




การศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์  
A Study of Heat Conductivity Behavior of Automobile Brake Pads

นายปรีบัณฑิต      นาคคง  
นายวุฒิชัย      สุระพิน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ปีการศึกษา 2556

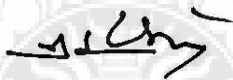
หัวข้อปริญญาพนธ์ การศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์  
โดย นายปรีพัฒน์ นาคคง นายวุฒิชัย สุระพิน  
ปีการศึกษา 2556  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวีทย์ วรรณาวิน

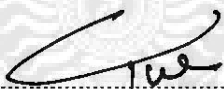
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
อนุมัติให้ปริญญาพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

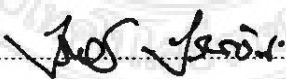
  
หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)

คณะกรรมการสอบปริญญาพนธ์

  
ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ภุภุมิ พ่วงเจริญชัย)

  
กรรมการ  
(อาจารย์ศุภชัย หลีกคำ)

  
กรรมการ  
(ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)

  
อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวีทย์ วรรณาวิน)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อปริญญานิพนธ์      การศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์  
โดย                              นายปริบัณฑิต นาคคง นายวุฒิชัย สุระพิน  
ปีการศึกษา                      2556  
สาขาวิชา                        วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา                ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวิทย์ วรรณาวิน

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้ผลิตชิ้นส่วนผ้าเบรกต่างประสบปัญหาด้านคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ จึงนำไปสู่การพัฒนาส่วนผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนที่สอดคล้องต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับการใช้งาน

จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการได้ศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์ที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน 3 ชนิด ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากบริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชั่นแนล (1994) จำกัด โดยทำการจำลองการใช้งานด้วยสร้างอุณหภูมิผ้าเบรกจาก 200 ถึง 400 °C และลดอุณหภูมิลงจาก 400 เหลือ 200 °C ที่สภาวะความดัน 1, 5 และ 8 MPa ตามลำดับ โดยอ้างอิงสภาวะความดันการทดลองดังกล่าวจากมาตรฐาน JIS D4413 และทำการตรวจวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะอิมิตัว (Steady State) เพื่อคำนวณค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่างๆ ควบคู่ไปกับการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สภาวะการใช้งานเดียวกัน

จากผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นว่าผ้าเบรกแต่ละชนิดมีพฤติกรรมค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้น โดยผ้าเบรกที่มีส่วนผสมจากไฟเบอร์สูงจะส่งผลให้ค่าการนำความร้อนค่อนข้างแปรปรวน ในขณะที่สารหล่อลื่นที่มีอยู่ในผ้าเบรกจะช่วยให้ค่าการนำความร้อนมีเสถียรภาพในสภาวะอุณหภูมิที่หลากหลายที่ความดันเดียวกัน ในทางตรงกันข้ามผ้าเบรกที่ประกอบด้วยทองแดงปริมาณมากจะส่งผลให้ค่าการนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันในสภาวะอุณหภูมิเดียวกันแม้ว่าจะใช้งานที่ความดันแตกต่างกัน ซึ่งค่าการนำความร้อนดังกล่าวจะค่อนข้างแปรผันผกผันกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจน

**Project Title**            A Study of Heat Conductivity Behavior of Brake Pads  
**By**                            Mr.Pariban Nakkong   Mr.Wutthichai Surapin  
**Academic Year**        2013  
**Department**            Mechanical Engineering  
**Project Advisor**        Asst.Prof.Vorawit Voranavin

### Abstract

Nowadays, one of the automotive engineering is conductivity of brake pads playing a role in friction coefficient which means safety of customer. Thus thermal properties have been improved using composited materials.

This project aims to study the conductivity behavior of 3 different brake pads which are supported by the company, Compact International (1994) Ltd. For experimental works, temperature based on brake condition was simulated from 200 to 400°C and cooled down from 400 to 200°C at 1, 5 and 8 MPa of pressure respectively. By standard JIS D4413, testing condition of pressure was referred. The non-linear of conductivity value are calculated from the temperature under steady state condition.

As a result of testing, there are several of parameters effecting on the non-linear conductivity value. The brake pad that is a mix of high-fiber occurs the fluctuation of thermal conductivity. At the same time, lubricant in the brake pad cause the stability of conductivity value in different temperature range at the same pressure. On the other hand, the brake pad mixed hi-copper inspires the narrow range of conductivity value in different pressures at the same temperature. Moreover, the conductivity value as a mention is inversely proportion with the coefficient of kinetic friction.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ โดยได้รับการสนับสนุนและได้รับคำปรึกษาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวิทย์ วรรณวิน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์โดยให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ตลอดจนควบคุมการทำโครงการจนประสบความสำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณบริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชั่นแนล (1994) จำกัด ซึ่งได้ให้การสนับสนุนผ้าเบรกเพื่อนำมาทำการทดสอบ

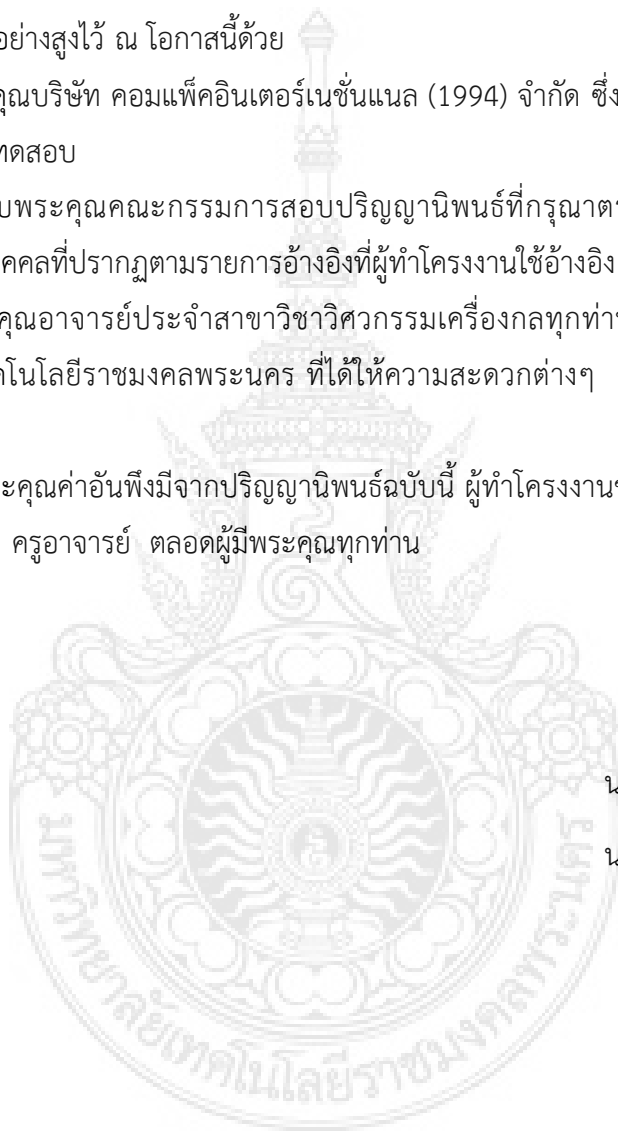
ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของโครงการรวมทั้งบุคคลที่ปรากฏตามรายการอ้างอิงที่ผู้ทำโครงการใช้อ้างอิง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความสะดวกต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำโครงการขอมอบเป็นกัตถุญตา บูชาแต่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายปริบับ นาคคง

นายวุฒิชัย สุระพิน



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ผ้าเบรก	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการถ่ายเทความร้อน	5
บทที่ 3 การเตรียมการและการทดสอบ	13
3.1 เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	14
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ	19
3.3 สภาวะการทดสอบ	24
3.4 ผลการคำนวณ	25
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	28
4.1 ผลการทดสอบ	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ	43
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	43
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ	44
5.3 ข้อเสนอแนะ	44
<b>บรรณานุกรม</b>	45
<b>ภาคผนวก</b>	46
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้เครื่องทดสอบ	47
<b>ประวัติผู้จัดทำโครงการ</b>	50



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด	14
3.2 สภาวะการทดสอบ	24
4.1 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด A กำหนดความดัน 1 MPa	29
4.2 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด A กำหนดความดัน 5 MPa	30
4.3 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด A กำหนดความดัน 8 MPa	31
4.4 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด B กำหนดความดัน 1 MPa	33
4.5 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด B กำหนดความดัน 5 MPa	34
4.6 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด B กำหนดความดัน 8 MPa	35
4.7 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด C กำหนดความดัน 1 MPa	37
4.8 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด C กำหนดความดัน 5 MPa	38
4.9 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด C กำหนดความดัน 8 MPa	39
4.10 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ของผ้าเบรก	42
ก.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ Testo176-T4	48
ก 2 คุณสมบัติของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ	49



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน	13
3.2 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ	14
3.3 สายวัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K	15
3.4 เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ Testo176-T4	15
3.5 แผ่นรองรับชิ้นงานชนิดดิสก์เบรก	16
3.6 ชุดให้ความร้อน (Heater)	16
3.7 แผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบ	17
3.8 ฐานรองรับชิ้นงาน	17
3.9 หัวกดวัสดุ ดิสก์เบรก	18
3.10 แท่นกด	18
3.11 กล่องควบคุมอุณหภูมิ	19
3.12 การติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิกับเครื่องทดสอบแรงกด	19
3.13 การติดตั้งโหลดเซลล์เข้ากับแท่งกดวัสดุ	20
3.14 การติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ	20
3.15 การติดตั้งฐานรองรับแผ่นรองชิ้นงาน	21
3.16 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน	21
3.17 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและต่อสายสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน	22
3.18 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิจุดต่างๆ	22
3.19 การติดตั้งผ้าเบรกพร้อมฉนวนป้องกันความร้อน	23
3.20 การกำหนดแรงกดที่กระทำต่อผ้าเบรก	23
3.21 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแท่งให้กำเนิดความร้อน	24
3.22 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	25
3.23 แนวคิดหลักการทดสอบ	25
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกสูตร A	32
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกสูตร B	36
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกสูตร C	40
4.4 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ของผ้าเบรกแต่ละสูตร	41

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$A$	พื้นที่	$m^2$
$F$	แรง	N
$P$	ความดัน	$N/m^2$
$Q$	ความร้อน	kJ
$Q_{cond}$	พลังงานจากการนำความร้อน	W
$Q_{conv}$	พลังงานจากการพาความร้อน	W
$Q_{rad}$	พลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน	W
$T_1$	อุณหภูมิที่จุดแรก	K
$T_2$	อุณหภูมิที่จุดที่ต้องการวัด	K
$\Delta T$	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ	K
$c_p$	ความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	$kJ/kg \cdot K$
$k$	ค่าการนำความร้อน	$W/m \cdot K$
$m$	มวล	kg
$q''_{cond}$	ฟลักซ์ความร้อนจากการนำ	$W/m^2$
$q''_{conv}$	ฟลักซ์ความร้อนจากการพา	$W/m^2$
$q''_{rad}$	ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสี	$W/m^2$
$\bar{h}_c$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน	$W/m^2 \cdot K$
$t$	เวลา	s
$\Delta x$	ผลต่างระหว่างระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน	m
$\sigma$	ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์	$W/m^2 \cdot K^4$
Climb up	การทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ	-
Climb down	การทดลองช่วงลดอุณหภูมิ	-
JIS	Japanese Industrial Standards	-
Nao	Non-asbestos organic	-
OEM	Original equipment manufacturer	-

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

อุตสาหกรรมยานยนต์ ได้มีการพัฒนาเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้มีย้ายฐานการผลิตหลักเข้ามาตั้งในประเทศไทย ทำให้อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์ของไทยเติบโตตามไปด้วย อุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ถูกผลิตในประเทศ ผ้าเบรกเป็นวัสดุความเสียดทานอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในระบบเบรกของรถยนต์ และโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนผ้าเบรกทุกบริษัทต่างพบปัญหาที่เหมือนกันคือ ในการออกแบบรูปร่าง และส่วนผสมของผ้าเบรกเพื่อต้องการให้ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในผ้าเบรกมีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทาน ความร้อนบนจานเบรกมีผลต่อประสิทธิภาพในการเบรกมากกว่าองค์ประกอบอื่นๆ ความร้อนจะเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานกล เรียกว่า พลังงานจลน์ เป็นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นขณะทำการเบรก เรียกว่า พลังงานภายใน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเบรก

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตผ้าเบรกในประเทศไทย มีอัตราส่วนที่มากตามจำนวนรถยนต์ที่ผลิต ซึ่งในการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาค้นคว้าในด้านการตรวจสอบคุณภาพ และผลกระทบต่างๆของผลิตภัณฑ์ การศึกษาการทดสอบผลิตภัณฑ์ของวัสดุความเสียดทานนั้น จึงต้องอาศัยเครื่องมือในการทดสอบที่มีราคาแพง ที่มีอยู่น้อยมากในประเทศจึงมีความจำเป็นที่จะต้องส่งผลิตภัณฑ์ไปทำการทดสอบยังต่างประเทศ ซึ่งใช้เวลาในการส่งไปทำการทดสอบค่อนข้างนาน และมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่สูง

จากปัญหาข้างต้นคณะผู้จัดทำโครงการ ได้ศึกษาข้อมูล และเห็นถึงความขาดแคลนของเครื่องมือทดสอบ จึงได้มีแนวทาง ในออกแบบสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรกขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ โดยจะศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนที่เกิดจากส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก ในสภาวะอุณหภูมิ (Temperature) และภาระน้ำหนัก (Dead load) ที่แตกต่างกันโดยใช้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่ต่ำกว่า เพื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเป็นแนวทางในการศึกษาและการพัฒนาส่วนผสมของผ้าเบรกแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับประเภทของการใช้งาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นของผ้าเบรก
- 1.2.2 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกจากส่วนผสมที่ต่างกัน
- 1.2.3 เพื่อทดสอบหาค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ปรับปรุงชุดทดสอบพฤติกรรมคุณสมบัติทางกลที่สร้างอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเลือกใช้ชุดให้กำเนิดความร้อนขนาด  $600\text{ W}$
- 1.3.2 อาศัยขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D4413 [2] บางส่วนเป็นแนวทางในการทดสอบ
- 1.3.3 วิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกรถยนต์แบบดิส
- 1.3.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลทดสอบของผ้าเบรกชนิด A, B และ C ที่มีส่วนผสมต่างกัน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ได้แนวทางการทดสอบพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของวัสดุผ้าเบรก ภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ
- 1.4.2 ทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าการนำความร้อนของวัสดุผสม ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงการผลิตในภาคอุตสาหกรรม
- 1.4.3 เพื่อเพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลดีต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์
- 1.4.4 เพื่อเป็นการสร้างทางเลือกใหม่สำหรับการทดสอบค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักทางทฤษฎี และหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนโดยจะมุ่งเน้นไปที่การทดสอบพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกแต่ละชนิด เพื่อให้ผลทดลองมีความเที่ยงตรง จำเป็นต้องทดสอบหาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องให้กำเนิดความร้อน เนื่องจากเครื่องได้ผ่านการออกแบบ และไม่ได้ทดสอบมาเป็นเวลานาน จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมมาซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

#### 2.1 ผ้าเบรก [9]

ระบบห้ามล้อส่วนใหญ่ในยานพาหนะถูกออกแบบให้อาศัยแรงเสียดทานโดยเปลี่ยนพลังงานกลในทิศทางการหมุนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งใช้ผ้าเบรกเป็นอุปกรณ์ในการชะลอ หรือหยุดเพลาล้อ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หน้าที่ของผ้าเบรกคือสร้างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก เพื่อให้เกิดแรงเบรกที่ใช้ในการชะลอหรือหยุดเพลลา ดังนั้นผ้าเบรกจึงต้องสามารถตอบสนองการใช้งานได้ถูกต้องโดยปราศจากการสั่นไถลที่มากเกินไป ความต้องการระหว่างการทำหน้าที่ชะลอหรือหยุดเพลานั้น การสั่นไถลแบบชั่วขณะเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรกตลอดกระบวนการทำงานนี้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสประมาณ 80 ถึง 300 °C (ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบห้ามล้อ ดังนั้นสมรรถนะของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผ้าเบรคนั้นจะต้องรักษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และมีค่ามากพอต่อความต้องการในสภาวะการทำงานอย่างสม่ำเสมอด้วย การลดลงอย่างรวดเร็วของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ปรารถนา การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างช่วงการทำงาน หรือจากการสึกหรอของวัสดุจะต้องมีข้อจำกัด

นอกเหนือจากอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยและมีอิทธิพลแล้ว ยังมีความสัมพันธ์จากวัสดุที่นำมาใช้ ความสัมพันธ์ทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แต่กลไกเหล่านี้ซับซ้อน และไม่สามารถกำหนดได้ในเชิงปฏิบัติผลกระทบเหล่านี้จะพบได้ทั่วไปส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่คงที่ การที่จะทำให้รถหยุดนั้นต้องมีความฝืดที่สัมผัสจากผ้าเบรกกับจานเบรก ส่งผลให้เกิดการสึกหรอที่ผ้าเบรกและความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสิ่งที่ถูกนำมาทำเป็นผ้าเบรกต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อน การสึกหรอ ป้องกันความชื้น และมีค่าความฝืดสูง (ค่าสัมประสิทธิ์) ซึ่งในปัจจุบันทำจากสารประเภท

เอสเบททออสผสมกับฟิลเลอร์ และผงเรซิน คลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนและความดันจนกระทั่งแข็งตัว

จากนั้นยัดผ้าเบรกเข้ากับฝักเบรกซึ่งมีวิธีการยัดแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบยัดด้วยกาว แบบยัดด้วยหมุดย้ำ โดยวิธีที่นิยมใช้ในการยัดทั่วไป คือการยัดด้วยกาวเนื่องจากสามารถยัดผ้าเบรกได้บางกว่าการใช้หมุดย้ำ ในการผลิตผ้าเบรกของบริษัทผู้ผลิตจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อตอบสนองในการใช้งาน ส่วนผสมในผ้าเบรกเป็นสิ่งที่ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลที่สำคัญได้ การเลือกวัสดุเพื่อนำมาเป็นโครงสร้างแผ่นเหล็กที่เตรียมจะถูกพันด้วยกาวเพื่อรอกกระบวนการขึ้นรูปซึ่งมีสองวิธี คือ วิธีแรกจะผลิตด้วยการขึ้นรูปเย็นโดยการเทผงผ้าเบรกลงบนแม่พิมพ์จากนั้นวางเหล็กรองไว้ด้านบนเพื่อทำการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ซึ่งใช้แรงกดขนาด 160 ตัน จึงนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบ ผ้าเบรกที่ผลิตจากกระบวนการขึ้นรูปเย็นจะมีจำหน่ายในตลาดขายอะไหล่ทั่วไป อีกวิธีหนึ่งการผลิตเป็นการขึ้นรูปร้อนซึ่งกระบวนการผลิตมีลักษณะเดียวกับการขึ้นรูปเย็นจะแตกต่างกันในขั้นตอนการให้ความร้อนในการเทผงผ้าเบรกและมีการควบคุมความชื้นไม่ให้มีในกระบวนการ เป็นผ้าเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงานการผลิตผ้าเบรกของบริษัทผู้ผลิตเพื่อผลิตผ้าเบรกที่มีประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับยานพาหนะแต่ละประเภทมาโดยเฉพาะ เช่น รถยนต์ทั่วไป, รถยนต์ที่ใช้ในทางฝุ่น เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนความร้อนต่างกันไป ชนิดของผ้าเบรกรถยนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งานโรงงานผลิตผ้าเบรกรถยนต์ มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายคุณภาพ คุณภาพผ้าเบรกแต่ละโรงงานมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบาย และทิศทางการทำธุรกิจของโรงงานนั้น ผู้ผลิตผ้าเบรกรถยนต์มี 2 ประเภท คือ ผู้ผลิตสำหรับค้าปลีกโดยเฉพาะและผู้ผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ Original Equipment Manufacturing (OEM) ผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับค้าปลีก มีการผลิตผ้าเบรกออกมาหลากหลายคุณภาพ รวมถึงราคา บางผู้ผลิตอาจผลิตสินค้าโดยบรรจุในหลากหลายบริษัทเพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้จำหน่ายและผู้ใช้รถมากที่สุด ผู้ผลิตจะเน้นราคาในการทำตลาด กลุ่มเป้าหมายจะเป็นลูกค้าปลีกทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่น่าออกจำหน่ายจะอยู่ตั้งแต่กลุ่มตลาดล่าง จนถึงกลุ่มตลาดขนาดกลางผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นสินค้าคุณภาพมาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ผู้ผลิตมุ่งเน้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานอะไหล่สำหรับรถยนต์ใหม่ กลุ่มเป้าหมายจะเป็นโรงงานผลิตรถยนต์รวมทั้งศูนย์บริการรถยนต์ชั้นนำ Original Equipment Service (OES) ผลิตภัณฑ์ที่น่าออกจำหน่ายในตลาดค้าปลีกจะอยู่ในกลุ่มตลาดรถที่มีมาตรฐานสูงเท่านั้น หากเราจำแนกชนิดของผ้าเบรกตามเกรดผู้ผลิต สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ (แบ่งตามลักษณะการใช้งานต่าง ๆ)

#### 2.1.1 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานโรงงานผลิตรถยนต์

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานจากโรงงานผลิตรถยนต์ มีคุณสมบัติของวัตถุดิบแต่ละชนิดตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์ ทั้งด้านประสิทธิภาพการเบรกและการทำงานร่วมกับ

งานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะต่ำเหมาะสำหรับรถยนต์ใหม่ใช้ในขับเคลื่อนทั่วไปจนถึงการใช้งานหนักซึ่งไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาด

#### 2.1.2 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานจากผู้ผลิตทั่วไป

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานเพื่อใช้เป็นอะไหล่ทดแทน คุณสมบัติของอะไหล่จะแตกต่างกันตามผู้ผลิตรถยนต์ขึ้นอยู่กับต้นทุนและการแข่งขัน ผู้ประกอบรถจะขายในรูปอะไหล่จะใช้สัญลักษณ์เดียวกับสัญลักษณ์รถยนต์ ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอาจผลิตอะไหล่คุณภาพต่ำลงจำหน่ายเพื่อรักษารฐานลูกค้าที่มีกำลังซื้อต่ำ และเพื่อการแข่งขันเรื่องราคาในตลาดเหมาะสำหรับผู้ซื้อทั่วไปที่ต้องการอะไหล่คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่หาซื้อได้ตามศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปหรือร้านค้าอะไหล่

#### 2.1.3 ผ้าเบรกสำหรับรถสมรรถนะสูง

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพสูงที่ใช้เพื่อการแข่งขันวัตถุประสงค์ในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อประสิทธิภาพการหยุดรถ โดยเฉพาะรองรับการขับด้วยอัตราความเร็วสูงและการถ่ายเทความร้อนในระบบเบรก เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนเพื่อการแข่งขันที่ใช้ความเร็วสูงในการขับเคลื่อนเป็นประจำ ผ้าเบรกชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนทั่วไปรวมถึงการใช้งานหนักและบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้มีอัตราการทำลายงานเบรกสูง เพราะส่วนผสมมีโลหะอยู่ในอัตราที่สูง

#### 2.1.4 ผ้าเบรกมาตรฐานทั่วไป

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานเหมาะสำหรับการใช้งานในขับเคลื่อนทั่วไปหรือใช้งานหนัก วัตถุประสงค์ในการผลิตจะมีคุณสมบัติเท่ากับ หรือต่ำกว่าผ้าเบรกที่ผลิตเพื่อโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ ผ้าเบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบและหลากหลายวัตถุประสงค์ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ผู้บริโภคต้องใช้วิจารณญาณในการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ เหมาะสำหรับการขับเคลื่อนทั่วไปหรือใช้งานเป็นประจำ การเลือกใช้ควรดูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบผ้าเบรกโลหะหรือผ้าเบรกกลุ่ม Non Asbestos Organics (NAO) แต่ละชนิดมีผลดีและผลเสียแตกต่างกัน อันมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่แตกต่างด้วยเช่นกัน

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการถ่ายเทความร้อน [5]

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

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้น ความร้อนต่างก็เป็นพลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ ซึ่งมักจะเกิดขึ้นด้วยกัน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหาจึงใช้หน่วยชนิดเดียวกันคือ จูล (J) หรือ

กิโลจูล (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 แต่ความจริงความจุความร้อน 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 ขึ้นนั้น 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 <sup>2</sup>
	$\Delta T$	คือ	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิ, K
	$\Delta x$	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 อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านพื้นที่ผิวที่กำหนดมีหน่วยของอัตราการนำความร้อนเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ ฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ในหน่วย SI ฟลักซ์ความร้อนเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m<sup>2</sup>) อัตราความร้อนเป็นปริมาณสเกลาร์ในขณะที่การไหลของความร้อนเป็นปริมาณ (Vectorial) เพื่อกำหนดฟลักซ์ความร้อนที่จุดหนึ่งในอวกาศหนึ่งจะใช้เวลาที่จำกัด กรณีที่ขนาดของพื้นที่ผิวจะกลายเป็นขนาดเล็กซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

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

เมื่อ  $q''_{cond}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการนำ, W/m<sup>2</sup>

### 2.2.2 การพาความร้อน (Heat convection) [1]

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็จะมี การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน โดยการพาหรือการพาความร้อน กระบวนการพาความร้อนดังกล่าวนี้เป็นปรากฏการณ์พื้นฐานการถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อนนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

### 2.2.2.1 การพาความร้อนแบบอิสระหรือธรรมชาติ (Free or natural convection)

แรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนไหวยังของการพาความร้อนแบบอิสระนั้น 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, $W/m^2 \cdot K$
	$L$	คือ	ความยาว, m
	$k$	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไหล, $W/m \cdot K$
	$C, n$	คือ	ค่าคงที่ $C = 0.59$ 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, $9.81 m/s^2$
	$\beta$	คือ	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร, $\frac{1}{K}$
	$\nu$	คือ	ความหนืด, $m^2/s$
	$\alpha$	คือ	ค่าแพร่กระจายความร้อน, $m^2/s$

### 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

$T_\infty$  คือ อุณหภูมิของของไหลอิสระที่อยู่ห่างออกไปจากผิววัตถุมาก ๆ, K

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

การพาความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านพื้นที่ที่กำหนดมีหน่วยของอัตราความร้อนเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ 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) [4]

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีต่างไปจากการนำและการพาความร้อน เพราะไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ด้วยนี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการให้ความร้อน และหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม พิจารณาของแข็งในสภาวะสุญญากาศที่มีอุณหภูมิเริ่มต้น  $T_s$  สูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม  $T_\infty$  ในสภาวะสุญญากาศ จะทำให้การนำและการพาความร้อนเกิดขึ้นไม่ได้ แต่อุณหภูมิของแข็งจะลดลงจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลกับอุณหภูมิแวดล้อมในที่สุด กระบวนการลดอุณหภูมิดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการลดพลังงานภายใน (Internal Energy) ที่มีอยู่ในของแข็ง และเป็นผลลัพธ์โดยตรงจากการปล่อยรังสีความร้อน (Emission)

จากพื้นผิวของแข็งการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นได้ทั้งสองทาง ทั้งจากของแข็งสู่สิ่งแวดล้อม และจากสิ่งแวดล้อมสู่ของแข็ง หากกลไกการปล่อยรังสีความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่แบบสั่น และการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนหลายตัวที่ประกอบเป็นสสาร แหล่งพลังงานภายในที่แปรผันไปกับอุณหภูมิของสสารที่เกิดการเคลื่อนที่แบบสั่นนี้ ปรากฏการณ์แผ่รังสีความร้อนอาจเป็นได้ทั้งในเชิงปริมาตรกรณีของแก๊สและตัวการโปร่งแสงอุณหภูมิสูง ในการพิจารณาการแผ่รังสีความร้อนเชิงพื้นผิว การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $-270^\circ\text{C}$  หรือ  $0\text{ K}$  ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว เช่น การตากปลาแห้ง ตากเสื้อผ้ากลางแจ้ง ทั้งนี้การแผ่รังสี คือ การถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องผ่านตัวกลางใด ๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี

วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน การแผ่รังสีความร้อนจากแบล็กบอดี้ (Blackbody radiation) หรือวัตถุดำระบบในอุดมคติที่สามารถดูดซึมและปลดปล่อยรังสีความร้อนได้อย่างสมบูรณ์ (a perfect thermal radiation absorber and emitter) และปรากฏเป็นสีดำเนื่องจากไม่สะท้อนแสงยกเว้นจะเรืองแสงได้เอง (Self-luminous) ถ้าอุณหภูมิสูงพอแบล็กบอดี้เป็นเพียงสมมติที่ใช้อ้างอิง และเปรียบเทียบผลที่ได้จริง วัตถุที่มีสีดำไม่ใช่แบล็กบอดี้ วัตถุที่มีสีเข้มเพียงแต่สามารถดูดซึม และปลดปล่อยรังสีความร้อนได้ดีกว่า วัตถุที่มีสีอ่อนรังสีความร้อนแบล็กบอดี้จะดูดซึมรังสีตกกระทบ (Incident radiation) ไว้ทั้งหมด ไม่ว่ารังสีนั้นจะตกกระทบในทิศทางหรือความยาวคลื่นใด วัตถุที่สามารถดูดซึมรังสีตกกระทบใกล้เคียงแบล็กบอดี้ ได้แก่ แกรไฟต์ ซึ่งดูดซึมรังสีตกกระทบได้ถึง 97% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิแบล็กบอดี้ยังแผ่รังสีความร้อนออกมาในระดับพลังงานสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับอุณหภูมินั้น โดยแผ่รังสีออกมาทุกช่วงความยาวคลื่น เรียกการแผ่รังสีความร้อนแบบนั้นว่า “การแผ่รังสีของแบล็กบอดี้ (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

$\sigma$  คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์และมีค่าเท่ากับ  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$T_s^4$  คือ อุณหภูมิผิวแผ่รังสีในหน่วยของศาสัมบูรณ์,  $\text{K}^4$

การพาความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านพื้นผิวที่กำหนดมีหน่วยของอัตราความร้อนเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ ฟลักซ์ความร้อน คือ อัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ในหน่วย (SI) ฟลักซ์ความร้อนเป็นวัตต์ใน ( $\text{W/m}^2$ ) อัตราความร้อนเป็นปริมาณสเกลาร์ในขณะที่การไหลของความร้อนเป็นปริมาณ (Vectorial) เพื่อกำหนดฟลักซ์ความร้อนที่จุดหนึ่งในอวกาศหนึ่งจะใช้เวลาที่จำกัด กรณีที่ขนาดของพื้นผิวจะกลายเป็นขนาดเล็กซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

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

เมื่อ  $q''_{rad}$  คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสี,  $\text{W/m}^2$

#### 2.2.4 การถ่ายเทความร้อนในสภาวะสมดุล [3]

จากขั้นตอนการทดลองไม่สามารถคำนวณหาค่าได้จากสมการการนำความร้อนหรือสมการการพาความร้อน จำเป็นต้องวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนที่เกิดขึ้นโดยความร้อนที่ถ่ายเทให้กับผ้าเบรกเกิดจากการนำความร้อนผ่านแท่งเหล็ก และการพาความร้อนจากบริเวณโดยรอบ ดังนั้นจึงนำสมดุลการถ่ายเทความร้อนมาเป็นแนวทางในการทดสอบหาค่าการนำความร้อน สมการการนำความร้อน เป็นสมการคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการอนุรักษ์พลังงานภายในก้อนวัตถุ สมการดังกล่าวนี้ได้มาจากสมดุลพลังงานของก้อนวัตถุชิ้นเล็ก ๆ ที่มีความร้อนไหลผ่านโดยการนำสำหรับการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนในก้อนวัตถุนั้นถือว่ามีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำมีความสัมพันธ์กับการกระจายอุณหภูมิภายในก้อนวัตถุตามกฎของฟูเรียร์

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

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

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

เมื่อนำ (สมการ 2.6) มาจัดรูปเพื่อหาค่าการนำความร้อนจะได้ (สมการ 2.9) ที่สามารถคำนวณหาค่าการนำความร้อนได้

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

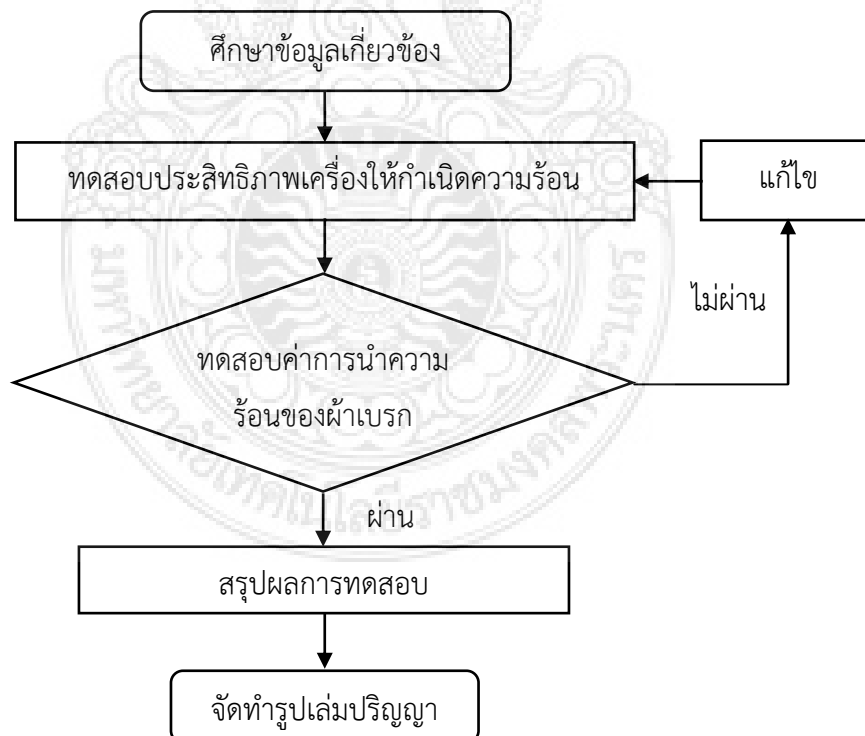
เมื่อ

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

### บทที่ 3

#### การเตรียมการและการทดสอบ

การจัดทำโครงการครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินโครงการเพื่อให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องมีการศึกษาข้อมูลของผ้าเบรกกว่าที่จำหน่ายทั่วไปมีกี่ชนิด ในทางทฤษฎีวัสดุที่เคลื่อนที่เสียดทานกัน จะเกิดความร้อน ๆ ที่เกิดขึ้นมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และในทางปฏิบัติการเบรกในแต่ละครั้งแรงที่กดลงที่ผ้าเบรกจะเพิ่มขึ้นจนรถหยุดสนิท เพื่อให้ผลทดสอบมีความคล้ายคลึงกับการใช้งานจริง จึงได้กำหนดแรงในการกดแบ่งเป็น 3 ระดับ เพื่อให้การดำเนินงานในการทดสอบเครื่อง และบันทึกค่าที่ได้จากการทดสอบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ โดยผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินการเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานเป็นขั้นตอนมากขึ้น สามารถกำหนดการปฏิบัติงานได้เป็นแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบจะบันทึกอุณหภูมิโดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิลดลง การทดสอบชิ้นงานจะทำการทดสอบจากตัวอย่างผ้าเบรก 3 ชนิด คือ ชนิด A ชนิด B และชนิด C โดยแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบของวัสดุต่างๆ ดังแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด

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

3.1.1 เตรียมชิ้นงานโดยการกำหนดขนาดให้ผ้าเบรกมีขนาด 7 mm. × 11 mm. × 22 mm. จากนั้นนำไปเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2 mm. ระยะห่างระหว่างจุด 7 mm. ชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบผิวของพื้นที่หน้าตัดที่สัมผัสกับแผ่นให้ความร้อนจะต้องราบเรียบ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดในการวัดค่า ซึ่งผ้าเบรกชนิด A, B และ C จะต้องมีความหนาเท่ากัน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ [9]



3.1.2 เตรียมสายเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ Type T, Type J และ Type K .ในการทดสอบเลือกใช้แบบ Type K ที่สามารถวัดค่าได้ -195 ถึง +1,000 มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.3% กำหนดขนาดให้สายวัดยาว 2 m จำนวน 4 เส้น ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สายวัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K [6]

3.1.3 จัดเตรียมเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบบันทึกค่า (Data logger) ที่สามารถบันทึกค่าอุณหภูมิได้จึงเลือกใช้เครื่องวัดอุณหภูมิรุ่น Testo176-T4 โดยมีลักษณะการใช้งานสอดคล้องกับการทดสอบที่สามารถวัดค่าได้ครั้งละ 4 จุดดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ Testo176-T4 [7]

3.1.4 แผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบใช้เหล็กเครื่องมือ SKD 61 ซึ่งเป็นเหล็กทนความร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่รองรับวัสดุที่จะทำการทดสอบโดยใช้การกด ขนาดความกว้าง และความยาวของแผ่นระนาบถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับผ้าเบรกที่จะใช้ในการทดสอบซึ่งมีขนาดความกว้าง 25 mm ยาว 25 mm หนา 10 mm ส่วนความหนาของแผ่นรองรับชิ้นงานถูกกำหนด เพื่อให้สามารถรับความร้อนได้ถึง  $400^{\circ}\text{C}$  โดยที่แผ่นรองรับวัสดุไม่เกิดการโก่งตัว ซึ่งมีขนาดความกว้าง 100 mm ยาว 100 mm หนา 30 mm มีมวล 2.826 kg แสดงดังรูปที่ 3.5

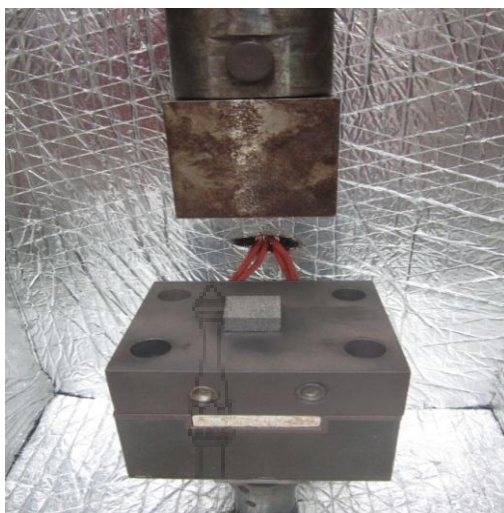


รูปที่ 3.5 แผ่นรองรับชิ้นงานชนิดดิสก์เบรก

3.1.5 ชุดให้ความร้อน (Heater) ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับแผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบ โดยที่สามารถให้ความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นที่  $50^{\circ}\text{C}$  ถึง  $400^{\circ}\text{C}$  ตามที่ถูกรอกแบบขั้นตอนการทดสอบไว้ โดยทางคณะผู้จัดทำได้เลือกชุดให้ความร้อนแบบแท่งขนาด 600 W แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ชุดให้ความร้อน (Heater)



รูปที่ 3.7 แผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบ

3.1.6 แผ่นรองรับชิ้นงานและฐานรองรับ แผ่นรองรับชิ้นงานและฐานรองรับทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 ซึ่งเป็นเหล็กทนความร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่รับแรงกดจากหัวกด แผ่นรองรับชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3.7 ส่วนกรณีฐานรองรับชิ้นงาน ทำหน้าที่เป็นที่วางฉนวนที่อยู่ระหว่างแผ่นรองรับชิ้นงานและฐานรองรับชิ้นงาน ฐานรองรับชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ฐานรองรับชิ้นงาน

3.1.7 หัวกดชิ้นงานทดสอบทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 ซึ่งเป็นเหล็กทนความร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้ากดชิ้นงานทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.9



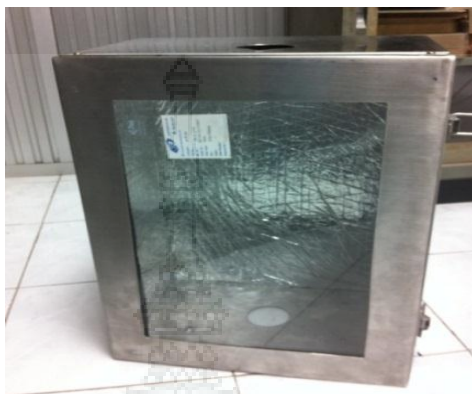
รูปที่ 3.9 หัวกดวัสดุ ดิกส์เบรก

3.1.8 แท่งกดทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กทนความร้อนมาตรฐานสูง และความแข็งแรง ทำหน้าส่งผ่านแรงไปยังหัวกดชิ้นงานพร้อมเป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แท่งกด

3.1.9 กล่องควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิโดยรอบ และป้องกันไม่ให้ความร้อนออกมาจากชุดให้ความร้อน (Heater) โดยมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุแสดงดังรูปที่ 3.11

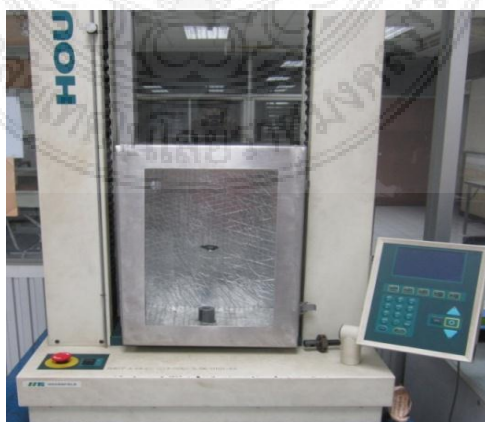


รูปที่ 3.11 กล่องควบคุมอุณหภูมิ

### 3.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ

จากการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบหลายชิ้นในขั้นตอนนี้ จะอธิบายถึงการนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบรวมกันเพื่อให้ได้ชุดทดสอบโดยมีขั้นตอนในการติดตั้งดังนี้

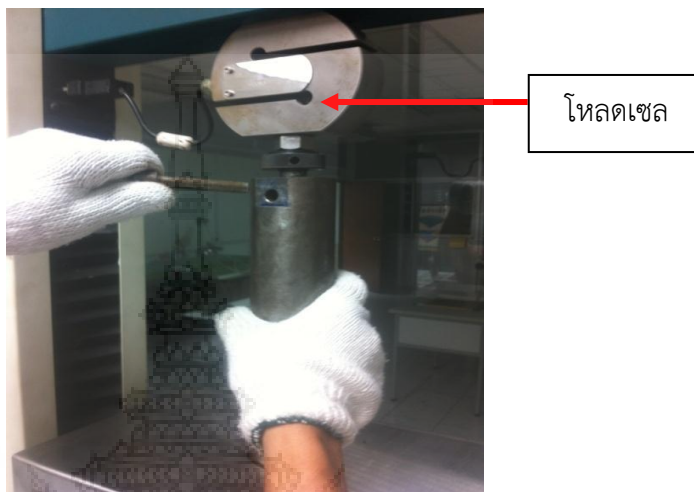
3.2.1 ติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิเข้ากับเครื่องทดสอบโดยภายในกล่องควบคุมนี้สามารถรักษาอุณหภูมิการทดสอบให้มีค่าค่อนข้างคงที่ เพื่อผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยนำกล่องควบคุมอุณหภูมิตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบแรงกดแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิกับเครื่องทดสอบแรงกด



3.2.2 ติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกดชิ้นงาน โดยใช้สลักยึดระหว่างโหลดเซลกับแท่งกดชิ้นงาน เพื่อรับค่าของแรงที่กดทดสอบ และส่งค่าการทดสอบไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกด

3.2.3 ติดตั้งหัวกดชิ้นงานเข้ากับแท่งกดสำหรับการติดตั้งหัวกดชิ้นงานจะใช้สลักเป็นตัวยึดเข้ากับแท่งกดวัสดุ ทั้งกรณีหัวกดของดิสก์เบรกแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การติดตั้งหัวกดชิ้นงานเข้ากับแท่งกด

3.2.4 ติดตั้งฐานรองรับแผ่นรองชิ้นงาน โดยฐานรองรับแผ่นรองรับเป็นชิ้นส่วนที่อยู่บริเวณล่างสุดของชุดทดสอบ จะใช้สลักยึดเข้ากับแท่งรองรับของเครื่องทดสอบแรงกด มีหน้าที่เป็นตัวรับแรงกดที่เกิดจากแท่งกดแสดงดังรูปที่ 3.15



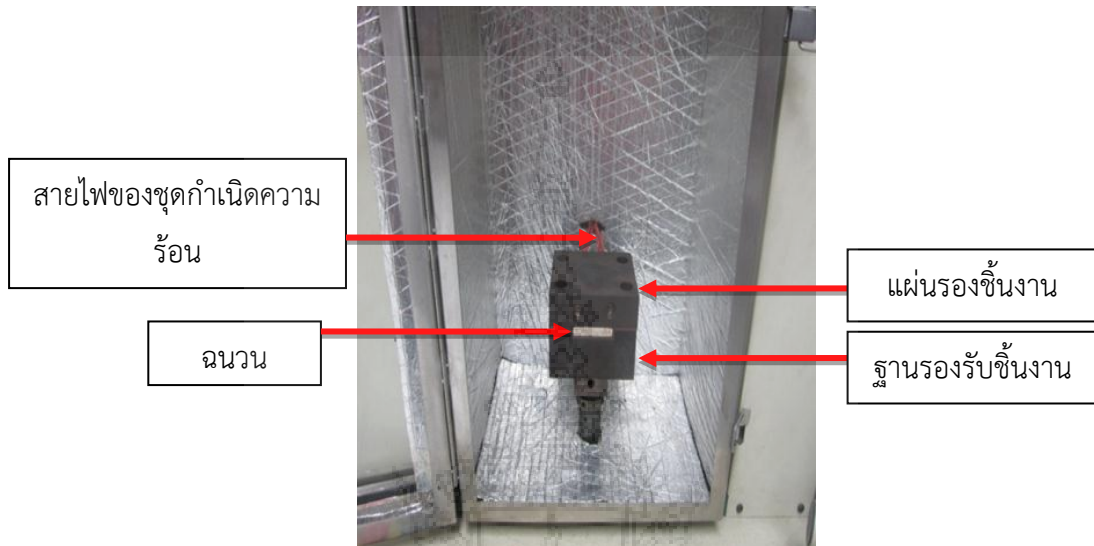
รูปที่ 3.15 การติดตั้งฐานรองรับแผ่นรองชิ้นงาน

3.2.5 ติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน เพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากชุดกำเนิดความร้อน (Heater) ถ่ายเทไปยังชุดทดสอบวัสดุแสดงดังรูปที่ 3.16



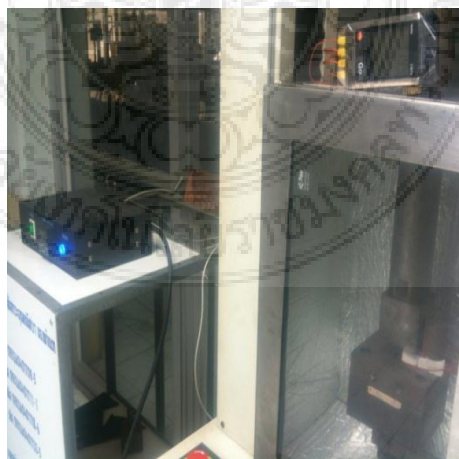
รูปที่ 3.16 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน

3.2.6 ติดตั้งแผ่นรองรับชิ้นงาน และต่อสายแท่งให้กำเนิดความร้อนเข้ากับกล่องควบคุมอุณหภูมิ  
 ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการติดตั้งอุปกรณ์ โดยการเตรียมการทดสอบที่เสร็จสมบูรณ์แสดงดังรูปที่  
 3.17



รูปที่ 3.17 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุ และต่อสายชุดให้กำเนิดความร้อน

3.2.7 ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบบันทึกค่าพร้อมนำสายส่งสัญญาณทั้ง 4 เส้นเสียบเข้า  
 ช่องสัญญาณเข้าแสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิจุดต่าง ๆ

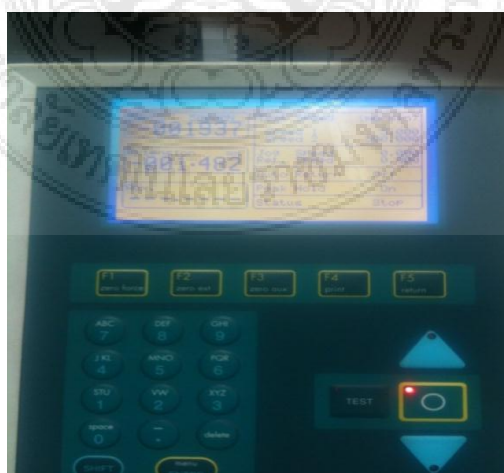


3.2.8 ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบบันทึกค่าพร้อมนำสายส่งสัญญาณทั้ง 4 เส้น เสียบเข้ากับผิวผ้าเบรก 1 จุด ในเนื้อผ้าเบรกที่เจาะรูเพื่อเสียบหัวโพรบเข้ากับผ้าเบรกทั้งหมด 2 จุด ส่วนอุณหภูมิจุดที่ 4 ใช้วัดอุณหภูมิโดยรอบแสดงดังรูปที่ 3.19 และ 3.22



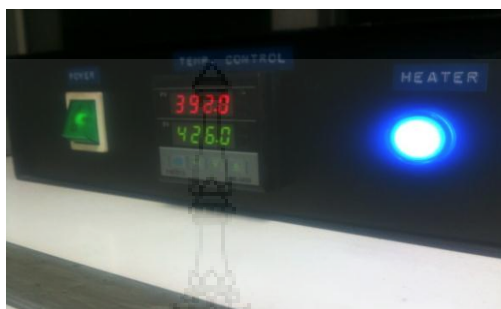
รูปที่ 3.19 การติดตั้งผ้าเบรกพร้อมฉนวนป้องกันความร้อน

3.2.9 กำหนดสถานะเริ่มต้นในการทดสอบโดยเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิที่ 50 °C ขนาดแรงกด 242 N พร้อมทั้งติดตั้งฉนวนเพื่อป้องกันสายไหมและอาจทำให้อุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนได้ในขณะทำการทดสอบเมื่อเหล็กได้รับความร้อนจะเกิดการขยายทำให้แรงกดที่หัวกดกระทำกับผ้าเบรกเพิ่มขึ้นจึงต้องควบคุมแรงกดให้อยู่ในขอบเขตแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การกำหนดแรงกดที่กระทำต่อผ้าเบรก

3.2.10 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแห้งให้กำเนิดความร้อนในช่วงการทำงานที่อุณหภูมิต่ำอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ยากต่อการจดบันทึกค่าจึงต้องใช้การถ่ายภาพ ในช่วงเวลาที่ต้องการจะทำให้สามารถเก็บค่าที่สถานะคงที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแห้งให้กำเนิดความร้อน

### 3.3 สภาวะการทดสอบ [8]

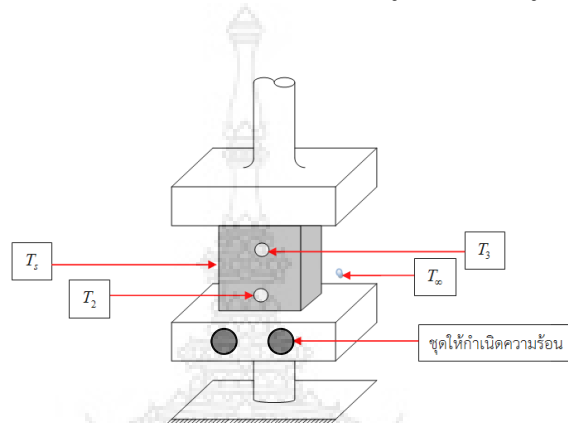
ในการทดสอบเพื่อให้ค่าเหมือนกับสภาวะการใช้งานจริงจึง ดั้งนั้นการทดสอบจึงใช้ผ้าเบรก รถยนต์แบบดิสก์ชนิด A, B และ C สภาวะความดันที่ 1, 5 และ 8 MPa ภายใต้แรงกด 242, 1210 และ 1,936 N ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 50 ถึง 400 °C และลดอุณหภูมิลงจาก 400 ถึง 50 °C ทำการทดสอบบนพื้นที่หน้าตัดขนาด  $2.42 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  สำหรับสภาวะการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทดสอบ

ชนิดของ ผ้าเบรก	ความดัน (MPa)	แรงกด (N)	อุณหภูมิ (°C)		พื้นที่หน้าตัดชิ้นทดสอบ (m <sup>2</sup> )
			UP	Down	
A	1	242	50	400	$2.42 \times 10^{-4}$
	5	1,210	100	350	
			150	300	
			200	250	
8	1,936	250	200		
		300	150		
		350	100		
B	1	242	400	50	
	5	1,210	350	100	
			300	150	
			250	200	
8	1,936	200	250		
		150	300		
		100	350		
C	1	242	50	400	
	5	1,210	100	350	
			150	300	
8	1,936	200	250		

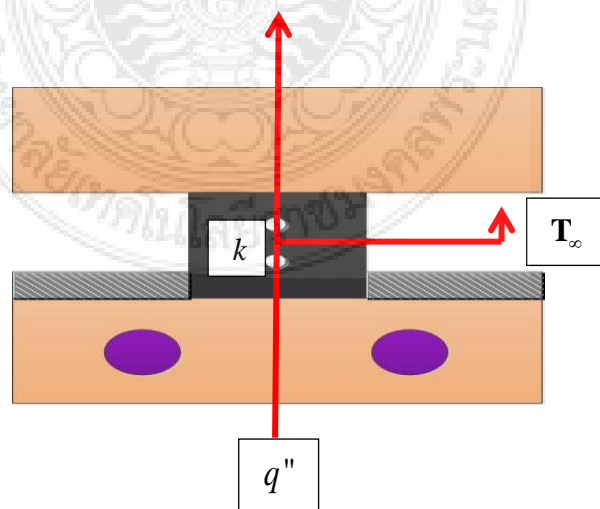
### 3.4 ผลการคำนวณ

ในการคำนวณหาค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด (A, B และ C) ทางผู้จัดทำโครงการมีความจำเป็นต้องทราบข้อมูลของอุณหภูมิผิว ( $T_s$ ) อุณหภูมิในเนื้อผ้าเบรกที่ติดกับหัวกดวัสดุ ( $T_3$ ) อุณหภูมิในเนื้อผ้าเบรกที่ติดกับฐานรองรับ ( $T_2$ ) และอุณหภูมิโดยรอบ ( $T_\infty$ ) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาทางคณะผู้จัดทำได้แสดงภาพตำแหน่งการวัดอุณหภูมิต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

จากแนวคิดและหลักการดังกล่าว การหาค่าการนำความร้อนโดยการให้ความร้อนวัตถุดังรูป 3.22 ความร้อนจะถูกถ่ายเทเข้าวัตถุด้วยการนำความร้อน จนกระทั่งวัตถุเกิดสภาวะอิมิตัว หลังจากนั้นการพาความร้อนแบบธรรมชาติจากผิววัตถุออกไปสู่สิ่งแวดล้อมจะเกิดขึ้นอย่างคงที่ เนื่องจากอยู่ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งเป็นระบบปริมาตรคงที่ ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แนวคิดหลักการการทดสอบ

## 3.4.1 การคำนวณหาค่า Rayleigh number

จากสมการที่ (2.5)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ (ค่าคงที่)} \\
 \beta &= 0.003189 \text{ K}^{-1} \text{ (จากการคำนวณ)} \\
 \nu &= 17.3487 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (จากตาราง Table A.4)} \\
 \alpha &= 24.646 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (จากตาราง Table A.4)} \\
 T_s &= 315.5 \text{ K} \text{ (จากการบันทึกผล)} \\
 T_\infty &= 313.6 \text{ K} \text{ (จากการบันทึกผล)} \\
 L &= 0.007 \text{ m} \text{ (จากการวัด)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า} \quad Ra_L &= \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \\
 &= \frac{(9.81)(0.003189)(315.5 - 313.6)(0.007)^3}{(17.3487 \times 10^{-6})(24.646 \times 10^{-6})} \\
 &= 47.679
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า Rayleigh number มีค่า 47.679

## 3.4.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวสัมผัสกับวัตถุ

จากสมการที่ (2.4)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad Ra_L &= 47.6790 \text{ (จากการคำนวณ)} \\
 L &= 0.007 \text{ m} \text{ (จากการวัด)} \\
 k &= 27.373 \times 10^{-3} \text{ W/m}\cdot\text{K} \text{ (จากตาราง Table A.4)} \\
 C, n &\text{ คือ ค่าคงที่ } C = 0.59 \text{ และ } n = \frac{1}{4} \text{ เมื่อ } (10^4 \leq Ra_L \leq 10^9) \text{ (ค่าคงที่)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า} \quad CRa_L^n &= \frac{\bar{h}_c L}{k} \\
 \bar{h}_c &= \frac{\left( (0.59)(47.6790)^{\frac{1}{4}} \right) (27.373 \times 10^{-3})}{(0.007)} \\
 &= 6.06259 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวสัมผัสกับวัตถุ มีค่า 6.06259 W/m<sup>2</sup>·K

## 3.4.2 การคำนวณหาค่าการนำความร้อน

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } T_2 &= 323.3 \text{ K (จากการวัด)} \\
 T_3 &= 312 \text{ K (จากการวัด)} \\
 L &= 0.007 \text{ m (จากการวัด)} \\
 \bar{h}_c &= 6.06259 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K (จากการคำนวณ)} \\
 A_1 &= 7.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ (จากการวัด)} \\
 A_2 &= 2.52 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ (จากการวัด)} \\
 T_s &= 315.5 \text{ K (จากการวัด)} \\
 T_\infty &= 313.6 \text{ K (จากการวัด)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า } kA_1 \frac{T_2 - T_3}{L} &= \bar{h}_c A_2 (T_s - T_\infty) \\
 k &= \frac{\bar{h}_c A_2 (T_s - T_\infty) L}{(T_2 - T_3) A_1} \\
 &= \frac{(6.06259)(2.52 \times 10^{-4})(315.5 - 313.6) (0.007)}{(323.3 - 312) (7.7 \times 10^{-5})} \\
 &= 0.02335 \text{ W/m} \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า การนำความร้อน มีค่า 0.02335 W/m·K

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการดำเนินการทดสอบพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงนำไปสู่ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดสอบ

จากขั้นตอนการดำเนินโครงการดังกล่าว นำไปสู่การทดสอบผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด ภายใต้สภาวะการทดสอบที่มีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 ถึง 400 °C (Climb up) และลดอุณหภูมิลงจาก 400 ถึง 50 °C (Climb down) ที่ความดัน 1, 5 และ 8MPa ตามลำดับ โดยใช้ผ้าเบรกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งในแต่ละชนิดจะทำการทดสอบตามสภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.2

##### 4.1.1 ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด A

ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด A ที่สภาวะความดัน 1, 5 และ 8 MPa ดังตารางที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด A กำหนดความดัน 1 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_{\infty}$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
<b>Claim Up</b>							
50	42.5	50.3	39.0	40.6	47.6790	6.0625	0.0233
100	81.8	100.4	71.2	62.8	318.8264	10.5608	0.1574
150	118.0	149.9	105.3	84.9	387.8510	11.9149	0.2025
200	156.0	200.9	140.8	124.0	238.8004	11.5005	0.1405
250	195.0	249.8	177.3	158.1	189.0953	11.6473	0.1356
300	230.0	300.3	218.5	197.0	117.7537	11.0455	0.1021
350	279.9	350.1	266.4	232.7	117.3941	11.8120	0.1526
400	329.7	400.3	311.4	276.7	83.91778	11.5618	0.1430
<b>Claim Down</b>							
400	329.7	400.3	311.4	276.7	83.91778	11.5618	0.1430
350	291.1	350	288.3	260.1	64.9159	1.6747	0.1206
300	254.7	300	251.6	229.3	69.8142	1.7054	0.1220
250	215.6	250	216.7	202.3	48.4689	1.5567	0.0789
200	175.9	200.3	179.1	166.7	48.0747	1.5535	0.0818
150	133.7	150.1	138.5	128	45.6786	1.5338	0.0840
100	89.6	100.1	95.9	88.8	10.4617	1.0611	0.0204
50	47.8	50	49.7	47.6	4.56878	0.86258	0.0524

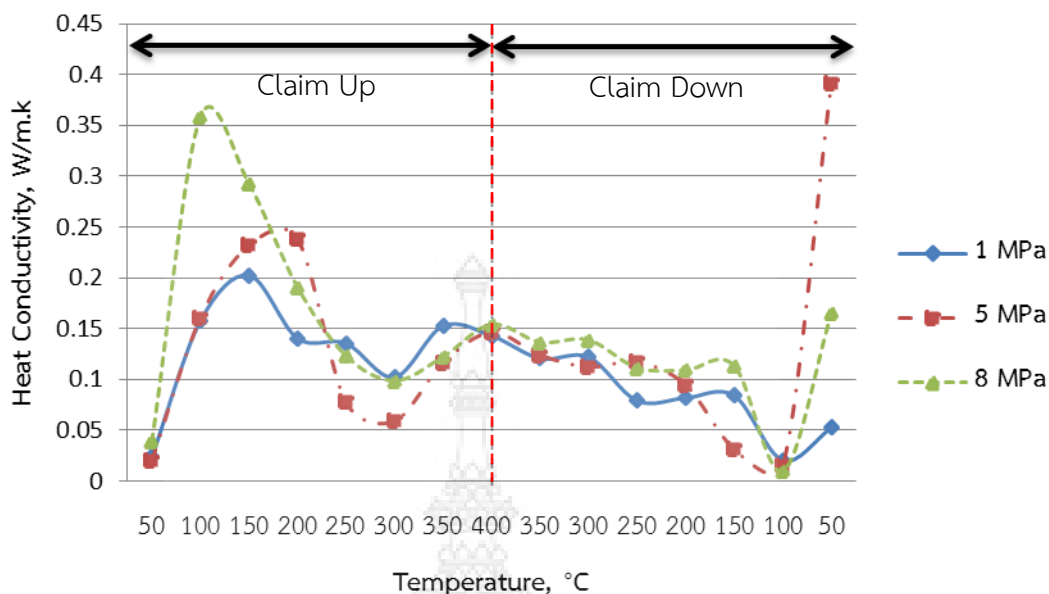
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด A กำหนดความดัน 5 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_{\infty}$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
<b>Claim Up</b>							
50	38.8	49.7	36.4	36.9	50.4265	1.57223	0.0199
100	80.7	99.7	69.1	60.7	343.1810	2.5394	0.1604
150	119.7	150.5	102.5	80.1	171.3006	2.7490	0.2318
200	160	200.4	138.4	110.2	401.8885	2.6416	0.2386
250	197.3	250.4	175.6	172.9	113.0170	1.9237	0.0777
300	237.8	300	216	215.9	68.6218	1.6981	0.0589
350	291	351.9	264.9	251.5	86.3356	1.7984	0.1163
400	336.2	400.1	311.5	287.2	78.9761	1.7588	0.1463
<b>Claim Down</b>							
400	336.2	400.1	311.5	287.2	78.9761	1.7588	0.1463
350	299.6	350.4	290.7	268.6	60.6710	1.6466	0.1240
300	261	300	254.3	238.2	58.5694	1.63218	0.1123
250	222	250	218.2	204.6	61.1851	1.6501	0.1171
200	178.4	200	180.5	168.5	49.6220	1.5659	0.0944
150	132.9	150.1	140.6	130.7	17.3555	1.2042	0.03116
100	89.7	100	96.8	90.2	6.4671	0.9408	0.0149
50	48.3	50.3	50	47.3	22.8393	1.2898	0.3917



ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด A กำหนดความดัน 8 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_{\infty}$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
Claim Up							
50	44.7	50.9	40.3	42	66.0426	1.6819	0.0386
100	91.4	100.5	76.7	60.3	507.8740	2.8008	0.3582
150	126.9	150.1	108.8	85.1	468.6112	2.74508	0.2928
200	163.7	200.5	143.3	124.3	283.8827	2.4218	0.1910
250	201.9	250	178.2	167.8	160.1494	2.0988	0.1234
300	241.2	300.4	219.1	209	103.5081	188.19	0.0989
350	296.6	350	262.5	255.2	87.3411	1.8036	0.1224
400	343	400.1	311.3	291.7	79.5082	1.7618	0.1542
Claim Down							
400	343	400.1	311.3	291.7	79.5082	1.7618	0.1542
350	301.1	350.7	288.3	266.4	68.3574	1.6964	0.1368
300	265.9	300.4	252.6	237.9	70.9045	1.71206	0.1388
250	222.5	250	215.5	204.7	62.4479	1.6585	0.1114
200	181.2	200	178.7	169.5	58.9400	1.6347	0.1092
150	136.1	150	139.5	129.4	52.6004	1.58891	0.1134
100	89.3	100	96.3	88.9	5.2347	0.8924	0.0098
50	46.2	50.1	49.8	46.7	11.6256	1.0894	0.1648



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด A

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าในช่วงการให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Claim Up) ผ้าเบรกชนิด A มีค่าการนำความร้อนสูงสุดที่ช่วงอุณหภูมิ 100 - 150 °C ภายใต้สภาวะความดันที่ 8 MPa และมีค่าต่ำสุดที่ 300 °C ภายใต้สภาวะความดันที่ 5 MPa ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมดังกล่าวเป็นผลมาจากการสะสมพลังงานความร้อนภายในของผ้าเบรกเมื่อได้รับความร้อน รวมไปถึงอุณหภูมิและเวลาที่ให้ความร้อน ในขณะที่ในช่วงลดอุณหภูมิ (Claim Down) พบว่าผ้าเบรกชนิด A มีค่าการนำความร้อนลดลงใกล้เคียงกันในทุก ๆ ความดัน อันเป็นผลมาจากการเย็นตัวลงอย่างอิสระ

อย่างไรก็ตามในช่วงลดอุณหภูมิ (Claim Down) จนกระทั่งอุณหภูมิมียังมีค่า 100 °C ค่าการนำความร้อนลดลงต่ำที่สุด ที่ความดันที่ 8 MPa และหลังจากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 100 °C แล้วนั้นค่าการนำความร้อนกลับมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความดัน 5 MPa ที่มีค่าสูงถึง 0.3917 W/m·K เนื่องจากผ้าเบรกชนิดนี้มีส่วนผสมของโลหะน้อยกว่าผ้าเบรกชนิด B และ C

#### 4.1.2 ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด B

ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด B ที่สภาวะความดัน 1, 5 และ 8 MPa ดังตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด B กำหนดความดัน 1 MPa

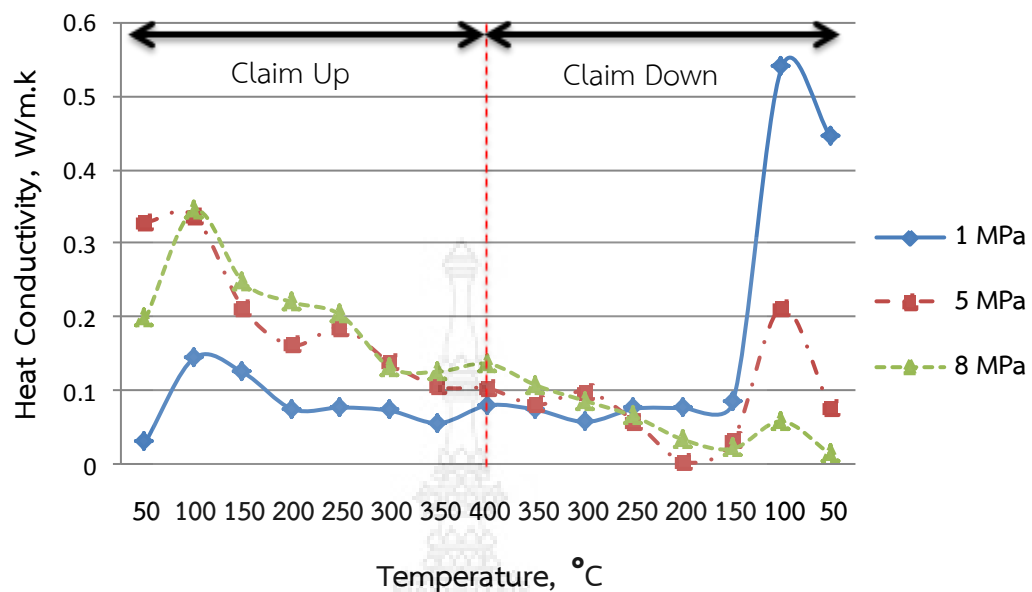
$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_{\infty}$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
Claim Up							
50	46.5	50	45.6	45.4	25.8286	1.33007	0.0301
100	94.5	100.4	82	82.1	166.7418	1.1201	0.1443
150	138.8	150.5	116.1	120.3	152.9458	2.0748	0.1241
200	183.4	200.2	153	167.1	82.6229	1.7788	0.0747
250	224	250.9	196	204.8	66.9720	1.6878	0.0769
300	268.6	300.2	297.8	247.9	49.3826	1.5640	0.0725
350	309.8	350	281.6	291.4	31.3487	1.3960	0.0557
400	358.5	400	328.6	332.6	32.1268	1.4046	0.0798
Claim Down							
400	358.5	400	328.6	332.6	32.1268	1.4046	0.0798
350	308.4	350.2	297.3	289.7	32.2527	1.4060	0.0735
300	271.9	300.5	263.3	260.5	25.2587	1.3226	0.0573
250	229.7	250.1	224.8	219.5	32.1969	1.4054	0.0752
200	185.3	200.2	185.7	178.8	30.4386	1.3858	0.0765
150	137.8	150.1	143.3	134.1	27.9083	1.3560	0.0831
100	96.1	100	97.6	89.1	88.3754	1.8089	0.5385
50	48	50	49.8	47.2	18.3188	1.2206	0.4446

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด B กำหนดความดัน 5 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_{\infty}$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
Claim Up							
50	47.7	50.6	40.7	33.6	365.7822	2.5802	0.3284
100	92.3	100.9	76.4	61.8	487.3161	2.7720	0.3365
150	133.4	150.3	112	102.8	292.7045	2.4403	0.2113
200	176.5	200.5	149.9	144.9	188.6843	2.1866	0.1616
250	228.1	250.4	189.6	186.3	159.5512	2.0968	0.1856
300	272	300.5	233.2	235.5	91.7651	1.8262	0.1374
350	311.2	350	274.9	278.4	59.1608	1.6362	0.1052
400	357.8	400.1	331.8	327.3	38.7794	1.4723	0.1026
Claim Down							
400	357.8	400.1	331.8	327.3	38.7794	1.4723	0.1026
350	314.7	350.1	306.7	297.5	28.0934	1.3583	0.0804
300	274.7	300.2	269.2	259.5	33.5548	1.4000	0.0986
250	227.6	250.3	227.9	220.1	23.7727	1.3027	0.0578
200	182.6	200	186	183.1	2.3049	0.7269	0.0032
150	137.5	150	142.9	139.3	13.1151	1.1227	0.0322
100	90.3	100	96.8	94.5	52.3509	1.5870	0.2125
50	46.7	50	49	47.4	16.1290	1.1823	0.0752

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด B กำหนดความดัน 8 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_\infty$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
<b>Claim Up</b>							
50	51	50.6	45	45	137.7134	2.0211	0.1974
100	100.2	100.9	75	67.8	474.6264	2.7538	0.3442
150	136.3	150.6	115.1	103.7	305.9064	2.4674	0.2467
200	180.5	200.9	159.9	46.3	199.2292	2.2166	0.2199
250	224.4	250.8	201.9	186.8	145.0109	2.04739	0.2022
300	273.2	300.3	240.7	241.2	77.8269	1.7524	0.1312
350	322.2	350	278.6	285.7	61.6428	1.6531	0.1258
400	366.7	400	338.7	331.5	42.9213	1.5101	0.1363
<b>Claim Down</b>							
400	366.7	400	338.7	331.5	42.9213	1.5101	0.1363
350	322.1	350.6	311.4	302.2	31.1679	1.3940	0.1065
300	275.6	300.2	267.4	261.4	30.9683	1.3918	0.0855
250	228.9	250.1	225.6	220.1	27.7625	1.3543	0.0645
200	183.5	200	185.6	180.2	15.4298	1.1693	0.0329
150	139.7	150	142.7	138.4	9.4432	1.0342	0.0209
100	92.9	100	97.3	94.2	16.3960	1.1807	0.0581
50	48.5	50.1	49.6	48.4	2.26.6	0.7234	0.0132



#### รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด B

ผลการทดสอบ ของผ้าเบรกชนิด B พบว่าค่าการนำความร้อนสูงสุดในช่วงการให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Claim Up) ยังคงเป็นการทดสอบที่ความดัน 8 MPa ที่อุณหภูมิ 100 °C เช่นเดียวกับกับผ้าเบรกชนิด A หากแต่พฤติกรรมของค่าการนำความร้อนที่ความดัน 5 MPa มีค่าใกล้เคียงกับที่ความดัน 8 MPa

ส่วนกรณีในช่วงลดอุณหภูมิ (Claim Down) ค่าการนำความร้อนลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 150 °C หลังจากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 150 °C แล้วนั้นค่าการนำความร้อนกลับมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความดัน 1 MPa ที่อุณหภูมิ 100 °C ที่มีค่าสูงสุดถึง 0.5385 W/m·K จากนั้นพฤติกรรมค่าการนำความร้อนที่อุณหภูมิ 100 ไปจนถึง 50 °C จะมีค่าลดลงต่ำที่สุด ที่ความดันที่ 8 MPa ที่อุณหภูมิ 50 °C

#### 4.1.3 ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด C

ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด C ที่สภาวะความดัน 1, 5 และ 8 MPa ดังตารางที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.7** ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด C กำหนดความดัน 1 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_{\infty}$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
<b>Claim Up</b>							
50	46.2	50.8	36.5	44	52.3662	1.5871	0.0221
100	90	100.6	68.7	65.8	380.5090	2.6058	0.1945
150	124.9	150.5	107.4	99.6	257.3976	2.3632	0.1483
200	163.3	200.2	153.4	153.1	60.9370	1.6484	0.0423
250	209.4	250.5	193	197.6	45.1405	1.5293	0.0402
300	250.7	300.1	237.7	243.4	18.8817	1.2298	0.0197
350	294.8	350	281.8	290.4	7.8683	0.9881	0.0093
400	345.1	400	319.7	321.7	31.5435	1.3982	0.0629
<b>Claim Down</b>							
400	345.1	400	319.7	321.7	31.5435	1.3982	0.0629
350	306.1	350.3	291.6	287	33.7420	1.4219	0.0686
300	267.2	300	257	251.9	35.9258	1.4444	0.0719
250	228	250.5	223.1	220.7	23.0331	1.2925	0.0456
200	183.3	200.2	184.5	181.2	9.7667	1.0430	0.0172
150	134.2	150	142.2	140	42.6706	1.5079	0.1266
100	89.2	100	97.6	94.3	64.0524	1.6691	0.3612
50	47.8	50	50.1	47.9	2.2796	0.7249	0.066

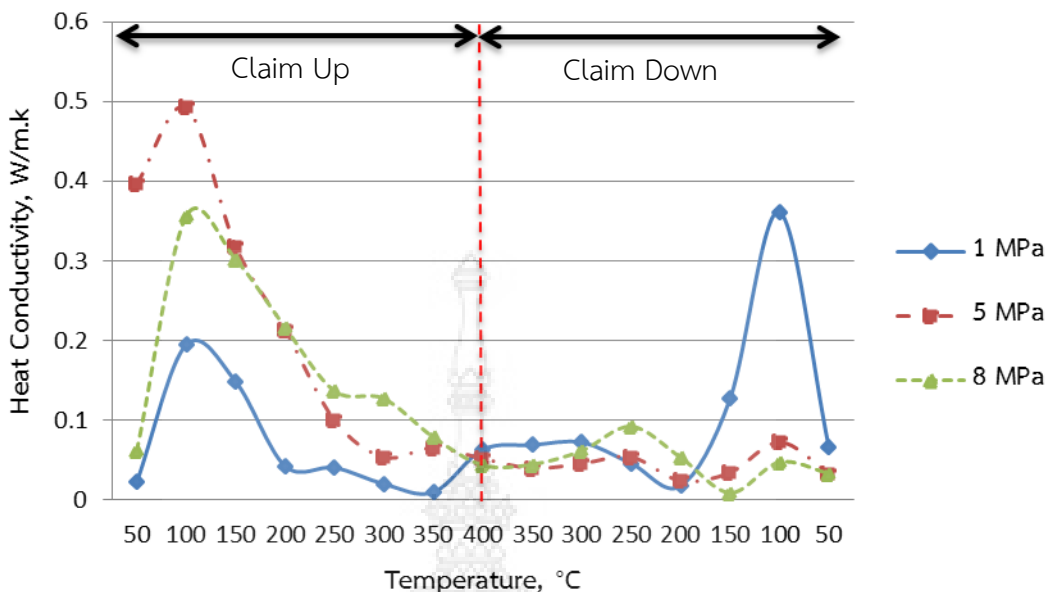
ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด C กำหนดความดัน 5 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_{\infty}$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
<b>Claim Up</b>							
50	50.6	50.2	47.7	45.1	126.4850	1.9786	0.3965
100	94.8	100.6	83.4	63.8	482.9833	2.7658	0.4923
150	134.7	150.5	114.3	94.3	408.3419	2.6522	0.3182
200	171.6	200.5	144.8	129.8	285.2390	2.4246	0.2135
250	203.9	250	178.4	175.1	128.3414	1.9858	0.0997
300	239.7	300.2	216.6	219.5	65.6185	1.6530	0.0534
350	286.1	250.2	257.7	259.9	55.7512	1.6121	0.0652
400	331	400	308	308.9	32.7736	1.4116	0.0515
<b>Claim Down</b>							
400	331	400	308	308.9	32.7736	1.4116	0.0515
350	295.4	350	282.8	281.7	25.4961	1.3257	0.0394
300	261	300	252.7	249.6	27.6123	1.3524	0.0453
250	220.1	250.1	220.5	211.3	30.0121	1.3809	0.0536
200	178.7	200.1	183	175.8	14.1991	1.1452	0.0237
150	136.8	150	142.8	138.7	13.9489	1.1402	0.0340
100	91.2	100	97.4	92.4	18.8833	1.2299	0.0723
50	48.3	50	50.2	48.4	2.2632	0.7236	0.0330



ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรกชนิด C กำหนดความดัน 8 MPa

$T_{\text{heat}}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_2$ (°C)	$T_3$ (°C)	$T_\infty$ (°C)	RaL	h (W/m <sup>2</sup> ·K)	K (W/m·K)
<b>Claim Up</b>							
50	44.1	50.5	41.9	40.8	81.8859	1.7748	0.0612
100	90.2	100.3	76.8	59.6	505.2140	2.7971	0.3557
150	129.5	150.5	107.8	85.5	485.8596	2.7700	0.3019
200	167.3	200.5	139.5	121.5	331.2091	2.5169	0.2165
250	204.7	250	172.9	165.6	184.1195	2.1733	0.1365
300	247.4	300.8	211.2	205	136.4306	2.0164	0.1269
350	282.4	350.3	252.4	250.7	71.4190	1.7151	0.0785
400	329.6	400	301.8	309.3	30.1659	1.3827	0.0434
<b>Claim Down</b>							
400	329.6	400	301.8	309.3	30.1659	1.3827	0.0434
350	295.5	350	274.5	279	31.0982	1.3932	0.0443
300	261.8	300.1	246.6	245.8	39.4147	1.4783	0.0614
250	221.8	250.3	214.6	206.1	54.8050	1.6053	0.0919
200	178.4	200.2	180.4	172.2	31.4037	1.3966	0.0531
150	139.3	150.2	142.1	138.6	5.0868	0.8860	0.0087
100	95.3	100.1	98	94.4	10.9558	1.3734	0.0472
50	48.2	50	49.8	48.1	2.2704	0.7242	0.0330

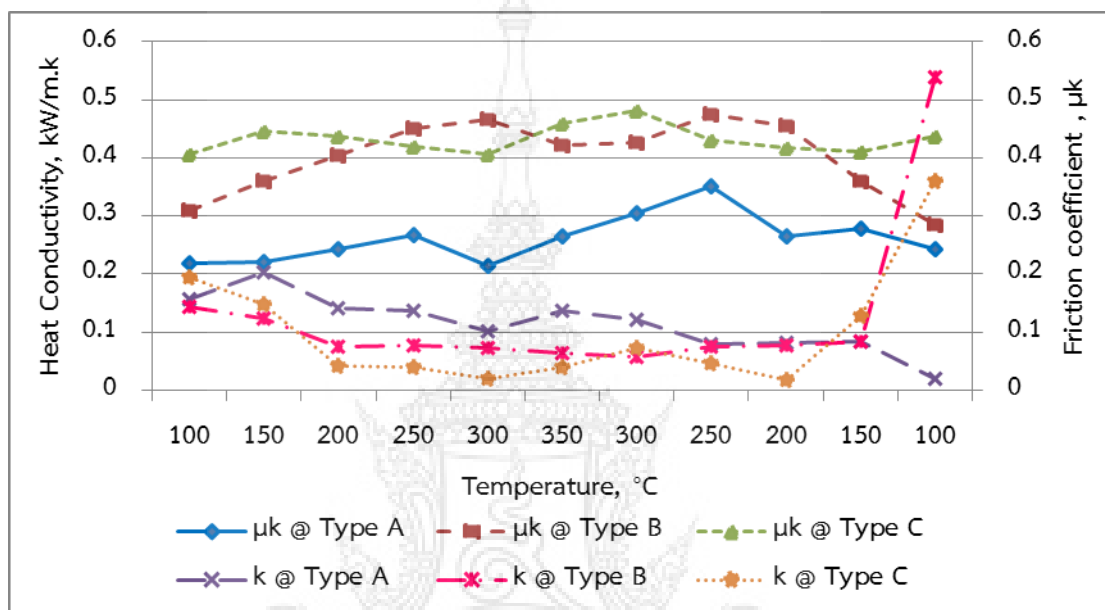


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด C

ผลการทดสอบ ของผ้าเบรกชนิด C พบว่ามีค่าการนำความร้อนสูงสุดในช่วงการให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Claim Up) ถึง 100 °C ภายใต้สภาวะความดันที่ 5 MPa ซึ่งมีค่าสูงถึง 0.4923 W/m·K และมีค่าต่ำสุดที่ 350 °C ภายใต้สภาวะความดันที่ 1 MPa โดยลักษณะจะเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบของค่าการนำความร้อนแต่ละสภาวะความดันเกิดจากในผ้าเบรกชนิดนี้มีส่วนผสมของไฟเบอร์สูงถึงร้อยละ 18 ซึ่งมากกว่าผ้าเบรกชนิดอื่นดังตารางที่ 3.1 เมื่อเทียบกับผ้าเบรกชนิด A และ B จะเห็นได้ว่าร้อยละส่วนผสมของไฟเบอร์ที่สูงจะส่งผลต่อความแปรปรวนของค่าการนำความร้อนที่สูงตามไปด้วย ขณะเดียวกันในช่วงลดอุณหภูมิ (Claim Down) พบว่าผ้าเบรกชนิด C ค่าการนำความร้อนยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดต่ำสุดที่อุณหภูมิ 200 °C หลังจากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 200 °C ค่าการนำความร้อนกลับมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นถึงช่วงอุณหภูมิ 100 °C แล้วจึงปรับตัวลดลงอีกครั้ง

#### 4.1.4 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากเครื่องทดสอบแบบ Pin on disk ที่อ้างอิงจาก [5] ของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด คือ A, B และ C ที่ความดัน 1 MPa แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรกแต่ละชนิด

จากรูปที่ 4.4 เปิดเผยให้เห็นถึงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพฤติกรรมค่าการนำความร้อนจะลดลงซึ่งแปรผันตามกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรกที่เพิ่มขึ้น และในขณะที่ในช่วงลดอุณหภูมิค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมีค่าลดลงแปรผันตามกับค่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรกชนิด C จะมีค่ามากที่สุด จากนั้น คือ ผ้าเบรกชนิด B และ A ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาจากสัดส่วนผสมของผ้าเบรกที่มีทองแดง ที่มีสัดส่วนผสมร้อยละ 15, 6 และ 5 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผ้าเบรกจะมีค่าการนำความร้อนลดต่ำลงในช่วงที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมีค่าสูงขึ้นเช่นกันในช่วงอุณหภูมินี้

ตารางที่ 4.10 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก

ชนิด	หน่วย	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
	$\mu_k$ (-)	0.218	0.221	0.243	0.268	0.214	0.264	0.304	0.350	0.264	0.278	0.242
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
	$\mu_k$ (-)	0.309	0.360	0.404	0.451	0.465	0.422	0.427	0.475	0.455	0.359	0.285
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
	$\mu_k$ (-)	0.406	0.446	0.438	0.420	0.407	0.460	0.481	0.430	0.417	0.411	0.438

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดสอบ ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาค่าการนำความร้อนที่เกิดจากวัสดุผสม เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบวัสดุผ้าเบรกในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก โดยอาศัยสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D 4311 ซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบชิ้นส่วนผ้าเบรกรถยนต์ที่ทดสอบภายใต้การควบคุมความดันและอุณหภูมิ โดยยังมุ่งเน้นไปที่การพิจารณาค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่มีความแตกต่างของส่วนผสม

จากวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมของค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นของผ้าเบรคนั้นพบว่า ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบมีค่าความแตกต่างระหว่างผ้าเบรกแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสัดส่วนผสมของผ้าเบรกแต่ละชนิด ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าการนำความร้อนที่ได้เป็นแบบไม่เชิงเส้น เนื่องจากวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ผลิตผ้าเบรกเป็นวัสดุผสม และยังพบว่าผ้าเบรกที่มีส่วนผสมของเหล็กและทองแดงในสัดส่วนที่สูงจะมีค่าการนำความร้อนลดลงเมื่อใช้งานในสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาผลกระทบของความดันที่มีผลต่อพฤติกรรมค่าการนำความร้อนพบว่าในช่วงที่เพิ่มอุณหภูมิขึ้น (Claim Up) ค่าการนำความร้อนโดยรวมจะสูงสุดที่ความดัน 8 MPa

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากชนิดของผ้าเบรกแต่ละชนิดที่มีส่วนผสมผสมของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน และที่สภาวะความความดันต่างๆ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ผ้าเบรกชนิด C เป็นผ้าเบรกที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุด เนื่องจากมีสัดส่วนผสมทองแดงมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ค่าการนำความร้อนในช่วงที่เหยียบเบรก (อุณหภูมิผ้าเบรกสูงขึ้น) มีค่าการนำความร้อนต่ำ อีกทั้งยังพบว่า ผ้าเบรกชนิด C ยังมีส่วนผสมของไฟเบอร์ในสัดส่วนที่สูงเช่นกัน ทำให้มีความแข็งแรงทนต่อแรงกระแทก สัดส่วนทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์กับสารหล่อลื่นเพื่อรักษาสมดุลในการเบรก ซึ่งปัจจัยขององค์ประกอบของผ้าเบรกเหล่านี้ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผ้าเบรกให้สอดคล้องกับ

การใช้งานของผ้าเบรกแต่ละชนิด และความหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดอีกด้วย

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ

การติดตั้งอุปกรณ์หัวกดผ้าเบรกจะติดตั้งยากเกิดจากเมื่อเหล็กได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวส่งผลไปยังชุดจับยึดที่ไม่สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ง่ายจึงต้องขยายรูใหม่ทำให้เสียเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น

ในการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลาดทดลองเป็นเวลานานเนื่องจากการปล่อยให้พาคความร้อนเป็นแบบอิสระภายใต้กล่องควบคุม

ในการทดลองเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นต้องควบคุมแรงดันที่กดผ้าเบรก เนื่องจากแผ่นชุดให้ความร้อนด้านล่างเป็นหลักได้รับความร้อนเกิดการขยายตัวส่งผลให้แรงกดเพิ่ม จะทำให้ค่าไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การเจาะรูของผ้าเบรกควรเจาะให้ได้ขนาดเท่ากับขนาดของตัวส่งถ่ายอุณหภูมิ (Thermo couple) เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่อาจเกิดขึ้นในช่องว่างภายใน

5.3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบจะเกิดฝุ่นจากการตัดผ้าเบรก ควรมีการสวมอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน เช่น ถุงมือหนังกันความร้อน ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดจมูก และสวมแว่นตานิรภัยเป็นต้น

5.3.3 ควรมีการยึดโครงสร้างของเครื่องทดสอบกับพื้นให้มั่นคงเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนขณะเครื่องทำงาน ซึ่งอาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองได้

## บรรณานุกรม

- [1] ประเสริฐ เทียนนิมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี, ปานเพชร ชินนทร. **ทฤษฎีและคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์**. กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547
- [2] ชนะ กสิภาร์. **ความแข็งแรงของวัสดุ**.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2528
- [3] พฤทธ์ โมกโรสง, อมรศักดิ์ โพธิ์แก้ว, นายโฆษิต เชื่อมใจ, นายสุชาครีย์ กั้นภัย **เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียหายของผ้าเบรก** ปีการศึกษา 2554
- [4] สมพงษ์ ใจดี. **ฟิสิกส์มหาวิทยาลัยเล่ม1**.สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ,2539
- [5] Incropera Dewitt Bergmann Lavine **Fundamentals of Heat and Mass Transfer Wiley Asia Student Sixth Edition** Printed in Asia.2007
- [6] ข้อมูลรูปสายวัดอุณหภูมิ : <http://www.thailandthermography.com/index.php?mo=28&id=109626> ค้นเมื่อ วันที่ 27 มีนาคม, 2556
- [7] ข้อมูลรายละเอียดตารางคุณสมบัติเครื่อง : <http://www.testolimited.com/p/247/testo-176-t4-4-channel-data-logger> ค้นเมื่อ วันที่ 20 กุมภาพันธ์, 2556
- [8] ข้อมูลรายละเอียดของมาตรฐาน JIS D 4413:2005 แหล่งที่มา : <http://www.webstore.jsa.or.jp/webstore/Com/FlowControl.jsp?lang=en&bunsyold=JIS+D+4413%3A2005&dantaiCd=JIS&status=1&pageNo=0> ค้นเมื่อ วันที่ 25 มีนาคม, 2556
- [9] ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรก.แหล่งที่มา:<http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/it/technology> ค้นเมื่อ วันที่ 29 พฤศจิกายน, 2553

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก  
ตารางบันทึกค่าที่ได้เครื่องทดสอบผ้าเบรก



ตารางที่ ก 1 คุณสมบัติของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ Testo176-T4

ลักษณะ	การแสดงค่า
หน่วยการวัด	อุณหภูมิ ( C, F)
ชนิดของเซนเซอร์	4 X thermocouples (Type T , K, J) ติดตั้งภายนอก
ช่วงการวัด	-100 ถึง + 750 (Type J)
	-195 ถึง + 1,000 (Type K)
	-200 ถึง + 400 (Type T)
ค่าความถูกต้อง	+ 1% ของค่าที่วัดได้ (-200 ถึง-100.1 ) + 1 ตำแหน่ง
	+ 0.3 C (-100 ถึง +70 C) + 1 ตำแหน่ง
	+ 0.5 % ของค่าที่วัดได้ (+70.1 ถึง+1,000 ) + 1 ตำแหน่ง
ความละเอียด	0.1
อุณหภูมิการวัด	-20 ถึง + 70
อุณหภูมิในการเก็บ	-40 ถึง + 85
ชนิดของแบตเตอรี่	1 X ลิเทียม (TL-5903)
อายุการใช้งาน	8 ปี (ข้อมูลทุก 15 นาทีที่ + 25 )
ระดับการป้องกัน	IP 65
ขนาดตัวเครื่อง (ย X ก X ส)	103 mm. X 63 mm.X 33mm.
น้ำหนัก	ประมาณ 230 g
ความถี่ในการวัด	1 วินาที (s) ถึง 24 ชั่วโมง (hr) แล้วแต่กำหนด
การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์	Mini-USB, SD card
หน่วยความจำการเก็บข้อมูล	2,000,000 ข้อมูล
การรับประกัน	2 ปี
EC directive	2004/ 108 / EC

ตารางที่ ก 2 คุณสมบัติของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure<sup>a</sup>

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
<b>Air</b>							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
<b>Ammonia (NH<sub>3</sub>)</b>							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-นามสกุล	นายปรีบัณฑิต นาคคง
วัน-เดือน-ปีเกิด	17 พฤษภาคม 2533
ที่อยู่	58 หมู่ 6 ตำบลนาเรียง อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช 80320
ประวัติการทำงาน	-
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาวิชา เครื่องมือกลและซ่อมบำรุง วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2551
วศ.บ.	สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2555
โทรศัพท์	08-0387-8743
e-mail	cangcawphai@hotmail.com



## ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-นามสกุล นายวุฒิชัย สุระพิน  
 วัน--เดือน-ปีเกิด 21 สิงหาคม 2533

ที่อยู่ 171 หมู่ 6 พงษ์ศรีชัย 3 ซอย 12  
 แขวงศาลาธรรมสพน์  
 เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170

ประวัติการทำงาน  
 ประวัติการศึกษา

ปวช. สาขาวิชา ช่างยนต์  
 โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม(ช่างกลสยาม) พ.ศ. 2549

วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ.2555

โทรศัพท์ 08-6811-5628  
 e-mail Luis\_lj52@hotmail.com