



การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆของผ้าเบรก

Analysis of Compound Material Behavior for Brake pad and linings at Difference Temperatures

นายสุรศักดิ์	ประจวบสุข
นายเอกพจน์	คะหาญ
นายเอกณัฐ	เกิดทรง
นายประทีป	ขาวแดง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2554

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆของผ้าเบรก



นายสุรศักดิ์	ประจวบสุข
นายเอกพงษ์	คะหาญ
นายเอกณัฐ	เกิดทรง
นายประทีป	ขาวแดง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ปีการศึกษา 2554

**Analysis of Compound Material Behavior for Brake pad and linings at Difference  
Temperatures**

**Mr. Surasak Pajobsuk**

**Mr. Aekpot Kahan**

**Mr. Aeknat Koedsong**

**Mr. Prateep Khaodang**




**The Project Report Submitted in Partial Fulfillment of  
The Requirement for Degree of Bachelor of Engineering  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Engineering  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon**

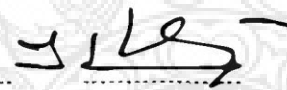
**2011**

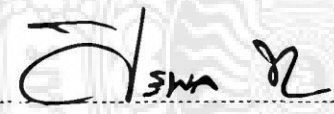
หัวข้อปริญญาพนธ์      การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆของ  
    ผ้าเบรก  
    โดย      นายสุรศักดิ์ ประจวบสุข นายเอกพจน์ คະหาญ  
    สาขาวิชา      นายเอกฉัตร เกิดทรง และนายประทีป ขาวแดง  
    ปีการศึกษา      วิศวกรรมเครื่องกล  
    2554  
    อาจารย์ที่ปรึกษา      ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี


สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
อนุมัติให้ปริญญาพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต


 หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.วิโรจน์ จุฑาทอง)

คณะกรรมการสอบปริญญาพนธ์

 ประธานกรรมการ  
(อาจารย์สุภชัย หลีกคำ)

 กรรมการ  
(อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน)

 กรรมการ  
(อาจารย์กุลยศ สุวันทโรจน์)

 อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)

ลิขิตθήขงคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ ของผ้าเบรก
โดย	นายสุรศักดิ์ ประจวบสุข นายเอกพจน์ คະหาญ นายเอกณัฐ เกิดทรง และนายประทีป ขาวแดง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2554
อาจารย์ที่ปรึกษา	ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

### บทคัดย่อ

ระบบเบรกอาศัยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก ในสภาวะการขับขี่จริง ผู้ขับขี่มีพฤติกรรมเบรกที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายบริเวณผ้าเบรกและจานเบรก หากพิจารณาถึงผ้าเบรกในปัจจุบัน ที่มีสัดส่วนของวัสดุผสมที่หลากหลาย ประกอบกับอุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรกในประเทศไทย ยังไม่มีกระบวนการทดสอบที่ชัดเจน ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ความเสียหายของผ้าเบรกในสภาวะการเบรกแบบต่างๆ

จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการจึงทำการทดสอบและวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆของผ้าเบรก โดยมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์พฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ และพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ 3 ชนิดของผ้าเบรกแบบดิสก์ และแบบดรัม โดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นเครื่องมือหลักในการทดสอบ ผ่านกระบวนการทดสอบบางส่วนที่อ้างอิงมาตรฐาน Brake lining and disc brake pads compressibility test procedure JIS D 4413 [7] ที่สามารถจำลองสภาวะการเบรก 3 สภาวะคือ สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ และสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว

ผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นว่า สภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น ผ้าเบรกแบบดรัมและดิสก์ ชนิด A และ C มีพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุสูงสุดและต่ำสุดที่อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  ส่วนสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้น ผ้าเบรกแบบดรัมและดิสก์ ชนิด C และ A มีพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุสูงสุดและต่ำสุดที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  เช่นเดียวกัน สำหรับพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุภายใต้อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  ผ้าเบรกชนิด C และ B มีค่าพลังงานภายในสูงสุดและต่ำสุด ส่วนในกรณีการทดสอบที่อุณหภูมิ  $200$  และ  $400^{\circ}\text{C}$  ผ้าเบรกชนิด A และ B มีค่าพลังงานภายในสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งกล่าวได้ว่าวัสดุผสมที่มีพฤติกรรมความยืดหยุ่นสูง ส่งผลให้ค่าพลังงานภายในสูงในสภาวะการเบรกที่อุณหภูมิสูง



<b>Project Title</b>	Analysis of Compound Material Behavior for Brake pad and linings at Difference Temperatures
<b>By</b>	Mr. Surasak Pajobsuk. Mr. Aekpot Kahan. Mr. Aeknat Koedsong and Mr. Prateep Khaodang
<b>Department</b>	Mechanical Engineering
<b>Academic Year</b>	2011
<b>Project Advisor</b>	Acting2 Sub.L.T. Songwut Mongkonlerdmanee

### Abstract

Brake system is used the friction between disk and pads. In the driving conditions, the brake behavior from the driver is difference. Based on this reason, the damage on disk and pads are occurring. Nowadays, the ratio of compound materials in pads is several and involved automotive industry has not available enough to experiment. Thus, it is difficult to brake pads damaged analyzing in several driving conditions.

In this problem, the mechanical property tester is main tool for experimenting. And test procedure based on the Brake lining and disc brake pads compressibility JIS D 4413 [7]. The experiment emphasizes on the flexibility behavior and internal energy by volume with 3 types of brake lining and pads. For the experiment focused on conditions by normal apply brake, repeat apply brake and suddenly apply brake.

The results revealed the normal apply brake condition, the maximum and minimum of flexibility behavior was appeared on brake lining and pads type A and type C with testing temperature at 200°C. By the repeat and suddenly apply brake conditions, the brake lining and pads type C and type A with 30°C is given to the maximum and minimum flexibility behavior. In case of internal energy by volume, the maximum and minimum energy was appeared on pads type C and type B at the 30°C of testing temperature. For the testing temperature at 200 and 400°C, the pads type A and type B were got the maximum and minimum energy respectively. On the other hand, at the high flexibility behavior is given to high internal energy at the high temperature of the apply brake condition.

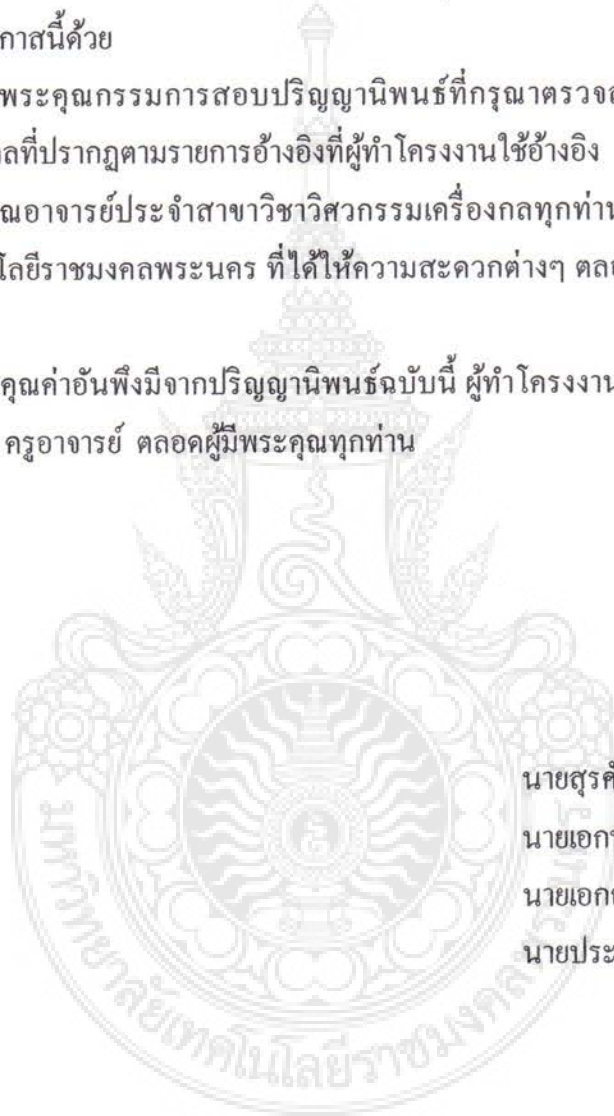
## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับการแนะนำจาก ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิมงคลเลิศมณี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรโดยให้คำแนะนำ และถ่ายทอดความรู้ ตลอดจนควบคุมการทำโครงการจนประสบความสำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบปริญญาบัตรที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของโครงการรวมทั้งบุคคลที่ปรากฏตามรายการอ้างอิงที่ผู้ทำโครงการใช้อ้างอิง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านรวมทั้งเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความสะดวกต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ประ โยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้ทำโครงการขอมอบเป็นกตัญญูตานุชาแต่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดผู้มีพระคุณทุกท่าน



นายสุรศักดิ์	ประจวบสุข
นายเอกพจน์	คะหาญ
นายเอกณัฐ	เกิดทรง
นายประทีป	ขาวแดง

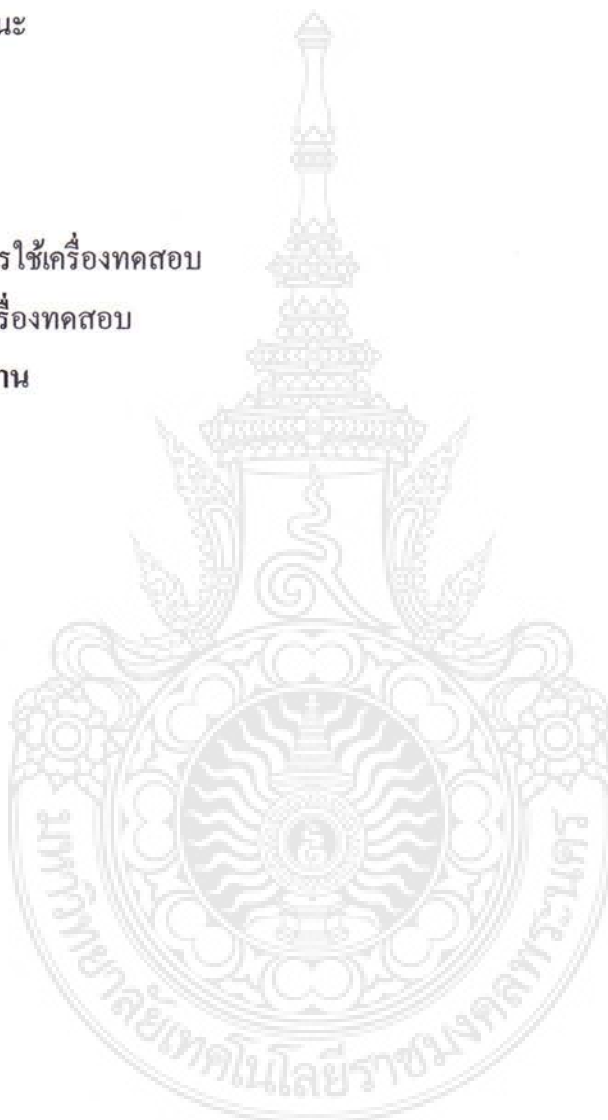
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ	2
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก	3
2.2 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องทดสอบ	6
3 การออกแบบและคำนวณ	12
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณ	12
3.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	12
3.3 การดำเนินการสร้าง	13
4 วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ	17
4.1 การเตรียมการทดสอบ	17
4.2 วิธีการทดสอบ	21
4.3 ผลการทดสอบ	24



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	42
5.1 สรุปผลการทดสอบ	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้เครื่องทดสอบ	45
ภาคผนวก ข แบบเครื่องทดสอบ	49
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	60



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางสภาวะการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ	21
4.2 ตารางสภาวะการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ	23
4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของครีเมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa	24
4.4 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa	26
4.5 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของครีเมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa	27
4.6 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa	28
4.7 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของครีเมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa	29
4.8 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa	30
4.9 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของครีเมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa	31
4.10 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa	32
4.11 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบชั้นเดียวของครีเมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa	33
4.12 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบชั้นเดียวของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa	34
4.13 สรุปผลการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกชนิดต่างๆ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิต่างๆ	41

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความเครียดอัด	9
2.2 ความเครียดดึง	9
2.3 ความเค้นอัด	10
2.4 ความเค้นดึง	11
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานสร้างเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก	12
3.2 แผ่นรองรับวัสดุ (ก) ดิสก์เบรก (ข) รัมเบรก	13
3.3 ชุดให้ความร้อน (Heater)	14
3.4 ชุดให้ความร้อนของแผ่นรองรับวัสดุ	14
3.5 ฐานรองรับแผ่นรองรับวัสดุ	15
3.6 หัวกดวัสดุ (ก) ดิสก์เบรก (ข) รัมเบรก	15
3.7 แท่นกดวัสดุ	16
3.8 กล่องครอบวัสดุ	16
4.1 การเตรียมความพร้อมเครื่องทดสอบ	17
4.2 การติดตั้งกล่องครอบวัสดุกับเครื่องทดสอบ	18
4.3 การติดตั้งโหลดเซลล์เข้ากับแท่งกดวัสดุ	18
4.4 การติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ	19
4.5 การติดตั้งฐานรองรับวัสดุ	19
4.6 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน	20
4.7 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและต่อสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน	20
4.8 รูปแบบการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ	22
4.9 รูปแบบการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ	23
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	25
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	26
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C	27



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C	28
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C	29
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C	30
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	31
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	32
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดรัม ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขึ้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	33
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขึ้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C	34
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด A	35
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด A	35
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด A	36
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด B	37
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด B	37
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด B	38
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด C	39

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด C	39
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรก ภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด C	40





## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ	mm <sup>2</sup>
C	ความร้อนจำเพาะ	kJ/kg.K
F	แรงที่กระทำบนวัตถุ	N
P	ความดันเฉลี่ยที่กระทำต่อผิวของวัตถุ	N/mm <sup>2</sup>
C <sub>p</sub>	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	kJ/kg.K
C <sub>v</sub>	ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่	kJ/kg.K
l <sub>0</sub>	ความยาวเดิมของวัตถุ	mm
k	ค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ	N/mm <sup>2</sup>
x	ระยะยวบของวัสดุเมื่อเกิดการกด	mm
U	พลังงานภายในวัสดุ	J/mm <sup>3</sup>
V		
T <sub>s</sub>	อุณหภูมิที่ผิวของแข็ง	K
T <sub>∞</sub>	อุณหภูมิทางด้านส่วนต้นของของไหล	K
Δl	ความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนไป	mm
ΔT	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	K
ε	ความเครียด	mm/mm
ε <sub>c</sub>	ความเครียดอัด	mm/mm
ε <sub>t</sub>	ความเครียดดึง	mm/mm
JIS	Japanese Industrial Standards	-
OEM	Original Equipment Manufacturer	-
OES	Original Equipment Supplier	-

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโต และเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย ผ้าเบรกเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ แต่เนื่องจากผ้าเบรกเป็นวัสดุผสมที่ผลิตจากสารตั้งต้นมากกว่า 1 ชนิด เป็นเหตุให้มีพฤติกรรมที่หลากหลายแตกต่างกันออกไปตามส่วนผสม จึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าในด้านการตรวจสอบผลกระทบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการผลิตออกมา โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทย อีกทั้งขั้นตอนกระบวนการทดสอบเฉพาะด้านยังไม่ชัดเจน รวมไปถึงเครื่องมือการทดสอบ และองค์ความรู้เฉพาะทางที่มีน้อยมาก ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดโครงการนี้เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตผ้าเบรกที่เป็นวัสดุผสม

จากปัญหาข้างต้นจึงทำให้เกิดการคิดค้นออกแบบรูปแบบการทดสอบ และเครื่องทดสอบผ้าเบรกซึ่งเป็นวัสดุผสมภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่างๆ ที่มีลักษณะในการหาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นโดยตรง โดยโครงการนี้จะศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ โดยเน้นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยเป็นหลัก เพื่อนำไปสู่ข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยการคำนึงถึงปัจจัยพื้นฐานในการใช้งานของผ้าเบรก เพื่อศึกษาความแตกต่างของผ้าเบรกที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น การศึกษาความแตกต่างระหว่างวัสดุที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ ทั้งทางด้านความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของการทดสอบ

เพื่อเป็นองค์ความรู้ทางด้านวัสดุ และเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการสามารถใช้ในการออกแบบ และสร้างเครื่องทดสอบเพื่อหาพฤติกรรมของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นวัสดุผสมคล้ายกันนี้ บนสมมติฐานหลักการหาค่าคุณสมบัติวัสดุทางกลภายใต้สภาวะการรับความร้อน โดยเปรียบเทียบค่าความเค้น ความเครียด และค่าความยืดหยุ่นภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ผลที่ได้รับจากโครงการสามารถนำไปใช้ในการพัฒนา และนำไปสู่ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังช่วยการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ให้กับประเทศ ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการทดสอบพฤติกรรมผ้าเบรกภายใต้สภาวะการรับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ
- 1.2.2 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก
- 1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ของค่าคุณสมบัติทางกลจากส่วนผสมผ้าเบรกที่ต่างกัน
- 1.2.4 สํารวจปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกล

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ชุดทดสอบพฤติกรรมคุณสมบัติทางกลที่สร้างอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 300 °C
- 1.3.2 ขั้นตอนการทดสอบบางส่วนเป็นไปตามมาตรฐาน JIS D 4413 [7]
- 1.3.3 ใช้วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างวัสดุที่มีส่วนผสมต่างกัน 3 ส่วนผสม
- 1.3.4 ใช้ผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก และดรัมเบรก

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ

- 1.4.1 ได้แนวทางการทดสอบผ้าเบรกที่สามารถสะท้อนถึงพฤติกรรมวัสดุภายใต้สภาวะอุณหภูมิต่าง ๆ
- 1.4.2 ทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุผสมซึ่งเป็นแนวทางในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม
- 1.4.3 เป็นแนวทางในการส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีภายในประเทศในด้านการผลิตผ้าเบรคนำความรู้จากการศึกษามาใช้ในการทำงาน



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี และหลักการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องทดสอบผ้าเบรก และหลักการทำงานของเครื่องทดสอบผ้าเบรก ซึ่งในการออกแบบ และสร้างเครื่องทดสอบนั้น ชิ้นส่วนที่ออกแบบ และนำมาประกอบเป็นชุดทดสอบ การออกแบบชิ้นส่วนให้ใช้งานได้ดีนั้น ประการแรกจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และแนวคิดพื้นฐานที่นำมาใช้อยู่ทั่วไป เพราะชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีขนาดที่เป็นมาตรฐาน หรืออาจมีวางขายอยู่ตามท้องตลาดแต่ก็มีบางชิ้นส่วนที่ไม่สามารถหาซื้อได้นอกจากจะออกแบบ และสร้างขึ้นมาเองซึ่งก่อนที่จะทำการสร้างชิ้นส่วนเหล่านั้นได้จะต้องมีการออกแบบรูปร่างขนาด และวัสดุที่จะนำมาใช้ก่อนแล้วจึงนำมาคำนวณตามหลักทางทฤษฎีต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

#### 2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก [5]

ระบบห้ามล้อส่วนใหญ่ในยานพาหนะถูกออกแบบให้อาศัยแรงเสียดทานโดยเปลี่ยนพลังงานกลในทิศทางการหมุนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งใช้ผ้าเบรกเป็นอุปกรณ์ในการชะลอ หรือหยุดเพลาล้อเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หน้าที่ของผ้าเบรกคือ สร้างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่างผ้าเบรก และจานเบรก เพื่อให้เกิดแรงเบรกที่ใช้ในการชะลอ หรือหยุดเพลลา ดังนั้น ผ้าเบรกจึงต้องสามารถตอบสนองการใช้งานได้ถูกต้องโดยปราศจากการลื่นไถลที่มากเกินไปจนเกิดความ ต้องการ

ระหว่างการทำหน้าที่ชะลอ หรือหยุดเพลานั้น การลื่นไถลแบบชั่วขณะเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรก และจานเบรก ตลอดกระบวนการทำงานนี้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสประมาณ 80 ถึง 300 °C (ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นมีอิทธิพลต่อการทำงานของระบบห้ามล้อ ดังนั้นสมรรถนะของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผ้าเบรคนั้นจะต้องรักษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และมีค่ามากพอต่อความต้องการในสภาวะการทำงานอย่างสม่ำเสมอ ด้วยการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ปรารถนา การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างช่วงการทำงาน หรือจากการสึกหรอของวัสดุจะต้องมีข้อจำกัด นอกเหนือจากอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลแล้ว ยังมี ความสัมพันธ์จากวัสดุที่นำมาใช้, ความสัมพันธ์ทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแต่กลไก

เหล่านี้ซับซ้อน และกำหนดไม่ได้ที่ผิวสัมผัสจากผ้าเบรกกับจานเบรก ผลก็ทำให้เกิดการสึกหรอที่ผ้าเบรก และความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสิ่งที่ถูกนำมาทำเป็นผ้าเบรกต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อน การสึกหรอ ป้องกันความชื้น และมีค่าความฝืดสูง (ค่าสัมประสิทธิ์) ซึ่งในปัจจุบันสามารถแยกผ้าเบรกออกเป็น 2 ประเภท

ชนิดที่ 1 ผ้าเบรกหล่อ (Molded ling) ทำจากสารประเภทอินทรีย์ (organic lining) ทำจากสารประเภทเอสเบทตอสผสมกับฟิลเลอร์และผงเรซินคูกเคล้าให้เข้ากัน นำไปผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อน และดันจนกระทั่งแข็งแล้วนำมายัดกับผ้าเบรกด้วยกาวหรือที่เรียกกันว่าผ้าเบรกหล่อ ซึ่งรวมถึงผ้าเบรกที่หมดแล้วเอาไปอัดใหม่ที่พวกเราเรียกว่า อัดผ้าเบรก

ชนิดที่ 2 ผ้าเบรกที่ทำจากโลหะ (Metallic Lining) ทำจากโลหะผสมประเภททองแดงกับสังกะสีผสมกับฟิลเลอร์ และเอสเบทตอส กราไฟต์หรือผงเหล็กเรซิน โดยผ้าเบรกชนิดนี้จะมีค่าความฝืดอยู่ประมาณ 0.3-0.5 แต่ถ้าต้องการใช้งานหนักมากก็จะทำด้วยโลหะซินเตอร์ที่มีคุณสมบัติถ่ายความร้อนได้สูงทำให้มีอายุที่ยาวนานมาก

ส่วนการยัดผ้าเบรกกับฝักเบรกมีสองวิธีด้วยกันคือการยัดด้วยกาว และยัดด้วยรีเว็ต ซึ่งวิธีที่นิยมอย่างมากคือการยัดด้วยกาวเพราะกาวสามารถยัดผ้าเบรกได้บางกว่ารีเว็ตมาก วิธีการผลิตก็คือ แต่ละบริษัทที่ได้เตรียมสูตรของตนเองไว้ก็นำเคมีต่างๆ มาผสมกัน ขณะเดียวกันก็เตรียมแผ่นเหล็กที่จะนำมาเป็นเหล็กที่เตรียมไว้ไปพันกาวแล้วอบให้แห้งเพื่อรอกระบวนการขึ้นรูปมีสองวิธีอีกเหมือนกันคือการขึ้นรูปเย็น (Press Forming) โดยการเทพงผ้าเบรกลงบนแม่พิมพ์แล้ววางเหล็กทรงไว้ด้านบนแล้วอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก แรงกดประมาณ 160 Ton แล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบ ส่วนใหญ่ผ้าเบรกประเภทนี้จะเข้าสู่ตลาด (After market) หรือร้านอะไหล่ทั่วไป อีกวิธีประเภทขึ้นรูปร้อนจะคล้ายๆ กัน ใช้ความร้อนในการเทพงผ้าเบรก และมีการไล่ความชื้นเข้าไปด้วย เมื่อเสร็จแล้ว ผ้าเบรกประเภทนี้จะเป็นผ้าเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงาน แล้วในแต่ละยี่ห้อจะมีสูตรของตัวเองที่โฆษณาว่าจะใช้กับรถอะไร เช่น รถทั่วไป รถมอเตอร์ไซด์ และรถแข่งทางเรียบ ซึ่งผ้าเบรกแต่ละชนิดก็จะมีค่าทนความร้อนสูงต่างกันไป

ชนิดของผ้าเบรกรถยนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งาน โรงงานผลิตผ้าเบรกยนต์ มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเกรด เกรดผ้าเบรกแต่ละโรงงานมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบาย และทิศทางการทำธุรกิจของโรงงานนั้น ผู้ผลิตผ้าเบรกยนต์มี 2 ประเภท คือ ผู้ผลิตสำหรับค้าปลีก โดยเฉพาะ และผู้ผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ (OEM) ผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับค้าปลีก มีการผลิตผ้าเบรกออกมาหลากหลายเกรด หลายคุณภาพ และหลากหลายราคาออกสู่ตลาด บางผู้ผลิตอาจผลิตสินค้าโดยบรรจุในหลากหลายยี่ห้อเพื่อให้ตรงตามความต้องการ ของผู้จำหน่าย และผู้ใช้รถมากที่สุดผู้ผลิตกลุ่มนี้จะเน้นราคาเป็นหลักในการทำตลาด กลุ่มเป้าหมายจะเป็นลูกค้าปลีกทั่วไป



ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่าย จะอยู่ตั้งแต่กลุ่มตลาดล่าง (เอื้ออาทร) จนถึงกลุ่มตลาดขนาดกลางผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ (OEM) ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นสินค้าเกรด (OEM) ผู้ผลิตมุ่งเน้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานอะไหล่สำหรับรถยนต์ใหม่ กลุ่มเป้าหมายจะเป็นโรงงานผลิตรถยนต์รวมทั้งศูนย์บริการรถยนต์ชั้นนำ (OES) ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายในตลาดค้าปลีก จะอยู่ในกลุ่มตลาดบนเท่านั้น หากเราจำแนกชนิดของผ้าเบรกตามเกรดผู้ผลิต สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

(1) OEM Pad ผ้าเบรกเกรดโรงงานผลิตรถยนต์

คุณสมบัติเป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานเพื่อโรงงานผลิตรถยนต์ คุณสมบัติของวัสดุดิบแต่ละชนิดต้องตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์ในเรื่องเขม่า ประสิทธิภาพการเบรก และการทำงานร่วมกับจานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะดำเหมาะสมสำหรับรถยนต์ใหม่และการขับขี่ทั่วไป จนถึงการใช้งานหนัก ไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาด

(2) OES Pad ผ้าเบรกเกรดของแท้ห้าง (Genuine)

คุณสมบัติเป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานเพื่อเป็นอะไหล่ใช้ทดแทน คุณสมบัติของอะไหล่จะแตกต่างกันแต่ผู้ผลิตรถยนต์จะกำหนดขึ้นอยู่กับต้นทุน และการแข่งขัน ผู้ประกอบรถจะขายในรูปอะไหล่แท้เกรดหนึ่งยี่ห้อเดียวกับรถยนต์ ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอาจผลิตอะไหล่เกรดรองออกจำหน่าย เพื่อรักษาฐานลูกค้าที่มีกำลังซื้อต่ำ และเพื่อการแข่งขันในเรื่องราคาในตลาดอะไหล่เหมาะสำหรับ Arrow ผู้ใช้รถทั่วไปที่ต้องการอะไหล่ คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่หาซื้อได้ตามศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปหรือร้านค้าอะไหล่

(3) Racing Pad ผ้าเบรกสำหรับรถแข่ง

คุณสมบัติเป็นผ้าเบรกเกรดเพื่อการแข่งขัน วัสดุดิบในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อประสิทธิภาพการหยุดรถ โดยเฉพาะรองรับการขับ รถด้วยอัตราความเร็วสูง และการถ่ายเทความร้อนในระบบเบรก เหมาะสำหรับการขับขี่เพื่อการแข่งขัน และใช้ความเร็วสูงในการขับขี่เป็นประจำ ผ้าเบรกชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับขี่ทั่วไป หรือการใช้งานหนัก และบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้มีอัตราการทำลายจานเบรกค่อนข้างสูง เพราะส่วนผสมมีโลหะในอัตราที่สูง

(4) Standard Pad ผ้าเบรกทั่วไป

คุณสมบัติเป็นผ้าเบรกเกรด มาตรฐานสำหรับการขับขี่ทั่วไปหรือใช้งานหนักบ้างเป็นครั้งคราว วัสดุดิบในการผลิต จะมีคุณสมบัติเท่ากับหรือต่ำกว่าผ้าเบรกเพื่อ โรงงานผลิตรถยนต์ (OEM) ผ้าเบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบ และหลากหลายวัสดุดิบ ด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ผู้บริโภคต้องใช้วิจารณญาณในการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ เพราะมีการแข่งขันสูงจากโรงงานนอกจากนี้ มีสินค้าปลอมจากโรงงาน ผลิตอะไหล่ปลอมชั้นนำของประเทศออกมาแข่งขัน

ในตลาดอะไหล่เหมาะสำหรับ Arrow การขับรถทั่วไป หรือใช้งานเป็นครั้งคราว การเลือกใช้ ควรดูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบผ้าเบรกโลหะ หรือผ้าเบรกกุ่ม NAO แต่ละชนิดมีผลดี และผลเสียแตกต่างกันอันมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน

## 2.2 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องทดสอบ

### 2.2.1 ทฤษฎีความดัน [2]

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สำหรับของไหลที่อยู่นิ่งหรือของไหลสถิตจะมีความดันเท่ากันทุกทิศทาง หน่วยของความดันคือ  $N/mm^2$

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $P$  คือ ความดันเฉลี่ยที่กระทำต่อผิวของวัตถุ ( $N/mm^2$ )

$F$  คือ แรงที่กระทำบนวัตถุ (N)

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ ( $mm^2$ )

### 2.2.2 ทฤษฎีความร้อน [1]

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนเมื่ออุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อมต่างกัน ความร้อนจะมีการถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปหาแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หน่วยของความร้อนในระบบเมตริกคือ กิโลแคลอรี (kcal) ในระบบอังกฤษเป็นบีทียู (BTU) ดังนั้น ความร้อน 1 kcal คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำจำนวน 1 kg ที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ  $14.5\text{ }^{\circ}C$  และความดัน 1 atm หรือเท่ากับ 1.013 bar มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น  $15.5\text{ }^{\circ}C$

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางเทอร์โมไดนามิกส์นั้น ความร้อนต่างก็เป็นพลังงานที่กำลังเคลื่อนที่ซึ่งมักจะเกิดขึ้นด้วยกันเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหา จึงใช้หน่วยชนิดเดียวกันคือ จูล (J) หรือกิโลจูล (kJ) สำหรับหน่วยของงาน และความร้อนในระบบเอสไอ (SI) การเปลี่ยนหน่วยความร้อน (kcal) มาใช้เป็นหน่วยของงาน (kJ) ทำได้โดยการใช้ค่าคงที่ที่เรียกว่า จูล หรือ Mechanical equivalent of heat; J แต่ในระบบอังกฤษความร้อนมีหน่วยเป็น บีทียู (BTU)

### 2.2.3 ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) [1]

สารต่างชนิดกัน ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลจำนวนหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งจะมีค่าต่างกัน อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ให้แก่วัตถุกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ความจุความร้อน (heat capacity) ของวัตถุนั้นๆ ดังนั้นค่าความร้อนจำเพาะสามารถเขียนสมการได้ว่า



$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.2)$$

คำว่า “ความจุ” อาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นปริมาณความร้อนที่วัตถุจุได้ แต่ความจริงความจุความร้อน หมายถึงปริมาณความร้อนที่เข้าไปต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของวัตถุเรียกว่า ความร้อนจำเพาะ โดยแบ่งเป็นความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ ( $C_p$ ) และความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ ( $C_v$ )

ความร้อนของสารจำเพาะใดๆ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารหนึ่งหน่วยของมวลมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงหนึ่งองศา ความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็นจูล/กรัม-องศาเซลเซียส (J/g-K) หรือ กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเซลเซียส (kJ/kg-K) ค่าความร้อนจำเพาะแสดงดังสมการที่ 2.3

$$Q = mC\Delta T \quad (2.3)$$

เมื่อ

Q คือ ปริมาณการถ่ายเทความร้อน (kJ)

C คือ ความร้อนจำเพาะ (kJ / kg K)

m คือ มวล (kg)

$\Delta T = (T_2 - T_1)$  คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิก่อน และหลังการเปลี่ยนแปลงความร้อนของวัตถุใดมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ เช่น ความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันบรรยากาศจะค่อยๆ ลดลงในช่วง 0 ถึง 35 °C และมีค่าต่ำสุดประมาณ 35 °C แล้วจะค่อยๆ สูงขึ้นอีก ดังนั้นความร้อนจำเพาะในสมการ (2.2) จึงเป็นค่าประมาณในช่วงอุณหภูมิ  $\Delta T$  ความร้อนจำเพาะของวัตถุที่อุณหภูมิใดๆ กำหนดจาก

$$C = dQ / (m)(dT) \quad (2.4)$$

ในกรณีที่เป็นการเปลี่ยนแปลงสภาวะของแข็ง หรือของเหลว เช่นการรับ หรือการคายความร้อนที่ความดันคงที่ ค่าความร้อนจำเพาะที่ใช้ในกรณีนี้เรียกว่า ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat at constant pressure) ใช้สัญลักษณ์ ( $C_p$ ) ดังนั้นปริมาตรความร้อนที่ถ่ายเทเมื่อความดันคงที่หาได้จาก

$$Q = mC_p \Delta T \quad (2.5)$$

#### 2.2.4 ความเครียด และการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation) [3]

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกกระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น หรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยังคงอยู่เนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืด และสปริง ถ้าเราดึงแล้วปล่อยจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิมการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิมวัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินขีดจำกัดคืนรูป (Elastic Limit) แล้ว วัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าขีดจำกัดคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวร หรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation) นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งยืดหยุ่นจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากจากแรงที่กระทำต่อวัสดุแล้วจะมีการคืนรูปแต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม การวัดและคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

ความเครียดแรงอัดกับความเครียดแรงดึง ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิมดังแสดงตามสมการที่ 2.6 ประกอบไปด้วยความเครียดแรงอัดกับความเครียดแรงดึงที่แสดงในสมการที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$\epsilon$  คือ ความเครียด (mm/mm)

$\epsilon_c$  คือ ความเครียดอัด (mm/mm) ตามรูปที่ 2.4

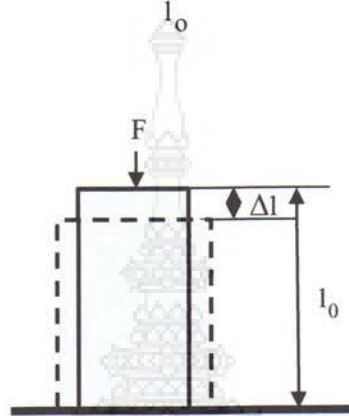
$\epsilon_t$  คือ ความเครียดดึง (mm/mm) ตามรูปที่ 2.5

$\Delta l$  คือ ความยาวของวัตถุที่เปลี่ยนไป (mm)

$l_0$  คือ ความยาวเดิมของวัตถุ (mm)

● ความเครียดอัด (compressive strain) ความเครียดที่เกิดจากวัตถุถูกแรงอัดทำให้วัตถุหดลง แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะหาค่าความเครียดอัดของวัตถุได้ตามสมการที่ 2.7

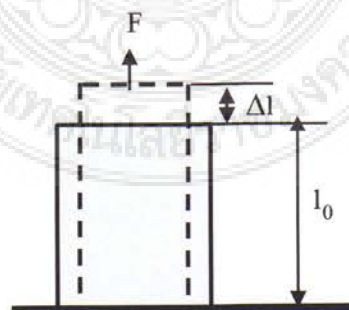
$$\epsilon_c = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.1 ความเครียดอัด [3]

● ความเครียดดึง (tensile strain) ความเครียดที่เกิดจากวัตถุถูกแรงดึงทำให้ยืดออกแสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะหาค่าความเครียดดึงของวัตถุได้ตามสมการที่ 2.8

$$\epsilon_t = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.2 ความเครียดดึง [3]



### 2.2.5 ความเค้น (stress) [3]

ความเค้น หมายถึงแรงต้านทานภายในของวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายในดังแสดงตามสมการที่ 2.9 ประกอบไปด้วยความเค้นดึง และความเค้นอัด ซึ่งแสดงดังสมการที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

เมื่อ

$\sigma$  คือ ความเค้นที่เกิดขึ้น ( $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_c$  คือ ความเค้นอัด ( $\text{N/mm}^2$ ) ตามรูปที่ 2.3

$\sigma_t$  คือ ความเค้นดึง ( $\text{N/mm}^2$ ) ตามรูปที่ 2.4

● ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง แสดงดังรูปที่ 2.3

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.3 ความเค้นอัด [3]

● ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางโดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2.4

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.4 ความเค้นดึง [3]

2.2.6 ค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ เป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่เกิด และระยะการยุบตัวของวัสดุโดยค่าความยืดหยุ่นของวัสดุแสดงดังสมการที่ 2.12

$$F = kx \quad (2.12)$$

เมื่อ

$k$  คือ ค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ

$x$  คือ ระยะยุบของวัสดุเมื่อเกิดการกด (mm)

2.2.7 พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร เป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดอัด และค่าความเค้นอัดของวัสดุที่เกิดขึ้นจากการกดวัสดุ โดยพลังงานต่อหน่วยปริมาตรแสดงดังสมการที่ 2.13

$$\frac{U}{V} = \sigma_c \times \epsilon \quad (2.13)$$

เมื่อ

$U$  คือ พลังงานภายในของวัสดุ (J)

$V$  คือ ปริมาตรของวัสดุ ( $\text{mm}^3$ )

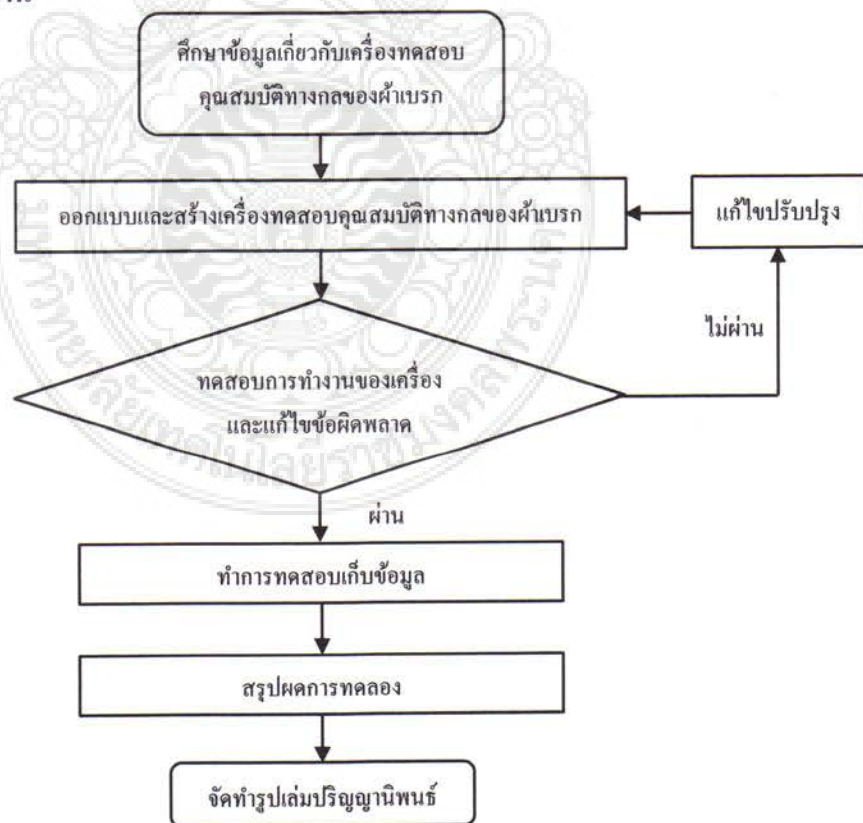
### บทที่ 3

#### การออกแบบและการคำนวณ

##### 3.1 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณ

- 3.1.1 วางแผนการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการปฏิบัติงาน
- 3.1.2 ค้นหาหาข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ
- 3.1.3 กำหนดและออกแบบชิ้นส่วนบางชิ้นที่ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยต้องเลือกใช้ชิ้นส่วนที่เป็นมาตรฐานสากล เพื่อให้ง่ายต่อการจัดชิ้นส่วนที่จะต้องนำมาประกอบ
- 3.1.4 สร้างชิ้นส่วนต่างๆ ตามมาตรฐานสากล ชิ้นส่วนบางชิ้นจะต้องใช้ผู้ชำนาญงานเฉพาะด้าน จึงจะได้วัสดุที่มีคุณภาพ และมีประสิทธิภาพสูง เพื่อนำมาประกอบในการใช้งาน
- 3.1.5 ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ตามแบบที่วางไว้
- 3.1.6 ทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก

##### 3.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน



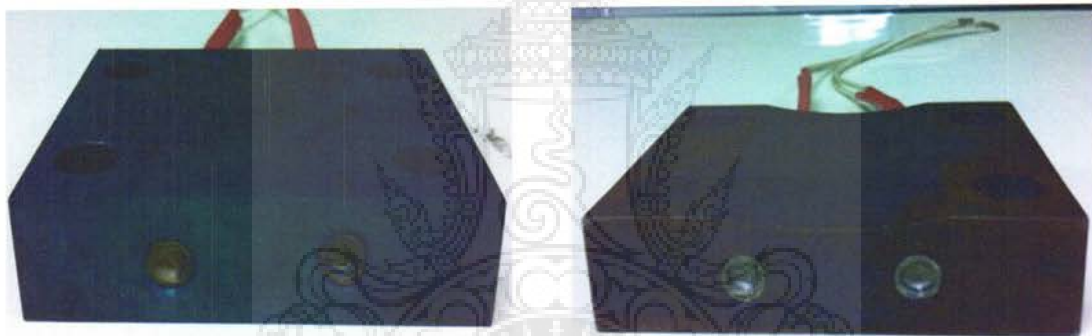
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานสร้างเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก

### 3.3 การดำเนินการสร้าง

ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ในการสร้างเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 แผ่นรองรับวัสดุ

แผ่นรองรับวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่รองรับวัสดุที่จะทำการทดสอบโดยใช้การกด ขนาดความกว้าง และความยาวของแผ่นระนาบถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับผ้าเบรกที่จะใช้ในการทดสอบซึ่งมีขนาดความกว้าง 25 mm ยาว 25 mm หนา 10 mm ส่วนความหนาของแผ่นรองรับวัสดุถูกกำหนดเพื่อให้สามารถรับความร้อนได้ถึง 400 °C โดยที่แผ่นรองรับวัสดุไม่เกิดการโก่งตัว ซึ่งมีขนาดความกว้าง 100 mm ยาว 100 mm หนา 30 mm แล้วมีมวล 1.5 kg แสดงดังรูปที่ 3.2



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 แผ่นรองรับวัสดุ (ก) ดิสก์เบรก (ข) ครัมเบรก

#### 3.3.2 ชุดให้ความร้อน (Heater)

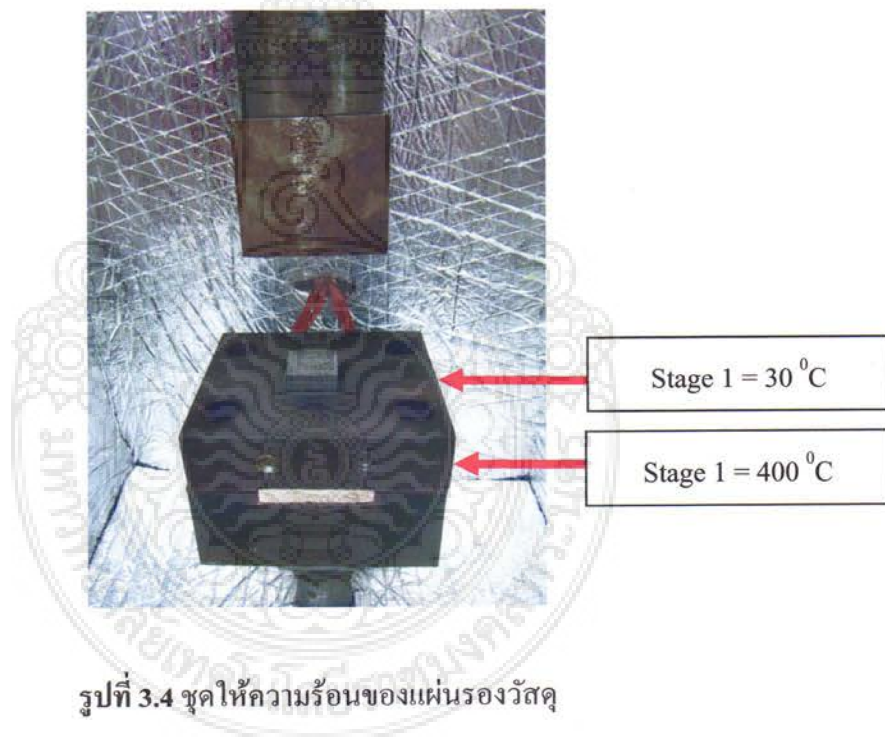
ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับแผ่นรองรับวัสดุ โดยที่สามารถให้ความร้อนตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง 400 °C ตามที่ถูกรอกแบบขั้นตอนการทดสอบไว้ โดยทางคณะผู้จัดทำได้เลือกชุดให้ความร้อนแบบแท่ง แสดงดังรูปที่ 3.3





รูปที่ 3.3 ชุดให้ความร้อน (Heater)

### 3.3.3 กำหนดหาขนาดชุดให้ความร้อน (Heater)



รูปที่ 3.4 ชุดให้ความร้อนของแผ่นรองวัสดุ

จากสมการที่ (2.5)

$$Q = mc_p \Delta T$$

กำหนด

$$c_p = 440 \text{ J/kg.K [6]}$$

$$= 1.5 \times 440 \times (400 - 29)$$

$$Q = 244860 \text{ J}$$



ใช้เวลา 15 นาทีเพื่อให้ที่แผ่นรองรับวัสดุมีอุณหภูมิ 400 °C

$$\text{ดังนั้น} \quad Q = \frac{244860}{(15 \times 60)} = 272.067 \text{ W}$$

ใช้ค่า Safety Factor เท่ากับ 2  $Q = 544 \text{ W}$

ดังนั้น ขนาดฮีตเตอร์ (Heater) ที่ใช้มีขนาด 600 W

### 3.3.4 ฐานรองรับวัสดุ

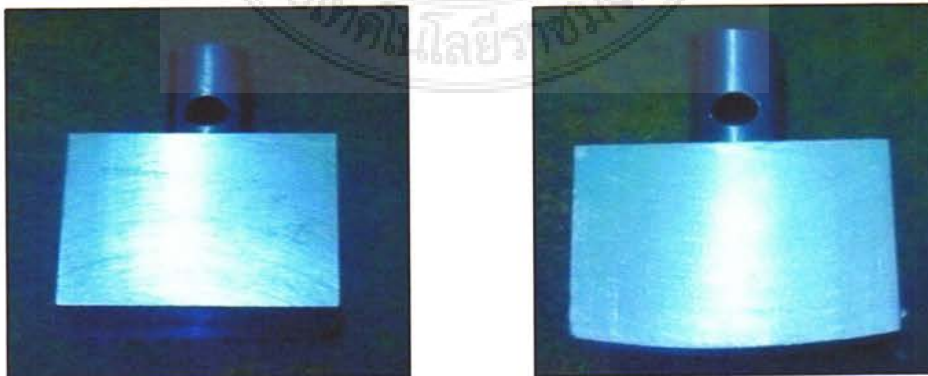
ฐานรองรับวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่รองรับแผ่นรองรับวัสดุ และยึดแผ่นรองรับวัสดุเข้ากับเครื่องทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฐานรองรับแผ่นรองรับวัสดุ

### 3.3.5 หัวควัดวัสดุ

หัวควัดวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และมีความแข็งแรง ทำหน้าที่ควัดวัสดุ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 หัวควัดวัสดุ (ก) ดิกส์เบรก (ข) ครัมเบรก

### 3.3.6 แท่นกดวัสดุ

แท่นกดวัสดุทำมาจากเหล็กเครื่องมือ SKD 61 เป็นเหล็กงานร้อนมาตรฐานสูง และความแข็งแรง ทำหน้าที่ยึดหัวกดวัสดุเข้ากับเครื่องทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แท่นกดวัสดุ

### 3.3.7 กล่องครอบวัสดุ

ทำหน้าที่ครอบวัสดุและป้องกันไม่ให้ความร้อนออกมาจากชุดให้ความร้อน (Heater) โดยมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิภายในให้เหมาะสมกับการทดสอบวัสดุ แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กล่องครอบวัสดุ

## บทที่ 4

### วิธีการทดสอบและผลการทดสอบ

ในการทำโครงงานนี้หลังจากทำการออกแบบและการสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมของวัสดุผสมภายใต้อุณหภูมิต่างๆของผ้าเบรก จะต้องมีการทดสอบหาประสิทธิภาพเพื่อทำการประเมินผลการทดสอบ โดยมีขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

#### 4.1 การเตรียมการทดสอบ

##### 4.2 วิธีการทดสอบ

##### 4.3 ผลการทดสอบ

#### 4.1 การเตรียมการทดสอบ

4.1.1 เตรียมเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบการกดผ้าเบรกที่ความดันต่างๆ โดยมีแท่งกดผ้าเบรกที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลง ในแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การเตรียมความพร้อมเครื่องทดสอบ



4.1.2 ติดตั้งกล่องครอบวัสดุเข้ากับเครื่องทดสอบ โดยภายในกล่องครอบวัสดุนี้สามารถรักษาอุณหภูมิการทดสอบให้มีค่าค่อนข้างคงที่ เพื่อผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยการติดตั้งตู้กล่องครอบวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การติดตั้งกล่องครอบวัสดุกับเครื่องทดสอบ

4.1.3 ติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกดวัสดุ เพื่อใช้ในรับค่าของแรงที่กดวัสดุทดสอบและส่งค่าการทดสอบไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.3



โหลดเซล

รูปที่ 4.3 การติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกดวัสดุ

4.1.4 ติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ สำหรับการติดตั้งหัวกดวัสดุนี้จะใช้สลักเป็นตัวยึดเข้ากับแท่งกดวัสดุ ทั้งกรณีหัวกดของดิสก์เบรก และครัมเบรกแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การติดตั้งหัวกดวัสดุเข้ากับแท่งกดวัสดุ

4.1.5 ติดตั้งฐานรองรับวัสดุ โดยฐานรองรับแผ่นรองรับวัสดุ เป็นชิ้นส่วนที่อยู่บริเวณล่างสุดของชุดทดสอบ มีหน้าที่เป็นตัวรับแรงกดที่เกิดจากแท่งกดวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การติดตั้งฐานรองรับวัสดุ

4.1.6 ติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน เพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากชุดกำเนิดความร้อนหรือฮีตเตอร์ ถ่ายเทไปยังชุดทดสอบวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน

4.1.7 ติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและต่อสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน โดยการเตรียมการทดสอบที่เสร็จสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 4.7



สายไฟ (ชุดกำเนิดความร้อน)

แผ่นรองรับวัสดุ

ฉนวน

ฐานรองรับวัสดุ

รูปที่ 4.7 การติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและต่อสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน



## 4.2 วิธีการทดสอบ

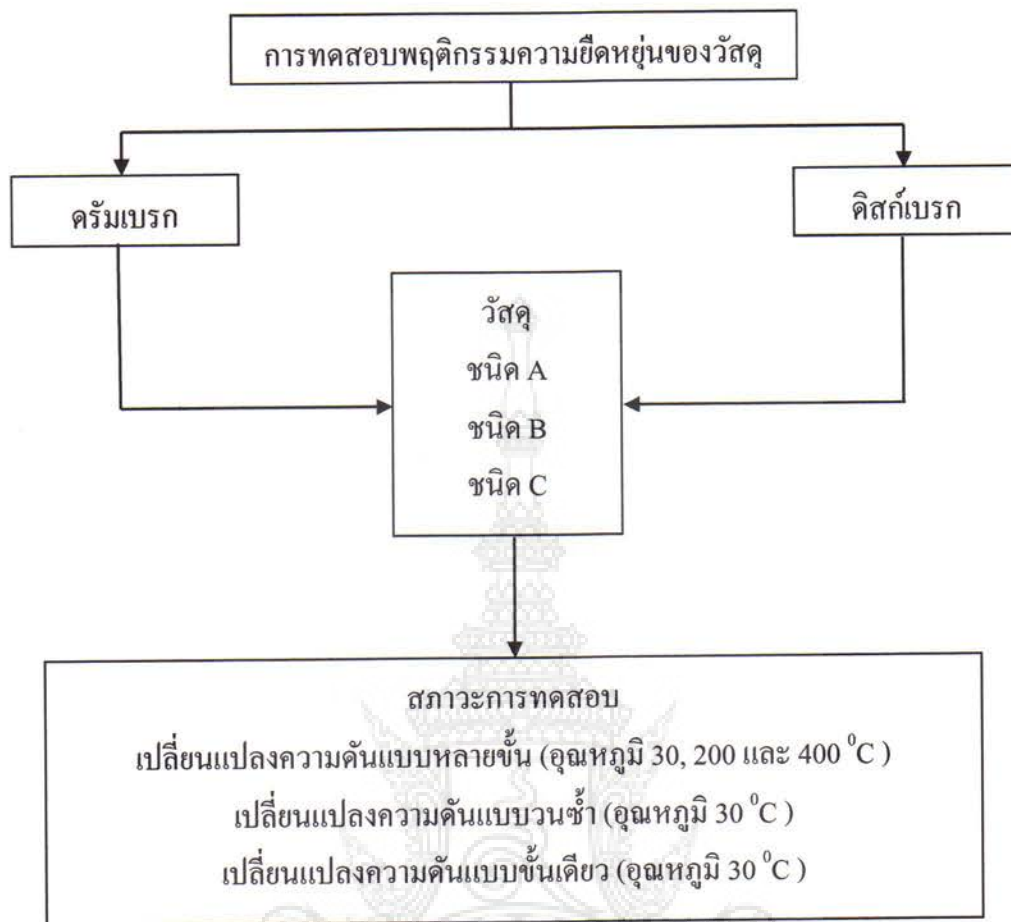
สำหรับการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของผ้าเบรกทั้ง 2 ชนิด คือดิสก์เบรก และดรัมเบรกนั้น ทางคณะผู้จัดทำโครงการได้อ้างอิงกระบวนการทดสอบ JIS D 4413 โดยกระบวนการทดสอบดังกล่าวจะพิจารณาถึงตัวแปรดังต่อไปนี้คือ ระยะขยุบตัว ค่าความเค้นอัด และความเครียดอัด ของวัสดุภายใต้อุณหภูมิและความดันต่างๆ โดยการทดสอบนั้นจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 การทดสอบหลักคือ การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ (k) และการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ  $U/V$

### 4.2.1 การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ

การทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะใช้สภาวะการทดสอบตามตารางที่ 4.1 ซึ่งรูปแบบการทดสอบนี้เสมือนดังการจำลองการการเบรกในขณะที่ขับจริงๆ ในสภาวะการเบรกแบบต่างๆ โดยรูปแบบการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.1 ตารางสภาวะการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ [7]

สภาวะการจำลองการเบรก	ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ระยะเวลาคงตำแหน่งการกด (sec)	กระทำซ้ำ (ครั้ง)	ชนิดผ้าเบรก	
					แบบดิสก์	แบบดรัม
เตรียมการใช้งาน	0.50	30	600	-	●	●
เปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้น	1.50	30, 200 และ 400	60	-	-	●
	3.00	30, 200 และ 400	60	-	-	●
	4.00	30, 200 และ 400	60	-	●	-
	6.00	30, 200 และ 400	60	-	●	-
	8.00	30, 200 และ 400	60	-	●	-
เปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำ	0 – 3.00	30	-	5		●
	0 – 8.00	30	-	5	●	
เปลี่ยนแปลงความดันแบบชั้นเดียว	0 – 3.00	30	-			●
	0 – 8.00	30	-		●	



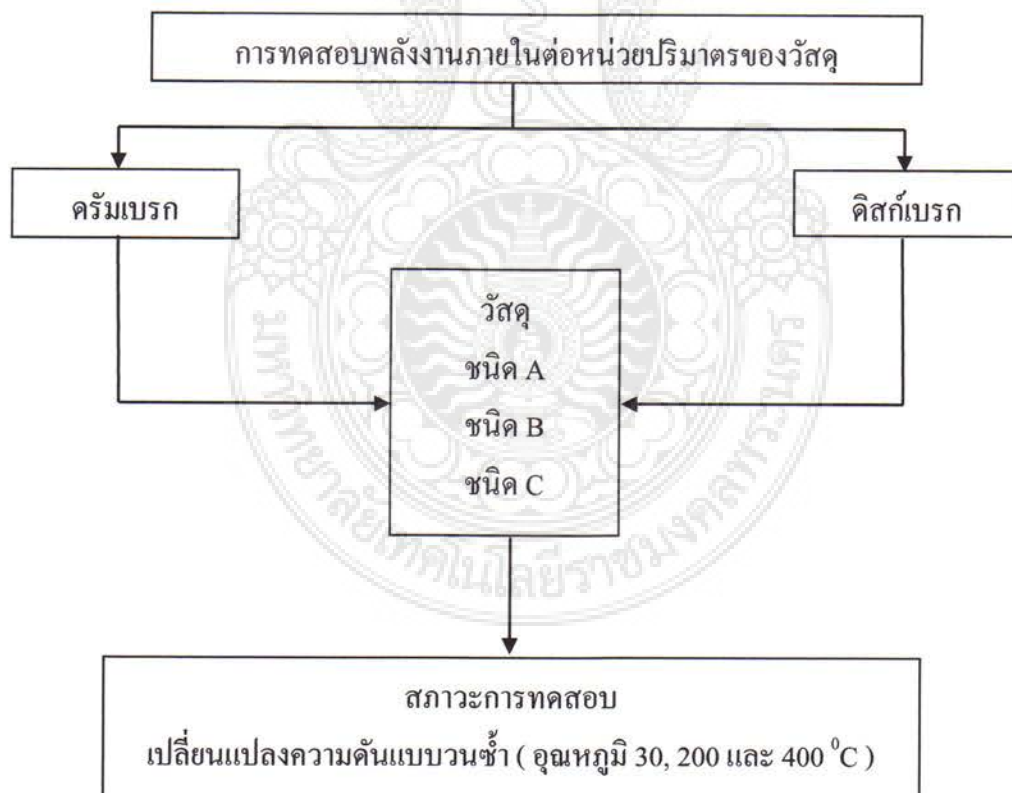
รูปที่ 4.8 รูปแบบการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ

#### 4.2.2 การทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

การทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะพิจารณาจากผลคูณของค่าความเค้นอัดและความเครียดอัดของวัสดุ อันเป็นผลจากความสัมพันธ์ระยะยวบตัว และระยะการคืนตัวของวัสดุ รูปแบบการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.9 อย่างไรก็ตามสถานะการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้นจะทำการทดสอบตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางสภาวะการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

สภาวะการจำลอง การเบรก	ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ระยะเวลาคง ตำแหน่งการ กด (sec)	กระทำซ้ำ (ครั้ง)
เตรียมการใช้งาน	0.50	30	600	-
เปลี่ยนแปลงความ ดันแบบวนซ้ำ	0 – 3.00	30, 200 และ 400	-	-
	0 – 8.00	30, 200 และ 400	-	-



รูปที่ 4.9 รูปแบบการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ



### 4.3 ผลการทดสอบ

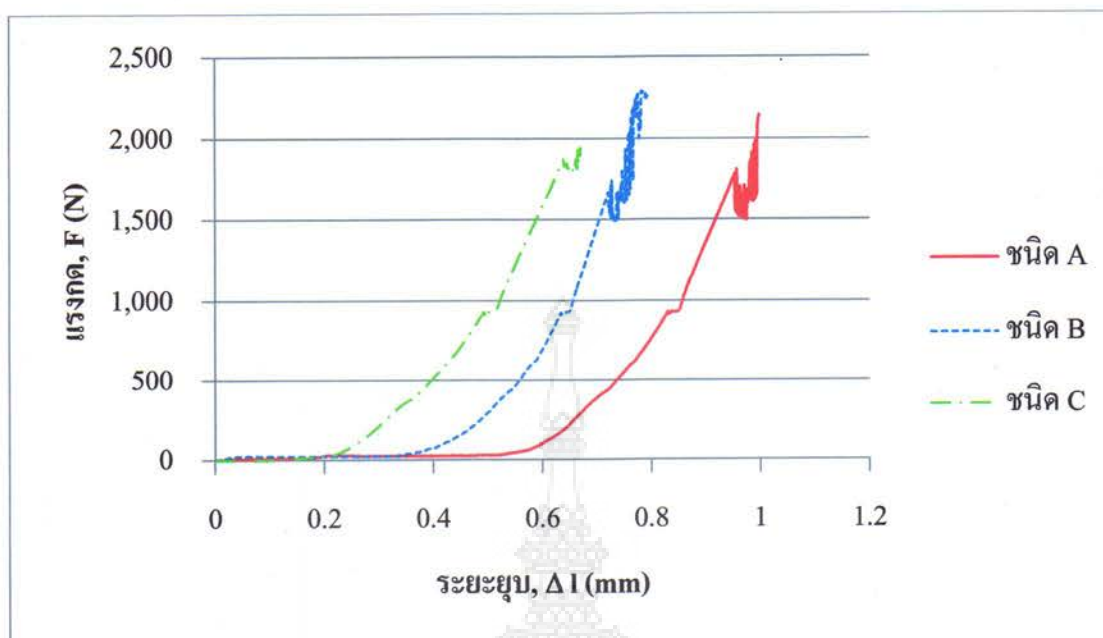
4.3.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของผ้าเบรกแบบครีမ်เบรก และดิสก์เบรก

4.3.1.1 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของผ้าเบรกแบบครีမ်เบรก และดิสก์เบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30, 200 และ 400 °C แสดงดังตารางที่ 4.3 ถึง 4.8

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นของครีမ်เบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa

ครีမ်เบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยุบ, $\Delta l$ (mm)	
		@ 1.50 MPa	@ 3.00 MPa
A	10.61	0.18	0.98
B	11.36	0.65	0.75
C	10.54	0.51	0.67

หมายเหตุ : ความหนาเริ่มต้น,  $l_0$  เป็นผลจากการวัดความหนาของวัสดุทดสอบจำนวน 5 จุด แล้วนำค่ามาหาผลเฉลี่ย  
: ระยะยุบ,  $\Delta l$  เป็นผลจากการตรวจวัดระยะที่วัสดุยุบตัวภายใต้การกดสภาวะต่างๆ ซึ่งค่าที่ได้มาจากการแสดงผลตามโปรแกรมทดสอบ

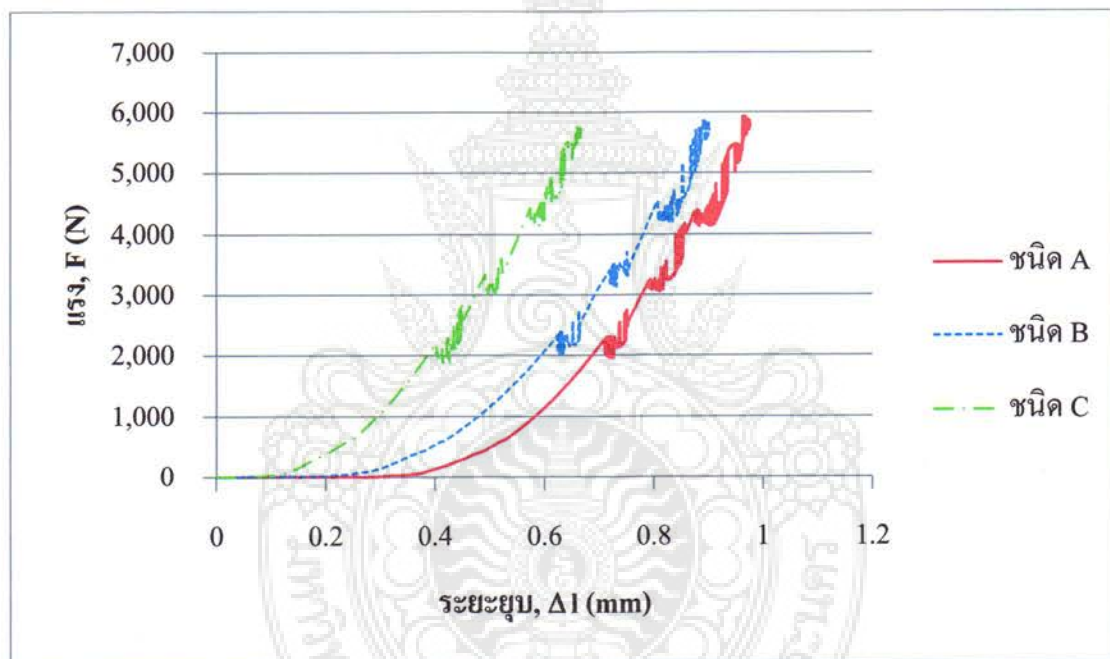


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยวบของผ้าเบรกแบบดรัมในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

จากรูปที่ 4.10 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 30 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดรัมเบรก ชนิด A มีระยะยวบตัวมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.98 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยวบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.75 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 23.48% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยวบตัวน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.67 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 31.91%

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย  
ขั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยุบ, $\Delta l$ (mm)		
		@ 4.00 MPa	@ 6.00 MPa	@ 8.00 MPa
A	10.91	0.73	0.84	0.95
B	10.64	0.66	0.76	0.86
C	10.17	0.43	0.54	0.63

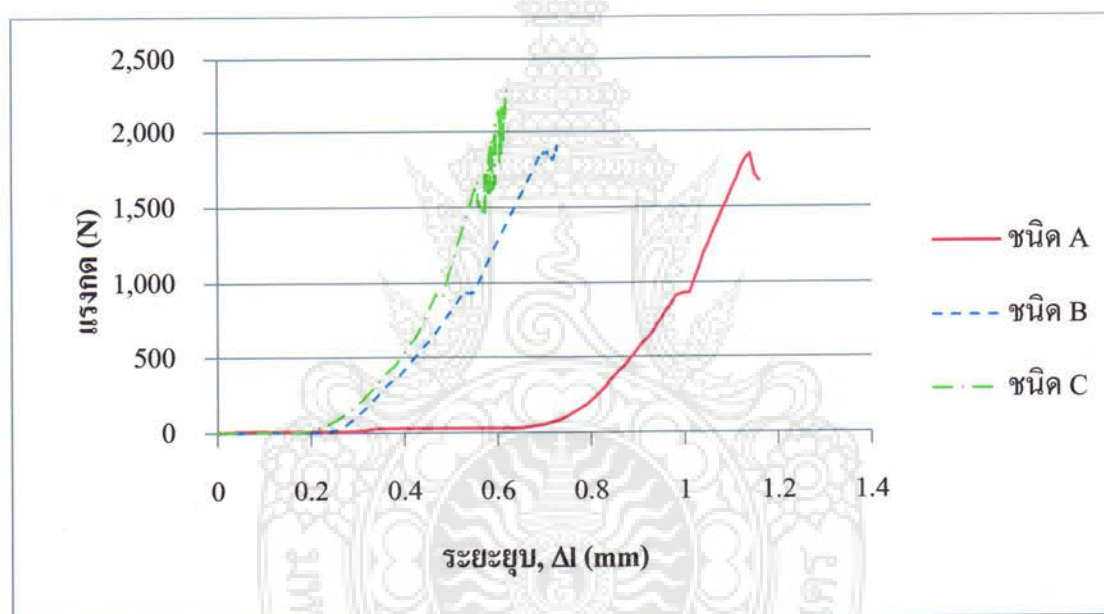


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

จากรูปที่ 4.11 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 30 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.95 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.86 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 8.81% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัวน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.63 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 33.15%

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย  
ขั้นของดรัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยวบ, $\Delta l$ (mm)	
		@ 1.50 MPa	@ 3.00 MPa
A	10.61	1.01	1.14
B	11.36	0.55	0.72
C	10.54	0.50	0.60



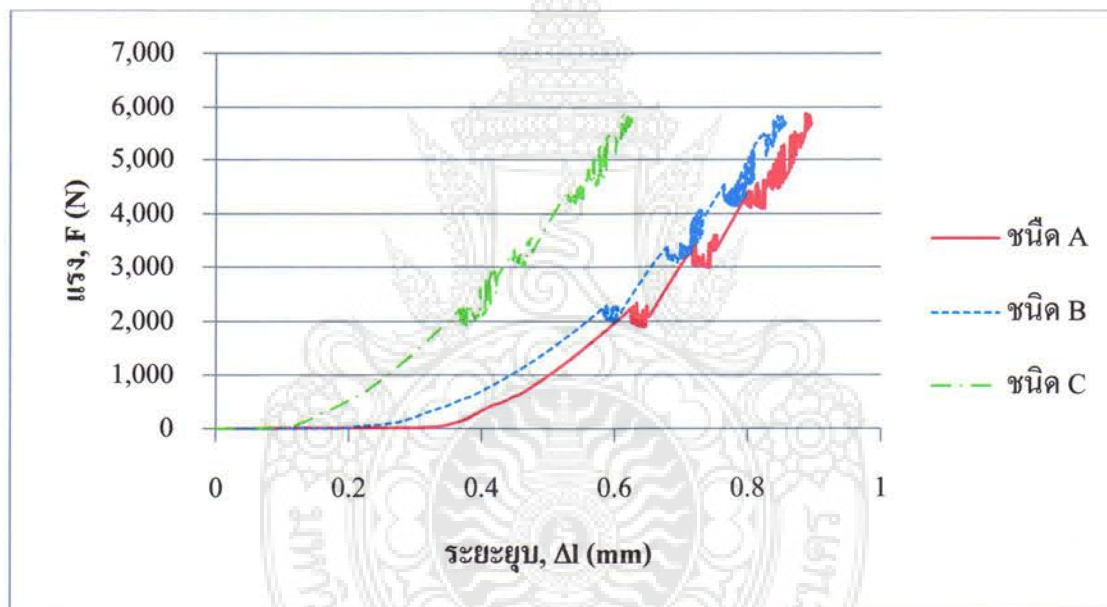
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยวบของผ้าเบรกแบบดรัมในสภาวะการ  
เปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C

จากรูปที่ 4.12 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุม  
อุณหภูมิแบบคงที่ 200 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดรัมเบรก ชนิด A มีระยะยวบตัวมากที่สุดซึ่งค่า  
เท่ากับ 1.14 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยวบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.72 mm โดย  
มีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 36.22% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยวบตัวน้อย  
สุดมีค่าเท่ากับ 0.60 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 46.57%



ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย  
ชั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 200 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยุบ, $\Delta l$ (mm)		
		@ 4.00 MPa	@ 6.00 MPa	@ 8.00 MPa
A	10.91	0.67	0.77	0.84
B	10.64	0.62	0.71	0.80
C	10.17	0.41	0.49	0.56

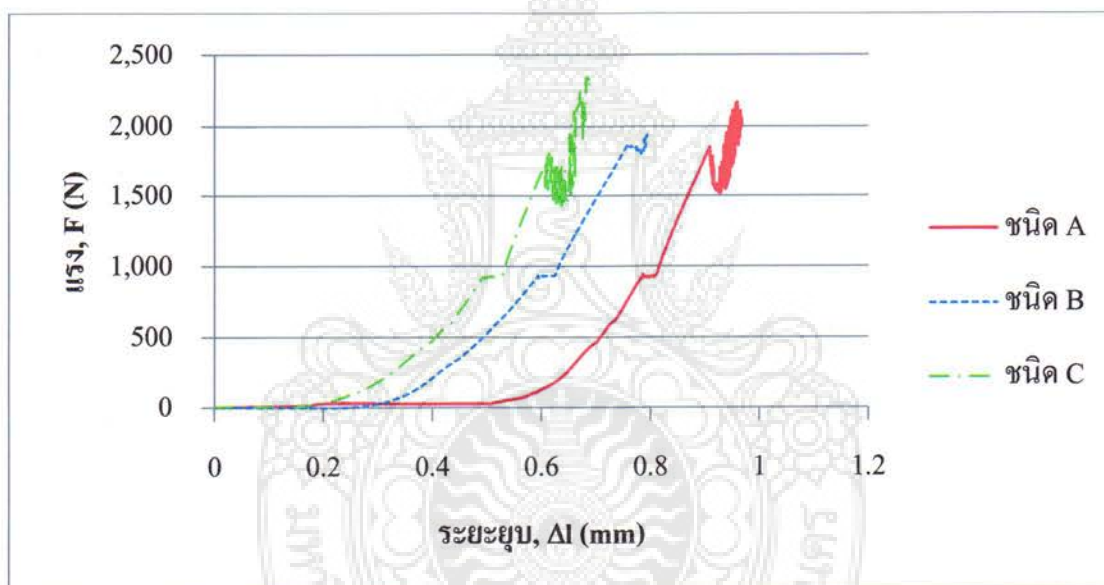


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการ  
เปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 200 °C

จากรูปที่ 4.13 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุม  
อุณหภูมิแบบคงที่ 200 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งมี  
ค่าเท่ากับ 0.84 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.80 mm  
โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 4.86% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยุบตัว  
น้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.57 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 32.54%

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย  
ชั้นของครีมนเบรคภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 1.50 และ 3.00 kPa

ครีมนเบรค	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยุบ, $\Delta l$ (mm)	
		@ 1,500 MPa	@ 3,000 MPa
A	10.61	0.87	0.96
B	11.36	0.69	0.79
C	10.74	0.58	0.69

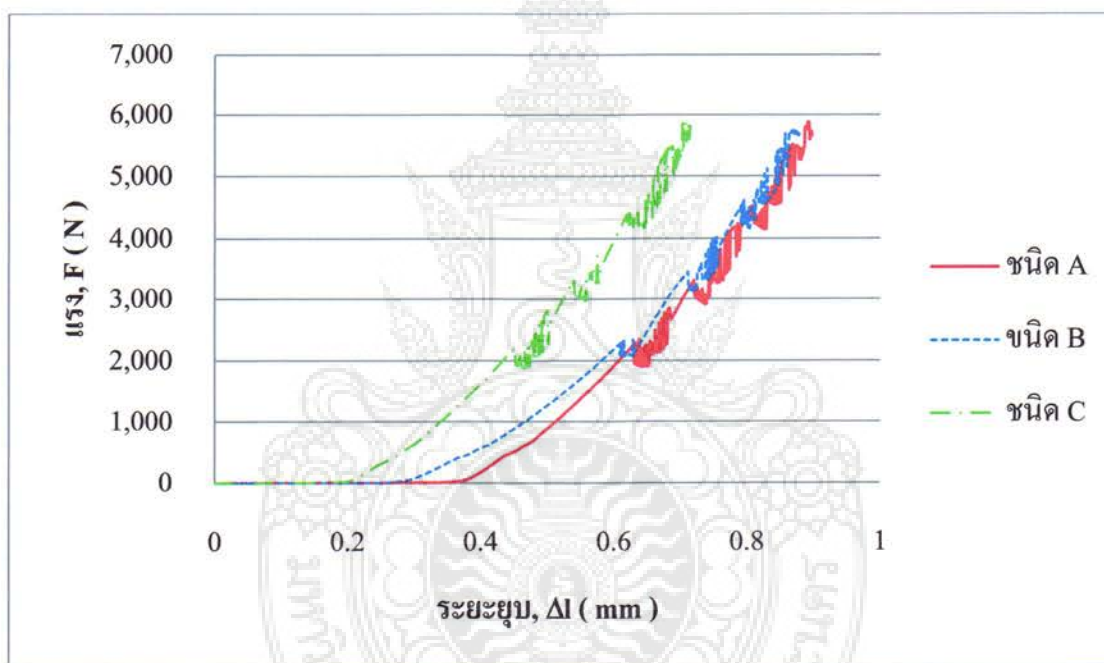


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรคแบบครีมนในสภาวะการ  
เปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายชั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C

จากรูปที่ 4.14 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุม  
อุณหภูมิแบบคงที่ 400 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรคแบบครีมนเบรค ชนิด A มีระยะยุบตัวมากที่สุดซึ่งค่า  
เท่ากับ 0.91 mm ในขณะที่ผ้าเบรคชนิด B มีระยะยุบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.79 mm โดย  
มีความแตกต่างกับผ้าเบรคชนิด A เท่ากับ 17.37% และในขณะที่ผ้าเบรคชนิด C มีระยะยุบตัวน้อย  
สุดมีค่าเท่ากับ 0.69 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรคชนิด A เท่ากับ 28.19%

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบหลาย  
ขั้นของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 400 °C ที่ความดัน 4.00, 6.00 และ 8.00 MPa

ดรัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยวบ, $\Delta l$ (mm)		
		@ 4.00 MPa	@ 6.00 MPa	@ 8.00 MPa
A	10.91	0.68	0.78	0.84
B	10.64	0.65	0.74	0.83
C	10.17	0.49	0.59	0.65



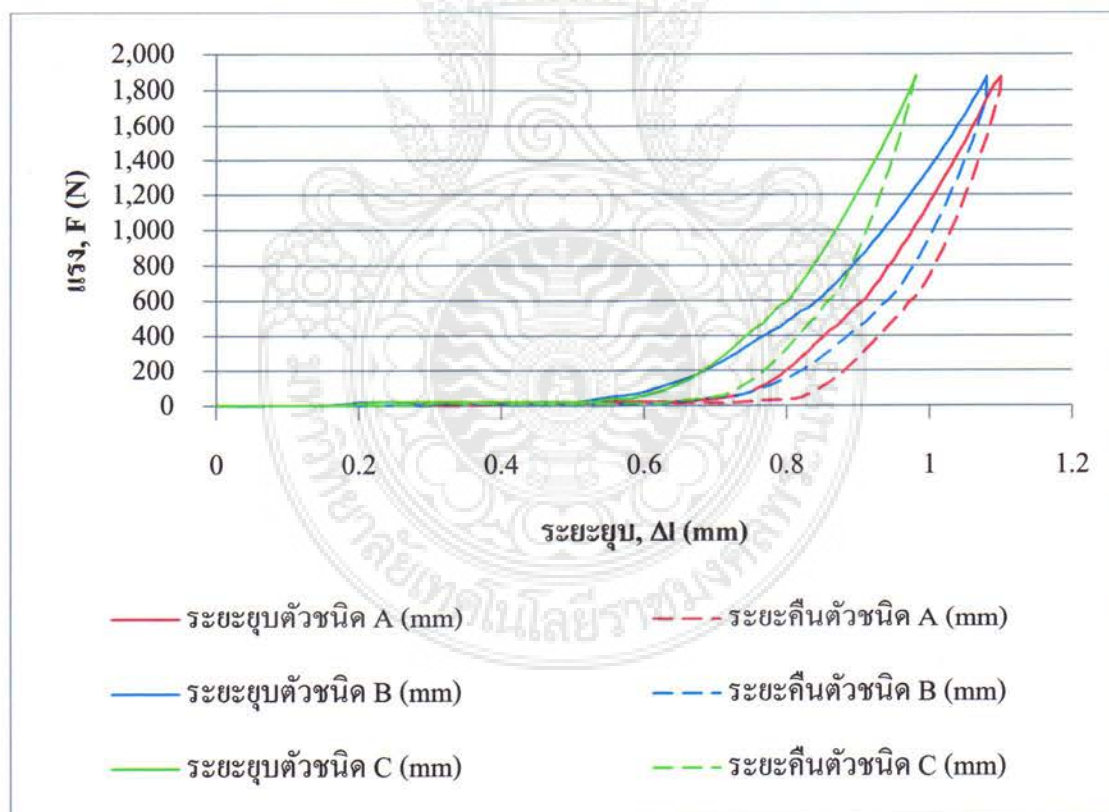
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยวบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการ  
เปลี่ยนแปลงความดันแบบหลายขั้นภายใต้อุณหภูมิ 400 °C

จากรูปที่ 4.13 กราฟพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุ การเพิ่มแรงกด ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 400 °C แสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก ชนิด A มีระยะยวบตัวมากที่สุดซึ่งค่าเท่ากับ 0.84 mm ในขณะที่ผ้าเบรกชนิด B มีระยะยวบตัวระดับปานกลางซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.83 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 1.19% และในขณะที่ผ้าเบรกชนิด C มีระยะยวบตัวน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 0.65 mm โดยมีความแตกต่างกับผ้าเบรกชนิด A เท่ากับ 21.66%

4.3.1.2 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของผ้าเบรกแบบครีมนเบรกและดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C แสดงดังตารางที่ 4.9 ถึง 4.10

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของครีมนเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa

ครีมนเบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยวบ, $\Delta l$ (mm)
A	10.61	1.12
B	11.36	1.09
C	10.54	0.99

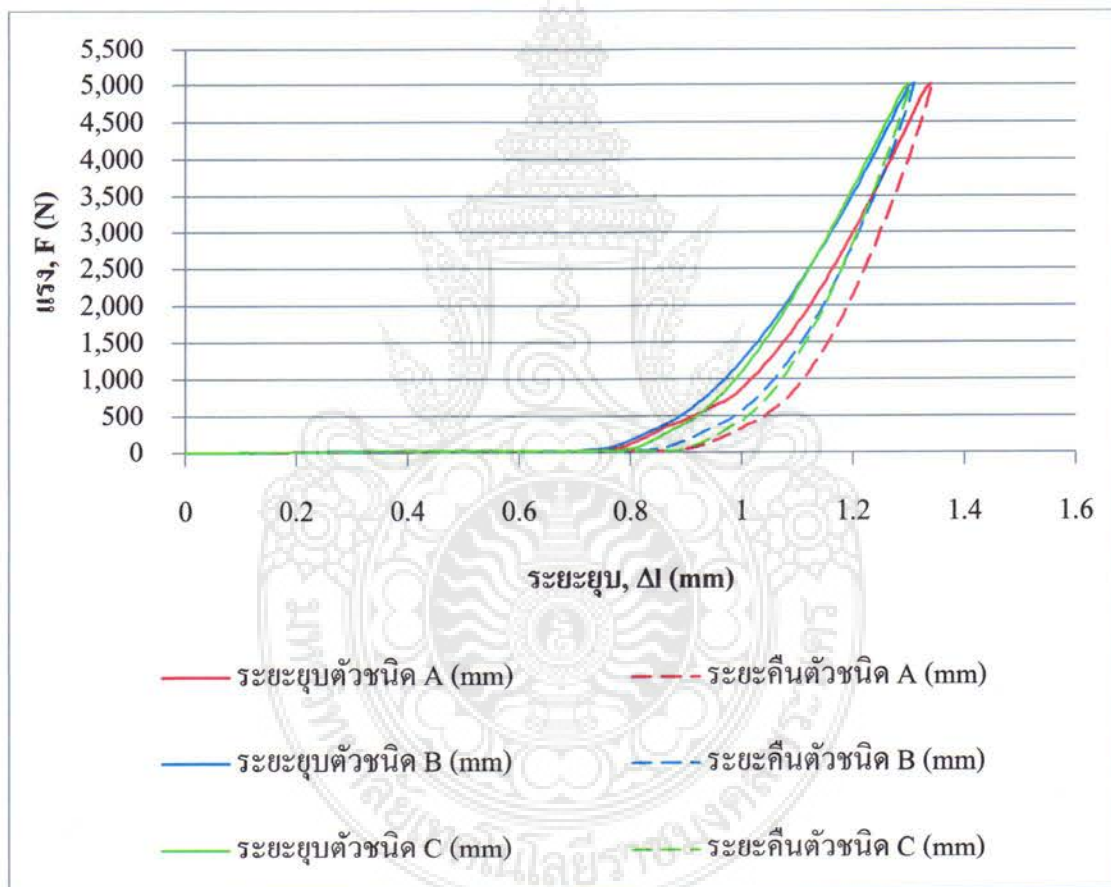


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยวบของผ้าเบรกแบบครีมนเบรกในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C



ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa

ดิสก์เบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยุบ, $\Delta l$ (mm)
A	10.17	1.30
B	10.64	1.27
C	10.91	1.25



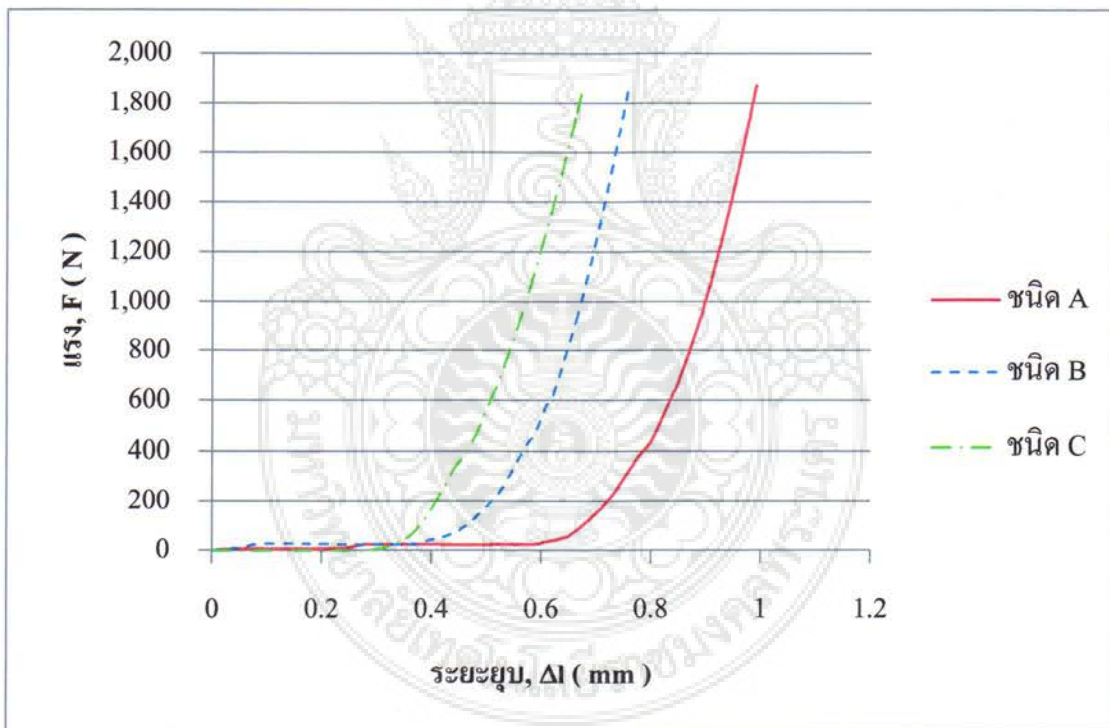
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงให้เห็นว่า ความยืดหยุ่นของผ้าเบรกแบบดิสก์มีพฤติกรรมเดียวกับผ้าเบรกแบบดรัม โดยค่าสูงสุดของระยะยุบตัวของผ้าเบรกชนิด A มีค่าสูงสุดและผ้าเบรกชนิด C มีค่าต่ำสุด ภายใต้แรงกดคงที่

4.3.1.3 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียว ของผ้าเบรกแบบครัมเบรก และดิสก์เบรก ภายใต้อุณหภูมิ 30 °C แสดงดังตารางที่ 4.11 ถึง 4.12

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวของครัมเบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 3.00 MPa

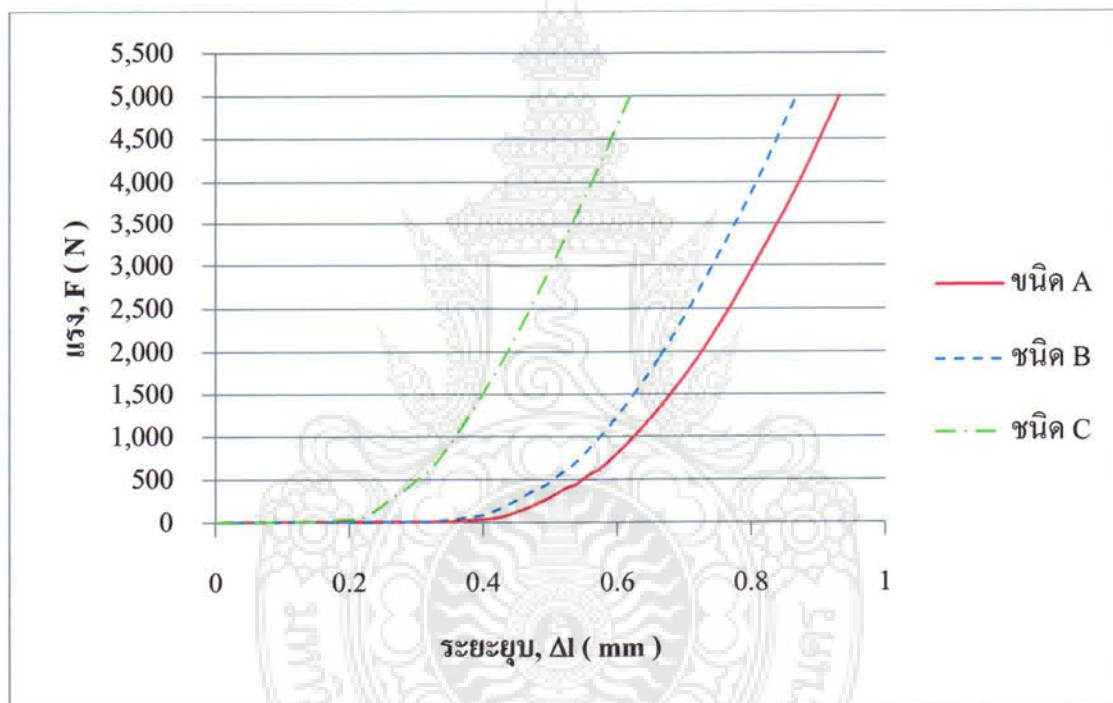
ครัมเบรก	ความหนาเริ่มต้น, $I_0$ (mm)	ระยะยุบ, $\Delta l$ (mm)
A	10.61	0.99
B	11.36	0.75
C	10.54	0.67



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบครัมเบรกในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบพฤติกรรมความยืดหยุ่นในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวของดิสก์เบรกภายใต้อุณหภูมิ 30 °C ที่ความดัน 8.00 MPa

ดิสก์เบรก	ความหนาเริ่มต้น, $l_0$ (mm)	ระยะยุบ, $\Delta l$ (mm)
A	10.91	0.93
B	10.64	0.86
C	10.170	0.47

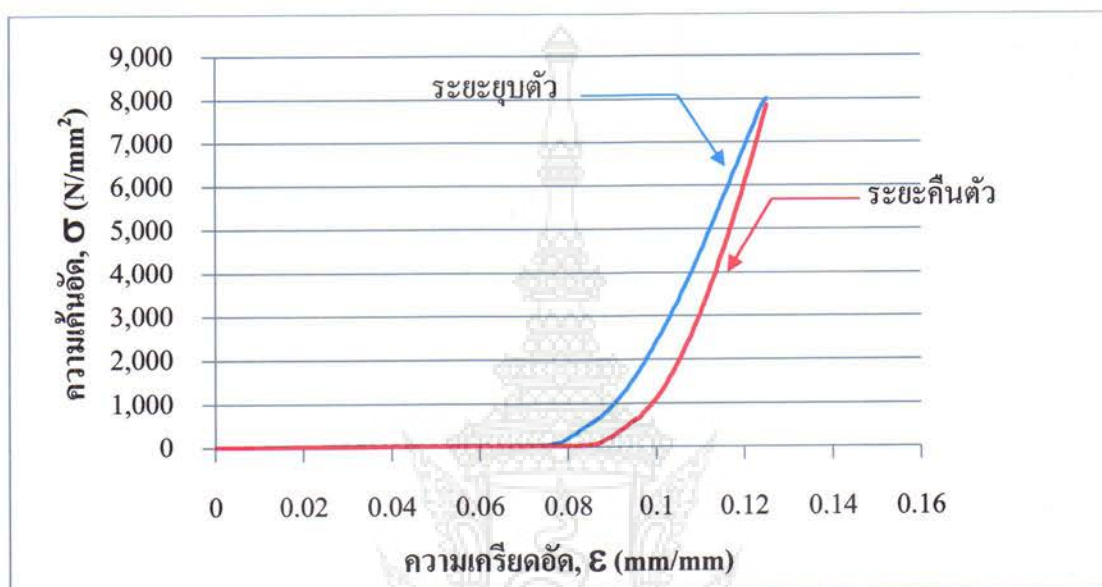


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยุบของผ้าเบรกแบบดิสก์ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวภายใต้อุณหภูมิ 30 °C

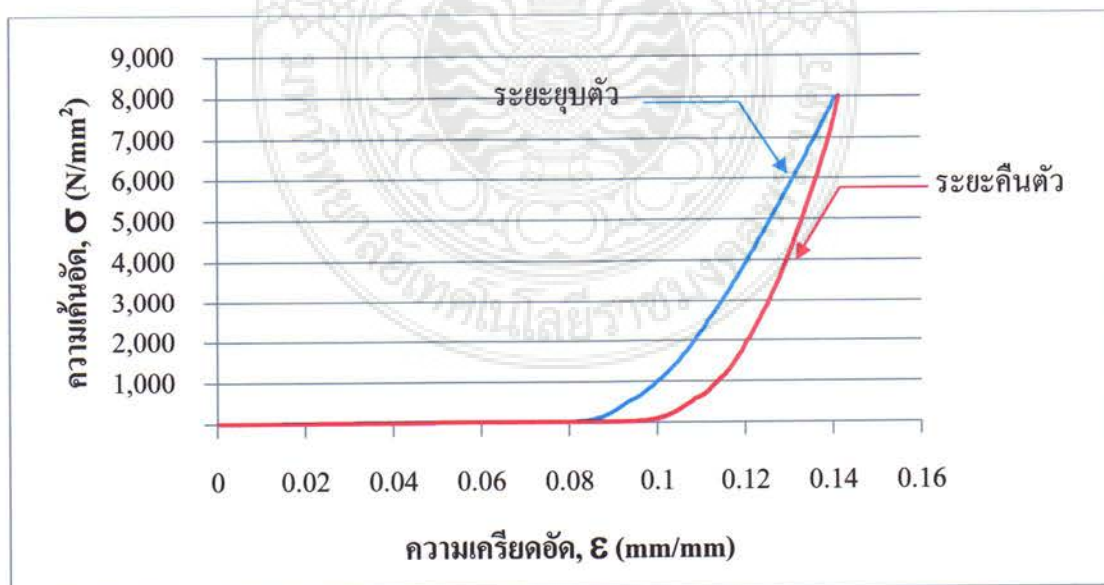
จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 ภายใต้แรงกดคงที่ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบขั้นเดียวพบว่าทั้งในกรณีดรัมเบรกและดิสก์เบรก ค่าระยะการยุบตัวต่ำสุดเป็นของผ้าเบรกชนิด C ในขณะที่ระยะยุบตัวของผ้าเบรกชนิด A มีค่าสูงสุด ซึ่งค่าระยะการยุบตัวของผ้าเบรกดังกล่าวส่งผลให้พฤติกรรมความยืดหยุ่นของผ้าเบรกชนิด C มีค่าสูงที่สุด

#### 4.3.2 ผลการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ

สำหรับพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุทั้ง 3 ชนิด (A, B และ C) พิจารณาจากความเค้นอัดและความเครียดอัด อันเป็นผลมาจากระยะยุบตัวและระยะคืนตัว ด้วยเงื่อนไขการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิ 30, 200 และ 400 °C

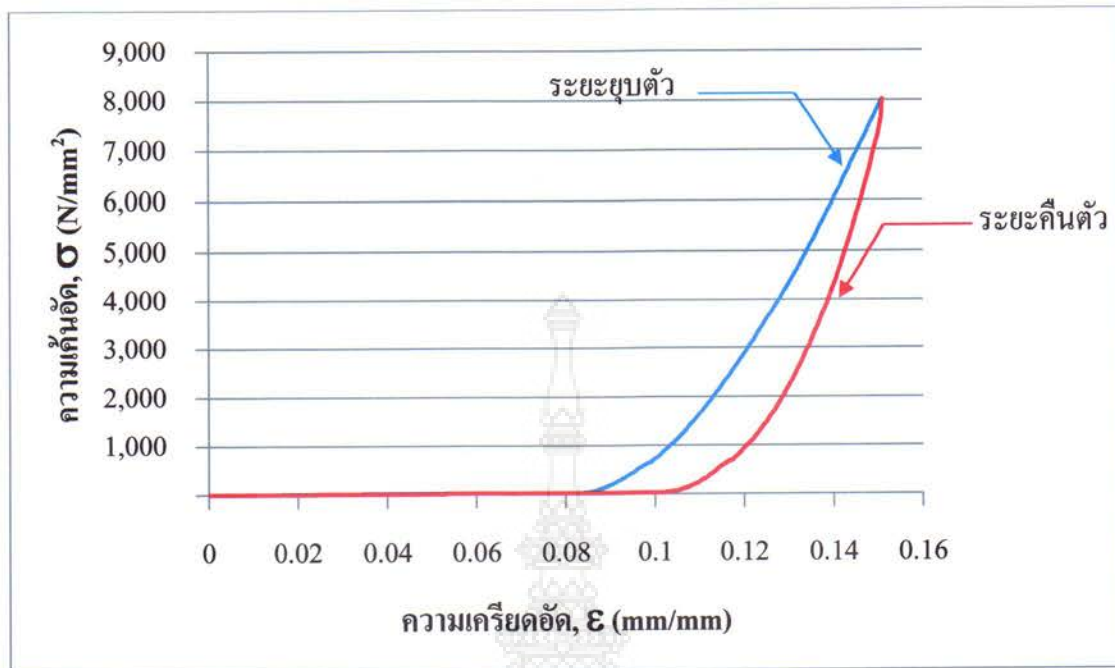


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด A



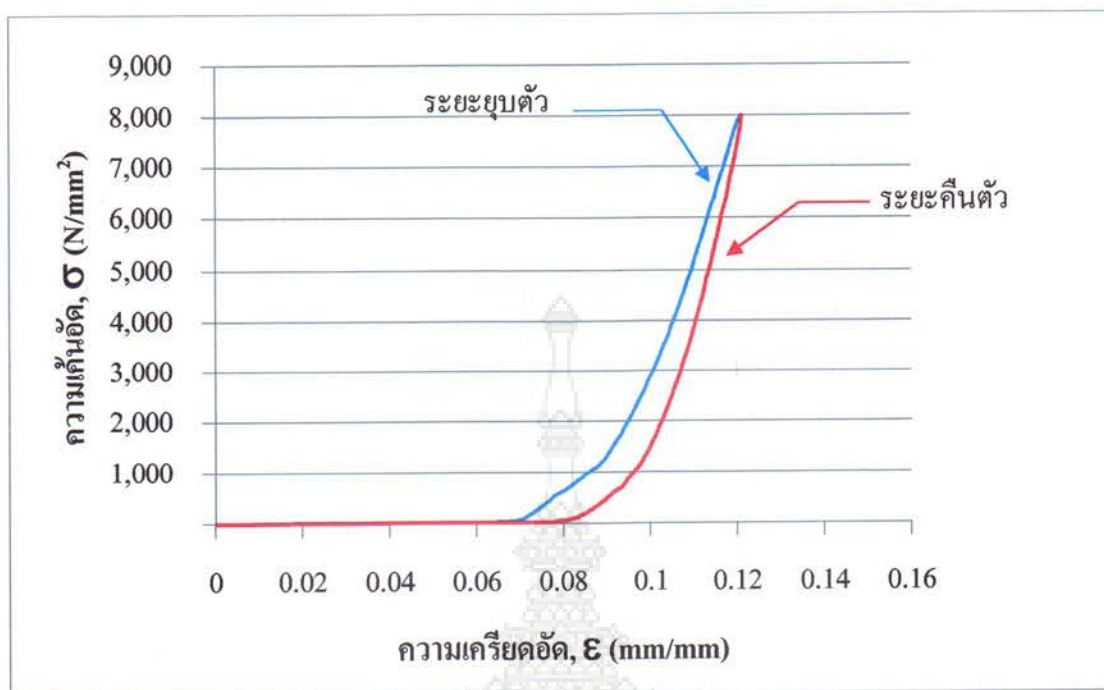
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด A



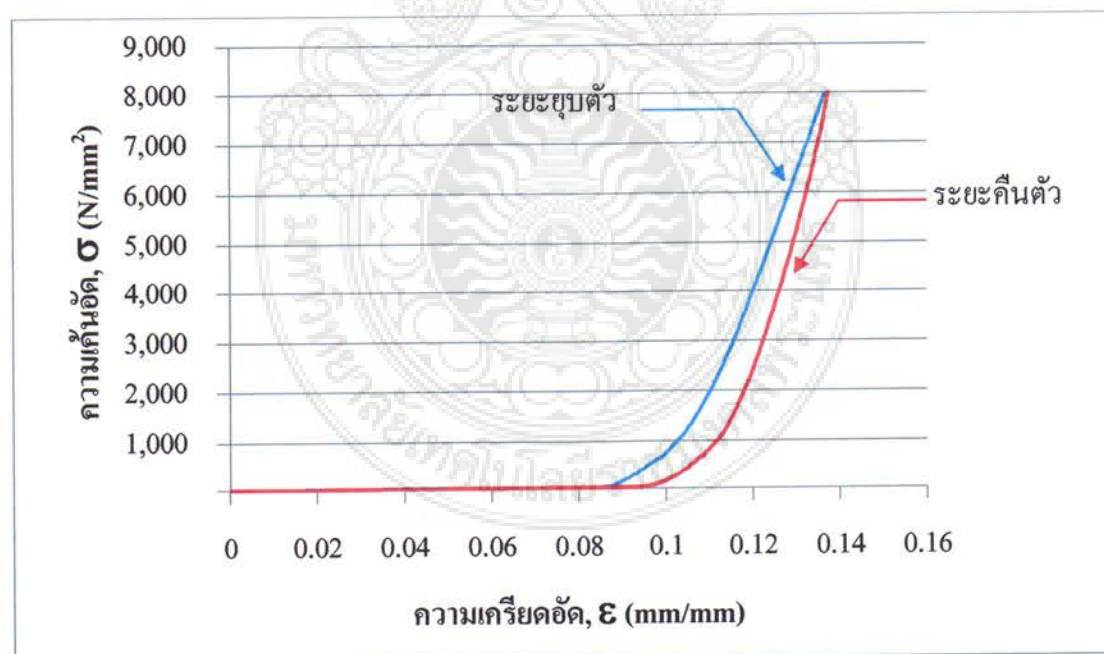


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรกชนิด A

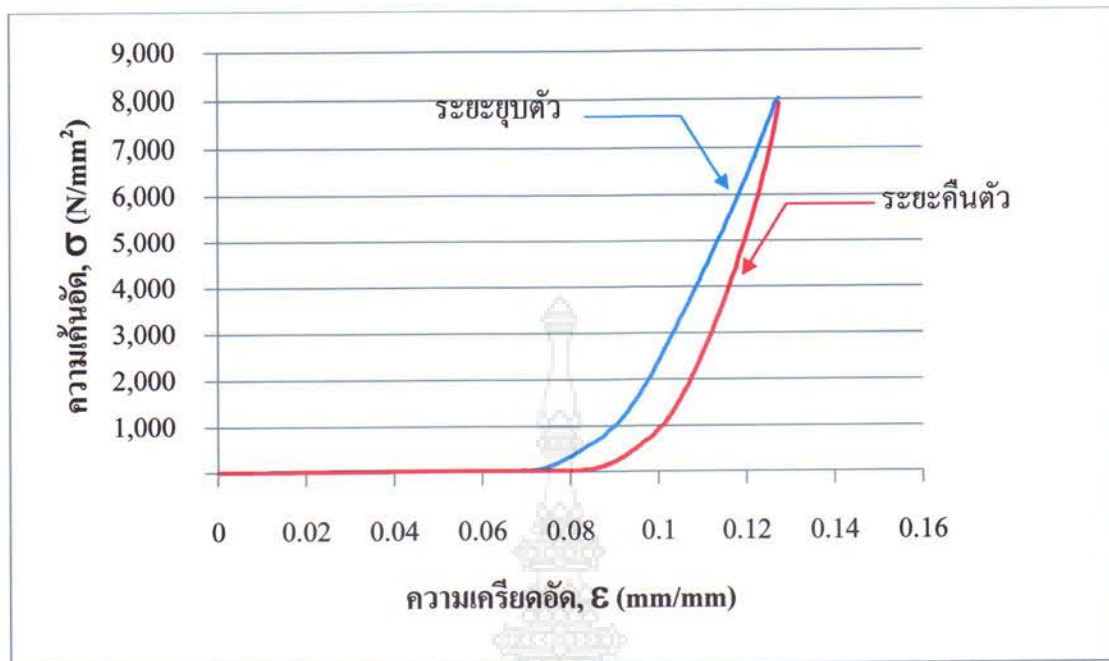
จากรูปที่ 4.20 ถึง 4.22 กราฟแสดงพฤติกรรมของพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร ของผ้าเบรกแบบดิกส์ชนิด A ภายใต้ความเค้นอัดของการทดสอบคงที่ที่ 8,000 N/mm<sup>2</sup> ส่งผลให้ค่าความเครียดอัดสูงสุด ระดับปานกลาง และต่ำสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 400, 200 และ 30 °C ตามลำดับ ดังนั้นส่งผลให้ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรเกิดขึ้นมากที่สุด และน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 400 และ 30 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด B

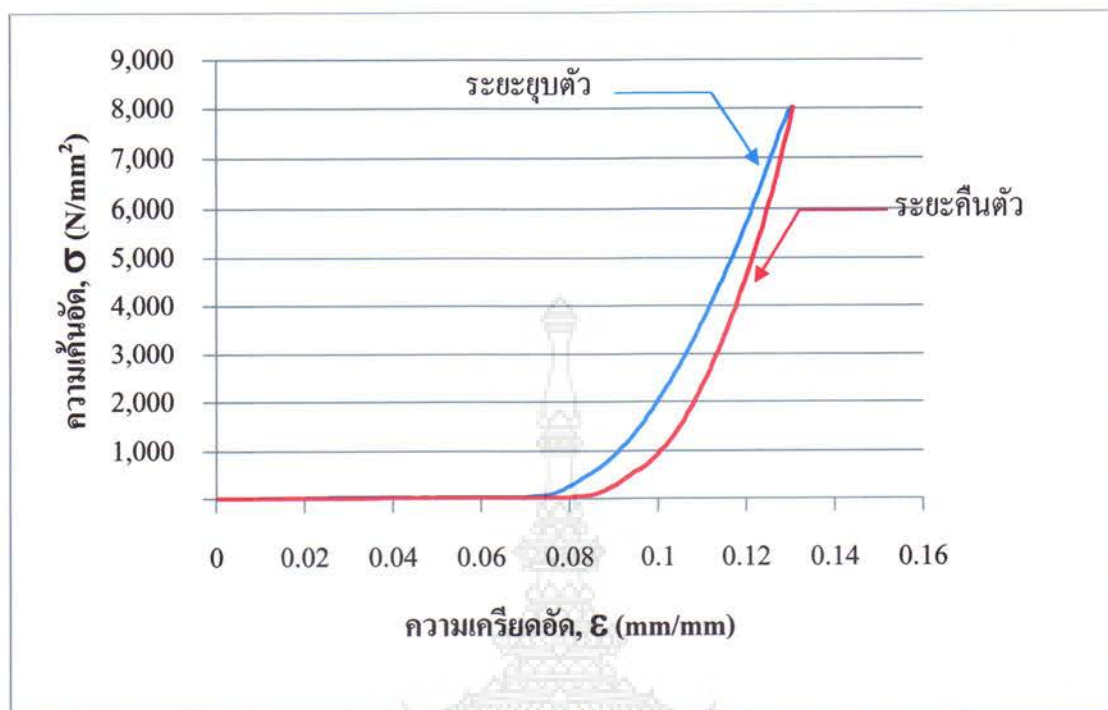


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด B

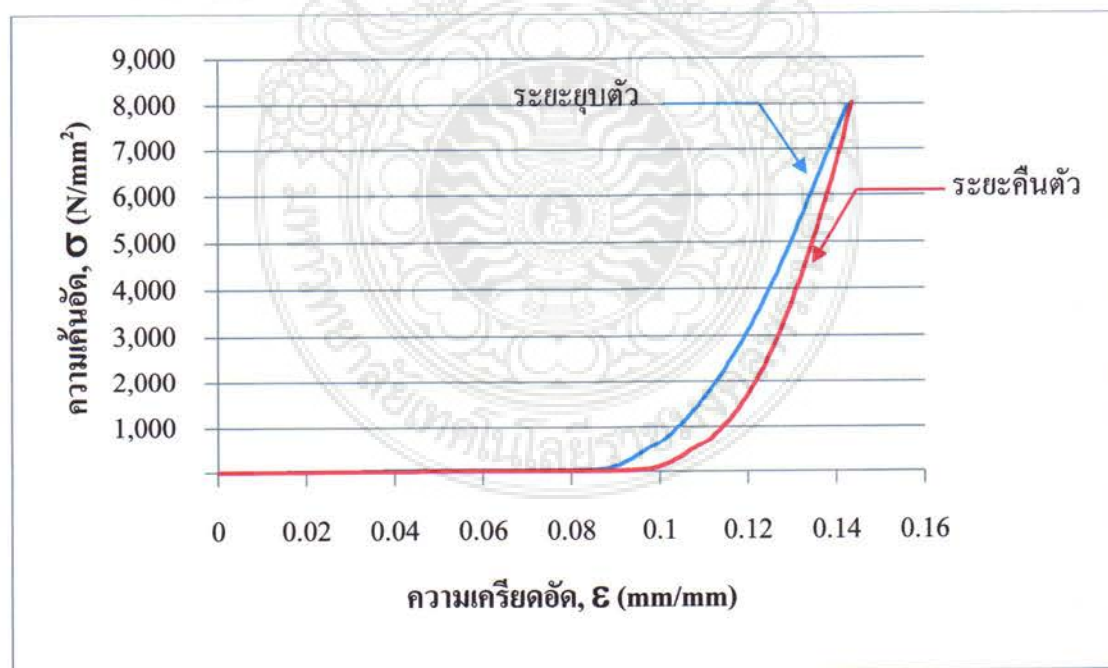


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรคภายใต้ อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรคชนิด B

สำหรับค่าความเครียดของผ้าเบรคชนิด B ที่อุณหภูมิ 400 °C มีค่าสูงสุด ดังรูปที่ 4.25 ดังนั้น ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรมีค่าสูงสุดตามไปด้วย ในทางกลับกันตามรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าค่าต่ำสุดของความเครียดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งส่งผลให้พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรมีค่าต่ำสุดอีกด้วย

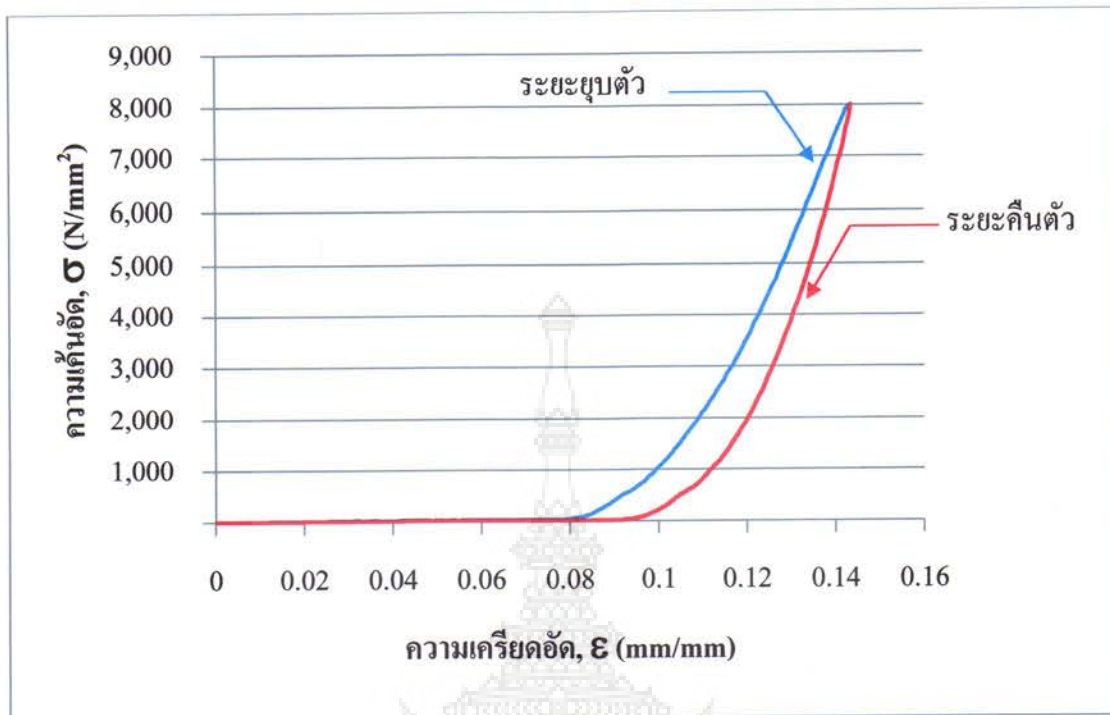


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 30 °C ของผ้าเบรกชนิด C



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดของผ้าเบรกภายใต้ อุณหภูมิ 200 °C ของผ้าเบรกชนิด C





รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นอัดและความเครียดอัดของผ้าเบรคภายใต้ อุณหภูมิ 400 °C ของผ้าเบรคชนิด C

ผลการทดสอบของผ้าเบรคชนิด C ตามรูปที่ 4.26 ถึง 4.28 พบว่าค่าความเครียดอัดที่ อุณหภูมิ 400 °C มีค่าสูงสุดในขณะที่ค่าต่ำสุดของความเครียดอัดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 30 °C ซึ่งสรุปได้ ว่าค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรคชนิด C นี้ มีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่อุณหภูมิ 400 °C และ 30 °C ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 สรุปผลการทดสอบพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของผ้าเบรกชนิดต่างๆในสภาวะการเปลี่ยนแปลงความดันแบบวนซ้ำภายใต้อุณหภูมิต่างๆ

ดิสก์เบรก	ส่วนประกอบของผ้าเบรกโดยประมาณ (%)				อุณหภูมิ (°C)	พลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตร (J/mm <sup>3</sup> )
	ไฟเบอร์	สารหล่อลื่น	เหล็ก, ทองแดง	อื่นๆ		
ชนิด A	2	10	5	83	30	0.44
					200	0.69
					400	0.85
ชนิด B	15	15	6	64	30	0.42
					200	0.46
					400	0.57
ชนิด C	18	13	15	54	30	0.47
					200	0.50
					400	0.62

การพิจารณาพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรใช้ระบบการคำนวณตามระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม (NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING) [4] โดยผลของพลังงานภายในจากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่อุณหภูมิ 30°C ผ้าเบรกชนิด B มีค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูงสุด ส่วนพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรต่ำสุดเป็นของผ้าเบรกชนิด A ในกรณีของการทดสอบที่อุณหภูมิ 200 °C ค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรต่ำสุดและสูงสุดเป็นของผ้าเบรกชนิด B และ A ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดของการทดสอบที่ 400 °C เปิดเผยให้เห็นว่า ผ้าเบรกชนิด A และผ้าเบรกชนิด B มีค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรสูงสุดและต่ำสุดตามลำดับ

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาแนวทางการทดสอบพฤติกรรมผ้าเบรกภายใต้สภาวะการรับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ พฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุจะเปลี่ยนไปตามการเพิ่มแรงกดภายใต้การควบคุมอุณหภูมิแบบคงที่ 30, 200 และ 400 °C

นอกจากนี้การหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรกที่ได้ จากการทดสอบพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความยืดหยุ่น และพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุอย่างมาก

ในขณะที่การเปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ของค่าคุณสมบัติทางกลจากส่วนผสมผ้าเบรกที่ต่างกัน ภายใต้ขั้นตอนการทดสอบบางส่วนที่อ้างอิงจากมาตรฐาน JIS D 4413 พบว่าเมื่อวัสดุได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 30, 200 และ 400 °C พฤติกรรมความยืดหยุ่นของวัสดุจะเปลี่ยนไปตามการเพิ่มแรงกด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผ้าเบรกแบบดิสก์เบรก และดรัมเบรก ชนิด A มีระยะขยุบตัวมากที่สุด ในขณะที่เดียวกันผ้าเบรกชนิด B มีระยะขยุบตัวระดับปานกลาง และผ้าเบรกชนิด C มีระยะขยุบตัวน้อยที่สุด

จากผลการสำรวจปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกล ยังสามารถสะท้อนให้เห็นว่าสารหล่อลื่นส่งผลกระทบต่อแปรผันผกผันกับค่าพลังงานภายในต่อหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิกงที่

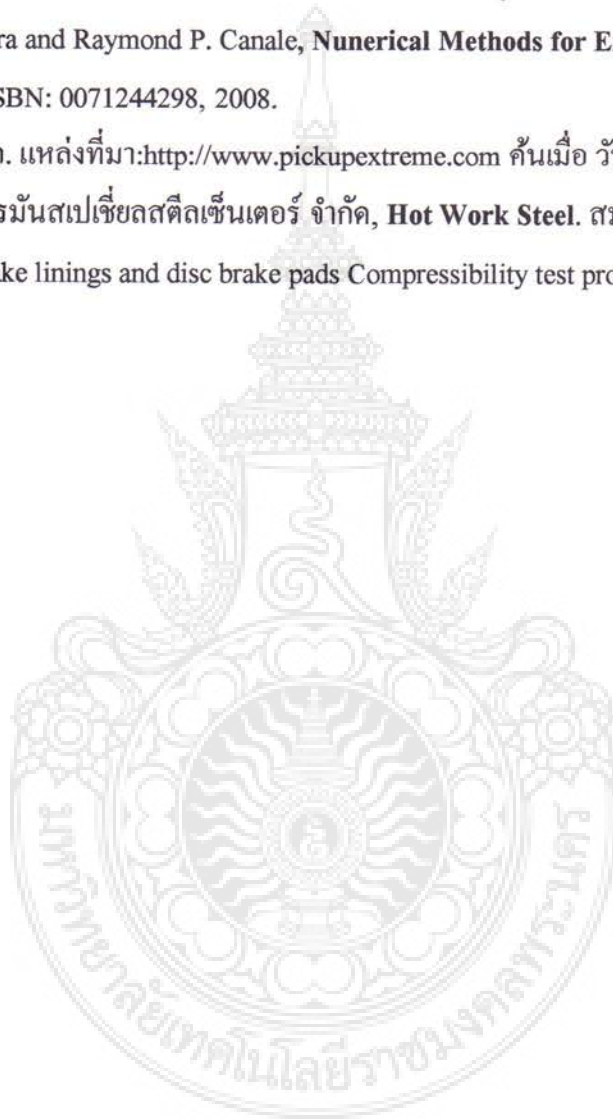
#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเปลี่ยนชุดให้ความร้อนเป็นแบบขดลวดเพื่อให้ค่าความร้อนคงที่

5.2.2 เพื่อความแม่นยำของผลการทดสอบ พื้นที่สัมผัสของวัสดุทดสอบควรเรียบ

## บรรณานุกรม

- [1] มนตรี พิรุณเกาตร. การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2548.
- [2] สายสุนีย์ พุทธาครุเจริญ. ชลศาสตร์. กรุงเทพฯ: ไลบรารี, 2546.
- [3] สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์. กลศาสตร์ของแข็ง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2544.
- [4] Steven C. Chapra and Raymond P. Canale, **Nunerial Methods for Engineeers** 6<sup>th</sup> Edition McGraw-Hill, ISBN: 0071244298, 2008.
- [5] เรื่องของผ้าเบรก. แหล่งที่มา:<http://www.pickupextreme.com> ค้นเมื่อ วันที่ 2 ธันวาคม, 2553.
- [6] บริษัท ไทย-เยอรมันสเปเชียลสตีลเซ็นเตอร์ จำกัด, **Hot Work Steel**. สมุทรปราการ, 2534.
- [7] JIS D 4413: Brake linings and disc brake pads Compressibility test procedure, 1998.





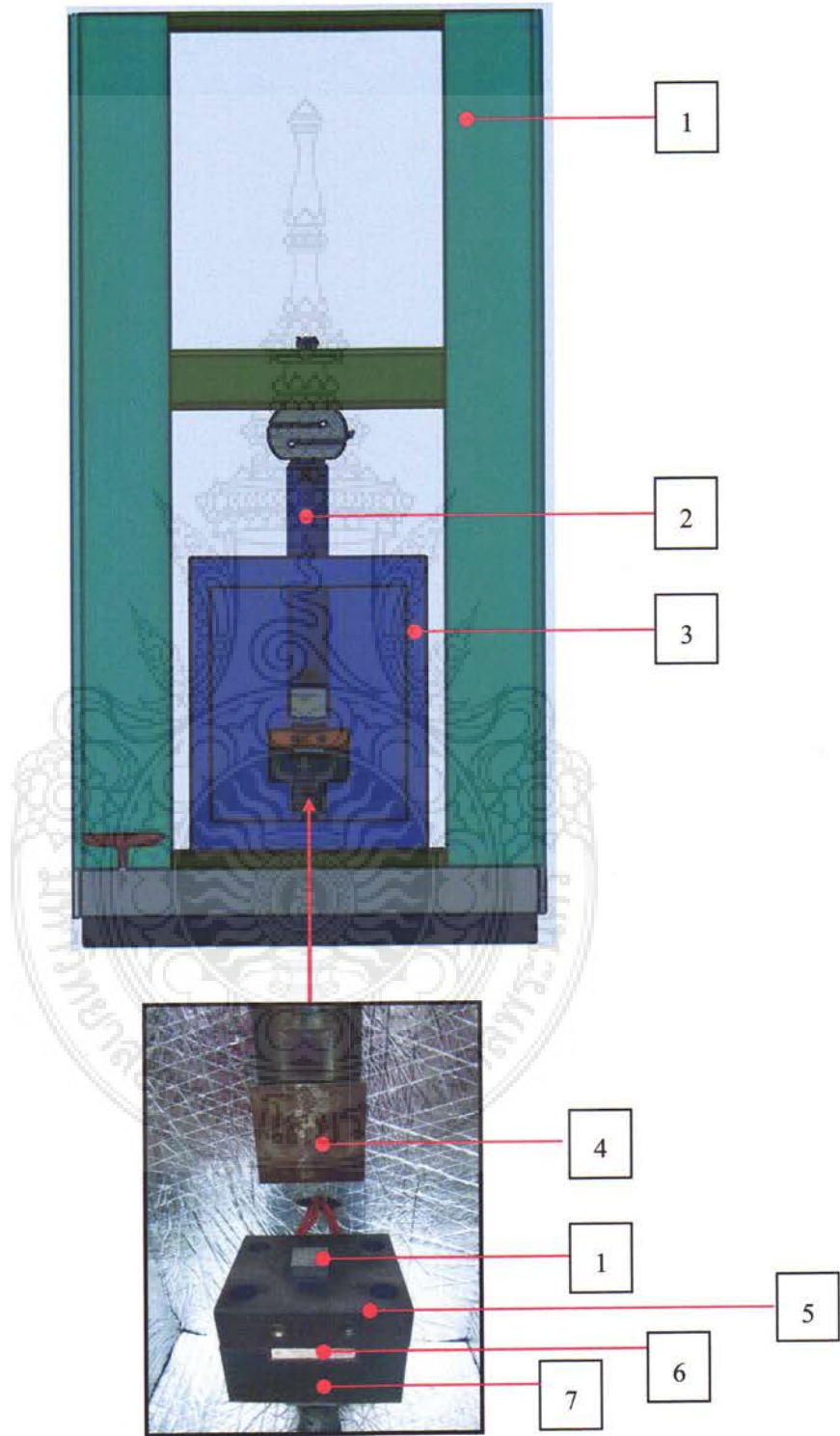
ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.  
คู่มือการใช้งานเครื่อง



คู่มือการใช้งานเครื่อง  
ส่วนประกอบ



อธิบายตำแหน่งต่างๆ ของชุดทดสอบ

หมายเลข	ส่วนประกอบ
1	เครื่องทดสอบ
2	แท่นกดวัสดุ
3	กล่องครอบวัสดุ
4	หัวกดชิ้นงาน
5	แผ่นรองรับวัสดุ
6	ฉนวน
7	ฐานรองรับวัสดุ
8	วัสดุที่ทำการทดสอบ





## วิธีการใช้งาน

1. เตรียมเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางกลของผ้าเบรก
2. ติดตั้งกล่องครอบวัสดุกับเครื่องทดสอบ
3. ติดตั้งโหลดเซลเข้ากับแท่งกวดวัสดุ
4. ติดตั้งหัวกวดวัสดุเข้ากับแท่งกวดวัสดุ
5. ติดตั้งฐานรองรับวัสดุ
6. ติดตั้งฉนวนเข้ากับแผ่นรองฉนวน
7. ติดตั้งแผ่นรองรับวัสดุและต่อสายสายไฟเข้ากับชุดกำเนิดความร้อน
8. ป้อนคำสั่งการกดด้วยโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์
9. ตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ ก่อนเริ่มทำการทดสอบ
10. ทำการทดสอบตามตารางการทดสอบ (4.1 และ 4.2)
11. บันทึกค่าที่ได้จากการทดลอง
12. เมื่อทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ปิดสวิตซ์ OFF ที่เครื่องทดสอบและชุดกำเนิดความร้อน
13. หลังจากการทดสอบควรทำความสะอาดที่แผ่นรองรับวัสดุทุกครั้ง

## ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่
2. ก่อนการใช้งานควรปรับ (Stopper) ความสูงของเครื่องทดสอบให้ได้ระดับ
3. ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานไม่ควรเปิดกล่องครอบวัสดุ เพราะอาจเกิดอันตรายได้
4. เมื่อทำการตัดผ้าเบรกควรมีผ้าปิดจมูกทุกครั้ง
5. ควรสวมถุงมือทนความร้อนขณะจับวัสดุ

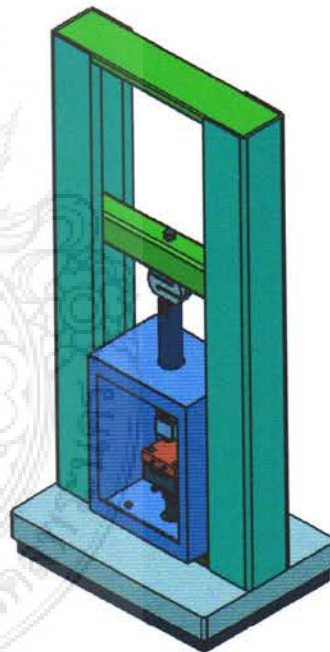
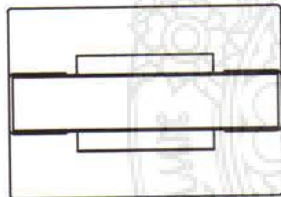
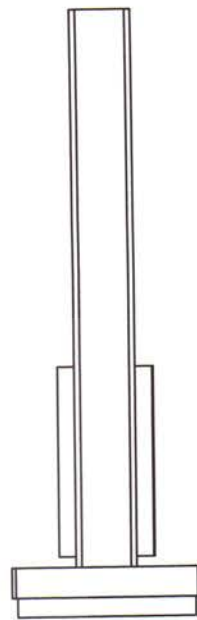
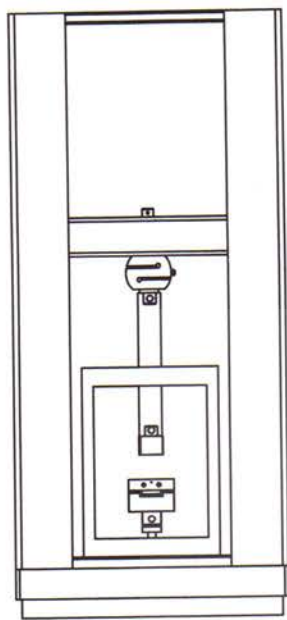
## การบำรุงรักษา

1. ทำความสะอาดและเช็ดโลมน้ำมันบางๆ ที่แผ่นรองรับวัสดุเพื่อป้องกันสนิม
2. ทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้าสะอาดทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จเพื่อป้องกันฝุ่นละออง
3. ควรติดตั้งระบบไฟสำรองทุกครั้งก่อนใช้งาน

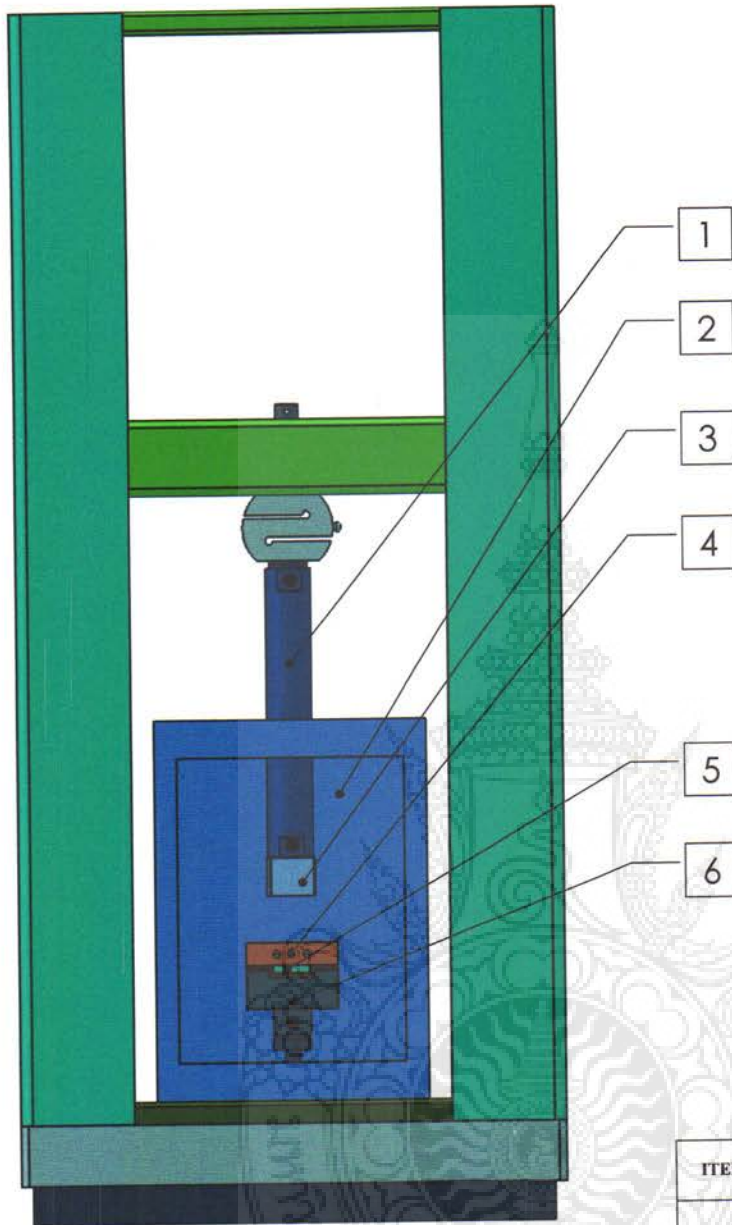
ภาคผนวก ข.

แบบเครื่องทดสอบ

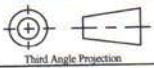




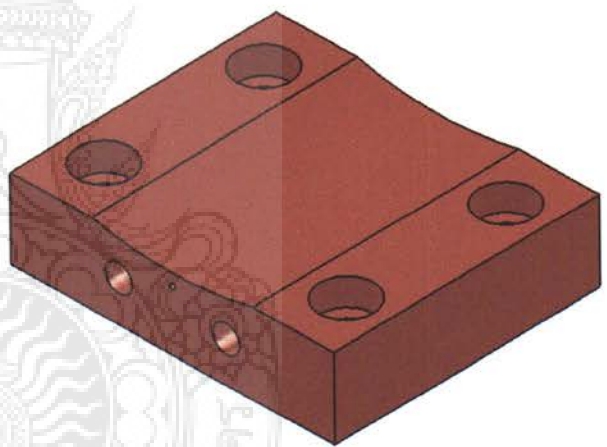
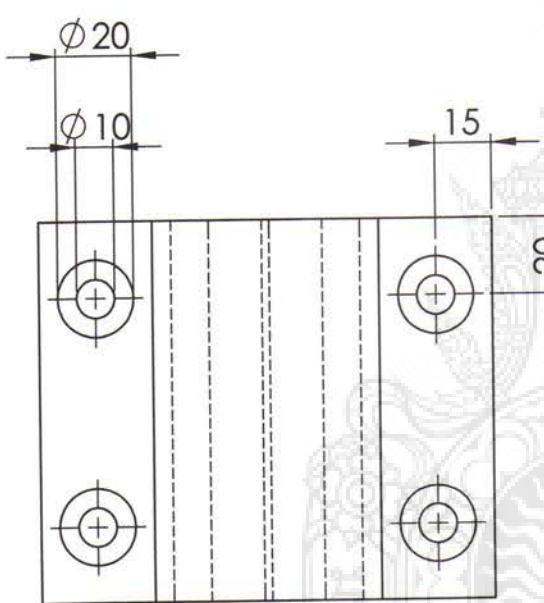
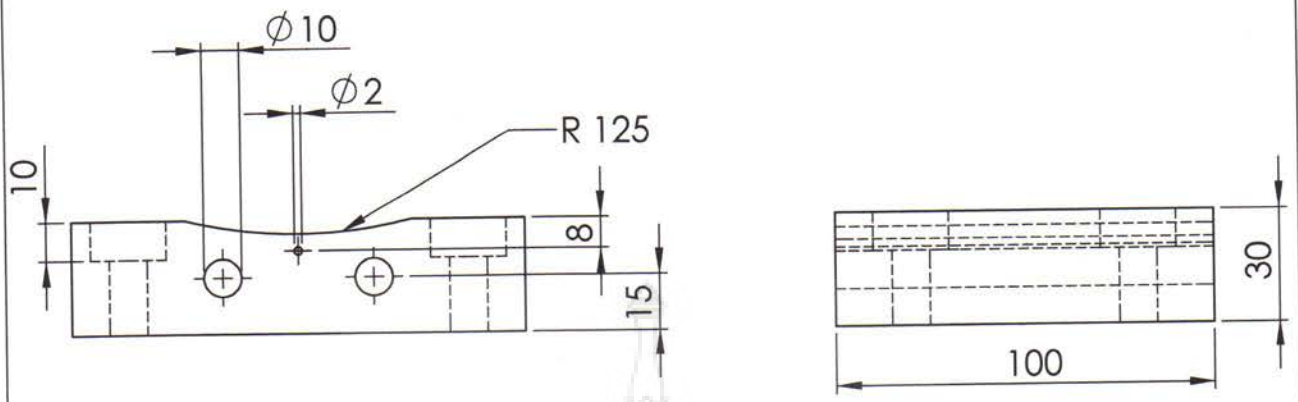
DESIGNER	Ekapot Kahan	22 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON	
DRAW	Ekapot Kahan	22 Dec 2011		
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE : แบบเครื่องทดสอบ	ASSEMBLY : แบบเครื่องทดสอบ
DIMENSION: mm	NAME	DATE	 SCALE : 1:20 SHEET : 1 OF 10	



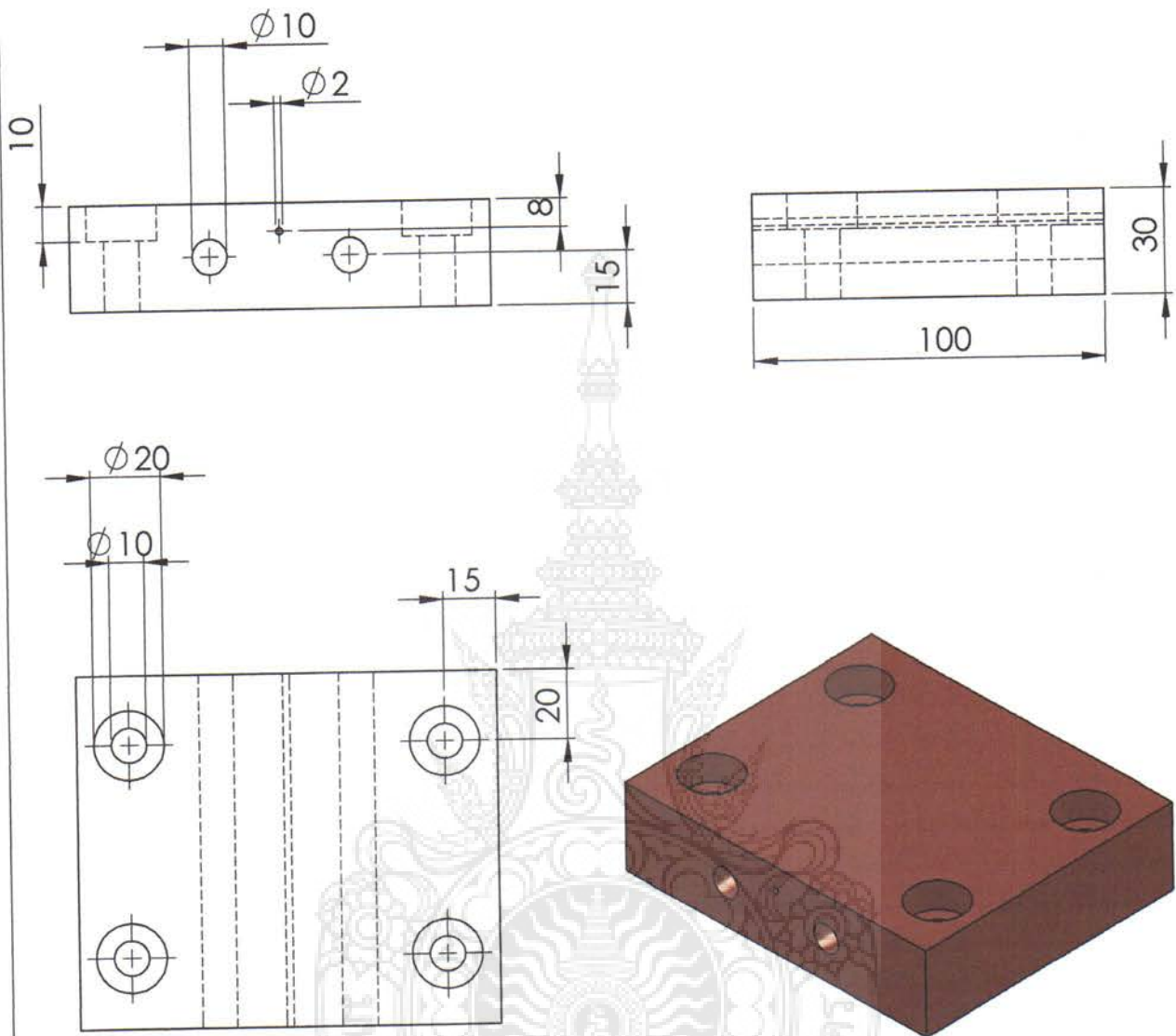
ITEM NO	PARTNAME	QTY
1	แท่นกดวัสดุ	1
2	กล่องครอบวัสดุ	1
3	หัวกดชิ้นงาน	1
4	แผ่นรองรับวัสดุ	1
5	ฉนวน	1
6	ฐานรองรับวัสดุ	1


DESIGNER	Ekapot Kahan	20 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	20 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE : แบบเครื่องทดสอบ	ASSEMBLY : แบบเครื่องทดสอบ	 Third Angle Projection
DIMENSION: mm	NAME	DATE			

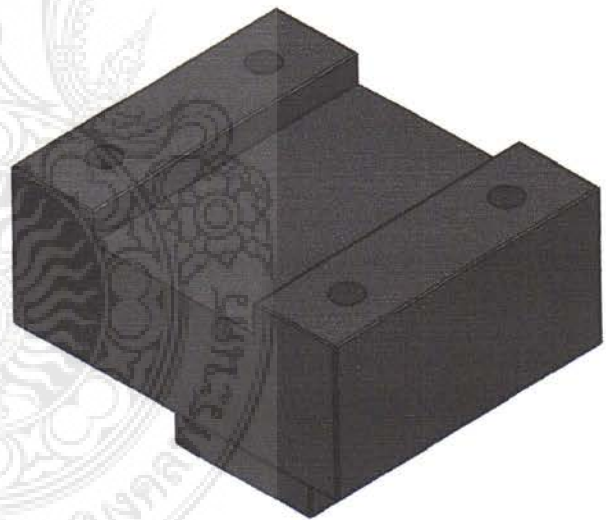
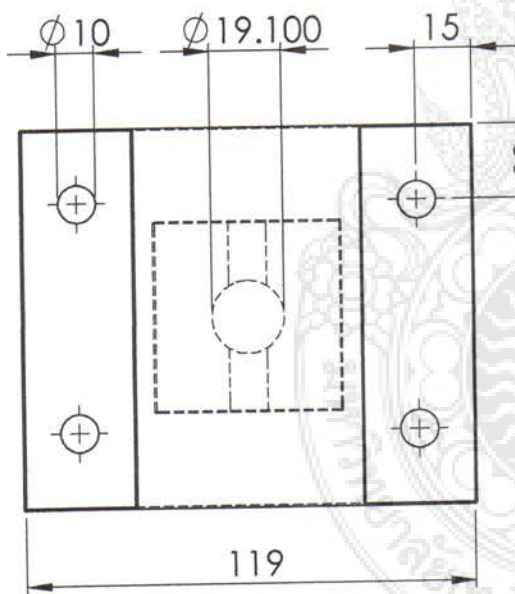
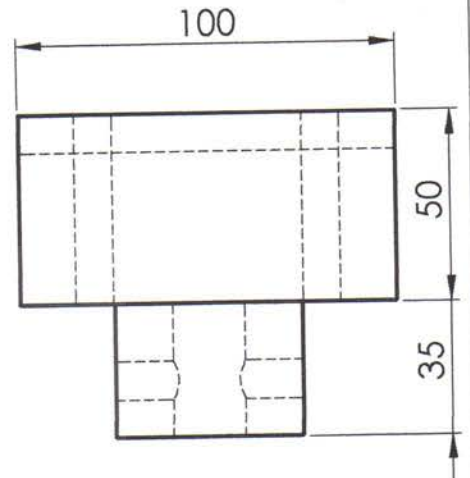
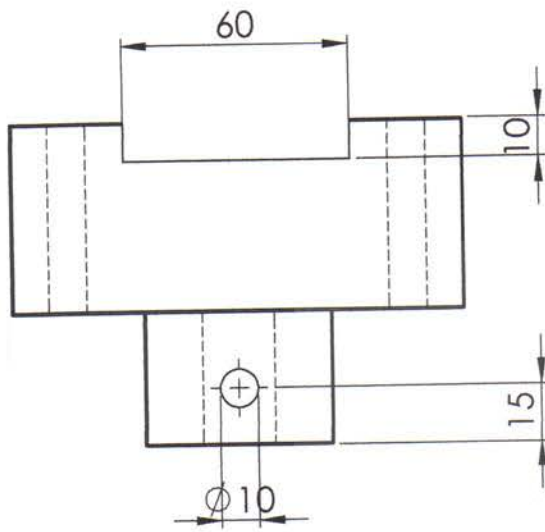




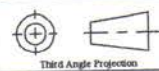
DESIGNER	Ekapot Kahan	22 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	22 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection
DIMENSION: mm	NAME	DATE	แผ่นรองรับวัสดุชนิดครีမ်เบรก	แผ่นรองรับวัสดุชนิดครีမ်เบรก	



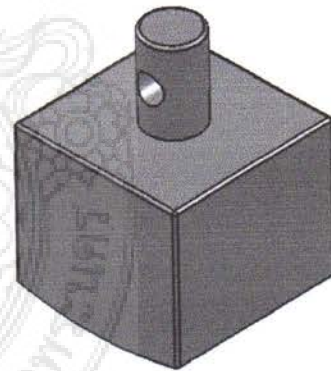
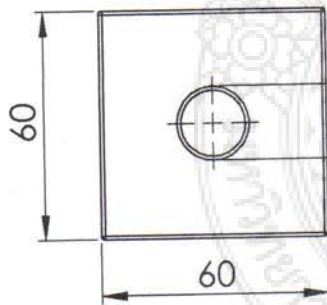
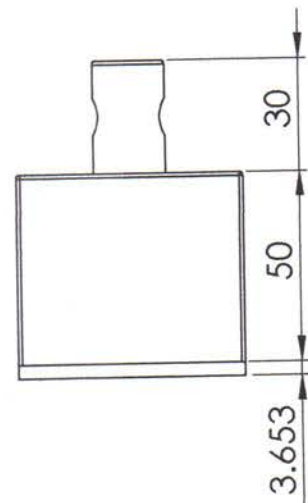
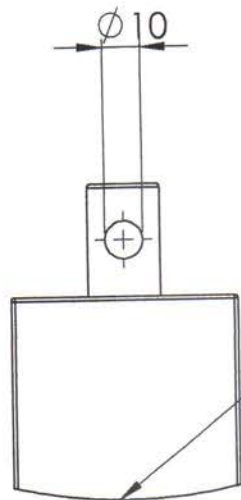
DESIGNER	Ekapot Kahan	22 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	22 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection
DIMENSION: mm	NAME	DATE	แผ่นรองรับวัสดุชนิดตีตักเบรก	แผ่นรองรับวัสดุชนิดตีตักเบรก	



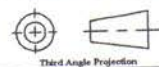
DESIGNER	Ekapot Kahan	21 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	21 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	SCALE : 1:2
DIMENSION: mm	NAME	DATE	แบบฐานรองรับวัตถุ	แบบฐานรองรับวัตถุ	SHEET : 5 OF 10



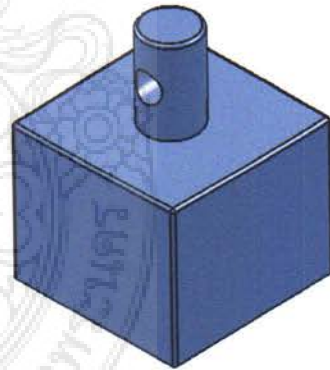
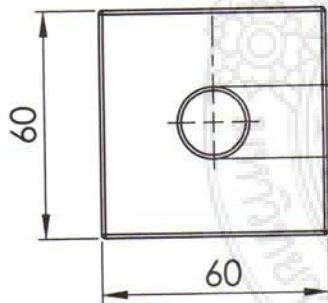
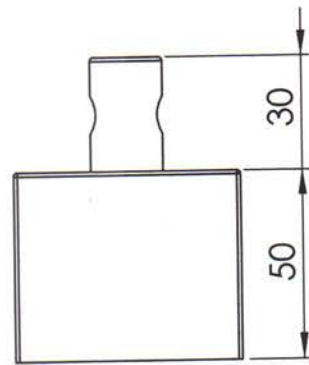
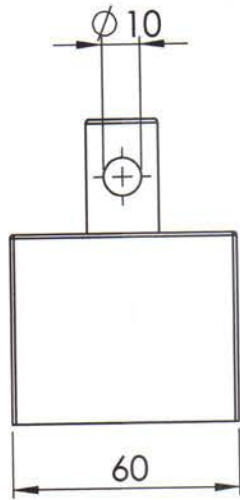
Third Angle Projection

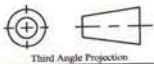


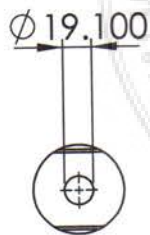
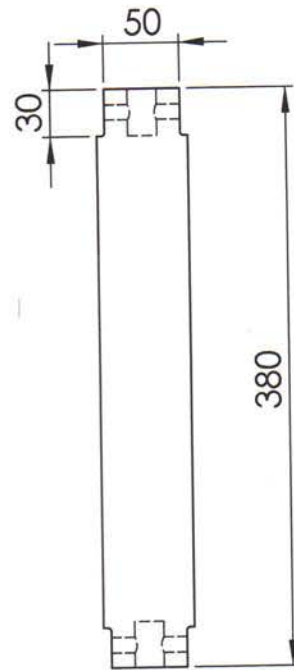
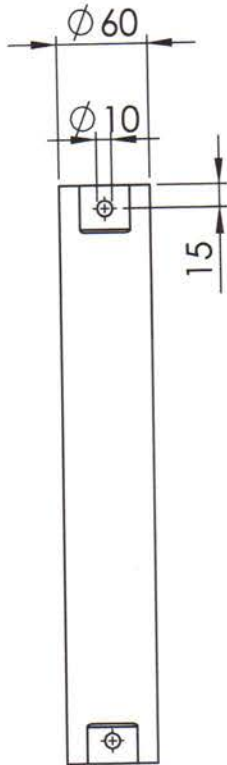
DESIGNER	Ekapot Kahan	21 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	21 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	SCALE : 1:2
DIMENSION: mm	NAME	DATE	หัวกดวัสดุแบบครึ่งมรก	หัวกดวัสดุแบบครึ่งมรก	SHEET : 6 OF 10

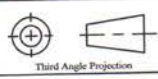


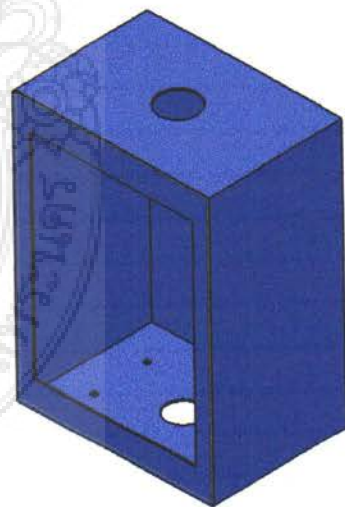
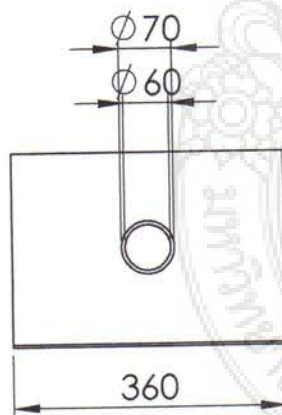
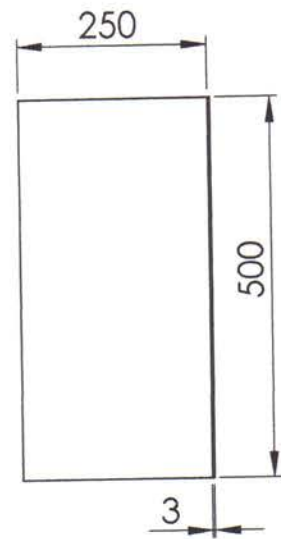
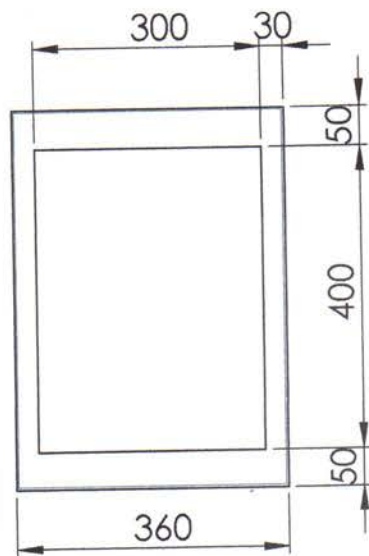





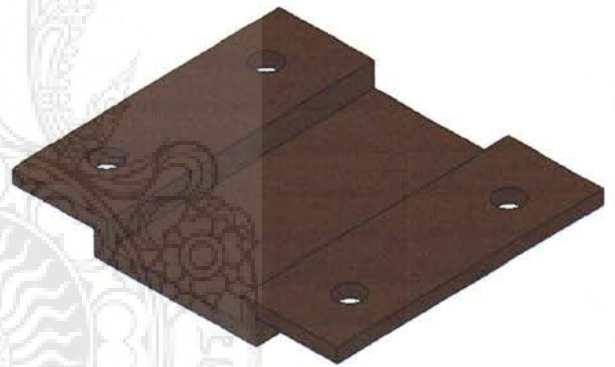
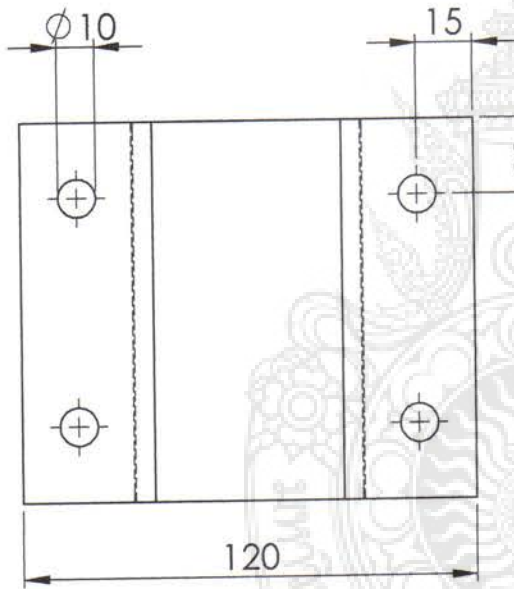
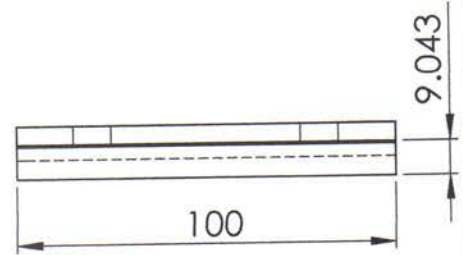
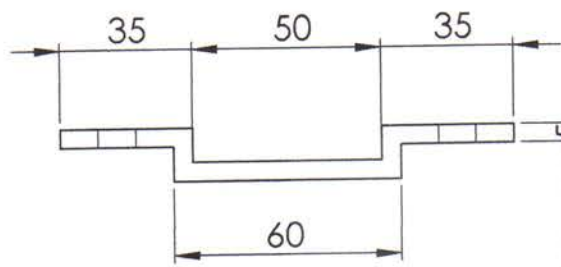
DESIGNER	Ekapot Kahan	21 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	21 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection
DIMENSION: mm	NAME	DATE	หัวกดวัสดุแบบดัดกับบรอก	หัวกดวัสดุแบบดัดกับบรอก	

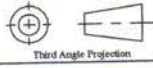


DESIGNER	Ekapot Kahan	21 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	21 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection
DIMENSION: mm	NAME	DATE	แบบแท่นควัด	แบบแท่นควัด	



DESIGNER	Ekapot Kahan	21 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	21 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection
DIMENSION: mm	NAME	DATE	แบบกล่องครอบวัตถุ	แบบกล่องครอบวัตถุ	
					SCALE : 1:10
					SHEET : 9 OF 10



DESIGNER	Ekapot Kahan	21 Dec 2011	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA - NAKHON		
DRAW	Ekapot Kahan	21 Dec 2011			
APPROVED	Surasak Pajobsuk	22 Dec 2011	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection
DIMENSION: mm	NAME	DATE	แบบแผ่นรองฉนวน	แบบแผ่นรองฉนวน	



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



## ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-นามสกุล	นายสุรศักดิ์ ประจวบสุข
วัน-เดือน-ปีเกิด	30 สิงหาคม 2531
ที่อยู่	74/375 ซอยรามคำแหง 180 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510
ประวัติการทำงาน	-
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนช่างฝีมือปทุมธานี พ.ศ. 2549
ปวส.	สาขาวิชา เทคนิคยานยนต์ โรงเรียนช่างฝีมือปทุมธานี พ.ศ. 2551
วศ.บ.	สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554
โทรศัพท์	08-5147-4702
e-mail	Surasak_529@hotmail.com



## ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-นามสกุล	นายเอกพจน์ คະหาญ
วัน-เดือน-ปีเกิด	10 กรกฎาคม 2531
ที่อยู่	11 หมู่ 1 ต.สะโน อ.สำโรงทาบ จ.สุรินทร์ 32170
ประวัติการทำงาน	บ.สยามอโต้แม่กสยามจำกัด พ.ศ. 2551-2553
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ วิทยาลัยการอาชีพศีขรภูมิ พ.ศ. 2549
ปวส.	สาขาวิชา เทคนิคยานยนต์ โรงเรียนเทคโนโลยียานยนต์ พ.ศ. 2551
วศ.บ.	สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554
โทรศัพท์	08-4355-6876
e-mail	Ekkjeed@hotmail.com



## ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-นามสกุล นายอาพรชัย เกิดทรง  
วัน-เดือน-ปีเกิด 10 เมษายน 2531  
ที่อยู่ 60/8 หมู่6 ต.บางกรวย อ.บางกรวย  
จ.นนทบุรี 11130

ประวัติการทำงาน -

ประวัติการศึกษา

ปวช. สาขาวิชา ช่างยนต์  
โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกล ขส.ทบ. พ.ศ. 2549  
ปวส. สาขาวิชา เทคนิคยานยนต์  
โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกล ขส.ทบ. พ.ศ. 2551  
วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554

โทรศัพท์ 08-6608-5774

e-mail Hengjeed@hotmail.com





ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-นามสกุล นายประทีป ขาวแดง  
วัน-เดือน-ปีเกิด 5 ตุลาคม 2530  
ที่อยู่ 47/398 คอนโดสมชายพัฒนาฯ  
ต.บางกรวย อ.บางกรวย  
จ.นนทบุรี 11130  
ประวัติการทำงาน -  
ประวัติการศึกษา  
ปวช. สาขาวิชา ช่างยนต์  
โรงเรียนพระรามหกเทคโนโลยี พ.ศ. 2549  
ปวส. สาขาวิชา เทคนิคยานยนต์  
โรงเรียนพระรามหกเทคโนโลยี พ.ศ. 2552  
วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554  
โทรศัพท์ 08-5116-6686  
e-mail Ta\_marc@hotmail.com

