



การศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นของวัสดุความเสียดทาน

ภุภุมิ พ่วงเจริญชัย
ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
ศุภชัย หล้าคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นของวัสดุความเสียดทาน

ภุภุมิ พ่วงเจริญชัย
ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
ศุภชัย หล้าคำ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นของวัสดุความเสียดทาน
ผู้วิจัย : นายภูภูมิ พวงเจริญชัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
ว่าที่เรื่อตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
นายศุภชัย หลักคำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
พ.ศ. : 2558

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้ผลิตชิ้นส่วนผ้าเบรกต่างประสบปัญหาด้านคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ จึงนำไปสู่การพัฒนาส่วนผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนที่สอดคล้องต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับการใช้งาน จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้ศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิดที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน 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 ซึ่งค่าการนำความร้อนดังกล่าวจะค่อนข้างแปรผันผกผันกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์

Title : A Study of Heat Conductivity Non-linear Behavior of Friction Materials
Researcher : Mr. Phupoom Puangcharoenchai, Faculty of Engineering, RMUTP
Acting2 Sub.L.T.Songwut Mongkonlerdmanee, Faculty of Engineering, RMUTP
Mr. Supachai Lakkam, Faculty of Engineering, RMUTP
Year : 2015

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, affects 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

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยการสนับสนุนทุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2558 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณผู้ที่ให้ความร่วมมือและให้ความอนุเคราะห์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้

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 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 สมมติฐานและกรอบแนวคิดของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ผ้าเบรก	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการถ่ายเทความร้อน	7
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
3.1 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	15
3.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ	20
3.3 สภาวะการทดสอบ	25
3.4 ผลการคำนวณ	26
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล	29
4.1 ผลการทดสอบ	29
4.2 สรุปผลการทดสอบ	32
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	34

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ	35
5.3 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	37
ประวัติผู้วิจัย	40

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละชนิด	15
3.2 สภาวะการทดสอบ	25
4.1 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก	33
ก.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ Testo176-T4	38
ก.2 คุณสมบัติของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ	39

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การแตกראวของผ้าเบรกแบบดิสก์	1
1.2 การหลุดร่อนของผ้าเบรกแบบดรัม	1
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	14
3.2 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ	15
3.3 สายวัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K	16
3.4 เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ Testo176-T4	16
3.5 แผ่นรองรับชิ้นงานชนิดดิสก์เบรก	17
3.6 ชุดให้ความร้อน	17
3.7 แผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบ	18
3.8 ฐานรองรับชิ้นงาน	18
3.9 หัวกดชิ้นงานทดสอบ	19
3.10 แท่งกด	19
3.11 กล่องควบคุมอุณหภูมิ	20
3.12 การติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิกับเครื่องทดสอบแรงกด	20
3.13 การติดตั้งโหลดเซลล์เข้ากับแท่งกด	21
3.14 การติดตั้งหัวกดชิ้นงานเข้ากับแท่งกด	21
3.15 การติดตั้งฐานรองรับแผ่นรองชิ้นงาน	22
3.16 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน	22
3.17 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุ และต่อสายชุดให้กำเนิดความร้อน	23
3.18 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิจุดต่างๆ	23
3.19 การติดตั้งผ้าเบรกพร้อมฉนวนป้องกันความร้อน	24
3.20 การกำหนดแรงกดที่กระทำต่อผ้าเบรก	24
3.21 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแท่งให้กำเนิดความร้อน	25
3.22 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ	26
3.23 แนวคิดหลักการการทดสอบ	26
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด A	29
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด B	30
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด C	31
4.4 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก	32

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย ผ้าเบรกถือว่าเป็นวัสดุความเสียดทานที่เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และด้วยหน้าที่การทำงานของผ้าเบรกที่จำเป็นจะต้องสัมผัสกับจานเบรกที่เป็นโลหะในช่วงสภาวะอุณหภูมิสูงอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้บ่อยครั้งที่ผ้าเบรกไม่สามารถระบายความร้อนและรักษาคุณสมบัติของตัวเองได้(การเฟดตัว) และเป็นสาเหตุให้ผ้าเบรกแตกร้าว และหลุดร่อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผ้าเบรกชนิดดรัมเบรกที่มีความสามารถการระบายความร้อนต่ำกว่าแบบดิสก์ ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 ส่งผลให้เกิดการสูญเสียความสามารถในการสร้างแรงเสียดทาน นำไปสู่การเสียความควบคุม เกิดอันตรายต่อผู้ขับขี่และผู้ร่วมทางบนท้องถนนในที่สุด



รูปที่ 1.1 การแตกร้าวของผ้าเบรกแบบดิสก์ (ที่มา: <http://www.topicstock.pantip.com>)



รูปที่ 1.2 การหลุดร่อนของผ้าเบรกแบบดรัม (ที่มา: <http://www.weekendhobby.com>)

เนื่องจากผ้าเบรกเป็นวัสดุผสมที่ผลิตจากสารตั้งต้นมากกว่า 1 ชนิด ดังนั้นพฤติกรรมของวัสดุดังกล่าวจึงมีความหลากหลายแตกต่างกันออกไปตามส่วนผสม ค่าการนำความร้อนจึงถือเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน เนื่องจากเป็นค่าที่ชี้วัดความสามารถการส่งถ่ายความร้อนที่เกิดขึ้นจากการห้ามล้อไปยังอุปกรณ์ใกล้เคียง และเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดความเสียหาย ไม่เพียงแต่กระทบต่อความสามารถในการรักษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่ออายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ข้างเคียงด้วย ซึ่งผลกระทบที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยในการใช้งาน

จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการค้นคว้าในด้านการตรวจสอบผลกระทบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการผลิตออกมา โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยอีกทั้งขั้นตอนกระบวนการทดสอบเฉพาะด้านยังไม่ชัดเจน รวมไปถึงเครื่องมือการทดสอบและองค์ความรู้เฉพาะทางที่มีน้อยมาก ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดโครงการวิจัยเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกซึ่งเป็นวัสดุผสม

ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงทำให้เกิดการคิดค้นและออกแบบแนวทางการทดสอบและเครื่องทดสอบค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกซึ่งเป็นวัสดุความเสียดทานที่เกิดจากการผสมของสารหลากหลายชนิดภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ โดยโครงการวิจัยนี้จะศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นในแต่ละชั้นผิวของวัสดุ โดยเน้นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยเป็นหลัก เพื่อนำไปสู่ข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับกับการใช้งาน โดยจะคำนึงถึงปัจจัยพื้นฐานในการใช้งานของผ้าเบรกเพื่อศึกษาความแตกต่างของผ้าเบรกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น การศึกษาความแตกต่างระหว่างวัสดุที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ อีกทั้งความสัมพันธ์ต่อด้านความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของการทดสอบ

เพื่อเป็นองค์ความรู้ทางด้านวัสดุและเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการสามารถใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบเพื่อหาพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นวัสดุผสมคล้ายกันนี้ บนสมมติฐานหลักการหาค่าคุณสมบัติวัสดุทางกลภายใต้สภาวะการรับความร้อน ผลที่ได้รับจากโครงการสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาและนำไปสู่ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในด้านการวิจัยให้กับประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นในช่วงอุณหภูมิ
- 1.2.2 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกจากส่วนผสมที่ต่างกัน
- 1.2.3 เพื่อแก้ปัญหาการหลุดร่อนของผ้าเบรกอันเกิดจากการนำความร้อนผ้าเบรกที่ไม่เหมาะสม
- 1.2.4 เพื่อสร้างชุดทดสอบพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 สร้างชุดทดสอบพฤติกรรมคุณสมบัติทางกลที่สร้างอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 400 °C
- 1.3.2 อาศัยขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน JIS 4413 เป็นแนวทางในการทดสอบ
- 1.3.3 สำรวจปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าการนำความร้อน
- 1.3.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างวัสดุที่มีส่วนผสมต่างกัน

1.4 สมมติฐานและกรอบแนวคิดของการวิจัย

จากการสำรวจข้อมูลสำหรับขั้นตอนการทดสอบพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการวิจัยโดยการสร้างชุดทดสอบขึ้นมาใหม่ตามความต้องการของลักษณะงานวิจัย และขั้นตอนการทดสอบโดยทั่วไปนิยมหาค่าการนำความร้อนที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงถึงความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่น จากเครื่องทดสอบแบบ Universal Test Machine เป็นหลัก ซึ่งสามารถหาค่าดังกล่าวได้ แต่เนื่องจากผ้าเบรกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมจากสารตั้งต้นหลายชนิดซึ่งถือว่าเป็นวัสดุผสม อีกทั้งยังมีลักษณะการใช้งานภายใต้สภาวะการรับพลังงานความร้อนจึงเป็นสาเหตุทำให้ไม่สามารถทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุประเภทนี้ได้จากเครื่องทดสอบแบบ Universal Test Machine โดยทั่วไป เพราะจะส่งผลให้ได้รับค่าที่คาดเคลื่อนอยู่ในช่วงไม่อาจยอมรับได้

คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างชุดทดสอบค่าการนำความร้อนขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกซึ่งเป็นวัสดุผสมโดยเฉพาะ ซึ่งจะใช้เครื่องทดสอบแบบ Universal Test Machine ร่วมกับชุดทดสอบที่สามารถสร้างความร้อนภายใต้อุณหภูมิที่สามารถควบคุมและตรวจวัดได้ตามต้องการ ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าการนำความร้อนแบบไม่เชิงเส้นที่แต่ละชั้นของผ้าเบรก อีกทั้งความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงถึง ความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่น ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ (Temperature) และความดัน (Pressure) ที่แตกต่างกัน เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าดังกล่าว อีกทั้งยังทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างผ้าเบรกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสภาวะการใช้งานไปยังสารตั้งต้นที่ใช้ผลิตผ้าเบรกอันเป็นวัสดุผสมที่แตกต่างกัน โดยอาศัยเครื่องทดสอบแบบ Universal Test Machine และแผ่นระนาบความร้อน (Heating Plate) โดยมีแนวทางการทดสอบคล้ายคลึงกับมาตรฐาน JISD4413 ซึ่งอุปกรณ์ทั้งคู่สามารถถอดแยกออกจากกันได้ โดยการทำงานของชุดทดสอบแบบ Compressibility Testing จะอาศัยเครื่องทดสอบ Universal Test Machine มีหน้าที่เป็นต้นกำลังทำการกดชิ้นงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 25x25 เซนติเมตร ลงบนแผ่นระนาบความร้อน (Heating Plate) ที่สามารถสร้างอุณหภูมิได้ตามสภาวะที่กำหนด โดยมีปากกาจับชิ้นงานทำหน้าที่ประคองชิ้นงานให้อยู่ในทิศทางเคลื่อนที่ที่ต้องการและทำการเปลี่ยนขนาดแรงที่ใช้กดเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมการใช้งานโดยหลังจากชิ้นงานถูกกดลงบนแผ่นระนาบความร้อน (Heating Plate) แล้ว จะถูกทำการวัดระยะยุบตัวด้วยเครื่องวัดระยะแบบละเอียด (Micrometer) ซึ่งจะทำการวัดระยะยุบตัวทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนปริมาณแรงที่ใช้กด ส่วนการควบคุมอุณหภูมินั้นจะทำการวัดอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับแผ่นระนาบความร้อน (Heating Plate) เป็นหลักโดยตัวตรวจจับอุณหภูมิจะถูกติดตั้งที่บริเวณด้านในของแผ่นระนาบความร้อน (Heating Plate) โดยสภาวะและขั้นตอนการทดสอบจะอ้างอิงจากมาตรฐาน JIS 4413 มาประยุกต์ใช้ในการทดสอบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าการนำความร้อนของวัสดุผสมซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงการผลิตในภาคอุตสาหกรรม
- 1.5.2 เพื่อลดปัญหาการหลุดร่อนของผ้าเบรกอันเกิดจากการนำความร้อนผ้าเบรกที่ไม่เหมาะสม
- 1.5.3 ได้แนวทางการทดสอบพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของวัสดุความเสียดทานหรือวัสดุผสมอื่นๆภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ
- 1.5.4 ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศในส่วนของด้านการวิจัยและพัฒนา
- 1.5.5 เพิ่มคุณภาพและมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ซึ่งส่งผลดีต่อความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าเบรก (ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรก, 2553)

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

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

จากนั้นยึดผ้าเบรกเข้ากับฝักเบรกซึ่งมีวิธีการยึดแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบยึดด้วยกาวแบบยึดด้วยหมุดย้ำ โดยวิธีที่นิยมใช้ในการยึดทั่วไป คือการยึดด้วยกาวเนื่องจากสามารถยึดผ้าเบรกได้ บางกว่าการใช้หมุดย้ำ ในการผลิตผ้าเบรกของบริษัทผู้ผลิตจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อตอบสนองในการใช้งาน ส่วนผสมในผ้าเบรกเป็นสิ่งที่ไม่สามารถเปิดเผยข้อมูลที่สำคัญได้ การเลือกวัสดุเพื่อนำมาเป็นโครงสร้างแผ่นเหล็กที่เตรียมจะถูกพันด้วยกาวเพื่อรอกกระบวนการขึ้นรูปซึ่งมีสองวิธี คือ วิธีแรกจะผลิตด้วยการขึ้นรูปเย็นโดยการเทผงผ้าเบรกลงบนแม่พิมพ์จากนั้นวางเหล็กรองไว้ด้านบนเพื่อทำการอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ซึ่งใช้แรงกดขนาด 160 ตัน จึงนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบ ผ้าเบรกที่ผลิตจากกระบวนการขึ้นรูปเย็นจะมีจำหน่ายในตลาดขายอะไหล่ทั่วไป อีกวิธีหนึ่งการผลิตเป็นการขึ้นรูปร้อนซึ่งกระบวนการผลิตมีลักษณะเดียวกับการขึ้นรูปเย็นจะแตกต่างกันในขั้นตอนการให้ความร้อนในการเทผงผ้าเบรกและมีการควบคุมความชื้นไม่ให้มีในกระบวนการ เป็นผ้าเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงานการ

ผลิตผ้าเบรกของบริษัทผู้ผลิตเพื่อผลิตผ้าเบรกที่มีประสิทธิภาพให้เหมาะสมกับยานพาหนะแต่ละประเภทมาโดยเฉพาะ เช่น รถยนต์ทั่วไป, รถยนต์ที่ใช้ในทางฝุ่น เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนความร้อนต่างกันไป ชนิดของผ้าเบรกรถยนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งานโรงงานผลิตผ้าเบรกรถยนต์ มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายคุณภาพ คุณภาพผ้าเบรกแต่ละโรงงานมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบาย และทิศทางการทำธุรกิจของโรงงานนั้น ผู้ผลิตผ้าเบรกรถยนต์มี 2 ประเภทคือ ผู้ผลิตสำหรับค้าปลีกโดยเฉพาะและผู้ผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ Original Equipment Manufacturing (OEM) ผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับค้าปลีก มีการผลิตผ้าเบรกออกมาหลากหลายคุณภาพ รวมถึงราคา บางผู้ผลิตอาจผลิตสินค้าโดยบรรจุในหลากหลายบริษัทเพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้จำหน่ายและผู้ใช้รถมากที่สุด ผู้ผลิตจะเน้นราคาในการทำตลาด กลุ่มเป้าหมายจะเป็นลูกค้าปลีกทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายจะอยู่ตั้งแต่กลุ่มตลาดล่าง จนถึงกลุ่มตลาดขนาดกลางผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นสินค้าคุณภาพมาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ผู้ผลิตมุ่งเน้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานอะไหล่สำหรับรถยนต์ใหม่ กลุ่มเป้าหมายจะเป็นโรงงานผลิตรถยนต์รวมทั้งศูนย์บริการรถยนต์ชั้นนำ Original Equipment Service (OES) ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายในตลาดค้าปลีกจะอยู่ในกลุ่มตลาดรถที่มีมาตรฐานสูงเท่านั้น หากเราจำแนกชนิดของผ้าเบรกตามเกรดผู้ผลิต สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ (แบ่งตามลักษณะการใช้งานต่างๆ)

2.1.1 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานโรงงานผลิตรถยนต์

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานจากโรงงานผลิตรถยนต์ มีคุณสมบัติของวัตถุดิบแต่ละชนิดตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์ ทั้งด้านประสิทธิภาพการเบรกและการทำงานร่วมกับจานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะต่ำเหมาะสำหรับรถยนต์ใหม่ใช้ในขับเคลื่อนทั้งไปจนถึงการใช้งานหนักซึ่งไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาด

2.1.2 ผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานจากผู้ผลิตทั่วไป

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานเพื่อใช้เป็นอะไหล่ทดแทน คุณสมบัติของอะไหล่จะแตกต่างกันตามผู้ผลิตรถยนต์ขึ้นอยู่กับต้นทุนและการแข่งขัน ผู้ประกอบรถจะขายในรูปอะไหล่จะใช้สัญลักษณ์เดียวกับสัญลักษณ์รถยนต์ ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอาจผลิตอะไหล่คุณภาพต่ำลงจำหน่ายเพื่อรักษารฐานลูกค้าที่มีกำลังซื้อต่ำ และเพื่อการแข่งขันเรื่องราคาในตลาดเหมาะสำหรับผู้ใช้รถทั่วไปที่ต้องการอะไหล่คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่หาซื้อได้ตามศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปหรือร้านค้าอะไหล่

2.1.3 ผ้าเบรกสำหรับรถสมรรถนะสูง

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพสูงที่ใช้เพื่อการแข่งขันวัตถุดิบในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อประสิทธิภาพการหยุดรถ โดยเฉพาะรองรับการขับด้วยอัตราความเร็วสูงและการถ่ายเทความร้อนในระบบเบรก เหมาะสำหรับการขับขี่เพื่อการแข่งขันที่ใช้ความเร็วสูงในการขับขี่เป็นประจำ ผ้าเบรกชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับขี่ทั่วไปรวมถึงการใช้งานหนักและบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้มีอัตราการทำให้จานเบรกสูง เพราะส่วนผสมมีโลหะอยู่ในอัตราที่สูง

2.1.4 ผ้าเบรกมาตรฐานทั่วไป

มีคุณสมบัติเป็นผ้าเบรกคุณภาพมาตรฐานเหมาะสำหรับการใช้งานในขับเคลื่อนทั่วไปหรือใช้งานหนัก วัตถุดิบในการผลิตจะมีคุณสมบัติเท่ากับ หรือต่ำกว่าผ้าเบรกที่ผลิตเพื่อโรงงานผู้ผลิตรถยนต์ ผ้า

เบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบและหลากหลายวัตถุประสงค์ ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ผู้บริโภคต้องใช้วิจารณญาณในการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ เหมาะสำหรับการขับรถทั่วไปหรือใช้งานเป็นครั้งคราว การเลือกใช้ควรรูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบผ้าเบรกโลหะหรือผ้าเบรกกลุ่ม Non Asbestos Organics (NAO) แต่ละชนิดมีผลดีและผลเสียแตกต่างกัน อันมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการถ่ายเทความร้อน (Bergmann et al., 2007)

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนเมื่ออุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อมต่างกัน ความร้อนจะมีการถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปหาแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หน่วยของความร้อนในระบบเมตริก คือ กิโลแคลอรี (kcal) ในระบบอังกฤษเป็นบีทียู (BTU) ดังนั้น ความร้อน 1 กิโลแคลอรี คือปริมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำจำนวน 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) การเปลี่ยนหน่วย ความร้อน (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 และหลังการเปลี่ยนแปลงความร้อนของวัตถุได้มีค่าไม่คงที่ 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, m²
 ΔT คือ ว่างผลต่างระหอรุณหภูมิ, K
 Δx คือ ผลต่างระหอรุระยะทางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน, 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) เพื่อกำหนดฟลักซ์ความร้อนที่จุดหนึ่งในอวกาศหนึ่งจะใช้เวลาที่จำกัด 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)

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็จะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อน โดยการพาหรือการพาความร้อน กระบวนการพาความร้อนดังกล่าวนี้เป็นปรากฏการณ์พื้นฐานการถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อนนี้แบ่งออกได้เป็น ลักษณะ 2 คือ

2.2.2.1 การพาความร้อนแบบอิสระหรือธรรมชาติ (Free or natural convection)

แรงที่ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนไหวของการพาความร้อนแบบอิสระนั้น เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล เนื่องจากการที่ของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน จนทำให้เกิดแรงลอยตัวขึ้น ตัวอย่างการพาความร้อนแบบอิสระนี้ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังหรือหลังคาบ้านที่เกิดขึ้นในวันที่ไม่มีลมพัด การพาความร้อนภายในการต้มน้ำที่มีขดลวดให้ความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนจนวนผิวของตัวเก็บความร้อนที่ได้มาจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่ไม่มีลมพัดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ	Ra_L	คือ	Rayleigh number
	\bar{h}_c	คือ	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m ² K
	L	คือ	ความยาว, m
	k	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของไหล, W/mK
	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
	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 งานการพาความร้อน, 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

กระบวนการลดอุณหภูมิดังกล่าวเกี่ยวเนื่องกับการลดพลังงานภายใน (Internal energy) ที่มีอยู่ในของแข็ง และเป็นผลลัพธ์โดยตรงจากการปล่อยรังสีความร้อน (Emission)

จากพื้นผิวของแข็งการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นได้ทั้งสองทาง ทั้งจากของแข็งสู่สิ่งแวดล้อม และจากสิ่งแวดล้อมสู่ของแข็ง หากกลไกการปล่อยรังสีความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่แบบสั่น และการเปลี่ยนแปลงชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนหลายตัวที่ประกอบเป็นสสาร แหล่งพลังงานภายในที่แปรผันไปกับอุณหภูมิของสสารที่เกิดการเคลื่อนที่แบบสั่นนี้ ปรากฏการณ์แผ่รังสีความร้อนอาจเป็นได้ทั้งในเชิงปริมาตรกรณีของแก๊สและตัวการโปร่งแสงอุณหภูมิสูง ในการพิจารณาการแผ่รังสีความร้อนเชิงพื้นผิว การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -270°C หรือ 0 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) ถ้าอุณหภูมิสูงพอ แบล็กบอดี้เป็นเพียงสมมติที่ใช้อ้างอิง และเปรียบเทียบผลที่ได้จริง วัตถุที่มีสีดำไม่ใช่แบล็กบอดี้ วัตถุที่มีสีเข้มเพียงแต่สามารถดูดซึม และปลดปล่อยรังสีความร้อนได้ดีกว่า วัตถุที่มีสีอ่อนรังสีความร้อน แบล็กบอดี้จะดูดซึมรังสีตกกระทบ (Incident radiation) ไว้ทั้งหมด ไม่ว่ารังสีนั้นจะตกกระทบในทิศทางหรือความยาวคลื่นใด วัตถุที่สามารถดูดซึมรังสีตกกระทบใกล้เคียงแบล็กบอดี้ ได้แก่ แกรไฟต์ ซึ่งดูดซึมรังสีตกกระทบได้ถึง 97% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิแบล็กบอดี้ยังแผ่รังสีความร้อนออกมาในระดับพลังงานสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับอุณหภูมินั้น โดยแผ่รังสีออกมาทุกช่วงความยาวคลื่น เรียกการแผ่รังสีความร้อนแบบนี้ว่า “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

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานโบลต์ซมันน์และมีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T_s^4 คือ อุณหภูมิผิวแผ่รังสีในหน่วยของศาสมบูรณ์, K^4

การพาความร้อนแบบแผ่รังสีความร้อน คือ อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนผ่านพื้นผิวที่กำหนดมีหน่วยของอัตราความร้อนเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ แผ่รังสีความร้อน คือ อัตราความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ ในหน่วย (SI) แผ่รังสีความร้อนเป็นวัตต์ใน (W/m^2) อัตราความร้อนเป็นปริมาณสเกลาร์ ในขณะที่การไหลของความร้อนเป็นปริมาณ (Vectorial) เพื่อกำหนดแผ่รังสีความร้อนที่จุดหนึ่งในอวกาศหนึ่งจะใช้เวลาที่จำกัด กรณีที่ขนาดของพื้นผิวจะกลายเป็นขนาดเล็กซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

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

เมื่อ q''_{rad} คือ แผ่รังสีความร้อนจากการแผ่รังสี, W/m^2

2.2.4 การถ่ายเทความร้อนในสภาวะสมดุล (พฤทธิ และคณะ, 2554)

จากขั้นตอนการทดลองไม่สามารถคำนวณหาค่าได้จากสมการการนำความร้อนหรือสมการการพาความร้อน จำเป็นต้องวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนที่เกิดขึ้นโดยความร้อนที่ถ่ายเทให้กับผ้าเบรกเกิดจากการนำความร้อนผ่านแท่งเหล็ก และการพาความร้อนจากบริเวณโดยรอบ ดังนั้นจึงนำสมดุลการถ่ายเทความร้อนมาเป็นแนวทางในการทดสอบหาค่าการนำความร้อนสมการการนำความร้อน เป็นสมการคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการอนุรักษ์พลังงานภายในก้อนวัตถุ สมการดังกล่าวนี้ได้มาจกสมดุลพลังงานของก้อนวัตถุชิ้นเล็ก ๆ ที่มีความร้อนไหลผ่านโดยการนำสำหรับการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนในก้อนวัตถุนั้นถือว่ามีความน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำมีความสัมพันธ์กับการกระจายอุณหภูมิภายในก้อนวัตถุตามกฎของฟูเรียร์

การสมดุลพลังงานนี้ได้มาจากข้อเท็จจริงที่ว่า พลังงานสามารถเกิดในวัตถุ ตัวอย่างของพลังงานที่เกิดขึ้นในวัตถุนั้นได้แก่ ความร้อนที่ขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมี ความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัตถุที่เป็นตัวต้านทานไฟฟ้า และความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ สมการการนำความร้อนภาพทั่ว ๆ ไปนั้นจะรวมพลังงานที่เก็บไว้ภายในก้อนวัตถุเข้าไปด้วยจากวิชาเทอร์โมไดนามิกส์นั้นทราบกันแล้วว่า ถ้าหากอุณหภูมิของก้อนวัตถุใดเพิ่มขึ้นพลังงานภายในของก้อนนั้นก็เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นพลังงานสุทธิที่เก็บสะสมไว้ภายในก้อนวัตถุก็จะเพิ่มขึ้นตามเวลา และจะลดลงตามอุณหภูมิของวัตถุคงที่ก็แล้ว 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

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุผสมพบว่าการทดสอบหาคูณสมบัติหลายด้านจากวัสดุผสมหลายชนิด การสำรวจพฤติกรรมความเครียดของวัสดุผสมด้วยวิธี Compressive split Hopkinson pressure bar (SHPB) เพื่อหาคูณสมบัติการอัดตัวในลักษณะระนาบการสั่นของวัสดุผสมระหว่าง แก้ว/อีพอกซี และคาร์บอน/อีพอกซี โดยมุ่งเน้นการวัดค่าความเครียดบริเวณตำแหน่งการตัดตัวสูงสุด (Naik et al., 2008)

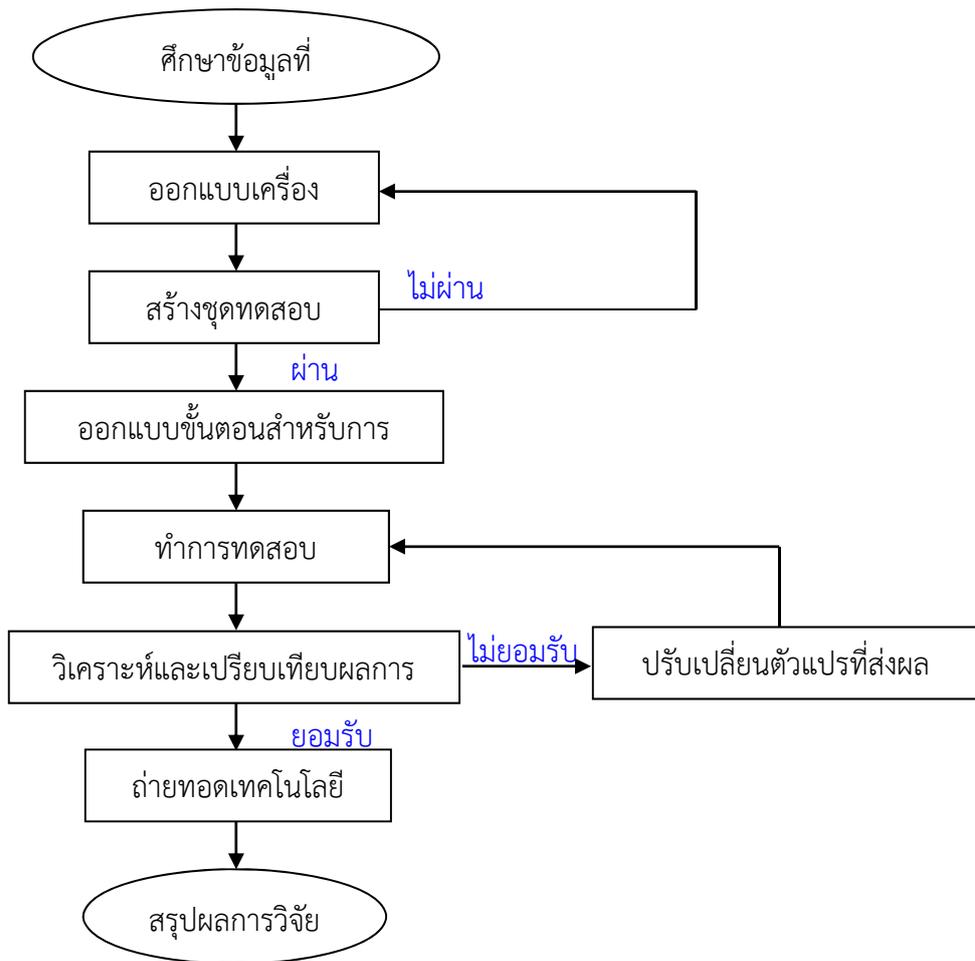
นอกจากนี้ การทดสอบการอัดตัวของผ้าเบรกที่ได้จากส่วนผสมที่แตกต่างกัน (Mongkonlerdmanee et al., 2013) เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของผ้าเบรก อีกทั้งความเค้นและความเค้นเฉือนของวัสดุผสมคาร์บอน (Lara-Curzio et al. 1996) ซึ่งได้ทำการทดสอบในห้องบรรยากาศที่อุณหภูมิห้อง และในห้องที่บรรจุก๊าซออกอนที่อุณหภูมิ 1,000 °C ภายใต้สภาวะความดันต่างๆ เพื่อคำนวณหาความเค้นเฉือน 1 มิติ และ 2 มิติ

สำหรับผ้าเบรคนั้น ได้ถูกคิดค้นวิธีการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานผ้าเบรก (Lakkam et al., 2012) โดยการประยุกต์ใช้เครื่องทดสอบแบบ Universal Testing ภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ ซึ่งใกล้เคียงกับการทดสอบคูณสมบัติทาง Tribology (Scieszka et al., 1980) โดยวิธีการลากผ่านระนาบเพื่อตรวจสอบอิเล็กทรอนิกส์ทรอนผ่านเครื่องมือวัดไมโครสโคป และฉายรังสีเพื่อตรวจสอบความร้อนที่เกิดขึ้นหลังการทดลอง

นอกเหนือจากการวิเคราะห์วัสดุผสมหลังจากการผลิตแล้ว การคำนึงถึงสารตั้งต้นก่อนการผลิตยังถูกศึกษาถึงปัจจัยทางกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคูณสมบัติทาง Tribology ของวัสดุ (RukiyeErtan et al., 2010) โดยมีผลลัพธ์หลายประเด็นเช่น การต้านทานการสึกหรอ และความสามารถในการรักษาสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นคูณสมบัติด้านการนำความร้อนก็เป็นอีกประเด็นที่มีการศึกษา (Shojaei et al., 2007) ซึ่งได้ยกเอาวัสดุความเสียดทานที่มีคูณสมบัติเป็นวัสดุผสมโดยมียางเป็นสารตั้งต้นพื้นฐานผสมกับสารอีกหลายชนิด และทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนซึ่งสามารถกำหนดการปฏิบัติงานได้เป็นแผนภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

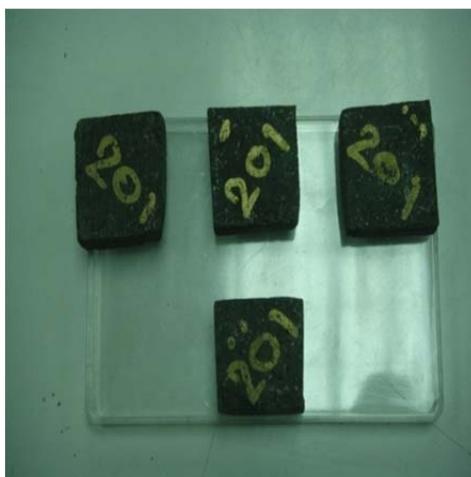
ในการทดสอบจะบันทึกอุณหภูมิโดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิลดลง การทดสอบชิ้นงานจะทำการทดสอบจากตัวอย่างผ้าเบรก 3 ชนิด คือ ชนิด A ชนิด B และชนิด C โดยแต่ละชนิดจะมีส่วนประกอบของวัสดุต่างๆ ดังแสดงตามตารางที่ 3.1

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 การเตรียมชิ้นงาน

การเตรียมชิ้นงานโดยการกำหนดขนาดให้ผ้าเบรรมีขนาด 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

3.1.2 เตรียมสายเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

สายเครื่องวัดอุณหภูมิสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบ คือ Type T ,Type J และType K .ในการทดสอบเลือกใช้แบบ Type K ที่สามารถวัดค่าได้ 195-ถึง 1+, 000มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.3% กำหนดขนาดให้สายวัดยาว 2 m จำนวน 4 เส้น ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สายวัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K

3.1.3 จัดเตรียมเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบบันทึกค่า (Data logger)

เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิสามารถบันทึกค่าอุณหภูมิได้จึงเลือกใช้เครื่องวัดอุณหภูมิรุ่น Testo176-T4 โดยมีลักษณะการใช้งานสอดคล้องกับการทดสอบที่สามารถวัดค่าได้ครั้งละ 4 จุดดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิ Testo176-T4

3.1.4 แผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบ

แผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบทำจากเหล็กเกรด SKD 61 ซึ่งเป็นเหล็กทนความร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่รองรับวัสดุที่จะทำการทดสอบโดยใช้การกด ขนาดความกว้าง และความยาวของแผ่นระนาบถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับผ้าเบรกที่จะใช้ในการทดสอบซึ่งมีขนาดความกว้าง 25 mm ยาว 25 mm หนา 10 mm ส่วนความหนาของแผ่นรองรับชิ้นงานถูกกำหนด เพื่อให้สามารถรับความร้อนได้ถึง 400°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)

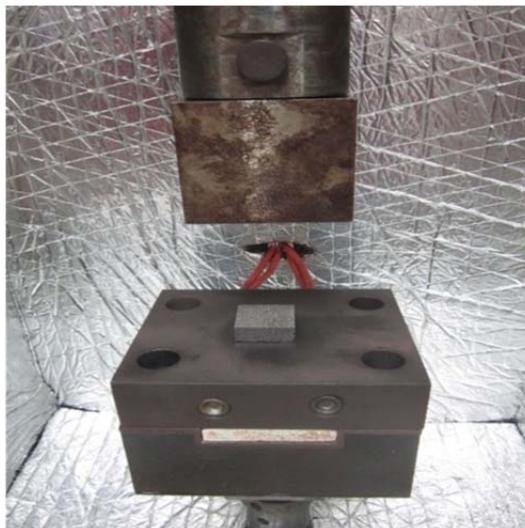
ชุดให้ความร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนกับแผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบ โดยที่สามารถให้ความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นที่ 50°C ถึง 400°C ตามที่ถูกรอกแบบขั้นตอนการทดสอบไว้ โดยทางคณะผู้จัดทำได้เลือกชุดให้ความร้อนแบบแท่งขนาด 600 W แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ชุดให้ความร้อน (Heater)

3.1.6 แผ่นรองรับชิ้นงานและฐานรองรับ

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



รูปที่ 3.7 แผ่นรองรับชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.8 ฐานรองรับชิ้นงาน

3.1.7 หัวกดชิ้นงานทดสอบ

หัวกดชิ้นงานทดสอบทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 ซึ่งเป็นเหล็กทนความร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้ากดชิ้นงานทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หัวกดชิ้นงานทดสอบ(ดิกส์เบรก)

3.1.8 แท่งกด

แท่งกดทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กทนความร้อนมาตรฐานสูง และความแข็งแรง ทำหน้าส่งผ่านแรงไปยังหัวกดชิ้นงานพร้อมเป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แท่งกด

3.1.9 กล่องควบคุมอุณหภูมิ

กล่องควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิโดยรอบ และป้องกันไม่ให้ความร้อนออกมาจากชุดให้ความร้อน (Heater) โดยมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กล่องควบคุมอุณหภูมิ

3.2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือ

จากการจัดเตรียมอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบหลายชิ้นในขั้นตอนนี้ จะอธิบายถึงการนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบรวมกันเพื่อให้ได้ชุดทดสอบโดยมีขั้นตอนในการติดตั้งดังนี้

3.2.1 การติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิ

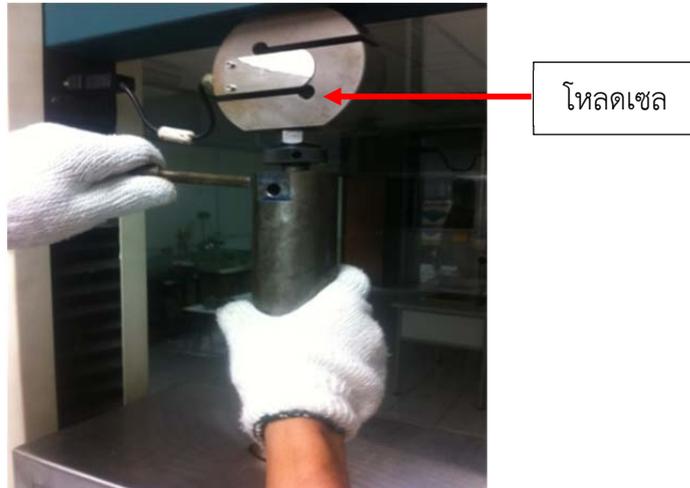
การติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิเข้ากับเครื่องทดสอบโดยภายในกล่องควบคุมนี้สามารถรักษาอุณหภูมิการทดสอบให้มีค่าค่อนข้างคงที่ เพื่อผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยนำกล่องควบคุมอุณหภูมิตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบแรงกดแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การติดตั้งกล่องควบคุมอุณหภูมิกับเครื่องทดสอบแรงกด

3.2.2 การติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกดชิ้นงาน

โดยใช้สลักยึดระหว่างโหลดเซลกับแท่งกดชิ้นงาน เพื่อรับค่าของแรงที่กดทดสอบ และส่งค่าการทดสอบไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกด

3.2.3 การติดตั้งหัวกดชิ้นงานเข้ากับแท่งกด

สำหรับการติดตั้งหัวกดชิ้นงานจะใช้สลักเป็นตัวยึดเข้ากับแท่งกดวัสดุ ทั้งกรณีหัวกดของดิสก์เบรกแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การติดตั้งหัวกดชิ้นงานเข้ากับแท่งกด

3.2.4 การติดตั้งฐานรองรับแผ่นรองชิ้นงาน

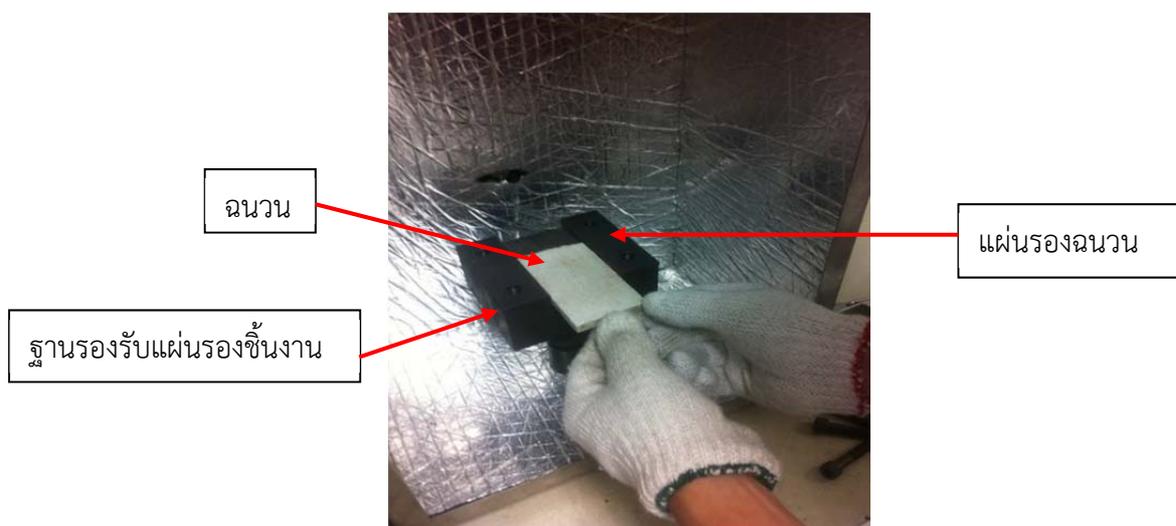
การติดตั้งฐานรองรับแผ่นรองชิ้นงานโดยฐานรองรับแผ่นรองรับเป็นชิ้นส่วนที่อยู่บริเวณล่างสุดของชุดทดสอบ จะใช้สลักยึดเข้ากับแท่งรองรับของเครื่องทดสอบแรงกด มีหน้าที่เป็นตัวรับแรงกดที่เกิดจากแท่งกดแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การติดตั้งฐานรองรับแผ่นรองชิ้นงาน

3.2.5 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน

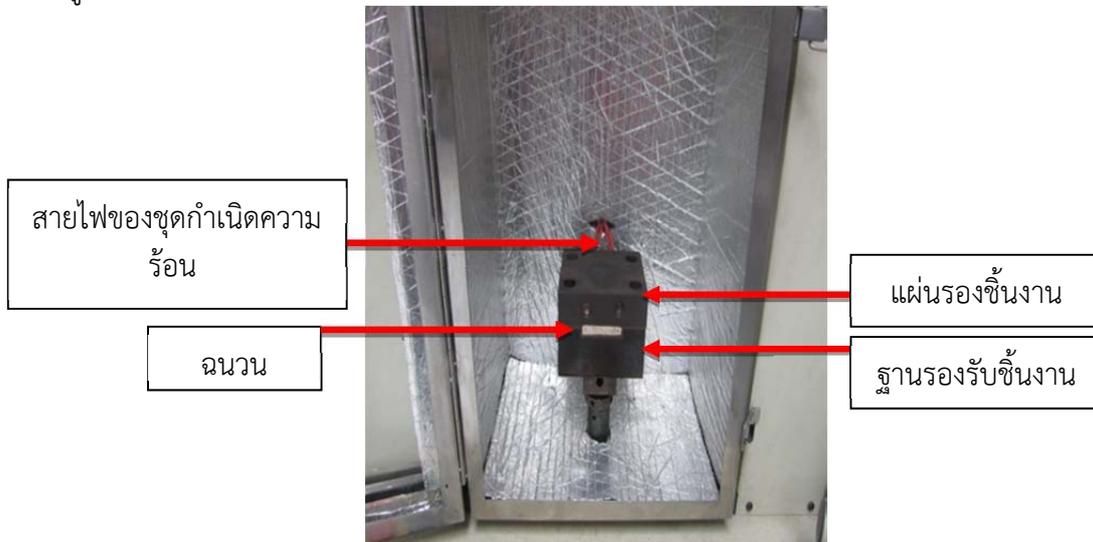
การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากชุดกำเนิดความร้อน (Heater) ถ่ายเทไปยังชุดทดสอบวัสดุแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน

3.2.6 การติดตั้งแผ่นรองรับชิ้นงาน

การติดตั้งแผ่นรองรับชิ้นงานและต่อสายแท่งให้กำเนิดความร้อนเข้ากับกล่องควบคุมอุณหภูมิในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการติดตั้งอุปกรณ์ โดยการเตรียมการทดสอบที่เสร็จสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุ และต่อสายชุดให้กำเนิดความร้อน

3.2.7 การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบบันทึกค่าพร้อมนำสายส่งสัญญาณทั้ง 4 เส้นเสียบเข้าช่องสัญญาณเข้าแสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิจุดต่างๆ

3.2.8 การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

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



รูปที่ 3.19 การติดตั้งผ้าเบรกพร้อมฉนวนป้องกันความร้อน

3.2.9 การกำหนดสถานะเริ่มต้นในการทดสอบ

การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิโดยเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิที่ 50 °C ขนาดแรงกด 242 N พร้อมทั้งติดตั้งฉนวนเพื่อป้องกันสายไหม้และอาจทำให้อุณหภูมิมีความคลาดเคลื่อนได้ในขณะทำการทดสอบเมื่อเหล็กได้รับความร้อนจะเกิดการขยายทำให้แรงกดที่หัวกดกระทำกับผ้าเบรกเพิ่มขึ้นจึงต้องควบคุมแรงกดให้อยู่ในขอบเขตแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 การกำหนดแรงกดที่กระทำต่อผ้าเบรก

3.2.10 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแห้งให้กำเนิดความร้อน

เครื่องควบคุมอุณหภูมิแห้งให้กำเนิดความร้อนในช่วงการทำงานที่อุณหภูมิต่ำอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ยากต่อการจดบันทึกค่าจึงต้องใช้การถ่ายภาพ ในช่วงเวลาที่ต้องการจะทำให้สามารถเก็บค่าที่สภาวะคงที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เครื่องควบคุมอุณหภูมิแห้งให้กำเนิดความร้อน

3.3 สภาวะการทดสอบ(JIS D 4413:2005)

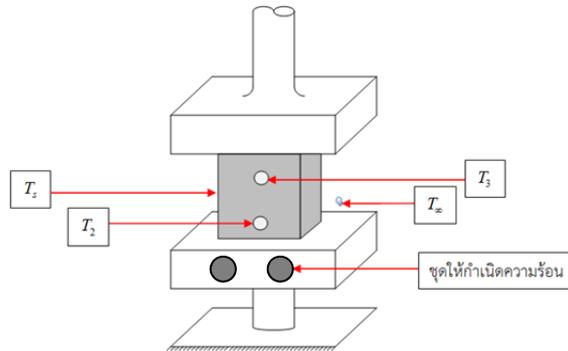
ในการทดสอบเพื่อให้ค่าเหมือนกับสภาวะการใช้งานจริงจึง ดั้งนั้นการทดสอบจึงใช้ผ้าเบรก รถยนต์แบบดิสก์ชนิด A, B และ C สภาวะความดันที่ 1, 5 และ 8 MPa ภายใต้แรงกด 242, 1210 และ 1,936 N ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิตั้งแต่ 50 ถึง 400 °C และลดอุณหภูมิลงจาก 400 ถึง 50 °C ทำการทดสอบบนพื้นที่หน้าตัดขนาด $2.42 \times 10^{-4}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

ตารางที่ 3.2 สภาวะการทดสอบ

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

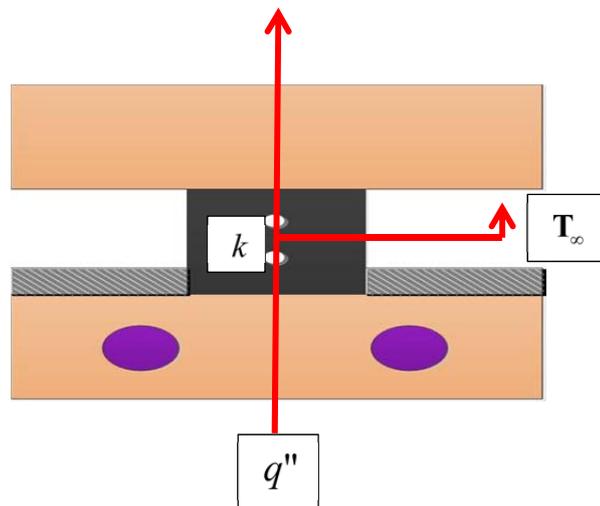
3.4 ผลการคำนวณ

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



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

จากแนวคิดและหลักการดังกล่าว การหาค่าการนำความร้อนโดยการให้ความร้อนวัตถุ ดังรูปที่ 3.22 ความร้อนจะถูกถ่ายเทเข้าวัตถุด้วยการนำความร้อน จนกระทั่งวัตถุเกิดสภาวะอิ่มตัว หลังจากนั้นการพาความร้อนแบบธรรมชาติจากผิววัตถุออกไปสู่สิ่งแวดล้อมจะเกิดขึ้นอย่างคงที่ เนื่องจากอยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิซึ่งเป็นระบบปริมาตรคงที่ ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แนวคิดหลักการการทดสอบ

3.4.1 การคำนวณหาค่า Rayleigh number

จากสมการที่ (2.5)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \text{ (ค่าคงที่)} \\
 \beta &= 0.003189 \text{ K}^{-1} \text{ (จากการคำนวณ)} \\
 \nu &= 17.3487 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (จากตาราง Table A4)} \\
 \alpha &= 24.646 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (จากตาราง Table A4)} \\
 T_s &= 315.5 \text{ K (จากการบันทึกผล)} \\
 T_\infty &= 313.6 \text{ K (จากการบันทึกผล)} \\
 L &= 0.007 \text{ m (จากการวัด)}
 \end{aligned}$$

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

ดังนั้นค่า Rayleigh number มีค่า 47.679

3.4.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวสัมผัสกับวัตถุ

จากสมการที่ (2.4)

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ} \quad Ra_L &= 47.6790 \text{ (จากการคำนวณ)} \\
 L &= 0.007 \text{ (จากการตรวจวัด)} \\
 k &= 27.373 \times 10^{-3} \text{ W/mK (จากตาราง Table A4)} \\
 C, n &\text{ คือ ค่าคงที่ } C = 0.59 \text{ และ } n = \frac{1}{4} \text{ เมื่อ } (10^4 \leq Ra_L \leq 10^9) \text{ (ค่าคงที่)}
 \end{aligned}$$

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

ดังนั้นค่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวสัมผัสกับวัตถุ มีค่า 6.06259 W/m²K

3.4.3 การคำนวณหาค่าการนำความร้อน

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11)

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

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

ดังนั้นค่า การนำความร้อน มีค่า 0.02335 W/mK

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล

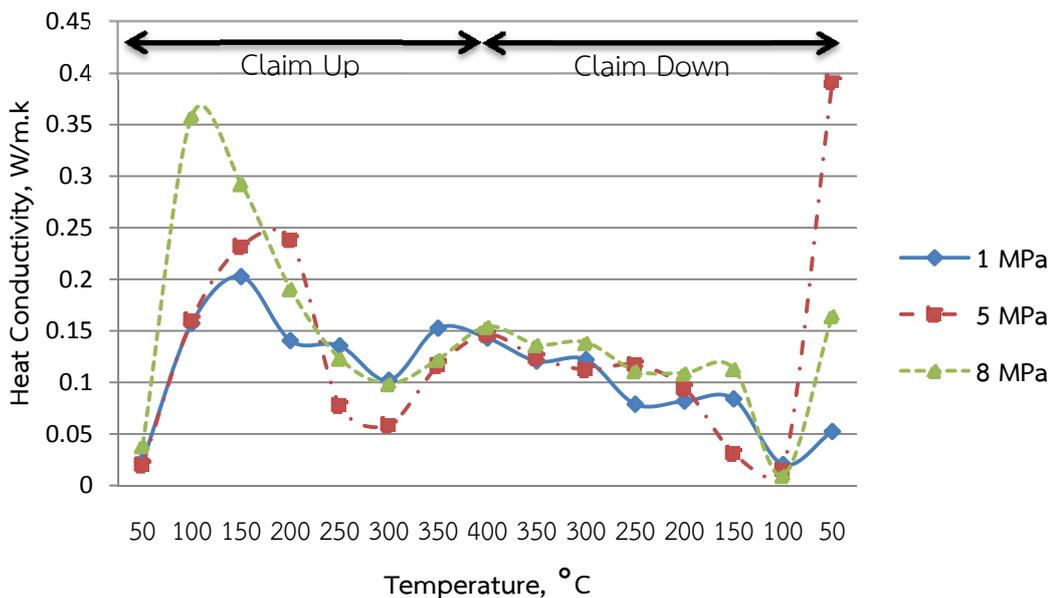
จากการดำเนินการทดสอบพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ จึงนำไปสู่ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

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 8 MPa ตามลำดับ โดยใช้ผ้าเบรกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งในแต่ละชนิดจะทำการทดสอบตามสภาวะดังแสดงในตารางที่ 3.2

4.1.1 ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด A

ผลการทดสอบผ้าเบรกชนิด A ที่สภาวะความดัน 1, 5 และ 8 MPa ดังรูปที่ 4.1



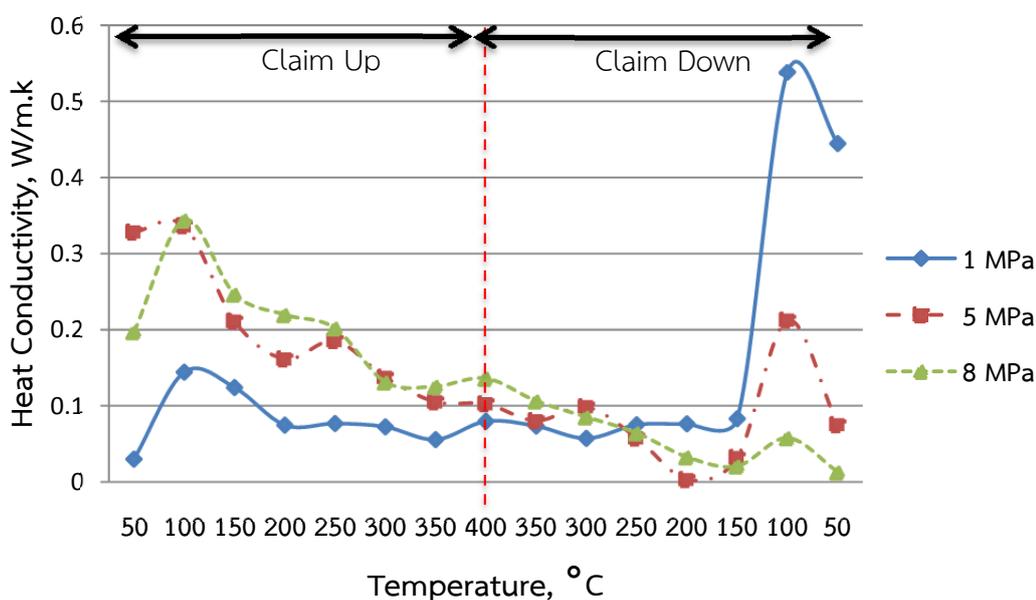
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด A

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) จนกระทั่งอุณหภูมิมีค่า 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 ดังรูปที่ 4.2



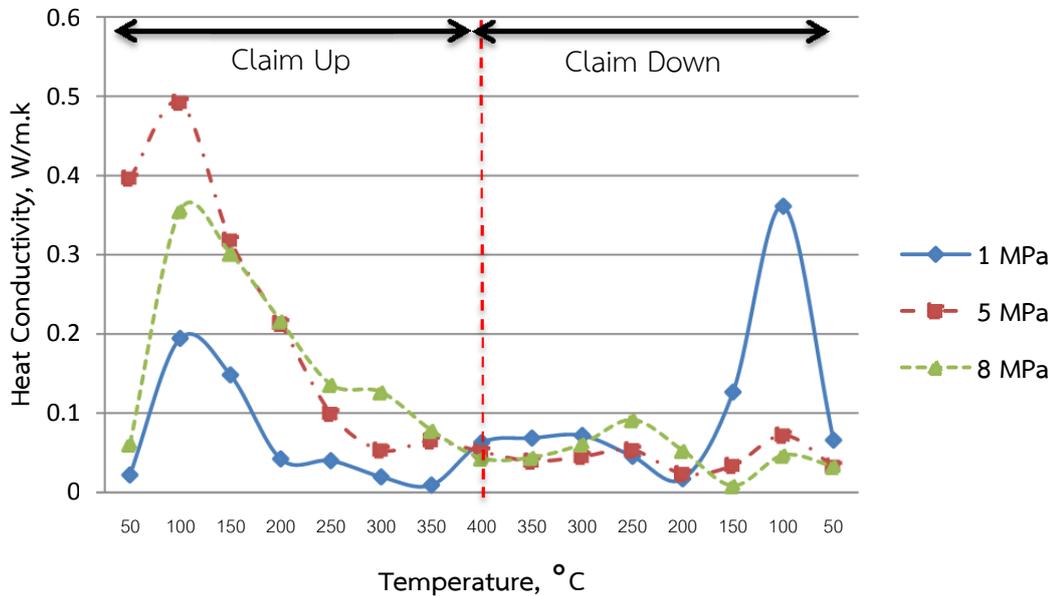
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด B

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

ส่วนกรณีในช่วงลดอุณหภูมิ(Claim Down) ค่าการนำความร้อนลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 150 °C หลังจากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 150 °C แล้วนั้นค่าการนำความร้อนกลับมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความดัน 1 MPa ที่อุณหภูมิ 100 °C ที่มีค่าสูงที่สุดถึง 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 ดังรูปที่ 4.3

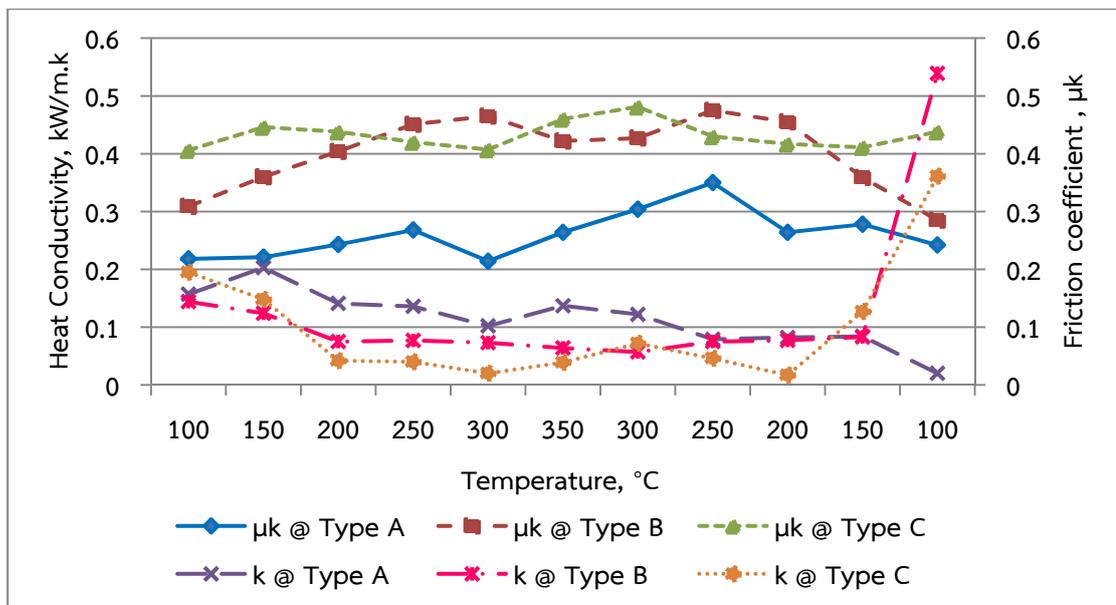


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกชนิด C

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 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าเบรกชนิด A และ B ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งมากกว่าผ้าเบรกชนิด จะเห็นได้ว่าร้อยละส่วนผสมของไฟเบอร์ที่สูงจะส่งผลต่อความแปรปรวนของค่าการนำความร้อนที่สูงตามไปด้วย ขณะเดียวกันในช่วงลดอุณหภูมิ(Claim Down) พบว่าผ้าเบรกชนิด C ค่าการนำความร้อนยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดต่ำสุดที่อุณหภูมิ 200 °C หลังจากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 200 °C ค่าการนำความร้อนกลับมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นถึงช่วงอุณหภูมิ 100 °C แล้วจึงปรับตัวลดลงอีกครั้ง

4.2 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบหาค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากเครื่องทดสอบแบบ Pin on disk ที่อ้างอิงจาก (พฤทธิ์ และคณะ, 2554) ของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด คือ A, B และ C ที่ความดัน 1 MPa แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก

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

ตารางที่ 4.1 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
	μ_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
	μ_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
	μ_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 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานสามารถสรุปผลการศึกษารวมถึงปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาค่าการนำความร้อนที่เกิดจากวัสดุผสม เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบวัสดุผ้าเบรกในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมค่าการนำความร้อนของผ้าเบรก โดยอาศัยสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D 4311 ซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบชิ้นส่วนผ้าเบรกรถยนต์ที่ทดสอบภายใต้การควบคุมความดันและอุณหภูมิ โดยยังมุ่งเน้นไปที่การพิจารณาค่าการนำความร้อนของผ้าเบรกที่มีความแตกต่างของส่วนผสม

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

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากชนิดของผ้าเบรกแต่ละชนิดที่มีส่วนการผสมของสารตั้งต้นที่แตกต่างกัน และที่สภาวะความความดันต่างๆ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ผ้าเบรกชนิด C เป็นผ้าเบรกที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูงที่สุด เนื่องจากมีสัดส่วนผสมทองแดงมากที่สุดซึ่งจะทำให้ค่าการนำความร้อนในช่วงที่เหยียบเบรก (อุณหภูมิผ้าเบรกสูงขึ้น) มีค่าการนำความร้อนต่ำ อีกทั้งยังพบว่า ผ้าเบรกชนิด C ยังมีส่วนผสมของไฟเบอร์ในสัดส่วนที่สูงเช่นกัน ทำให้มีความแข็งแรงทนต่อแรงกระแทก สัดส่วนทั้งหมดจะมีความสัมพันธ์กับสารหล่อลื่นเพื่อรักษาสมดุลในการเบรก ซึ่งปัจจัยขององค์ประกอบของผ้าเบรกเหล่านี้ สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผ้าเบรกให้สอดคล้องกับการใช้งานของผ้าเบรกแต่ละชนิด และความหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดอีกด้วย

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ

- การติดตั้งอุปกรณ์หัวกดผ้าเบรกจะติดตั้งยากเกิดจากเมื่อเหล็กได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวส่งผลไปยังชุดจับยึดที่ไม่สามารถประกอบเข้าด้วยได้ง่ายจึงต้องขยายรูใหม่ทำให้เสียเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น
- ในการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลาทดลองเป็นเวลานานเนื่องจากการปล่อยให้พาความร้อนเป็นแบบอิสระภายใต้กล่องควบคุม
- ในการทดลองเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นต้องควบคุมแรงดันที่กดผ้าเบรก เนื่องจากแผ่นชุดให้ความร้อนด้านล่างเป็นเหล็กได้รับความร้อนเกิดการขยายตัวส่งผลให้แรงกดเพิ่ม จะทำให้ค่าไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

5.3 ข้อเสนอแนะ

- การเจาะรูของผ้าเบรกควรเจาะให้ได้ขนาดเท่ากับขนาดของตัวส่งถ่ายอุณหภูมิ (Thermocouple) เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่อาจเกิดขึ้นในช่องว่างภายใน
- การเตรียมชิ้นงานทดสอบจะเกิดฝุ่นจากการตัดผ้าเบรก ควรมีการสวมอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน เช่น ถุงมือหนังกันความร้อน ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดจมูก และสวมแว่นตานิรภัยเป็นต้น
- ควรมีการยึดโครงสร้างของเครื่องทดสอบกับพื้นให้มั่นคงเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนขณะเครื่องทำงาน ซึ่งอาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองได้

บรรณานุกรม

- ประเสริฐ เทียนนิมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี, ปานเพชร ชินินทร. (2547) ทฤษฎีและคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ
- พฤทธ์ โมกโธสงนายสุชาครีย์ กัณภัย ,นายโมฆิต เชื่อมใจ ,อมรศักดิ์ โพธิ์แก้ว ,. (2554) เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก. ปริณยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- สมพงษ์ ใจดี. (2539) พิธีกรรมมหาวิทยาลัยเล่ม 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
- ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรกแหล่งที่มา:<http://www.bangkokbiznews.com /home/detail/ it /technology> ค้นเมื่อ วันที่ 29 พฤศจิกายน, 2553
- 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. and Yavuz, N. (2010) An experimental study on the effects of manufacturing parameters on the tribological properties of brake lining materials, Wear: 1524-1532.
- JIS D4413: 2005 Automotive Parts-Brake Linings and Disc Brake Pads-Compressibility Test Procedure.
- Lakkam, S. and Suwantaraj, K. (2012) A Study of Friction Coefficient of Brake Pads Using Alternative Testing Method, The Journal of KMUTNB., 22(2): 315–324.(in Thai)
- Lara-Curzio, E., Bowers, D. and Ferber, M.K. (1996) The interlaminar tensile and shear behavior of a unidirectional C---C composite. pp. 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, pp. 297 – 310.(in Thai)
- Naik, N.K. (2008) VenkateswaraRaoKavala, High strain rate behavior of woven fabric composites under compressive loading, Materials Science and Engineering: 301-311.
- Scieszka, S.F. (1980) Tribological phenomena in steel-composite brake material friction pairs, Wear. pp. 367-378.
- Shojaei, A., Fahimian, M. and Derakhshandeh. B. (2007) Thermally conductive rubber-based composite friction materials for railroad brakes – Thermal conduction characteristics, Composites Science and Technology. pp. 2665-2674.

ภาคผนวก

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 230g
ความถี่ในการวัด	1 วินาที (s) ถึง 24 ชั่วโมง (hr) แล้วแต่กำหนด
การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์	Mini-USB ,SD card
หน่วยความจำการเก็บข้อมูล	2,000,ข้อมูล 000
การรับประกัน	ปี 2
EC directive	2004/ 108 / EC

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^4$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air							
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
Ammonia (NH₃)							
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

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. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: 02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร: 02-9132424 ต่อ 138
E-mail: Phupoom7778@gmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับ ปริญญา	อักษรย่อ ปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่ สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญา โท	วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ	2542	ไทย
ปริญญา ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี	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
 - การนำน้ำคอนเดนเซอร์มาใช้ระบายความร้อนให้กับแผงคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศ

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 ขดท่อทำความเย็นโดยระเบียบวิธีในต์ 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

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ :-

ผู้ร่วมวิจัย

- .1ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ว่าที่เรือตรี ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
(ภาษาอังกฤษ) Acting2. Sub L.T. Songwut Mongkonlerdmanee
- .2หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 1101 01799 00 8
- .3ตำแหน่งบริหาร/วิชาการที่เป็นปัจจุบัน
ตำแหน่งบริหาร -
ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ ระดับ 5
- .4หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์:02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร:02-9132424 ต่อ 138
E-mail : songwut41@hotmail.com

.5ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	M.Sc.	Automotive Engineering	The SirindhornInternational Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2551	ไทย
ปริญญาตรี	อส.บ.	เทคโนโลยีเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2547	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
- ระบบเบรกสำหรับรถยนต์ 2 และ 3 เพลา (hydraulic, Air over hydraulic, Full air)
- เครื่องจักรกลการเกษตรและการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า (Agricultural machine, process)
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
- 7.1 ผู้อำนวยการวิจัย :
- การศึกษาจุดศูนย์กลางมวลและสัดส่วนการเบรกที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับยานยนต์
- 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1. Investigation of brake force distribution for Three axle Double Deck Bus in Thailand	2549	การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล แห่งประเทศไทยครั้งที่ 20	ม. เทคโนโลยีพระจอม เกล้าพระนครเหนือ	ผู้วิจัย
2. Experimental Investigation of Brake Behavior for Modified Three-Axle Double Deck Bus in Thailand	2550	วารสารวิศวกรรมศาสตร์เล่ม ที่ 15	ม. เทคโนโลยีพระจอม เกล้าพระนครเหนือ	ผู้ร่วมวิจัย
3. The Specific Energy Consumption of Robusta Coffee Bean Separating	2553	<u>การประชุมวิชาการ นานาชาติ ครั้งที่ 2: Green Technology and Productivity</u>	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนคร	ผู้วิจัย/ ผู้นำเสนอ ผลงาน
4. เครื่องคัดขนาดเมล็ดสารกาแฟโรบัสต้า	2555	ลิขสิทธิ์ ประเทวรรณกรรม	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2553	ผู้ร่วมวิจัย
5. เครื่องบดเมล็ดถั่วเหลืองแบบผสมผสาน	2556	การประชุมวิชาการ มทร. ครั้งที่ 5 (5 TH RMUTNC)	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2554	ผู้ร่วมวิจัย
6. การทดสอบการอัดตัวของวัสดุผสมภายใต้ สภาวะอุณหภูมิต่างๆ	2556	KKU Research Journal	ม. เทคโนโลยีราชมงคล พระนครประจำปี งบประมาณ 2555	ผู้ร่วมวิจัย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : -

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายศุภชัย หลักคำ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Supachai Lakkam
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 1201 01788 03 1
3. ตำแหน่งบริหาร/วิชาการที่เป็นปัจจุบัน
ตำแหน่งบริหาร - ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ (พนักงานมหาวิทยาลัย)
เงินเดือน 25,000.- เวลาการทำวิจัย 20ชม./สัปดาห์
4. หน่วยงานและสถานที่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์:02-9132424 ต่อ 138
โทรสาร:02-9132424 ต่อ 138
E-mail: bus_supachai@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญา	วิชาเอก	สถานศึกษา	ปีที่สำเร็จ	ประเทศ
ปริญญาโท	M.Sc.	Automotive Engineering	The SirindhornInternational Thai-German Graduate School of Engineering (TGGS) มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	2552	ไทย
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล (เกียรตินิยมอันดับสอง)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2549	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ (ซึ่งอาจแตกต่างจากวุฒิการศึกษา)ระบุสาขาวิชาการ

- เทคนิคการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computation and Simulation Techniques)
- เทคโนโลยีและการจัดการด้านพลังงาน(Energy Technology and Management)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการงานวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :

- เครื่องทดสอบพฤติกรรมวัสดุความเสียดทาน

- การศึกษาปัจจัยการออกแบบท่อพักไอเสียเพื่อลดเสียงรบกวนและรักษาสมรรถนะของเครื่องยนต์

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

ลำดับ	ผลงานวิจัย	ปีที่พิมพ์	การเผยแพร่	แหล่งทุน	ตำแหน่ง
1	ผลกระทบและประสิทธิภาพ ผ้าเบรกเชิงเสียงรบกวน และสัมประสิทธิ์ความเสียด ทาน	พ.ศ.2552	Industry Subcontracting Exhibition of Thailand 2009	บริษัท คอมแพ็คอินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด (1994) และIndustrial Technology Assistance Program (iTAP)	นักวิจัย
2	Investigation of Brake Noise Parameters Using Single Dynamometer	Apr.2009	The 5 th International Conference on Automotive Engineering ICAE-5	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ	นักวิจัย/ ผู้นำ เสนอ
3	Econo Power Car	Jun.2010	The 2 nd RMUTP International Conference : Green Technology and Productivity	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชม งคลพระนคร	ผู้ร่วม วิจัย/ผู้นำ เสนอ
4	Analysis of Clutch Materials behaviour : Comparison between Coefficient of Friction Testing and Full Size Testing	Jun.2012	World Academe of Science, Engineering and Technology 66, 2012	EXEDY Friction Material Co. LTD	ผู้ช่วย วิจัย
5	Study and Trend of Development for Electric Railway and Related Industries in Thailand) Phase 2)		รอเผยแพร่	Industrial Technology Assistance Program (iTAP)	ผู้ร่วม วิจัย
6	โครงการศึกษาเครื่องยนต์ แก๊สโซลีนและดีเซลขนาด เล็ก 1 สูบ เพื่อจัดทำร่าง กฎกระทรวงเฉพาะด้าน ประสิทธิภาพพลังงาน ตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการ อนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2550	พ.ศ.2555	RMUTP Research Journal, Vol.6, No.2,	กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน	ผู้ร่วม วิจัย
7	Design and Development of Bus structure for single and double deck		รอเผยแพร่	กรมขนส่งทางบก	ผู้ช่วย วิจัย
8	เครื่องทดสอบพฤติกรรม วัสดุความเสียดทาน	พ.ศ.2555	วารสารวิชาการพระจอม เกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชม งคลพระนคร	หัวหน้า โครงการ
9	การทดสอบการอัดตัวของ	พ.ศ.2556	KKU Research Journal	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชม	ผู้ร่วม

	วัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ		Vol.18, No.2	มงคลพระนคร	วิจัย
10	การออกแบบงานเบรคเชิงการสะสมความร้อนเพื่อความปลอดภัย	2013	Songklanakarın J. Sci. Technol. (6) 35, -671 681, Nov. - Dec. 2013	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
11	การศึกษาปัจจัยของโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์ที่ส่งผลต่อการดูดซับพลังงาน	พ.ศ.2556	วารสารวิจัย มข. ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน พฤษภาคม - มิถุนายน 2556	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
12	การศึกษาลักษณะทางกายภาพของงานเบรครถจักรยานยนต์ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเบรค	พ.ศ.2556	วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 23 ฉบับที่ 2 พ.ค.- ส.ค.2556	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
13	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตโครงสร้างกันแรงกระแทกของรถยนต์จากกากผักตบชวา	พ.ศ.2557	วารสารวิจัย มทร.ตะวันออก ปีที่ - กรกฎาคม 2 ฉบับที่ 7 2557 ธันวาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	ผู้ร่วมวิจัย
14	การศึกษาปัจจัยการออกแบบท่อพักไอเสียเพื่อลดเสียงรบกวนและรักษาสมรรถนะของเครื่องยนต์	พ.ศ.2557	วารสารวิจัย มทร.อีสาน ปีที่ 8 ฉบับที่ 3 กันยายน - 2557 ธันวาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	หัวหน้าโครงการ

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : -