∞ ในสภาวะสุญญากาศ จะทำให้การนำและการพาความร้อนเกิดขึ้นไม่ได้ แต่อุณหภูมิของแข็งจะลดลงจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลกับอุณหภูมิแวดล้อมในที่สุด กระบวนการลดอุณหภูมิดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการลดพลังงานภายใน (Internal energy) ที่มีอยู่ในของแข็ง และเป็นผลลัพธ์โดยตรงจากการปล่อยรังสีความร้อน (Emission)

จากพื้นผิวของแข็งการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นได้ทั้งสองทาง ทั้งจากของแข็งสู่สิ่งแวดล้อม และจากสิ่งแวดล้อมสู่ของแข็ง หากกลไกการปล่อยรังสีความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่แบบสั่น และการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนหลายตัวที่ประกอบเป็นสาระ แหล่งพลังงานภายในที่แปรผันไปกับอุณหภูมิของสาระที่เกิดการเคลื่อนที่แบบสั่นนี้ ปรากฏการณ์แผ่รังสีความร้อนอาจเป็นได้ทั้งในเชิงปริมาตรกรณีของแก๊สและตัวการโปร่งแสงอุณหภูมิสูง ในการพิจารณาการแผ่รังสีความร้อนเชิงพื้นผิว การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -270°C หรือ 0 K ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว เช่น การตากปลาแห้ง ตากเสื้อผ้ากลางแจ้ง ทั้งนี้การแผ่รังสี คือ การถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องผ่านตัวกลางใด ๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี

วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน การแผ่รังสีความร้อนจากแบล็คบอดี้ (Blackbody radiation) หรือวัตถุดำระบบในอุดมคติที่สามารถดูดซึมและปลดปล่อยรังสีความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ (A perfect thermal radiation absorber and emitter) และปรากฏเป็นสีดำเนื่องจากไม่สะท้อนแสงยกเว้นจะเรืองแสงได้เอง (Self-luminous) ถ้าอุณหภูมิสูงพอ แบล็คบอดี้เป็นเพียงสมมติที่ใช้อ้างอิง และเปรียบเทียบผลที่ได้จริง วัตถุที่มีสีดำไม่ใช่แบล็คบอดี้ วัตถุที่มีสีเข้มเพียงแต่สามารถดูดซึม และปลดปล่อยรังสีความร้อนได้ดีกว่า วัตถุที่มีสีอ่อนรังสีความร้อน แบล็คบอดี้จะดูดซึมรังสีตกกระทบ (Incident radiation) ไว้ทั้งหมด ไม่ว่ารังสีนั้นจะตกกระทบในทิศทางหรือความยาวคลื่นใด วัตถุที่สามารถดูดซึมรังสีตกกระทบใกล้เคียงแบล็คบอดี้ ได้แก่ แกรไฟต์ ซึ่งดูดซึมรังสีตกกระทบได้ถึง 97% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิแบล็คบอดี้ยังแผ่รังสีความร้อนออกมาในระดับพลังงานสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับอุณหภูมินั้น โดยแผ่รังสีออกมาทุกช่วงความยาวคลื่น เรียกการแผ่รังสีความร้อนแบบนี้ว่า “การแผ่รังสีของแบล็คบอดี้(Blackbody radiation)” ในทางปฏิบัติไม่มีวัตถุใดที่สามารถปล่อยพลังงานออกมาได้มากกว่าวัตถุดำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

2.2.3.1. สีของวัตถุ วัตถุสีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือสีอ่อน

2.2.3.2. ผิววัตถุ วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมัน

คำนวณจากกฎของ สเตฟาน โบลต์ซมันน์-(Stefan-Boltzmann) ดังนี้

$$Q_{rad} = \sigma AT_s^4 \quad (2.8)$$

เมื่อ	Q_{rad}	คือ	พลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน, W
	σ	คือ	ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์และมีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
	T_s^4	คือ	อุณหภูมิผิวแผ่รังสีในหน่วยองศาสัมบูรณ์, K ⁴

การพาความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านพื้นผิวที่กำหนดมีหน่วยของอัตราความร้อนเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ ฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ในหน่วย (SI) ฟลักซ์ความร้อนเป็นวัตต์ใน (W/m²) อัตราความร้อนเป็นปริมาณสเกลาร์ ในขณะที่การไหลของความร้อนเป็นปริมาณ (Vectorial) เพื่อกำหนดฟลักซ์ความร้อนที่จุดหนึ่งในอวกาศหนึ่งจะใช้เวลาที่จำกัด กรณีที่ขนาดของพื้นผิวจะกลายเป็นขนาดเล็กซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$q''_{rad} = \frac{Q_{rad}}{A} = \sigma T_s^4 \quad (2.9)$$

เมื่อ q''_{rad} คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสี, W/m²

2.2.4 การถ่ายเทความร้อนในสภาวะสมดุล (พฤทธ์ และคณะ, 2554)

จากขั้นตอนการทดลองไม่สามารถคำนวณหาค่าได้จากสมการการนำความร้อนหรือสมการการพาความร้อน จำเป็นต้องวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนที่เกิดขึ้นโดยความร้อนที่ถ่ายเทให้กับผ้าเบรกเกิดจากการนำความร้อนผ่านแท่งเหล็ก และการพาความร้อนจากบริเวณโดยรอบ ดังนั้นจึงนำสมดุลการถ่ายเทความร้อนมาเป็นแนวทางในการทดสอบหาค่าการนำความร้อนสมการการนำความร้อน เป็นสมการคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการอนุรักษ์พลังงานภายในก้อนวัตถุ สมการดังกล่าวนี้ได้มาจากสมดุลพลังงานของก้อนวัตถุชิ้นเล็ก ๆ ที่มีความร้อนไหลผ่านโดยการนำสำหรับการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนในก้อนวัตถุนั้นถือว่ามีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำมีความสัมพันธ์กับการกระจายอุณหภูมิภายในก้อนวัตถุตามกฎของฟูเรียร์

การสมดุลพลังงานนี้ได้มาจากข้อเท็จจริงที่ว่า พลังงานสามารถเกิดในวัตถุ ตัวอย่างของพลังงานที่เกิดขึ้นในวัตถุนั้นได้แก่ ความร้อนที่ขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมี ความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุที่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้า และความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ สมการการนำความร้อนภาพทั่ว ๆ ไปนั้นจะรวมพลังงานที่เก็บไว้ภายในก้อนวัตถุเข้าไปด้วยจากวิชาเทอร์โมไดนามิกส์นั้นทราบกันแล้วว่า ถ้าหากอุณหภูมิของก้อนวัตถุใดเพิ่มขึ้นพลังงานภายในของก้อนนั้นก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นพลังงานสุทธิที่เก็บสะสมไว้ภายในก้อนวัตถุก็จะเพิ่มขึ้นตามเวลา และจะลดลงตามอุณหภูมิของวัตถุคงที่ที่ก็แล้ว ไม่มีการเก็บพลังงานเติมเข้าไปในวัตถุ และจะเรียกวัตถุที่อยู่ในสภาวะดังกล่าวว่าอยู่ในสภาวะที่ค่าต่าง ๆ คงที่ หรือไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแล้ว (Steady State) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q_{cond} = q_{conv}$$

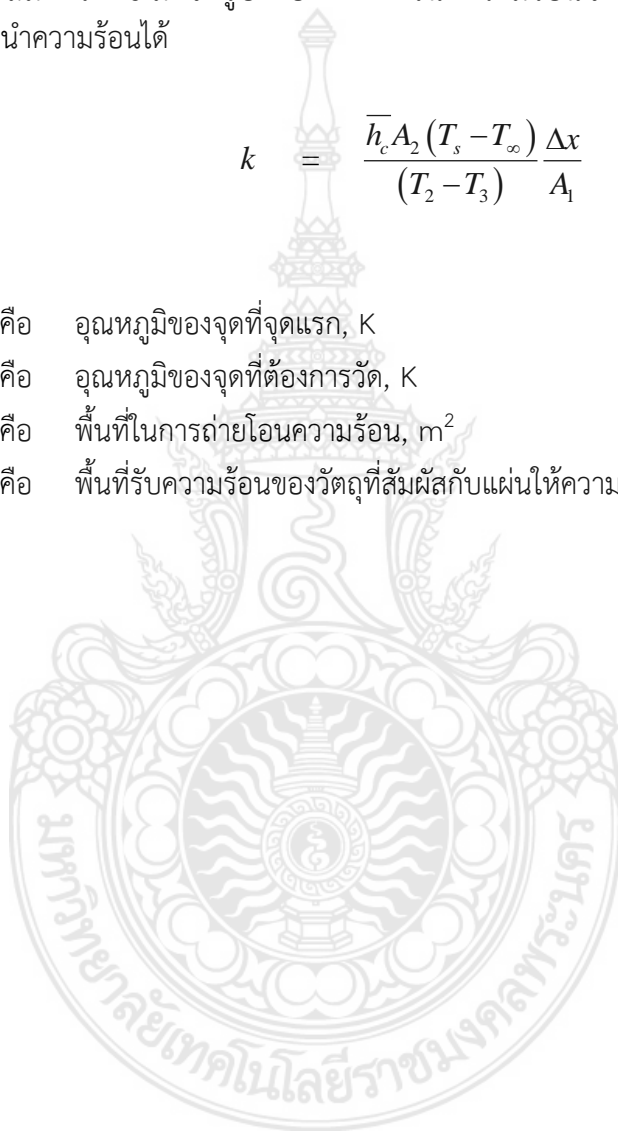
$$-kA_1 \frac{T_2 - T_1}{\Delta x} = \bar{h}_c A_2 (T_s - T_\infty) \quad (2.10)$$

เมื่อนำสมการ 2.6 มาจัดรูปเพื่อหาค่าการนำความร้อนจะได้สมการ 2.9 ที่สามารถคำนวณหาค่าการนำความร้อนได้

$$k = \frac{\bar{h}_c A_2 (T_s - T_\infty) \Delta x}{(T_2 - T_3) A_1} \quad (2.11)$$

เมื่อ

- T_2 คือ อุณหภูมิของจุดที่จุดแรก, K
- T_3 คือ อุณหภูมิของจุดที่ต้องการวัด, K
- A_1 คือ พื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อน, m^2
- A_2 คือ พื้นที่รับความร้อนของวัตถุที่สัมผัสกับแผ่นให้ความร้อน, m^2



บทที่ 3

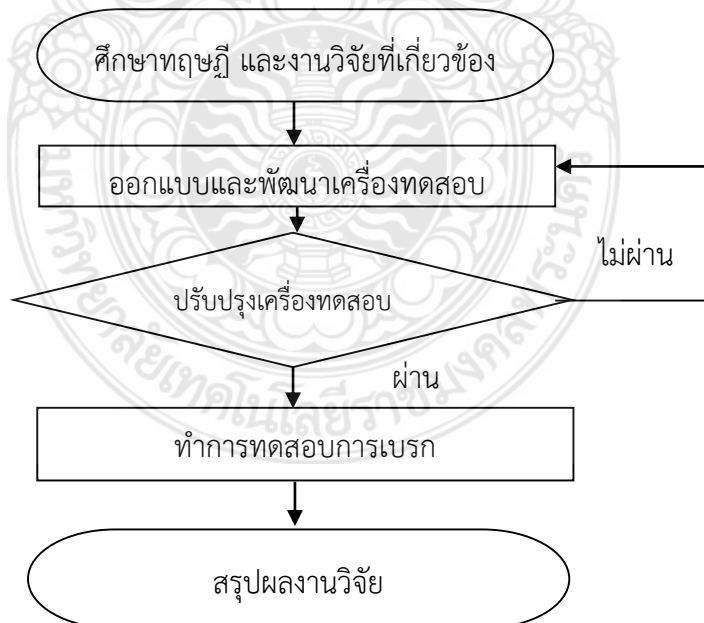
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การจัดทำงานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนการพัฒนาเครื่องทดสอบดังกล่าว และลดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการพัฒนา โดยผู้จัดทำมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบและพัฒนาเครื่องทดสอบ
- 3) ปรับปรุงเครื่องทดสอบการเบรก
- 4) ทดสอบการเบรก
- 5) สรุปผลงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวสามารถแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 การพัฒนาเครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์แบบเพลลาเดี่ยว

3.2.1 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับแรงบิด

จากการค้นคว้าข้อมูลของมอเตอร์ซึ่งค่า W_p ของมอเตอร์เท่ากับ 30 kw และรอบความเร็วสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 18.54 rps

สูตรคำนวณหาแรงบิด

$$W_p = 2\pi nT$$

$$T = \frac{W_p}{2\pi n}$$

$$T = \frac{30,000 \text{ W}}{2 \times \pi \times 18.54 \text{ rps}}$$

$$T = 257.66 \text{ N.m}$$



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรงบิด

3.2.2 การสร้างอุโมงค์ระบายความร้อน

คำนวณหาอัตราไหล และความเร็วเฉลี่ยในอุโมงค์ระบายความร้อน ค่า Q ได้จาก

$$Q = AV$$

หาค่า V ได้จากการวัดความเร็วลม และขนาดของอุโมงค์ลม

$$A = 0.65 \times 0.65 \text{ m}^2$$

$$V = 11.2 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } Q &= 0.4225 \text{ m}^2 \times 11.2 \text{ m/s} \\ Q &= 4.732 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.3 อุโมงค์ลมระบายความร้อน

3.3 การทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อ

ในการทดสอบชิ้นงานจะทำการทดลองจากตัวอย่างผ้าเบรก 4 ชนิด คือ A, B และ C ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบของวัสดุต่างกันออกไป ดังแสดงตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด

ส่วนประกอบ	ชนิด A (%)	ชนิด B (%)	ชนิด C (%)
ไฟเบอร์	13.5	12.5	33.0
ผงโลหะ	8.0	5.5	25.0
สารหล่อลื่น	17.5	27.0	22.5
อื่นๆ	61.0	22.0	19.5

3.3.1 สภาวะการทดสอบ

สำหรับสภาวะการทดสอบ มาตรฐาน JASO C 406 จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้

1.) สภาพชุดอุปกรณ์การทดสอบ

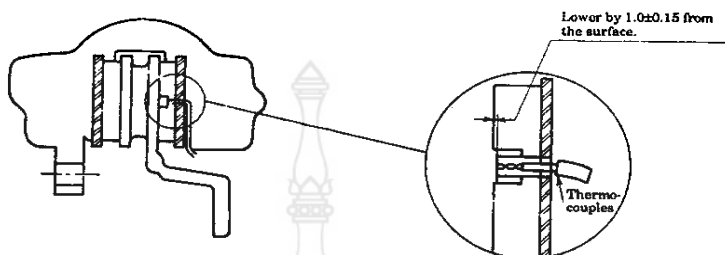
สำหรับการทดสอบการเบรกบนเครื่องไดนาโมมิเตอร์เพลลาเดียวันนั้นมีข้อกำหนดดังนี้

1.1) ผ้าเบรกและจานเบรก

สภาพผ้าเบรกและจานเบรกเป็นวัสดุใหม่ ซึ่งไม่เคยผ่านการใช้งาน และมีขนาดมิติที่เท่ากันในทุกครั้งของการทดสอบ

1.2) อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ

สำหรับการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมินั้น ทำโดยการฝังตัวตรวจจับอุณหภูมิไว้บริเวณตำแหน่งกลางของผ้าเบรก และให้ปลายของตัวตรวจจับอุณหภูมิอยู่ห่างจากผิวผ้าเบรก 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ลักษณะการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิ

1.3) ระบบระบายความร้อน

การระบายความร้อนใช้การไหลของอากาศที่อุณหภูมิห้อง และมีอัตราการไหลคงที่เท่ากับ 11 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 3.5 ความเร็วลมในอุโมงค์

2.) สภาวะเงื่อนไขการทดสอบ

สภาวะเงื่อนไขการทดสอบ อ้างอิงจากตารางรายการทดสอบมาตรฐาน JIS D4411 และนำมาปรับเข้ากับการทดสอบทดสอบ ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายการทดสอบมาตรฐาน JIS D4411

Test Conditions Vehicle Class		Initial Speed		Initial Temperature (°C)	Braking Pressure (MPa)	Repetitions	Remarks
		(km/h)					
Test Items & Sequence							
a	Initial Measurement	-		-	-	-	Measurement of pad thickness
b	Burnish	65		80	3.5	200	
c	Effective Test	50	100	130	no less 80 ±10	no less 1±0.02	6 or more at each test
d	Final Measurement and Inspection	-		-	-	-	Inspect brake pad thickness

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1.) การเตรียมการทดสอบ

ทำการตรวจวัดความหนาของผ้าเบรกและจานเบรก โดยตรวจสอบความหนาของผ้าเบรก 6 ถึง 8 จุดโดยประมาณ จานเบรกอยู่ในสภาพที่สะอาดและไม่มีการคดงอ และการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง



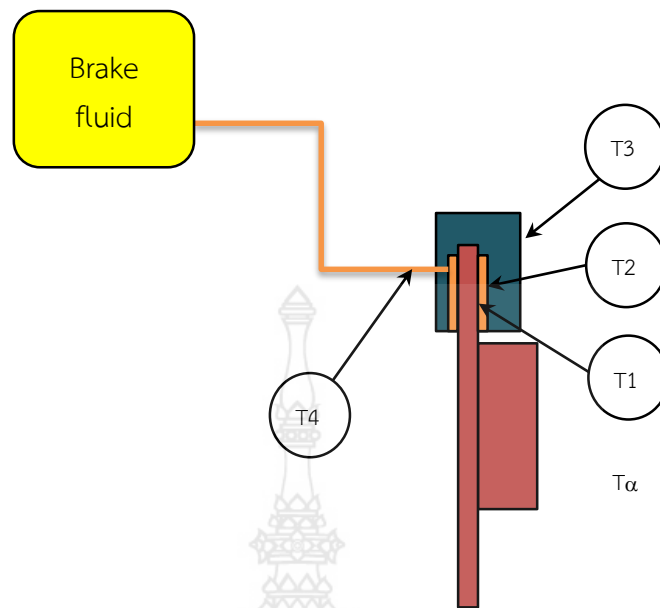
รูปที่ 3.6 การตรวจวัดความหนาของผ้าเบรก



รูปที่ 3.7 การตรวจวัดความหนาของจานเบรก

2.) การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ

การตรวจวัดพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนในงานวิจัยครั้งนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การนำ และการพาความร้อน สำหรับปริมาณการนำความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเบรกและถูกถ่ายโอนไปยังชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรกด้วยการนำความร้อน โดยวิธีการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิตามชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรกที่มีการสัมผัสกับผ้าเบรก เช่น จานเบรก ลูกสูบ ลูกปั๊ม(คาลิปเปอร์) ประเกณยางลูกสูบ และน้ำมันเบรก เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนด้วยการนำความร้อนขณะการเบรก ดังรูปที่ 3.8 ในขณะเดียวกัน ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายโอนด้วยการพาความร้อนจะถูกตรวจวัดเช่นกัน ผลการตรวจวัดดังกล่าวจะทำให้ทราบร้อยละการถ่ายโอนความร้อนซึ่งถูกแบ่งออกเป็นความร้อนจากการนำและการพาความร้อนในขณะทำการเบรก นอกจากนี้ ร้อยละปริมาณการนำความร้อนไปยังชิ้นส่วนต่างๆของระบบเบรกจะถูกคำนวณได้จากข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิ โดยมีค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเป็นปัจจัยเริ่มต้น



รูปที่ 3.8 การตรวจวัดอุณหภูมิ

3.) อุปกรณ์ที่เก็บค่า

3.1) ตัวเก็บข้อมูล Kyowa EDX 10A

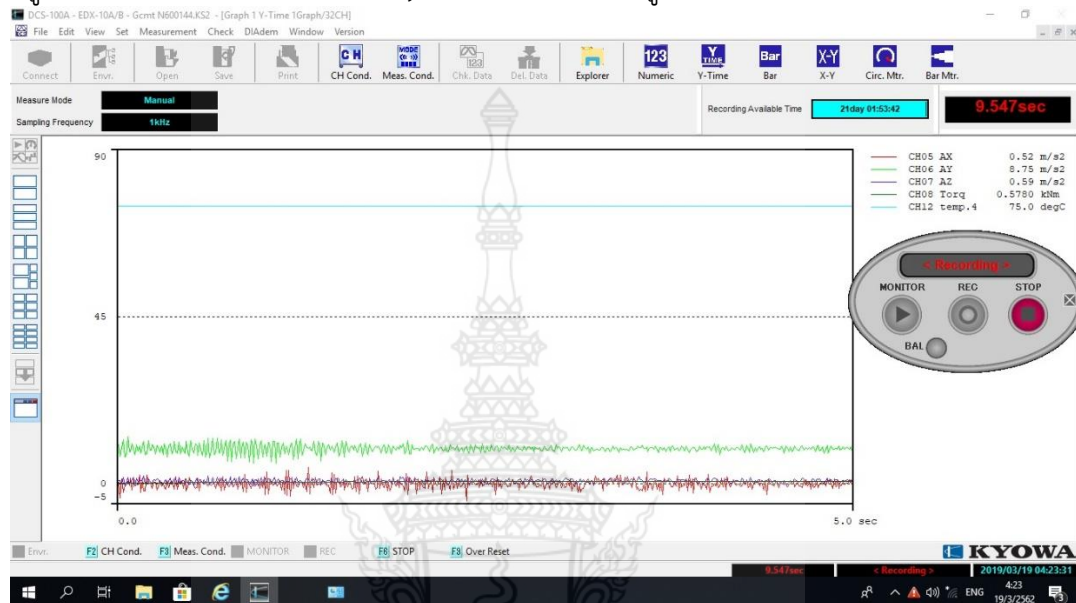
ตัวเก็บข้อมูล ทำหน้าที่ช่วยเก็บผลข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนของผ้าเบรก เปลี่ยนเป็นข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ซอฟต์แวร์นำข้อมูลไปคำนวณผลต่อ โดยสัญญาณที่ออกจากตัวเก็บข้อมูลจะเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

3.2) โปรแกรม Kyowa DCS-100A

โปรแกรมบันทึกข้อมูลทำหน้าที่นำข้อมูลผ่านการวิเคราะห์จากตัวเก็บข้อมูลมาแสดงผลและจัดเก็บผลให้ผู้ทดสอบ โดยผู้ทดสอบสามารถอ่านค่าการทดสอบต่าง ๆ และการเก็บข้อมูลสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม Kyowa DCS-100A ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 โปรแกรมบันทึกข้อมูล Kyowa DCS-100A

4.) วิธีการทดสอบ

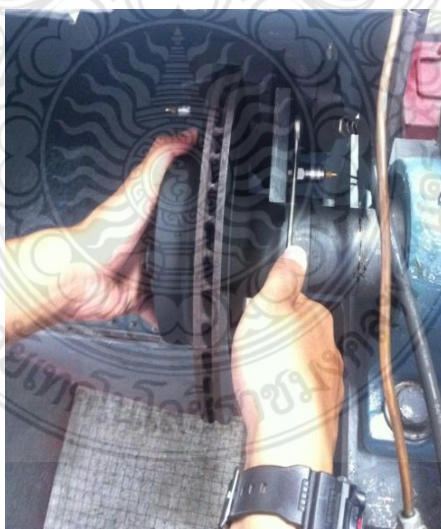
การทดสอบจานเบรกที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันของผ้าเบรกจะทำการทดสอบจากทั้งหมด 2 แบบ คือ ผ้าเบรกแบบธรรมดา และ ผ้าเบรกแบบเสริมชั้นความหน่วง โดยการปล่อยก้อนมวล (load) เพื่อกดขึ้นส่วนกลไกของแม่ปั๊มเบรก (Master cylinder) ที่ใช้ในการทดสอบที่ความดัน 3.5 MPa ซึ่งจะทำให้เกิดความดันที่ใช้ในการเบรก โดยจะทำตามเงื่อนไข และสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50, 100, และ 130 km/hr แรงเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั๊ม 1,805.457 N ความเร็วกลม 11 m/s ซึ่งอ้างอิงมาตรฐาน JASO C406



รูปที่ 3.11 ปุ่มเบรก

4.1) การติดตั้งผ้าเบรกและจานเบรก

การนำผ้าเบรกแต่ละชนิดเข้าไปติดตั้งภายในอุโมงค์ลม เพื่อวางตำแหน่งของชุดทดสอบให้เหมาะสมโดยให้ทิศทางการไหลของกระแสลมขนานไปกับผิวผ้าเบรกและจานเบรก และจัดให้ตำแหน่งของระบบเบรกอยู่กึ่งกลางหน้าตัดของส่วนที่ทำการทดสอบในอุโมงค์ลม ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การติดตั้งชุดทดสอบ

4.2) การเปิดเครื่องทดสอบงานเบรก

การเปิดเครื่องทดสอบงานเบรกเพื่อควบคุมความเร็วรอบพัดลมให้คงที่ และควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เท่ากับความเร็วรอบของงานเบรกที่ 7.13 rps เทียบเท่าความเร็วของรถยนต์ที่รัศมีทำการห้ามล้อรถยนต์ที่ 50 km/hr โดยความเร็วลมในอุโมงค์มีค่าเท่ากับ 11 m/s ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเปิดเครื่องทดสอบงานเบรก

4.4) การปิดเครื่องทดสอบงานเบรก

การปิดเครื่องทดสอบงานเบรกทำได้โดยกดสวิทช์หยุดการทำงานของมอเตอร์เพื่อทำให้มอเตอร์หยุดหมุนโดยล้อย่อยแรงจะยังสามารถหมุนได้ด้วยแรงของโมเมนต์ตัม ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การปิดเครื่องทดสอบงานเบรก

4.5) การห้ามเพลลา

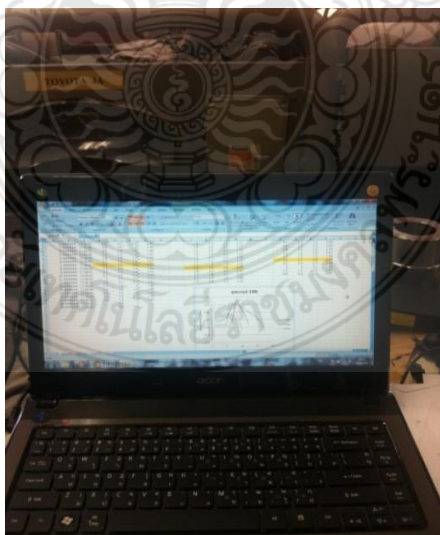
การห้ามเพลลาสามารถทำได้โดยการปล่อยก้อนมวลเพื่อกระตุ้นส่วนกลไกของแม่ปั๊มเบรกที่ใช้ในการทดสอบที่มีมวล 50 kg ซึ่งจะทำให้เกิดความดันที่ใช้ในการเบรก ตามเงื่อนไขในการห้ามเพลลา ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การปล่อยตุ้มน้ำหนักเบรก

4.6) บันทึกรับข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์

การเก็บข้อมูลจากไมโครโฟนวัดเสียงทำได้โดยบันทึกข้อมูลจากไมโครโฟนวัดเสียงไปยังคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การบันทึกข้อมูล

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้จะนำเสนอผลการศึกษาดูการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรกที่มีส่วนผสมของวัสดุที่แตกต่างกัน

4.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรก

จากการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งที่ได้นำเสนอไปแล้วดังรูปที่ 3.9 สะท้อนให้เห็นถึงพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด ขณะทำการห้ามล้อ โดยเกิดอุณหภูมิสูงสุดที่บริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก และถ่ายโอนความร้อนไปยังผ้าเบรก คาลิปเปอร์ และน้ำมันเบรกตามลำดับ โดยมีการสะสมปริมาณความร้อนไว้สูงสุดที่ตำแหน่งคาลิปเปอร์ คิดเป็นร้อยละ 93 ถึง 97 โดยประมาณ ดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.6

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรกชนิด A

ความเร็ว การห้ามล้อ	T_α	T_1	T_2	T_3	T_4	Cond1		Cond2		Conv1		E_{tot}	
						(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
50	30	81	69	40	32	0.24	0.16	145.31	97.51	3.47	2.33	149.02	100
100	30	88	71	40	32	0.35	0.22	158.05	97.74	3.30	2.04	161.70	100
130	30	92	75	42	33	0.34	0.19	173.91	97.80	3.57	2.01	177.82	100

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรกชนิด B

ความเร็ว การห้ามล้อ	T_α	T_1	T_2	T_3	T_4	Cond1		Cond2		Conv1		E_{tot}	
						(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
50	30	82	61	44	32	0.89	0.92	90.55	93.78	5.12	5.30	96.56	100.00
100	30	88	65	46	32	1.04	1.03	94.71	93.66	5.37	5.31	101.12	100.00
130	30	94	65	46	33	1.3	1.24	97.99	93.59	5.41	5.17	104.70	100.00

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนจากการห้ามล้อของผ้าเบรกชนิด C

ความเร็ว การห้ามล้อ	T_α	T_1	T_2	T_3	T_4	Cond1		Cond2		Conv1		E_{tot}	
						(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
50	30	82	63	41	33	1.23	1.05	112.04	95.92	3.53	3.02	116.80	100.00
100	30	91	69	45	35	1.4	1.05	127.62	95.73	4.29	3.22	133.31	100.00
130	30	102	75	45	35	1.74	1.08	154.98	96.11	4.53	2.81	161.25	100.00

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมของวัตถุดิบที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อน

จากผลการทดสอบพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนสะท้อนให้เห็นว่าผ้าเบรกชนิด C สามารถถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อนได้สูงถึง 1.2 ถึง 1.7 W จากบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกไปยังคาลิปเปอร์ ซึ่งเป็นปริมาณความร้อนที่สูงกว่าผ้าเบรกชนิดอื่น พฤติกรรมดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่เกิดจากอิทธิพลของสารเติมเต็มที่เหมาะสมในผ้าเบรก ซึ่งจากการตรวจสอบส่วนผสมของผ้าเบรกดังปรากฏใน ตารางที่ 4.4 พบว่าผ้าเบรกชนิดดังกล่าวมีส่วนผสมของสารเติมเต็มสูงถึงร้อยละ 83

นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อนคือปริมาณทองแดงในผ้าเบรก โดยผลการทดลองการห้ามล้อของผ้าเบรกชนิด C ซึ่งมีส่วนผสมของทองแดงมากกว่าผ้าเบรกชนิดอื่น โดยมีปริมาณทองแดงผสมอยู่ร้อยละ 15 ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อนจากบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกไปยังคาลิปเปอร์ได้สูงถึง 0.8 ถึง 1.3 W

ในขณะเดียวกัน ผ้าเบรกชนิด A มีพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อนต่ำที่สุดคือ 0.2 ถึง 0.3 W ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ที่เกิดจากอิทธิพลของสารเติมเต็มที่เหมาะสมในผ้าเบรกไม่มากนัก ประกอบกับปริมาณทองแดงที่ผสมในผ้าเบรกชนิดนี้มีเพียงร้อยละ 6 จึงส่งผลให้เกิดการนำความร้อนจากบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกไปยังคาลิปเปอร์ได้ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.4 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด

ส่วนประกอบ	ชนิด A (%)	ชนิด B (%)	ชนิด C (%)
ไฟเบอร์	15	18	2
สารหล่อลื่น	15	13	10
ทองแดง	6	15	5
สารเติมเต็ม และอื่นๆ	64	63	83

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลศึกษา การทดสอบ จากการกำหนดปัญหาของงานวิจัย ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตผ้าเบรกส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาพบว่าวัสดุที่มีอหิพลสูงสุดคือ สารเติมเต็ม และ ทองแดง ตามลำดับ ส่วนผสมดังกล่าวส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนด้วยการนำความร้อนจากบริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกไปยังคาลิเปอร์ ซึ่งเป็นจุดที่ควรให้ความสำคัญต่อการศึกษา เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนในบริเวณดังกล่าวส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของชิ้นส่วนยานยนต์บริเวณใกล้เคียงที่สัมผัส เช่น ผ้าเบรก จานเบรก คาลิเปอร์ และ น้ำมันเบรก เป็นต้น อีกทั้งพฤติกรรมการถ่ายโอนความร้อนที่สูงมากเกินไปอย่างกะทันหันจะส่งผลให้เกิดภาวะการห้ามล้อล้มเหลว (Brake fade) ขึ้นได้ จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ บริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (1994) ซึ่งเป็นหน่วยงานสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้จะได้นำเอาองค์ความรู้ดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบส่วนผสมผ้าเบรกเพื่อกำหนดค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่เหมาะสมต่อไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานของรถยนต์แต่ละประเภท

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.3.1 การสร้างสภาวะการทดสอบด้านความร้อนที่ใช้ในการทดสอบมีข้อจำกัดในการสร้างอุณหภูมิ ณ ที่ความเร็วรอบของการทดสอบ

5.3.2 เนื่องจากมีความจำเป็นต้องวัดอุณหภูมิหลายจุดในเวลาเดียวกัน ความแม่นยำของเครื่องมือวัดจึงผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการทดลองสูง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรคำนึงถึงสภาวะก่อนบันทึกข้อมูลการทดสอบ และรักษาสภาวะการทดสอบให้คงที่ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำของค่าที่ได้จากการทดสอบ

5.4.2 ควรใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่มีความแม่นยำ และตอบสนองค่าที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ณ ที่ความเร็วรอบของการทดสอบ

5.4.3 ควรใช้เครื่องมือวัดที่มีหลักการทำงานแบบเดียวกัน เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากการทดสอบ

บรรณานุกรม

- Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P. and DeWitt D.P. (2007) Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Wiley Asia Student Sixth Edition Printed in Asia.
- Ertan R., Yavuz N. (2010). An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials, *Wear*, P. 1524-1532.
- Lakkam S., Suwantaraj K. (2012). A Study of Friction Coefficient of Brake Pads Using Alternative Testing Method, *The Journal of KMUTNB.*, Vol.22, No.2, P. 315 – 324.
- Lara-Curzio E., Bowers D., Ferber M.K. (1996). The interlaminar tensile and shear behavior of a unidirectional C---C composite, P. 226-232.
- Mongkonlerdmanee S., Boonmee P. and Lakkam S. (2013). Influence of Volume Fraction from Brake Linings to the Flexibility Behavior and Internal Energy, *KKU Research Journal*, Vol.18, No.2, P. 297 – 310.
- Naik N.K., RaoKavala V. (2008). High strain rate behavior of woven fabric composites under compressive loading, *Materials Science and Engineering*. P. 301-311.
- Passenger car – Braking device – Dynamometer test procedures, Japanese Automobile Standard, JASO C406: 2000
- Scieszka S.F. (1980). Tribological phenomena in steel-composite brake material friction pairs, *Wear* , P. 367-378.
- Shojaei A., Fahimian M., Derakhshandeh B. (2007). Thermally conductive rubber-based composite friction materials for railroad brakes – Thermal conduction characteristics, *Composites Science and Technology*, P. 2665-2674.
- มนตรี อึ้งเจริญ. (2549). การนำความร้อน. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ภูภูมิ พ่วงเจริญชัย, ศุภชัย หลักคำ และ ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี. (2558). การสำรวจพฤติกรรมการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นของผ้าเบรกรถยนต์. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. ปีที่ 38 ฉบับที่ 3: หน้า 243-253.
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. (2545). การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)
- ประเสริฐ เทียนนิมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี, ปานเพชร ชินินทร. (2547) *ทฤษฎีและคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์*. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ

พฤทธ์ โมกโชสภนายสุชาตรีย์ กัณภัย ,นายโฆษิต เชื่อมใจ ,อมรศักดิ์ โพธิ์แก้ว ,. (2554) เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก. ปริญญาานิพนธ์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

สมพงษ์ ใจดี. (2539) ฟิสิกส์มหาวิทยาลัยเล่ม 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรก. (2553). แหล่งที่มา [http://www.bangkokbiznews.com / home/detail/ it /technology](http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/it/technology) ค้นเมื่อ วันที่ 29 พฤศจิกายน, 2553



SAE : J2521, Disc brake dynamometer squeal noise matrix.

Shin K., Brennan M.J., Oh J. E., and Harris C.J. (2002). Analysis of disk brake noise using a two-degree-of-freedom model. *Journal of Sound and Vibration*. 254. pp. 837–848

Triches M., Gerges Jr. S. N. Y. and Jordan R. (2004). Reduction of squeal noise from disc brake systems using constrained layer damping. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 26. pp. 476-498.

Wallaschek J., Hach K. H. and Mody P. (1999). A survey of the present state of friction in the analytical and numerical investigation of brake noise generation. *Proceedings of the ASME Vibration Conference*. pp.12-15.

Zhen H., Cai C. and Tan. X. M. (2004). Optimization of partial constrained layer damping treatment for vibrational energy minimization of vibrating beams. *Computers and Structures*. 82. pp. 2493-2507.



ประวัติผู้วิจัย



หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ผศ.ภุภุมิ พวงเจริญชัย
(ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Phupoom Puangcharoenchai
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 7706 00130 75 2
3. ตำแหน่งบริหาร/วิชาการที่เป็นปัจจุบัน
ตำแหน่งบริหาร - ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์
เงินเดือน 27,000.- เวลาการทำงาน 20ชม./สัปดาห์
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: 02-836-3000 ต่อ 138
โทรสาร: 02-836-3000 ต่อ 138
E-mail: Phupoom7778@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2542	ไทย
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	2538	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ ระบุสาขาวิชาการ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา)
 - เทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computation and Simulation Techniques)
 - เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน (Energy Technology and Management)
 - เทคโนโลยีอุณหภาพ (Thermal Technology)
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

- การออกแบบหัวฉีดไอน้ำลดความดัน
- การจำลองการถ่ายโอนความร้อนในขดท่อทำความเย็นโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- การนำน้ำคอนเดนเสดมาใช้ระบายความร้อนให้กับแผงคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศ

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ลำดับ	ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1	1การออกแบบหัวฉีดไอน้ำลดความดัน.	พ.ศ.2548	การประชุมวิชาการ เครือข่ายพลังงานแห่ง ประเทศไทย ครั้งที่1	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ
2	2.การจำลองการถ่ายโอนความร้อนใน ขดท่อทำความเย็นโดยระเบียบวิธีในดัด เอลิเมนต์	พ.ศ.2548	การประชุมวิชาการ เครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่ง ประเทศไทย ครั้งที่19	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ
3	3.การนำน้ำคอนเดนเซตมาใช้ระบาย ความร้อนให้กับแผงคอนเดนเซอร์ใน ระบบปรับอากาศ		รอกการเผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ
4	4.การศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความ ร้อนแบบไม่เชิงเส้นของวัสดุความเสียด ทาน		รอกการเผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ
5	5 การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนความ ร้อน และการสันสเทือนของงานเบรก แบบตรงแบบกลับที่ส่งผลกระทบต่อ/ ความสามารถการเบรก		รอกการเผยแพร่	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ :-



ผู้ร่วมโครงการ

- ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายศุภชัย หลักคำ
(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: 02-836-3000 ต่อ 138
โทรสาร: 02-836-3000 ต่อ 138
E-mail: supachai.l@mutp.ac.th

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 โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

- เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน

- การศึกษาปัจจัยการออกแบบท่อพักไอเสียเพื่อลดเสียงรบกวนและรักษาสมรรถนะของเครื่องยนต์

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. ผลกระทบและประสิทธิภาพผ้าเบรกเชิงเสียดทาน และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	พ.ศ.2552	Industry Subcontracting Exhibition of Thailand 2009	บริษัท คอมแพ็ค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (1994)	นักวิจัย
2. Investigation of Brake Noise Parameters Using Single Dynamometer	Apr.2009	The 5 th International Conference on Automotive Engineering ICAE-5	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	นักวิจัย/ ผู้นำเสนอ
3. Econo Power Car	Jun.2010	The 2 nd RMUTP International Conference : Green Technology and Productivity	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย/ผู้นำเสนอ
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	ผู้ช่วยวิจัย
5. Study and Trend of Development for Electric Railway and Related Industries in Thailand) Phase 2)		รอเผยแพร่	Industrial Technology Assistance Program	ผู้ร่วมวิจัย
6. โครงการศึกษาเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ เพื่อจัดทำร่างกฎกระทรวงเฉพาะด้านประสิทธิภาพพลังงาน ตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550	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		รอเผยแพร่	กรมขนส่งทางบก	ผู้ช่วยวิจัย
8. เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน	พ.ศ.2555	วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ฉบับที่ 22	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้าโครงการ
9. การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ	พ.ศ.2556	KKU Research Journal Vol.18, No.2	มทร.พระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
10. การศึกษาโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ที่ส่งผลต่อการดูดซับพลังงาน	พ.ศ.2556	วารสารวิจัย มข.	ม. เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย

11. การศึกษาลักษณะทางกายภาพ งานเบรกที่ส่งผลกระทบต่อ ความสามารถการเบรก	พ.ศ.2556	วารสารวิชาการพระจอมเกล้า พระนครเหนือ	ม. เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
12. Study of heat transfer on front- and back-vented brake discs	2013	Songklanakarin J. Sci. Technol. 35(6)	ม. เทคโนโลยีราช มงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : -

