




เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก
Friction Coefficient of Brake Testing

นายพฤกษ์	โมกไชสง
นายอมรศักดิ์	โพธิ์แก้ว
นายโฆษิต	เชื่อมใจ
นายสุชาครีย์	กันภัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2554

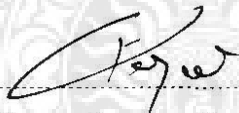
หัวข้อปริญญาพนธ์ เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก
โดย นายพฤทธ์ โมกโชติสง นายอมรศักดิ์ โพธิ์แก้ว
นายโหมยิต เชื้อมใจ และ นายสุชาครีย์ กันภัย
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2554
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุภชัย หลักคำ

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้ปริญญาพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต


..... หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
(อาจารย์พลรัตน์ บุญมี)

คณะกรรมการสอบปริญญาพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์กุลยศ สุวันทโรจน์)


..... กรรมการ
(ว่าที่เรื่อตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิทอง)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์สุภชัย หลักคำ)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก
โดย	นายพฤทธ์ โมกโชติสง นายอมรศักดิ์ โพธิ์แก้ว นายโฆษิต เชื่อมใจ และ นายสุชาครีย์ กัญภัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2554
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ศุภชัย หลีกคำ

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย วัสดุความเสียดทานเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ จึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าในด้านการตรวจสอบผลกระทบต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการผลิตออกมา โดยเฉพาะข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุภายในประเทศไทยอีกทั้งขั้นตอนกระบวนการทดสอบเฉพาะด้านยังไม่ชัดเจน ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดโครงการเครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานขึ้น เพื่อสร้างทางเลือกในการทดสอบวัสดุเสียดทาน

จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการจึงคิดค้นและออกแบบสร้างเครื่องทดสอบวัสดุความเสียดทานตามรูปแบบมาตรฐาน The special test jigs for friction measurements JIS K7125 [2] มาประยุกต์ใช้ร่วมกับมาตรฐาน Clutch facings for automobiles JIS D4311 [3] โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต (μ_s) และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k) ในสถานะอุณหภูมิและภาระน้ำหนักที่แตกต่างกัน และใช้ตัวอย่างผ้าเบรก 3 ชนิด ที่ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท คอมแพ็คอินเตอร์เนชันแนล (1994) จำกัด มาทำการทดสอบและเปรียบเทียบกับผลทดสอบจากเครื่อง Pin on disk ที่ถูกทดสอบโดยบริษัทฯ

จากผลการทดสอบของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด สะท้อนให้เห็นว่าผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทั้ง 2 แบบ มีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดย Pin on disk ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สูงกว่าเครื่อง Friction testing เท่ากับ 19.56% และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีแนวโน้มที่จะแปรผันตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และจะมีความแตกต่างกันมากขึ้นตามลำดับหากอยู่ภายใต้สภาวะความดันสูง

Project Title	Friction coefficient of brake testing
By	Mr.Prueg Mokthaisong. Mr. Amornsak Phokaew. Mr. Kosit Chuamjai and Mr. Suchacree Kunpai
Department	Mechanical Engineering
Academic Year	2011
Project Advisor	Mr. Supachai Lukkum

Abstract

Nowadays, the automotive industry in Thailand has been widely growing. Brake pad is one of the automotive products that play a vital role in automotive industry because it is the most critical security part. Consequently, testing products for quality are extremely requested. However, the precise equipment and function tests which show the real effects are not available enough and cost a lot. Therefore, they cannot response to the deman in the automotive industry development.

In this study, the frictional test jigs for friction measurement JIS K7125 [5] and the clutch facings for automobiles JIS D4311 [6]. A study of the frictional test emphasizes on the static friction (μ_s) and kinetic friction (μ_k) in different condition. There are 3 specimens of brake pad supported by the industry company. These specimens were tested and the results from the pin-on-disk and those from the friction testing were compared.

The results revealed the correspondence of the two-sided results but the pin-on-disk's friction coefficient is more than the friction testing's friction coefficient by 19.56%. Moreover, the coefficient of friction varies according to the temperature Besides, the static friction (μ_s) is likely more than kinetic friction (μ_k) and tends to differ considerably under high pressure condition.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ โดยได้รับการสนับสนุนและได้รับคำปรึกษาจากอาจารย์ ศุภชัย หลักคำ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร โดยให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ ตลอดจนควบคุมการทำโครงการจนประสบความสำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบปริญญาบัตรที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของโครงการรวมทั้งบุคคลที่ปรากฏตามรายการอ้างอิงที่ผู้ทำโครงการใช้อ้างอิง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านรวมทั้งเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความสะดวกต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้ทำโครงการขอมอบเป็นกตัญญูตาบูชาแด่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายพฤษ์	โมกไชสง
นายอมรศักดิ์	โพธิ์แก้ว
นายโฆษิต	เชื้อมใจ
นายสุชาครีย์	กันภัย

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 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก	4
2.2 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องทดสอบ	7
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	12
3 การดำเนินงานและการสร้าง	15
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	15
3.2 คำนวณข้อมูลและการออกแบบ	16
3.3 การดำเนินการสร้าง	17
4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	28
4.1 การเตรียมการทดลอง	28
4.2 วิธีการทดลอง	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.3 ผลการทดลอง	36
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	44
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ	45
5.3 ข้อเสนอแนะ	45
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้เครื่องทดสอบ	47
ภาคผนวก ข แบบเครื่องทดสอบ	51
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	67



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าความปลอดภัย	12
3.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กฉากตามมาตรฐาน JIS SS-400	24
4.1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละสูตร	30
4.2 รายการทดลอง	30
4.3 สภาวะและรายละเอียดการทดลอง	36
4.4 ผลการทดลองเนื่องจากความดันของผ้าเบรกสูตร A สูตร B และสูตร C	43



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์	1
2.1 ระบบการรองรับของคานแบบง่าย	9
2.2 แรงกระจายสม้ำเสมอ	9
2.3 Simply supported beam มีแรงแบบจุดกระทำตรงกลาง	9
2.4 Simply supported beam มีแรงแบบจุดกระทำแต่ไม่อยู่ตรงกลาง	10
2.5 การเคลื่อนที่ของวัตถุ	12
2.6 แรงเสียดทาน	13
2.7 ลักษณะของผิวสัมผัส	13
2.8 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบ	14
2.9 กราฟที่ได้จากเครื่องทดสอบ (Universal Test Machine)	14
3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	15
3.2 แบบมาตรฐาน JIS K7125	17
3.3 เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก	17
3.4 แผ่นระนาบทดสอบ	18
3.5 ชุดให้ความร้อน	18
3.6 โครงสร้างเครื่องทดสอบ	19
3.7 แรงแบบจุดกระทำแต่ไม่อยู่ตรงกลาง	20
3.8 แรงแบบจุดกระทำอยู่ตรงกลาง	22
3.9 เหล็กฉากที่ใช้ทำโครงสร้าง	23
3.10 ชุดจับยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องดึง	25
3.11 ชุดควบคุมอุณหภูมิของระบบให้ความร้อน	25
3.12 ก้อนมวล	26
3.13 ชุดแผ่นยึดชิ้นทดสอบ	26
3.14 ฝาครอบกันความร้อน	27
4.1 การติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องดึง	28
4.2 การปรับระดับขาเครื่องทดสอบ	29
4.3 ชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบขนาด 1"×1"	29
4.4 ปลั๊กไฟ 3 เฟสของเครื่องทดสอบ	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 การปรับอุณหภูมิ	31
4.6 การเขียนคำสั่งการดึงจากคอมพิวเตอร์	32
4.7 การติดตั้งชิ้นงานทดสอบ	32
4.8 การติดตั้งลวดดึงกับชุดโพลดเซลล์	33
4.9 วางก้อนมวลขนาด 30 กิโลกรัม	33
4.10 การวัดอุณหภูมิบนแผ่นระนาบตามจุดต่างๆ	34
4.11 การดึงโดยควบคุมจากคอมพิวเตอร์	34
4.12 บันทึกผลการทดลองในคอมพิวเตอร์	35
4.13 การเพิ่มก้อนมวล 60 kg และ 100 kg	35
4.14 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร A	37
4.15 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร B	38
4.16 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร C	39
4.17 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 สูตรของเครื่อง Pin on disk	40
4.18 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 สูตรของเครื่อง Friction testing	41
4.19 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกสูตร A ที่ความดันต่างๆ จากเครื่อง Friction testing	42
4.20 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกสูตร B ที่ความดันต่างๆ จากเครื่อง Friction testing	42
4.21 กราฟผลการทดลองผ้าเบรกสูตร C ที่ความดันต่างๆ จากเครื่อง Friction testing	43

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

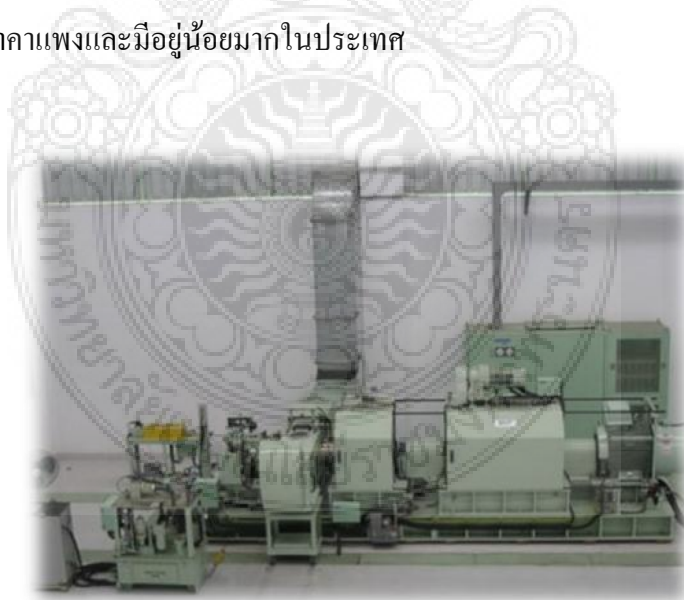
สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
JIS	Japanese Industrial Standards	-
OEM	Original equipment manufacturer	-
SFD	Shearing force diagrams	-
BMD	Bending moment diagrams	-
Climb up	การทดลองช่วงเพิ่มอุณหภูมิ	-
Climb down	การทดลองช่วงลดอุณหภูมิ	-
Q	ความร้อน	kJ
T	อุณหภูมิ	K
m	มวล	kg
c_p	ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	kJ/kg K
M	โมเมนต์	N-m
I	โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่	m^4
σ_y	ค่าความต้านทานแรงดึงคราก	N/m^2
σ_d	ค่าความเค้นออกแบบ	N/m^2
N_y	ค่าความปลอดภัยเมื่อถือค่าความเค้นแรงดึงครากเป็นหลัก-	
μ	ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน	-
F	แรงรากวัตถุ	N
N	แรงตั้งฉากกับผิวสัมผัส	N

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ ได้มีการพัฒนาเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย บริษัทผู้ผลิตรถยนต์บางรายได้มีย้ายฐานการผลิตหลักเข้ามาตั้งในประเทศไทย ทำให้อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนของรถยนต์ของไทยเติบโตตามไปด้วย เพราะอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์แทบจะทั้งหมดถูกผลิตในประเทศไทย ผ้าเบรกเป็นวัสดุความเสียดทานอีกชนิดหนึ่ง ที่มีความสำคัญอย่างมากในระบบเบรกของรถยนต์ ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตผ้าเบรกในประเทศไทย มียอดการผลิตอยู่ที่ประมาณหลายล้านชุดต่อปี ซึ่งในการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทนี้ จำเป็นต้องมีการศึกษาค้นคว้าในด้านการตรวจสอบคุณภาพและผลกระทบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันการศึกษาและการทดสอบผลิตภัณฑ์ของวัสดุความเสียดทานนั้น จะต้องอาศัยเครื่องมือในการทดสอบที่มีราคาแพงและมีอยู่น้อยมากในประเทศไทย



รูปที่ 1.1 เครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์ [1]

หรืออาจจะต้องส่งผลิตภัณฑ์ไปทำการทดสอบยังต่างประเทศ ซึ่งใช้เวลาในการส่งไปทำการทดสอบค่อนข้างนาน และมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่สูง

จากปัญหาข้างต้นคณะผู้จัดทำโครงการ ได้ศึกษาข้อมูลและเห็นถึงความขาดแคลนของเครื่องมือทดสอบ จึงได้คิดแนวทางและออกแบบสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรกขึ้น เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ โดยจะศึกษาพฤติกรรมของวัสดุความเสียดทานโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก มุ่งเน้นไปที่การศึกษาค่า Static friction และ Kinetic friction ในสภาวะอุณหภูมิ (Temperature) และภาระน้ำหนัก (Dead load) ที่แตกต่างกัน โดยใช้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทดสอบที่ต่ำกว่า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อสร้างแนวทางใหม่ในการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผ้าเบรกจากชุดทดสอบ Friction coefficient of brake testing
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิ และความดัน ที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
- 1.2.3 เพื่อส่งเสริมและพัฒนาแนวทางการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ภายในประเทศ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 สร้างชุดทดสอบที่มีรูปแบบตามมาตรฐาน JIS K7125 [2]
- 1.3.2 สร้างชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สามารถสร้างอุณหภูมิสูงสุดได้ไม่ต่ำกว่า 300°C [3]
- 1.3.3 สร้างชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่สามารถสร้างความดันได้ไม่ต่ำกว่า 0.50 MPa [3]
- 1.3.4 ศึกษาผลกระทบของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดจากอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการเบรก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ได้ทางเลือกใหม่สำหรับเป็นกระบวนการทดสอบและเปรียบเทียบ
- 1.4.2 สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการทดลองไปใช้ปรับปรุง และพัฒนาผ้าเบรกในอุตสาหกรรมการผลิตได้
- 1.4.3 ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านการวิจัยให้กับอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ภายในประเทศ



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักทางทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องทดสอบ พฤติกรรมความเสียหายของผ้าเบรก และหลักการการทำงานของเครื่องทดสอบ ซึ่งในการออกแบบ และสร้างเครื่องทดสอบนั้น ชิ้นส่วนที่ออกแบบและนำมาประกอบเป็นชุดประกอบ การออกแบบ ชิ้นส่วนให้ใช้งานได้ดีนั้น ประการแรกจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและ แนวคิดพื้นฐานที่นำมาใช้อยู่ทั่วไป เพราะชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีขนาดที่เป็นมาตรฐานหรืออาจมี วางขายอยู่ตามท้องตลาดแต่ก็มีบางชิ้นส่วนที่ไม่สามารถหาซื้อได้นอกจากจะออกแบบและสร้าง ขึ้นมาเองซึ่งก่อนที่จะทำการสร้างชิ้นส่วนเหล่านั้นได้จะต้องมีการออกแบบรูปร่างขนาด และวัสดุที่จะนำมาใช้ก่อนแล้วจึงนำคำนวณตามหลักทางทฤษฎีต่างๆที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมมา ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับผ้าเบรก [4]

ระบบห้ามล้อส่วนใหญ่ในยานพาหนะถูกออกแบบให้อาศัยแรงเสียดทานโดยเปลี่ยนพลังงานกล ในทิศทางการหมุนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งใช้ผ้าเบรกเป็นอุปกรณ์ในการชะลอหรือหยุดเพลาล้อ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน หน้าที่ของผ้าเบรกคือสร้างแรงเสียดทานที่ผิวสัมผัสระหว่าง ผ้าเบรกและจานเบรก เพื่อให้เกิดแรงเบรกที่ใช้ในการชะลอหรือหยุดเพลาล้อ ดังนั้นผ้าเบรกจึงต้อง สามารถตอบสนองการใช้งานได้ถูกต้องโดยปราศจากการลื่นไถลที่มากเกินไปความต้องการระหว่างการ ทำหน้าที่ชะลอหรือหยุดเพลาล้อ การลื่นไถลแบบชั่วขณะเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรก และจานเบรก ตลอดกระบวนการทำงานนี้ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสประมาณ 80 ถึง 300 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับการใช้งาน) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้มีอิทธิพลต่อการทำงานของ ระบบห้ามล้อ ดังนั้นสมรรถนะของวัสดุที่นำมาผลิตเป็นผ้าเบรคนั้นจะต้องรักษาค่าสัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน และมีค่ามากพอต่อความต้องการในสภาวะการทำงานอย่างสม่ำเสมอด้วยการลดลง อย่างรวดเร็วของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ปรารถนา การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างช่วงการทำงานหรือจากการสึกหรอของวัสดุ จะต้องมีข้อจำกัด

นอกเหนือจากอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยและมีอิทธิพลแล้ว ยังมีความสัมพันธ์จากวัสดุที่นำมาใช้ ความสัมพันธ์ทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ แต่กลไกเหล่านี้ซับซ้อนและไม่สามารถกำหนดได้ ในเชิงปฏิบัติผลกระทบเหล่านี้จะพบได้ทั่วไปส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไม่คงที่การที่จะทำให้รถหยุดนั้นต้องมีความฝืดที่สัมผัสจากผ้าเบรกกับจานเบรก ผลก็ทำให้เกิดการสึกหรอที่ผ้าเบรกและความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสิ่งที่ถูกนำมาทำเป็นผ้าเบรกต้องเป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อน การสึกหรอ ป้องกันความชื้น และมีค่าความฝืดสูง (ค่าสัมประสิทธิ์) ซึ่งในปัจจุบันทำจากสารประเภทเอสเบทผสมกับฟิลเลอร์และผงเรซินคูกเกล้าให้เข้ากัน ก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนและความดันจนกระทั่งแข็งตัว

จากนั้นจะทำการยึดผ้าเบรกกับฝักเบรกซึ่งมีทั้งวิธียึดด้วยกาวและยึดด้วยรีเว็ต โดยวิธีที่นิยมอย่างมากคือการยึดด้วยกาวเพราะกาวสามารถยึดผ้าเบรกได้บางกว่ารีเว็ตมาก วิธีการผลิตก็คือ แต่ละบริษัทที่ได้เตรียมสูตรของตนเองไว้ก็จะนำเคมีต่างๆมาผสมกัน ขณะเดียวกันก็เตรียมแผ่นเหล็กที่จะนำมาเป็นเหล็กที่เตรียมไว้ไปพ่นกาวแล้วอบให้แห้งเพื่อรอกระบวนการขึ้นรูปซึ่งมีสองวิธี คือ วิธีแรกเป็นการขึ้นรูปเย็น (Press forming) โดยการเทพงผ้าเบรกลงบนแม่พิมพ์แล้ววางเหล็กทรงไว้ด้านบนแล้วอัดด้วยเครื่องไฮดรอลิก ซึ่งใช้แรงกดประมาณ 160 ตัน แล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบ ส่วนใหญ่ผ้าเบรกประเภทนี้จะมีจำหน่ายในตลาดหลังการขาย (After market) หรือร้านอะไหล่ทั่วไป อีกวิธีหนึ่งเป็นขึ้นรูปร้อน ซึ่งจะคล้ายๆกันใช้ความร้อนในการเทพงผ้าเบรกและมีการไล่ความชื้น เมื่อเสร็จแล้วผ้าเบรกประเภทนี้จะเป็นผ้าเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงาน แล้วในแต่ละยี่ห้อจะมีสูตรซึ่งผลิตมาให้เหมาะสมกับยานพาหนะแต่ละประเภทมาโดยเฉพาะ เช่น รถยนต์ทั่วไป, รถยนต์วิบาก, และรถแข่งทางเรียบ เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการทนความร้อนสูงต่างกันไป ชนิดของผ้าเบรกรถยนต์แบ่งตามลักษณะการใช้งาน โรงงานผลิตผ้าเบรกรถยนต์ มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเกรด เกรดผ้าเบรกแต่ละโรงงานมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายและทิศทางการทำธุรกิจของโรงงานนั้น ผู้ผลิตผ้าเบรกรถยนต์มี 2 ประเภท คือ ผู้ผลิตสำหรับค้าปลีกโดยเฉพาะ และผู้ผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ (OEM) ผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับค้าปลีก มีการผลิตผ้าเบรกออกมาหลากหลายเกรด หลายคุณภาพ และหลากหลายราคาออกสู่ตลาด บางผู้ผลิตอาจผลิตสินค้าโดยบรรจุในหลากหลายยี่ห้อเพื่อให้ตรงตามความต้องการ ของผู้จำหน่ายและผู้ใช้งานมากที่สุด ผู้ผลิตกลุ่มนี้จะเน้นราคาเป็นหากในการทำตลาด กลุ่มเป้าหมายจะเป็นลูกค้าปลีกทั่วไป ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายจะอยู่ตั้งแต่กลุ่มตลาดล่าง จนถึงกลุ่มตลาดขนาดกลาง ผู้ผลิตผ้าเบรกสำหรับอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นสินค้าเกรด (OEM) ผู้ผลิตมุ่งเน้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานอะไหล่สำหรับรถยนต์ใหม่ กลุ่มเป้าหมายจะเป็น

โรงงานผลิตรถยนต์รวมทั้งศูนย์บริการรถยนต์ชั้นนำ (OES) ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายในตลาดค้าปลีก จะอยู่ในกลุ่มตลาดรถที่มีมาตรฐานสูงเท่านั้น หากเราจำแนกชนิดของผ้าเบรกตามเกรดผู้ผลิตสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ (แบ่งตามลักษณะการใช้งานต่างๆ)

(1) OEM pad ผ้าเบรกเกรดโรงงานผลิตรถยนต์

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานจากโรงงานผลิตรถยนต์ มีคุณสมบัติของวัสดุดิบแต่ละชนิดตรงตามข้อกำหนดของผู้ผลิตรถยนต์ ทั้งด้านประสิทธิภาพการเบรก และการทำงานร่วมกับจานเบรก ปัจจุบันนิยมใช้ผ้าเบรกไร้สารใยหินชนิดมีโลหะต่ำเหมาะสำหรับรถยนต์ใหม่ และการขับขี่ทั่วไป จนถึงการใช้งานหนักซึ่งไม่มีการจำหน่ายในท้องตลาด

(2) OES pad ผ้าเบรกเกรดของแท้ห้าง (Genuine)

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดมาตรฐานเพื่อใช้เป็นอะไหล่ทดแทน คุณสมบัติของอะไหล่จะแตกต่างกันตามผู้ผลิตรถยนต์ขึ้นอยู่กับต้นทุน และการแข่งขัน ผู้ประกอบรถจะขายในรูปอะไหล่แท้เกรดหนึ่งยี่ห้อเดียวกับรถยนต์ ผู้ผลิตรถยนต์บางรายอาจผลิตอะไหล่เกรดรองออกจำหน่าย เพื่อรักษฐานลูกค้าที่มีกำลังซื้อต่ำและเพื่อการแข่งขันเรื่องราคาในตลาด เหมาะสำหรับผู้ขับรถทั่วไปที่ต้องการอะไหล่ คุณภาพเดียวกับรถยนต์ใหม่หาซื้อได้ตามศูนย์บริการรถยนต์ทั่วไปหรือร้านค้าอะไหล่

(3) Racing pad ผ้าเบรกสำหรับรถแข่ง

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรดเพื่อการแข่งขัน วัสดุดิบในการผลิตจะเน้นหนักเพื่อประสิทธิภาพการหยุดรถ โดยเฉพาะรองรับการขับรถด้วยอัตราความเร็วสูงและการถ่ายเทความร้อนในระบบเบรก เหมาะสำหรับการขับขี่เพื่อการแข่งขัน และใช้ความเร็วสูงในการขับขี่เป็นประจำ ผ้าเบรกชนิดนี้ไม่เหมาะสำหรับการขับขี่ทั่วไป หรือการใช้งานหนักและบรรทุกสินค้า ผ้าเบรกชนิดนี้ มีอัตราการทำลายจานเบรคค่อนข้างสูง เพราะส่วนผสมมีโลหะในอัตราที่สูง

(4) Standard pad ผ้าเบรกทั่วไป

คุณสมบัติ-เป็นผ้าเบรกเกรด มาตรฐานสำหรับการขับขี่ทั่วไปหรือใช้งานหนักบ้างเป็นครั้งคราววัสดุดิบในการผลิต จะมีคุณสมบัติเท่ากับหรือต่ำกว่าผ้าเบรกเพื่อโรงงานผลิตรถยนต์ (OEM) ผ้าเบรกชนิดนี้มีหลากหลายแบบและหลากหลายวัสดุดิบ ด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ผู้บริโภคต้องใช้วิจารณญาณในการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ เหมาะสำหรับการขับทั่วไปหรือใช้งานเป็นครั้งคราว การเลือกใช้ควรดูชนิดผ้าเบรกเป็นแบบผ้าเบรกโลหะหรือผ้าเบรกกลุ่ม NAO แต่ละชนิดมีผลดีและผลเสียแตกต่างกันอันมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน

2.2 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องทดสอบ

2.2.1 ความร้อน (Heat) [5]

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนเมื่ออุณหภูมิของระบบกับสิ่งแวดล้อมต่างกัน ความร้อนจะมีการถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงกว่าไปหาแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า หน่วยของความร้อนในระบบเมตริกคือ กิโลแคลอรี (kcal) ในระบบอังกฤษเป็นบีทียู (Btu) ดังนั้น ความร้อน 1 กิโลแคลอรี คือปริมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำจำนวน 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ 14.5 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ หรือเท่ากับ 1.013 บาร์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 15.5 องศาเซลเซียส

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

2.2.2 ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) [5]

สารต่างชนิดกัน ปริมาณความร้อนที่ทำให้มวลจำนวนหนึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่งจะมีค่าต่างกัน อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ให้แก่วัตถุกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ความจุความร้อน (heat capacity) ของวัตถุนั้นๆ

ถ้าให้ C เป็นความจุความร้อน

ดังนั้นสามารถเขียนสมการได้ว่า
$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.1)$$

คำว่า “ความจุ” อาจทำให้เข้าใจผิดว่าเป็นปริมาณความร้อนที่วัตถุจุได้ แต่ความจริงความจุความร้อน หมายถึงปริมาณความร้อนที่เข้าไปต่อหนึ่งหน่วยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความจุความร้อนต่อหนึ่งหน่วยมวลของวัตถุเรียกว่า ความร้อนจำเพาะ ถ้าให้ c เป็นความร้อนจำเพาะ ดังนั้น

$$c = \text{ความจุความร้อน/มวล}$$

$$c = C/m = Q/m.\Delta T \quad (2.2)$$

ความร้อนของสารจำเพาะใด ๆ คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารหนึ่งหน่วยของมวลมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงหนึ่งองศา ความร้อนจำเพาะมีหน่วยเป็นจูล/กรัม-องศาเคลวิน (J/g-K) หรือ กิโลจูล/กิโลกรัม-องศาเคลวิน (kJ/kg-K) จากสมการ (2.2) จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\Delta Q \text{ หรือ } Q_{12} = (m) \times (c) \times (T_2 - T_1)$$

เมื่อ ΔQ หรือ Q_{12} คือ ปริมาตรความร้อนที่ถ่ายเท (J)

c คือ ความร้อนจำเพาะ (kJ / kg K)

m คือ มวล (kg)

$\Delta T = (T_2 - T_1)$ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงความร้อนของวัตถุใดมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิที่ใช้ เช่น ความร้อนจำเพาะของน้ำที่ความดันบรรยากาศจะค่อยๆลดลงในช่วง 0 ถึง 35 องศาเซลเซียส และมีค่าต่ำสุดประมาณ 35 องศาเซลเซียส แล้วจะค่อยๆสูงขึ้นอีก ดังนั้นความร้อนจำเพาะในสมการ (2.2) จึงเป็นค่าประมาณในช่วงอุณหภูมิ ΔT ความร้อนจำเพาะของวัตถุที่อุณหภูมิใดๆกำหนดจาก

$$c = dQ/(m)(dT) \quad (2.3)$$

ในกรณีที่เป็น การเปลี่ยนแปลงสถานะของแข็งหรือของเหลวเช่นการรับหรือการคายความร้อนที่ความดันคงที่ ค่าความร้อนจำเพาะที่ใช้ในกรณีนี้เรียกว่า ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat at constant pressure) ใช้สัญลักษณ์ c_p ดังนั้นปริมาตรความร้อนที่ถ่ายเทเมื่อความดันคงที่หาได้จาก

$$Q = (m) \times (c_p) \times (T_2 - T_1) \quad (2.4)$$

2.2.3 โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคาน (Bending moment and shearing force) [6]

การพิจารณาท่อนโลหะ ซึ่งอยู่ภายใต้ความเค้นดัด ความเค้นอัด และความเค้นเฉือน ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดภาคตัด แต่ถ้าท่อนโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคานอยู่ภายใต้แรงที่กระทำในแนวตั้ง ความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีทั้งความเค้นดัด ความเค้นอัด และความเค้นเฉือน แต่มีค่าไม่คงที่ตลอดภาคตัดอันหนึ่ง

2.2.3.1 การรองรับของคาน

Simple supported beam คือระบบการรองรับของคานแบบง่าย

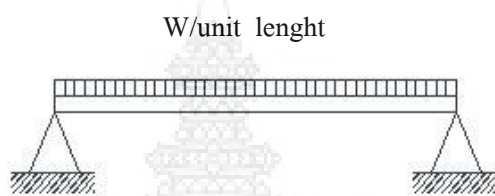
นั่นคือคานมีคัมมิต หรือลูกกิ้งก่องรับอยู่ ดังรูปที่ 2.1 ที่จุดรองรับคานจะมี slope



รูปที่ 2.1 ระบบการรองรับของคานแบบง่าย

2.2.3.2 ชนิดของแรงที่กระทำบนคาน

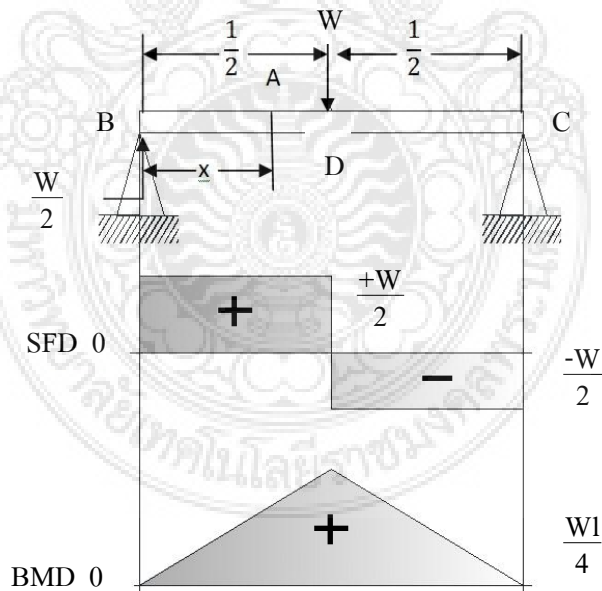
แรงกระจายสม่ำเสมอ Uniformly Distributed Load เขียนย่อว่า UDL อาจเขียนแทนแรงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงกระจายสม่ำเสมอ

2.2.3.3 การพิจารณากรณีคานอยู่ภายใต้แรง

ก. Simply supported beam มีแรงแบบจุดกระทำตรงกลาง



รูปที่ 2.3 Simply supported beam มีแรงแบบจุดกระทำตรงกลาง

- การหาแรงเฉือน SF ก่อนอื่นต้องหาแรงปฏิกิริยาที่จุด B และจุด C เนื่องจากแรงกระทำตรงกลางแรงปฏิกิริยามีค่าเท่ากัน $= \frac{W}{2}$

ในช่วงระหว่าง BD จะได้ว่า $V = +\frac{W}{2}$ ซึ่งเป็นค่าคงที่

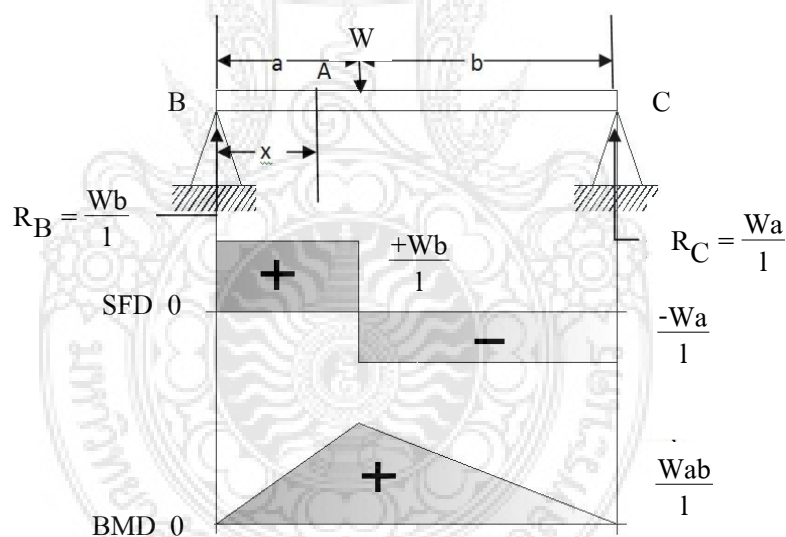
พอผ่านจุด D จะได้ว่า $V = +\frac{W}{2} - W = -\frac{W}{2}$ และมีค่าคงที่ตลอดช่วงระหว่าง DC

ถ้าคิดจากด้านขวามือ แรงเฉือนที่จุด C $= -\frac{W}{2}$ เพราะแรงปฏิกิริยาที่ C เหนือวัสดุทวนเข็มนาฬิกา

- การหาโมเมนต์ตัด BM ที่จุด A $= M_x = +\frac{W}{2} \cdot x$ จะได้กราฟเส้นตรงเริ่มจาก $M_B = 0$ (ที่ $x = 0$) ถึง M_D (ที่ $x = \frac{1}{2}$) $= \frac{W}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{Wl}{4}$

ถ้าคิดจากด้านขวามือ จะได้กราฟเส้นตรงเช่นกัน เริ่มจาก M_C ถึง $M_D = \frac{Wl}{4}$ ดังนั้น M_{max} เกิดขึ้นตรงกลางได้แรงที่กระทำมีค่า $= \frac{Wl}{4}$

ข. Simply supported beam มีแรงแบบจุดกระทำแต่ไม่อยู่ตรงกลาง



รูปที่ 2.4 Simply supported beam มีแรงแบบจุดกระทำแต่ไม่อยู่ตรงกลาง

- การหาแรงเฉือน SF แรงปฏิกิริยาที่ B $= \frac{Wb}{l}$

แรงปฏิกิริยาที่ C $= \frac{Wb}{l}$

ช่วง BD $x < a$, $V_x = +\frac{Wb}{l}$ และค่าคงที่ตลอด BD

ช่วง DC $x > a$, $V_x = \frac{Wb}{l} - W = W \cdot \left(\frac{b-l}{l}\right) = -\frac{Wa}{l}$

ถ้าคิดจากขวามือก็จะได้ค่าเดียวกัน

- การหาโมเมนต์คัต BM ช่วง BD M_x (ที่ A) = $\frac{Wbx}{1}$ ได้กราฟเส้นตรง
เริ่มต้นจาก M_B ที่ $(x=0) = 0$, ถึง M_D ที่ $(x=a) = \frac{Wab}{1}$

ช่วง DC $M_x = \frac{Wbx}{1} - W(x-a) \quad x > a$
 $= Wx\left(\frac{b}{1} - 1\right) + Wa$
 $= -\frac{Wax}{1} + Wa$
 $= \frac{Wa}{1}(1-x)$

จะได้กราฟเส้นตรง ที่ $x = 1$, $M_C = 0$ และที่ $x = a$, $M_D = \frac{Wab}{1}$

2.2.4 ความเค้นคัต (Bending stress) [7]

ชิ้นส่วนเครื่องจักรจำนวนมาก รับแรงในแนวตั้งลักษณะเดียวกับกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นคัต และการยุบตัว (Bending moment) เป็นข้อจำกัดในคานออกแบบความเค้นคัตสูงสุดเกิดขึ้นที่ผิวนอกของคาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์คัตมีค่าสูงสุดซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \quad (2.5)$$

โดยที่ M คือ โมเมนต์คัต (N.m)

c คือ ระยะจากแกนสะเทิน(Neutral axis)ไปยังผิวนอกสุด (m)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (m^4)

σ_b คือ ความเค้นคัต (Pa)

2.2.5 ค่าความปลอดภัย [7]

ค่าความปลอดภัยหมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านทานแรงดึงหรือ ค่าความต้านทานแรงดึงครากของวัสดุเพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (Working stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ ซึ่งเรียกสั้นๆว่า ความเค้นออกแบบ (Design stress) หรือความเค้นใช้งาน ในกรณีที่มีการกำหนดขนาดของชิ้นงานมาแล้ว ค่าความปลอดภัยของชิ้นงานนั้นคือ

$$N_y = \frac{\sigma_y}{\sigma_d} \quad (2.6)$$

เมื่อ N_y คือ ค่าความปลอดภัยเมื่อถึงความต้านแรงดึงครากเป็นหลัก

σ_y คือ ค่าความต้านทานแรงดึงคราก (N/m^2)

σ_d คือ ค่าความเค้นออกแบบ (N/m^2)

ตารางที่ 2.1 ค่าความปลอดภัย [7]

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ
	N_y	N_u	N_y
แรงอยู่นิ่ง	1.5-2	3-4	5-6
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7-8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10-12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5-7	10-15	15-20

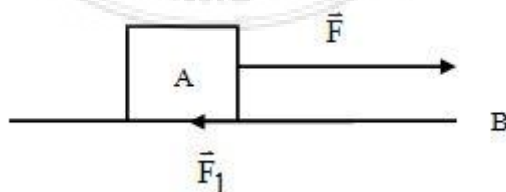
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง [8]

2.3.1 แรงเสียดทาน (friction)

เป็นแรงที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหนึ่งพยายามเคลื่อนที่ หรือกำลังเคลื่อนที่ไปบนผิวของอีกวัตถุ เนื่องจากมีแรงมากระทำ มีลักษณะที่สำคัญ ดังนี้

ก. เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ

ข. มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่วัตถุเคลื่อนที่หรือตรงข้ามทิศทางของแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ดังรูป



รูปที่ 2.5 การเคลื่อนที่ของวัตถุ

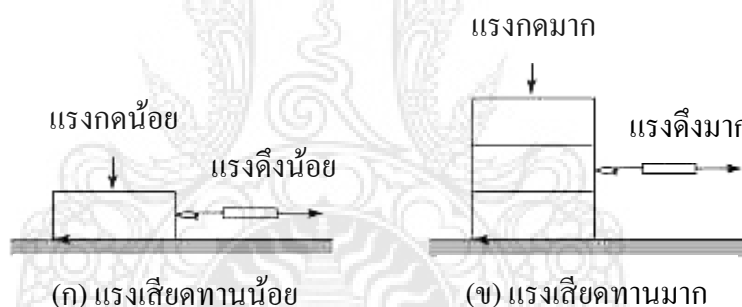
ถ้าวางวัตถุ A อยู่บนวัตถุ B ออกแรง \vec{F} ลากวัตถุ วัตถุ A จะเคลื่อนที่หรือไม่ก็ตาม จะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นระหว่างผิวของ A และ B แรงเสียดทานมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรง \vec{F} ที่พยายามต่อต้านการเคลื่อนที่ของ A

2.3.2 ประเภทของแรงเสียดทานมี 2 ประเภท คือ

ก. แรงเสียดทานสถิต (static friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในสถานะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วอยู่นิ่ง

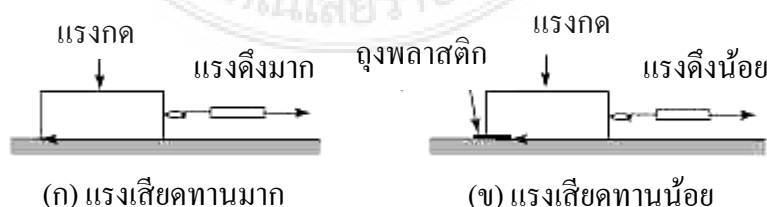
ข. แรงเสียดทานจลน์ (kinetic friction) คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุ ในสถานะที่วัตถุได้รับแรงกระทำแล้วเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

(1) แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส ถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสมากจะเกิดแรงเสียดทานมาก ถ้าแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัสน้อยจะเกิดแรงเสียดทานน้อยดังรูป



รูปที่ 2.6 แรงเสียดทาน

(2) ลักษณะของผิวสัมผัส ถ้าผิวสัมผัสหยาบ ขรุขระจะเกิดแรงเสียดทานมาก ดังรูป ก ส่วนผิวสัมผัสเรียบลื่นจะเกิดแรงเสียดทานน้อยดังรูป ข

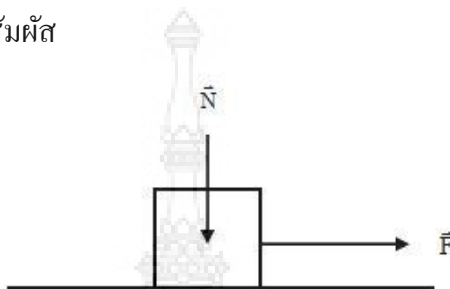


รูปที่ 2.7 ลักษณะของผิวสัมผัส

(3) ชนิดของผิวสัมผัส เช่น คอนกรีตกับเหล็ก เหล็กกับไม้ จะเห็นว่าผิวสัมผัสแต่ละคู่ มีความหยาบ ขรุขระ หรือเรียบลื่น เป็นมันแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงเสียดทานไม่เท่ากัน

2.3.3 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่งๆ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงเสียดทานต่อแรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบ

กำหนดให้ \vec{F} คือ แรงลากวัตถุ (N)

\vec{F}_r คือ แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส (N)

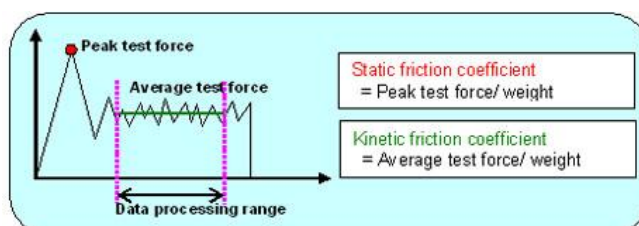
\vec{N} คือ แรงกดตั้งฉากกับผิวสัมผัส (N)

μ คือ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

∴ สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานหาได้จากสูตร

$$\mu = \frac{\vec{F}_r}{\vec{N}} \quad (2.7)$$

โดยที่การทดลองของ โครงานจะนำค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบ (Universal Test Machine) มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตย์และความเสียดทานจลน์ ดังรูป 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟที่ได้จากเครื่องทดสอบ (Universal Test Machine) [2]

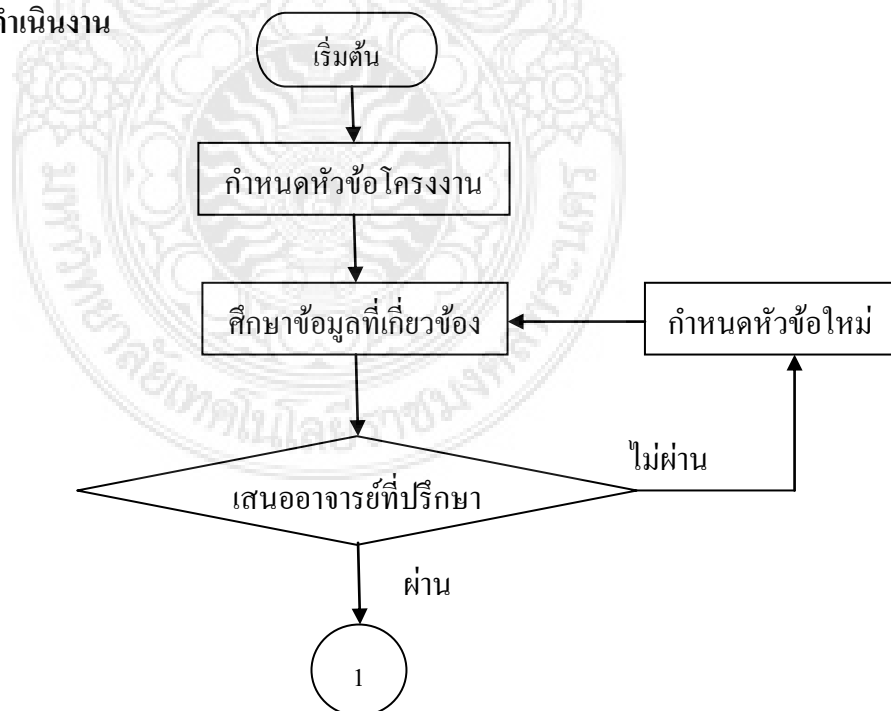
บทที่ 3

การดำเนินงานและการสร้าง

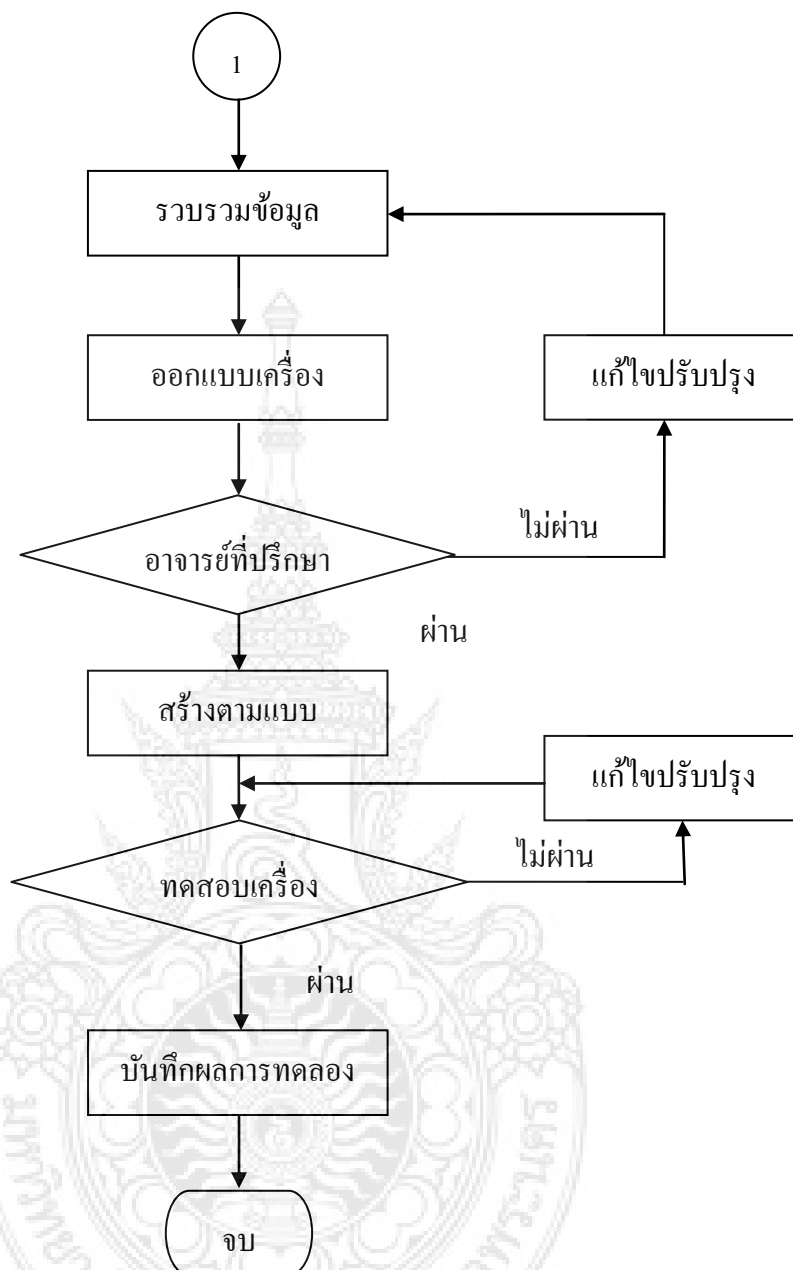
การจัดทำโครงการครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อจัดสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินโครงการเพื่อให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆ การวิเคราะห์ก่อนการสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นการทดสอบว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่ที่จะสร้างชุดทดสอบขึ้นมาให้ได้อย่างที่ต้องการ ถ้าหากมีการคำนวณทางทฤษฎีแล้วพบว่ามีความเป็นไปได้ จึงลงมือปฏิบัติเพื่อป้องกันความเสียหายวัสดุ และอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการสร้าง โดยผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

จากขั้นตอนการดำเนินงานจะทราบได้ว่าในการสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรคนั้นมีลำดับขั้นตอนในการทำงานและนำขั้นตอนการทำงานมาเขียนแผนภูมิรูปภาพได้ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน

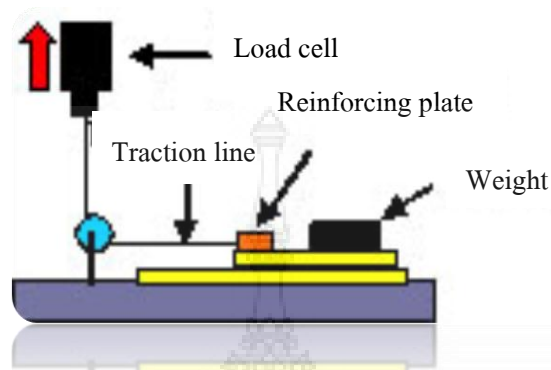


รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน(ต่อ)

3.2 คำนคว้าข้อมูลและการออกแบบ

คั่นคว้าข้อมูลถึงรูปแบบต่างๆ ที่จะมีการสร้างขึ้นมาถึงลักษณะทางกายภาพมีลักษณะอย่างไร
เหมาะสมที่จะนำมาสร้างเครื่องทดสอบได้หรือไม่

โดยเครื่องทดสอบที่จะสร้างขึ้นมานั้น ทางกลุ่มโครงการจะยึดหลักตามรูปแบบมาตรฐาน JIS K7125 เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่อง



รูปที่ 3.2 แบบมาตรฐาน JIS K7125 [2]

3.3 การดำเนินการสร้าง

ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆในการสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรก

3.3.1 แผ่นระนาบทดสอบ

ทำหน้าที่รองรับชิ้นงานที่จะทำการทดสอบให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ถูกลาก ขนาดความกว้างของแผ่นระนาบถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับขนาดของก้อนมวลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ขนาดความยาวถูกกำหนดเพื่อให้สอดคล้องกับระยะเคลื่อนที่ขึ้นของโพลดเชด และความหนาถูกกำหนดเพื่อให้สามารถรับความร้อนได้ 350 องศาเซลเซียส โดยที่ไม่เกิดการโก่งตัว ซึ่งมีขนาด $350 \times 900 \times 15$ มิลลิเมตร และมีมวล 33 kg



รูปที่ 3.4 แผ่นระนาบทดสอบ

3.3.2 ชุดให้ความร้อน (Heater)

ทำหน้าที่ให้ความร้อนกับแผ่นระนาบทดสอบ โดยที่สามารถให้ความร้อนตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส จนถึง 350 องศาเซลเซียส ตามที่ถูกรอกแบบขั้นตอนการทดสอบไว้



รูปที่ 3.5 ชุดให้ความร้อน

วัสดุที่ใช้ทำงานเบรกมีค่า $c_p = 452 \text{ J/kg K}$ [9]

ดังนั้นจะสามารถหาขนาดชุดให้ความร้อนได้จากสมการ (2.3)

$$Q = m \times c_p \times \Delta T$$

$$Q = 33 \text{ kg} \times 452 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \times 350 \text{ K}$$

$$Q = 5220.6 \text{ kJ}$$

ถ้าใช้เวลา 20 นาทีเพื่อให้ได้ 350 องศาเซลเซียส

$$Q = \frac{5220.6 \text{ kJ}}{(20 \times 60) \text{ sec}}$$

$$Q = 4.35 \text{ kW}$$

ใช้ค่า Safety Factor เท่ากับ 2

$$Q = 8.7 \text{ kW}$$

ดังนั้นเลือกใช้ชุดให้ความร้อนขนาด 9 kW

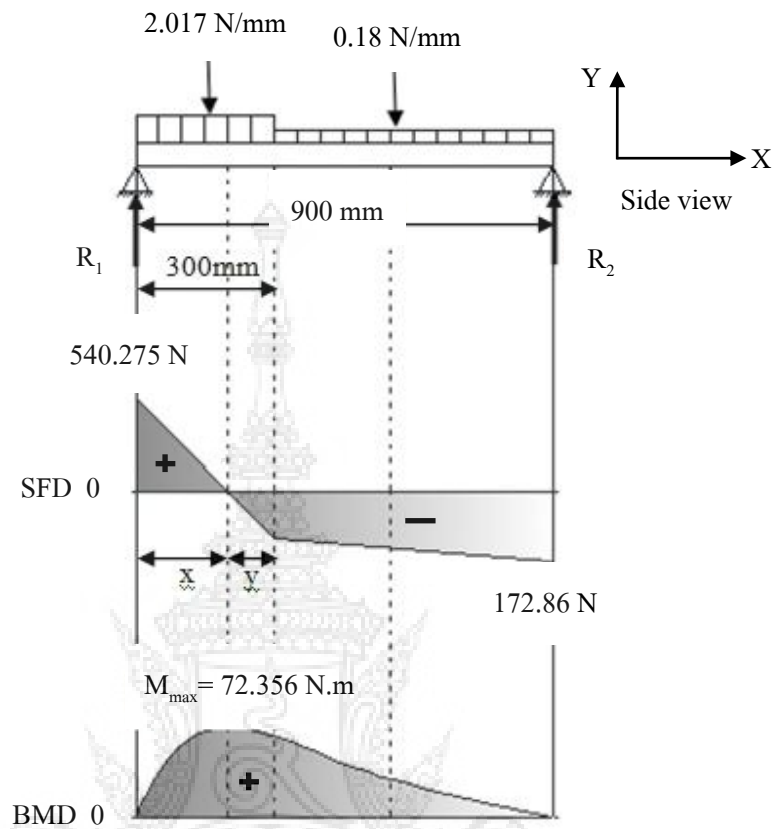
3.3.3 โครงสร้างเครื่องทดสอบ

ทำหน้าที่รองรับและยึดแผ่นระนาบทดสอบให้เป็นตัวเครื่องเดียวกัน โดยที่ขารองรับทั้ง 4 ขา ต้องมีความแข็งแรงพอที่จะสามารถรองรับน้ำหนักของแผ่นระนาบ และก้อนมวลรวมกับแผ่นรอง ซึ่งมีมวลรวมสูงสุด 112.4 กิโลกรัม โดยพิจารณาเป็น 2 กรณี



รูปที่ 3.6 โครงสร้างเครื่องทดสอบ

กรณีที่ 1. ถ้าพิจารณาโหลดสูงสุดอยู่ตำแหน่งขอบโครงสร้าง



รูปที่ 3.7 แรงแบบจุดกระทำแต่ไม่อยู่ตรงกลาง

จากรูปที่ 3.7 คำนวณหาแรงปฏิกิริยา R_1 และ R_2

$$\sum M_{R_1} = 0 \text{ (ทวนเข็มนาฬิกา)}$$

$$-(605.135 \times 150) - (108 \times 600) + (R_2 \times 900) = 0$$

$$R_2 = \frac{(605.135 \times 150) + (108 \times 600) \text{ N.mm}}{900 \text{ mm}}$$

$$\therefore R_2 = 172.86 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \text{ (ชี้ขึ้นเป็นบวก)}$$

$$-605.135 - 108 + 172.86 + R_1 = 0$$

$$R_1 = 605.135 + 108 - 172.86 \text{ N}$$

$$R_1 = 540.275 \text{ N}$$

จากกฎสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{540.275}{64.86} = \frac{x}{300-x}$$

$$64.86x = 162082.5 - 540.275x$$

$$x = \frac{162082.5}{(64.86+540.275)}$$

$$x = 267.85 \text{ mm}$$

$$y = 300 - 267.85$$

$$y = 32.15 \text{ mm}$$

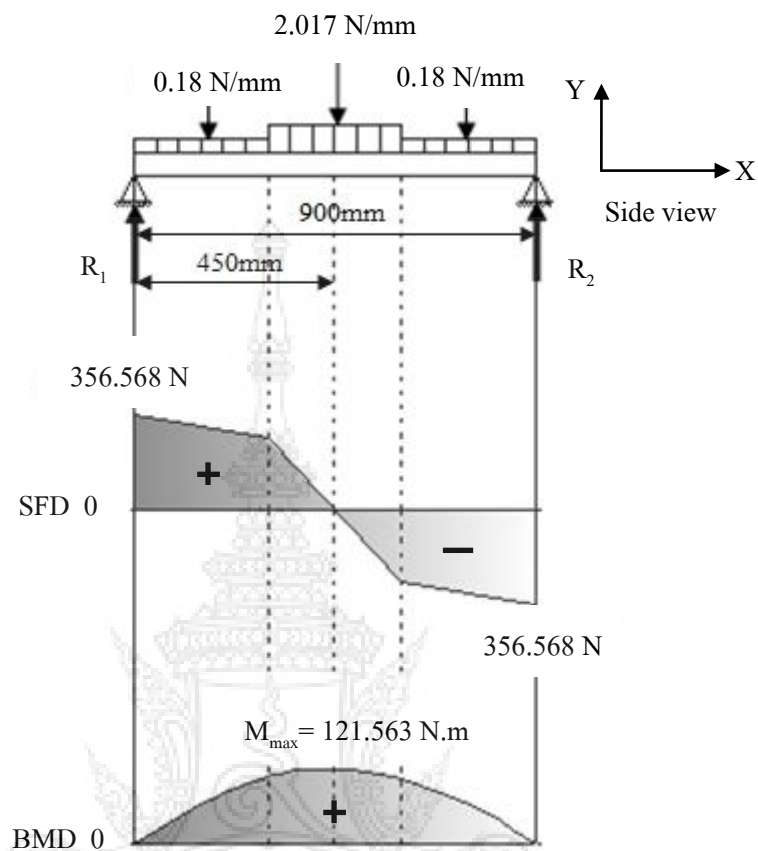
คำนวณหาโมเมนต์ตัดในแกนที่ระยะ $x = 267.85 \text{ mm}$

$$M_{x=267.85} = 0.5 \times 0.26785 \times 540.275 \text{ N.m}$$

ดังนั้นจะได้ค่าโมเมนต์ตัดสูงสุดของกรณีนี้เท่ากับ 72.356 N.m



กรณีที่ 2. ถ้าพิจารณาโหลดสูงสุดอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางโครงสร้าง



รูปที่ 3.8 แรงแบบจุดกระทำอยู่ตรงกลาง

จากรูปที่ 3.8 คำนวณหาแรงปฏิกิริยา R_1 และ R_2

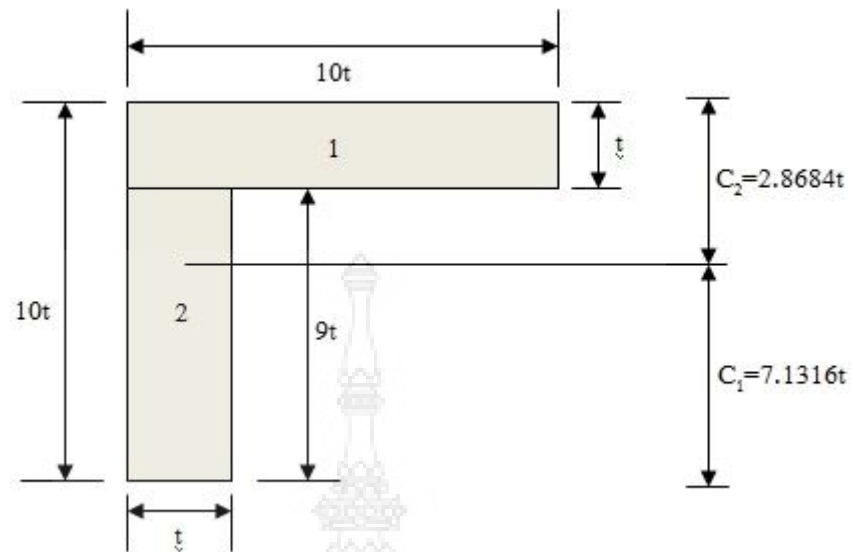
$$R_1 = R_2 = \frac{(0.18 \times 300) + (2.017 \times 300) + (0.18 \times 300)}{2} = 356.568 \text{ N}$$

คำนวณหาโมเมนต์คัตไนคานที่ระยะ $x = 450 \text{ mm}$

$$M_{x=450} = (0.5 \times 0.3 \times 54) + (302.568 \times 0.3) + (0.5 \times 0.15 \times 302.568) \text{ N.m}$$

ดังนั้นค่าโมเมนต์คัตสูงสุดของกรณีที่ 2 เท่ากับ 121.563 N.m

จากการพิจารณาโหลดทั้ง 2 กรณี พบว่ากรณีที่ 2 เกิดค่าโมเมนต์คัตสูงสุดจึงนำมาพิจารณาในการหาขนาดของเหล็กที่จะทำขาคีตเครื่องทดสอบที่จะสร้างขึ้น



รูปที่ 3.9 เหล็กฉากที่ใช้ทำโครงสร้าง

ทางกลุ่มเลือกเหล็กโครงสร้างเป็นเหล็กฉากขาเท่ากัน จากรูปพิจารณาหาขนาดความหนาและความสูงขาเหล็กฉาก

กำหนดให้ L = ความสูงขาเหล็กฉาก (mm)

t = ความหนาเหล็กฉาก (mm)

และให้ $L = 10t$ (mm)

จากสมการ (2.5) และ (2.7)

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{N_y} = \frac{Mc}{I}$$

คำนวณหา c จาก

$$\bar{y} = \frac{(\bar{y}_1 \times A_1) + (\bar{y}_2 \times A_2)}{A_1 + A_2}$$

$$\bar{y} = \frac{(9.5t \times 10t^2) + (4.5t \times 9t^2)}{10t^2 + 9t^2}$$

$$\bar{y} = 7.1316t = c_1$$

$$d_1 = |7.1316t - 9.5t| = 2.3684t$$

$$d_2 = |7.1316t - 4.5t| = 2.6316t$$

คำนวณหา I จาก $I = (I_1 + A_1 \times d_1^2) + (I_2 + A_2 \times d_2^2)$

$$I = \left[\frac{1}{12} \times 10t \times t^3 + 10t^2 \times (2.3684t)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times t \times 9t^3 + 9t^2 \times (2.6316t)^2 \right]$$

$$I = 0.833t^4 + 56.09t^4 + 0.75t^4 + 62.33t^4$$

ฉะนั้นจะได้ค่า $I = 120.003t^4$

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กจากตามมาตรฐาน JIS SS-400 [10]

ความหนา (mm)	คุณสมบัติทางกล(ไม่ต่ำกว่า)		
	Tensile Strength σ_u (N/mm ²)	Yield Strength σ_y (N/mm ²)	Elongation (%)
ต่ำกว่า 5	400-510	245	21
5-16	400-510	245	17
16-40	400-510	235	21
40 ขึ้นไป	400-510	215	23

สมมุติความหนาเริ่มต้นต่ำกว่า 5mm ใช้ค่า $\sigma_y = 245$ N/mm²

จากตารางค่าความปลอดภัยใช้ค่า $N_y = 3$

แทนค่า

$$\frac{245}{3} = \frac{(121.563 \times 10^3) \times 7.1316t}{120.003t^4}$$

$$81.67 = \frac{866938.70t}{120.003t^4}$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{866938.70}{81.67 \times 120.003}}$$

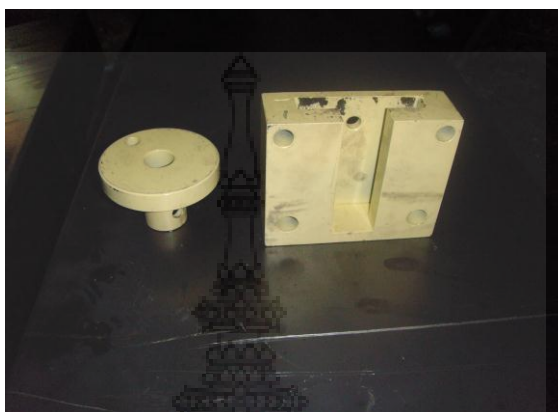
$$t = 4.45 \text{ mm}$$

ฉะนั้นจะได้ $L = 10 \times 4.45 \text{ mm} = 44.5 \text{ mm}$

เลือกใช้เหล็กจากขาเท่ากันขนาด L 50 × 50 × 5 mm

3.3.4 ชุดจับยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องดึง

ทำหน้าที่ยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องดึงเข้าด้วยกัน โดยที่ตัวที่จะถูกยึดติดกับเครื่องดึงส่วนร่องสลีตจะถูกยึดติดกับเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.10 ชุดจับยึดเครื่องทดสอบกับเครื่องดึง

3.3.5 ชุดควบคุมอุณหภูมิของระบบให้ความร้อน

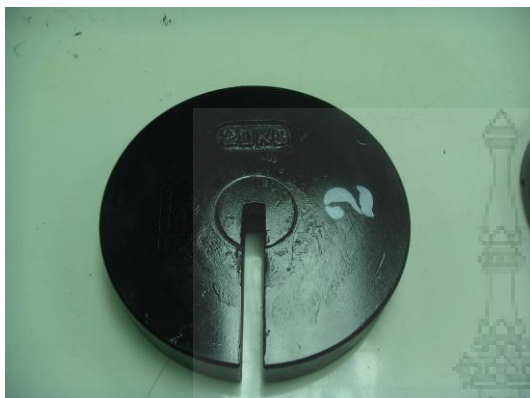
ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน ให้กับแผ่นระนาบทดสอบ โดยจะสามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดในการทดสอบ



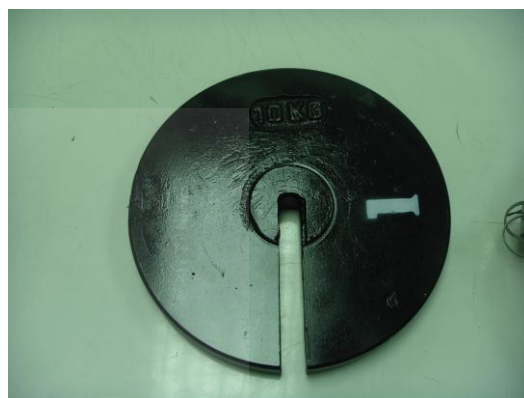
รูปที่ 3.11 ชุดควบคุมอุณหภูมิของระบบให้ความร้อน

3.3.6 ก้อนมวล

ทำหน้าที่กีดขึ้นงานทดสอบเพื่อให้เกิดแรงดันตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนดในการทดสอบ



(ก) ขนาด 20 kg 3 ก้อน



(ข) ขนาด 10 kg 4 ก้อน

รูปที่ 3.12 ก้อนมวล

3.3.7 ชุดแผ่นยึดขึ้นทดสอบ

ทำหน้าที่ยึดขึ้นงานทดสอบไว้ด้านล่าง ส่วนด้านบนจะทำหน้าที่รับก้อนมวลที่จะวางคบบนขึ้นทดสอบ



รูปที่ 3.13 ชุดแผ่นยึดขึ้นทดสอบ

3.3.8 ฝาครอบกันความร้อน

ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนที่ผิวหน้าแผ่นระนาบทดสอบหลังการทดสอบ



รูปที่ 3.14 ฝาครอบกันความร้อน



บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ในการทำโครงการครั้งนี้หลังจากทำการออกแบบและการสร้างเครื่องทดสอบพฤติกรรมความเสียดทานของผ้าเบรกแล้ว จะต้องมีการทดลองหาประสิทธิภาพเพื่อทำการประเมิน กลุ่มผู้จัดทำได้ทำการทดลองและได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 4.1 การเตรียมการทดลอง
- 4.2 วิธีการทดลอง
- 4.3 ผลการทดลอง

4.1 การเตรียมการทดลอง

- 1.การเตรียมเครื่อง ทำการติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องดึง



รูปที่ 4.1 การติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องดึง

2. การปรับระดับขาของเครื่องทดสอบให้ระดับน้ำ



รูปที่ 4.2 การปรับระดับขาเครื่องทดสอบ

3. การเตรียมชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบ โดยการตัดให้ผ้าเบรคมีขนาด 1"×1"



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบขนาด 1"×1"

4.2 วิธีการทดลอง

การทดสอบชิ้นงานจะทำการทดสอบจากตัวอย่างผ้าเบรก 3 สูตร คือสูตร A สูตร B และสูตร C โดยแต่ละสูตรจะมีส่วนประกอบ ดังแสดงตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบของผ้าเบรกแต่ละสูตร

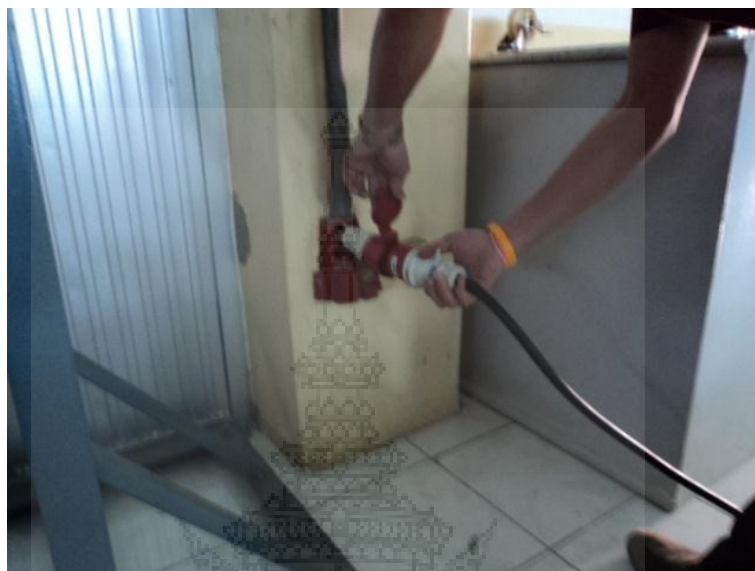
ส่วนประกอบ	สูตร A	สูตร B	สูตร C
ไฟเบอร์	2	15	18
สารหล่อลื่น	10	15	13
โลหะ	5	6	15
อื่นๆ	83	64	63

แต่ละสูตรจะทำการทดลองตามรายการ ดังแสดงตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายการทดลอง

ความดัน (MPa)	อุณหภูมิ (°C)	
0.215	100-300	300-100
0.367	100-300	300-100
0.570	100-300	300-100

การทดสอบผ้าเบรกสูตร A สูตร B และสูตร C จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้
 1.การเสียบปลั๊กของเครื่องทดสอบ (ไฟ 3 เฟส) และปลั๊กของเครื่องดึง



รูปที่ 4.4 ปลั๊กไฟ 3 เฟสของเครื่องทดสอบ

2.เปิดชุดควบคุมระบบให้ความร้อน และทำการปรับอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 100 °C



รูปที่ 4.5 การปรับอุณหภูมิ

3.เขียนคำสั่งการดึงจากคอมพิวเตอร์ควบคุมการดึง



รูปที่ 4.6 การเขียนคำสั่งการดึงจากคอมพิวเตอร์

4.ติดตั้งชิ้นงานทดสอบที่เตรียมไว้กับชุด Support weight



รูปที่ 4.7 การติดตั้งชิ้นงานทดสอบ

5. ติดตั้งลวดดึงกับชุดโหลดเซลล์



รูปที่ 4.8 การติดตั้งลวดดึงกับชุดโหลดเซลล์

6. วางก้อนมวลครั้งแรกขนาด 30 กิโลกรัม



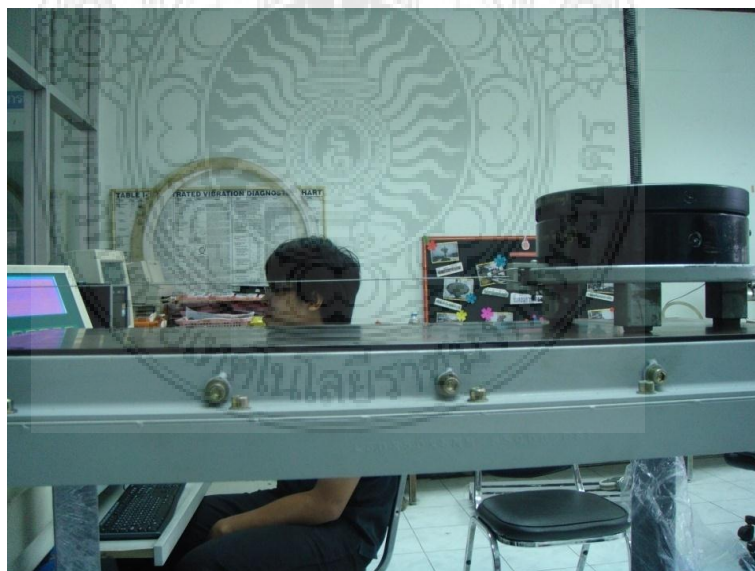
รูปที่ 4.9 วางก้อนมวลขนาด 30 กิโลกรัม

7.ตรวจวัดอุณหภูมิบนแผ่นระนาบตามจุดต่างๆให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการจนทั่วแผ่นระนาบ โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.10 การวัดอุณหภูมิบนแผ่นระนาบตามจุดต่างๆ

8.สั่งการดึง โดยการควบคุมจากคอมพิวเตอร์ตามที่ได้เขียนคำสั่งไว้



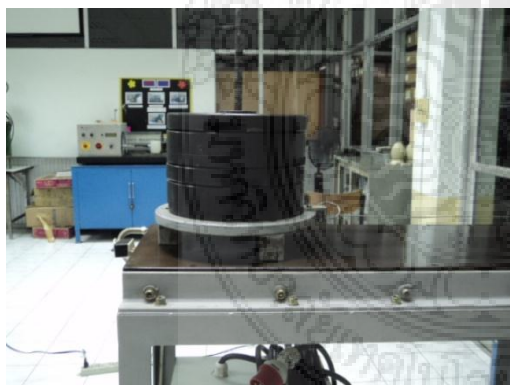
รูปที่ 4.11 การดึงโดยควบคุมจากคอมพิวเตอร์

9.บันทึกผลจากเครื่องดึงไว้เป็น File Excel

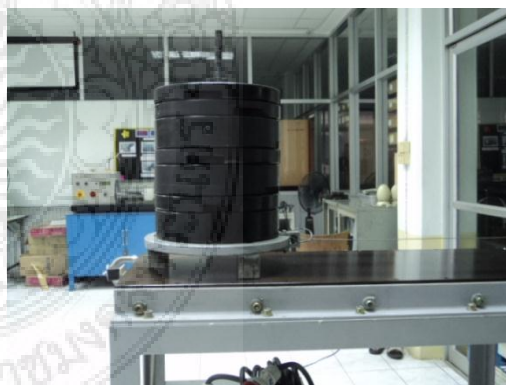


รูปที่ 4.12 บันทึกผลการทดลองในคอมพิวเตอร์

10.การเพิ่มก้อนมวลจาก 30 kg เป็น 60 kg และ 100 kg ตามลำดับ



(ก) มวลขนาด 60 kg



(ข) มวลขนาด 100 kg

รูปที่ 4.13 การเพิ่มก้อนมวล

11.เพิ่มอุณหภูมิจาก 100 °C เป็น 150 °C แล้วทำตามข้อ7-10 จนอุณหภูมิถึง 300 °C

12.ลดอุณหภูมิจาก 300 °C เป็น 250 °C แล้วทำตามข้อ7-10 จนอุณหภูมิเหลือ 100 °C

4.3 ผลการทดลอง

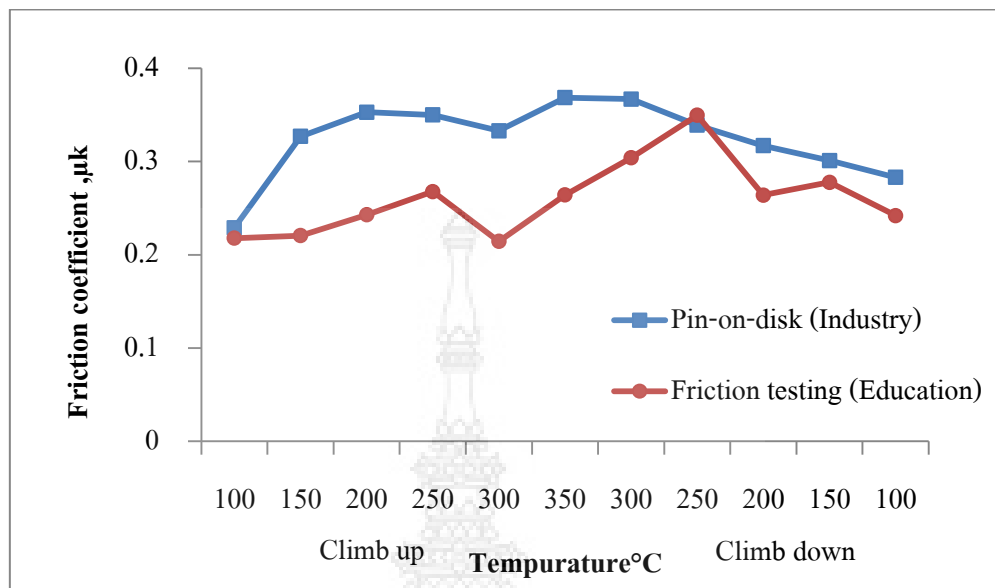
จากการดำเนินการทดลองตามวัตถุประสงค์ของโครงการนั้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลองระหว่างเครื่อง Pin on disk ซึ่งถูกทดลองโดยภาคอุตสาหกรรม และเครื่อง Friction testing ซึ่งถูกทดลองโดยคณะผู้จัดทำโครงการจะถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยการทดลองดังกล่าวอยู่ภายใต้สภาวะเดียวกัน คือ ความดันที่ 1MPa และอุณหภูมิที่ 100 °C ถึง 350 °C บนพื้นฐานชิ้นงานทดสอบประเภทเดียวกัน โดยมีความแตกต่างกันที่ความเร็วในการทดสอบเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สภาวะและรายละเอียดการทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิ °C	แรงดัน (MPa)	ความเร็ว (m/s)
Pin on disk	100-350	1	7
Friction testing	100-350	1.03	0.0083

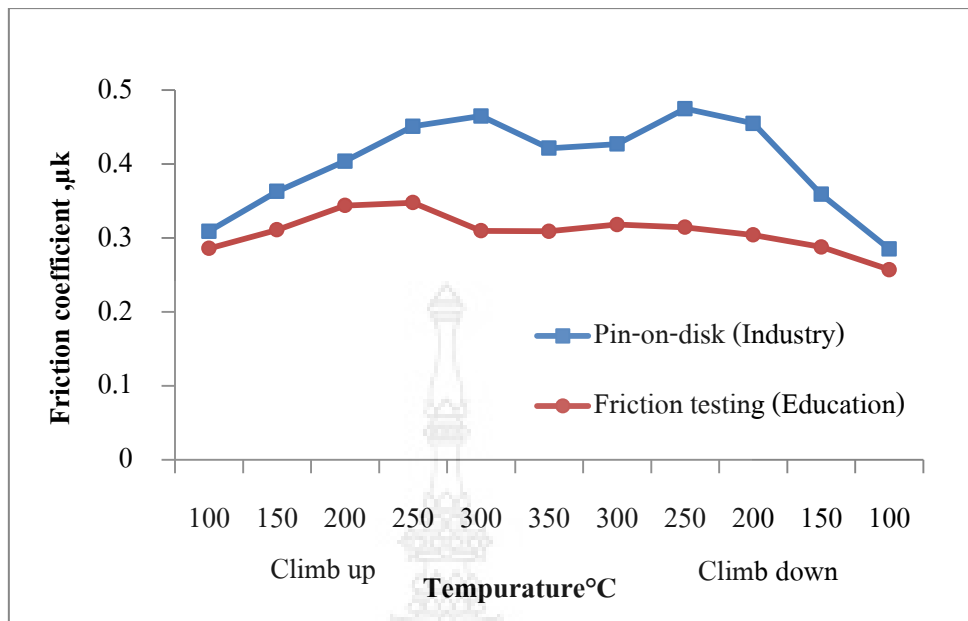
กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลอง ระหว่างเครื่อง Pin on disk (กราฟเส้นสีฟ้า) ซึ่งถูกทดลองโดยภาคอุตสาหกรรม และเครื่อง Friction testing (กราฟเส้นสีแดง) ซึ่งถูกทดลองโดยคณะผู้จัดทำโครงการ ดังรูปที่ 4.14 ถึง 4.16 นอกจากนี้กราฟเส้นดังกล่าวยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ 100 °C ถึง 350 °C ที่มีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยมีค่าระดับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เป็นตัวชี้วัด

การเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร A ถูกแสดงในรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าผลจากเครื่อง Pin on disk มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงกว่าผลจากเครื่อง Friction testing โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on disk คือ 0.229 ที่อุณหภูมิ 100 °C ในการทดลอง Climb up ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดของเครื่อง Friction testing มีค่าเท่ากับ 0.214 ที่อุณหภูมิ 300 °C ในการทดลอง Climb up และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Pin on disk มีค่า 0.368 ที่อุณหภูมิ 350 °C ในการทดลอง Climb up ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Friction testing มีค่าเท่ากับ 0.349 ที่อุณหภูมิ 250 °C ในการทดลอง Climb down หลังจากนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ดังกล่าวจะแปรผันตามอุณหภูมิ นอกจากนี้ข้อมูลจากการทดลองดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction testing เท่ากับ 18.9%



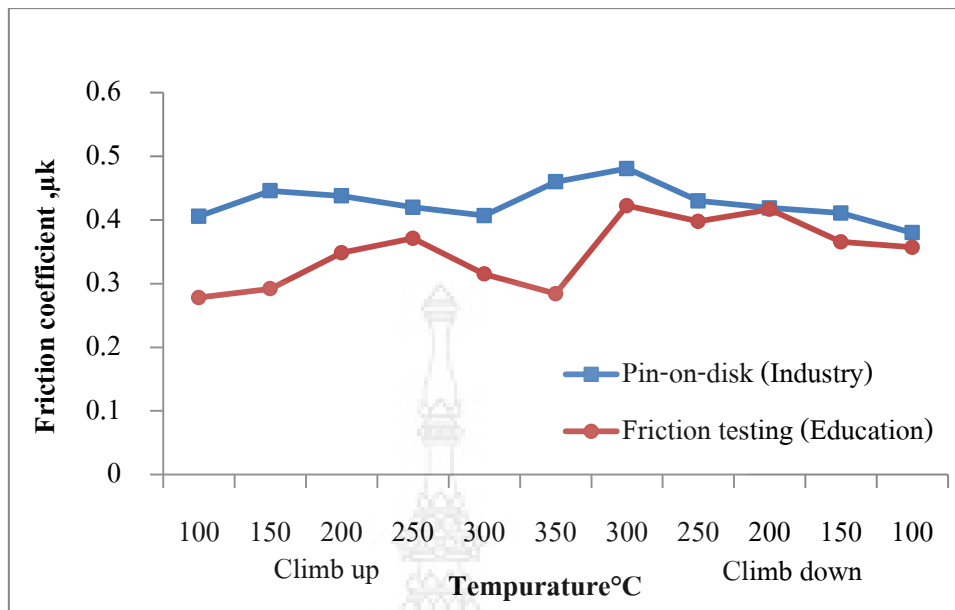
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร A

จากรูปที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร B จะเห็นว่าผลจากเครื่อง Pin on disk ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงกว่าผลจากเครื่อง Friction testing เช่นเดียวกับกับชนิด A แต่ก็ยังมีความสอดคล้องตามเครื่อง Pin on disk อยู่โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on disk คือ 0.285 ที่อุณหภูมิ 100 °C ในการทดลอง Climb down ส่วนค่าต่ำสุดของเครื่อง Friction testing คือ 0.257 ที่อุณหภูมิ 100 °C ในการทดลอง Climb down เช่นเดียวกัน ค่าสูงสุดของการทดลองชนิดนี้ของเครื่อง Pin on disk อยู่ที่ 0.475 ที่อุณหภูมิ 250 °C ในการทดลอง Climb down และค่าจากเครื่อง Friction testing คือ 0.347 ที่อุณหภูมิ 250 °C ในการทดลอง Climb up และจากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction testing เท่ากับ 21.96%



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร B

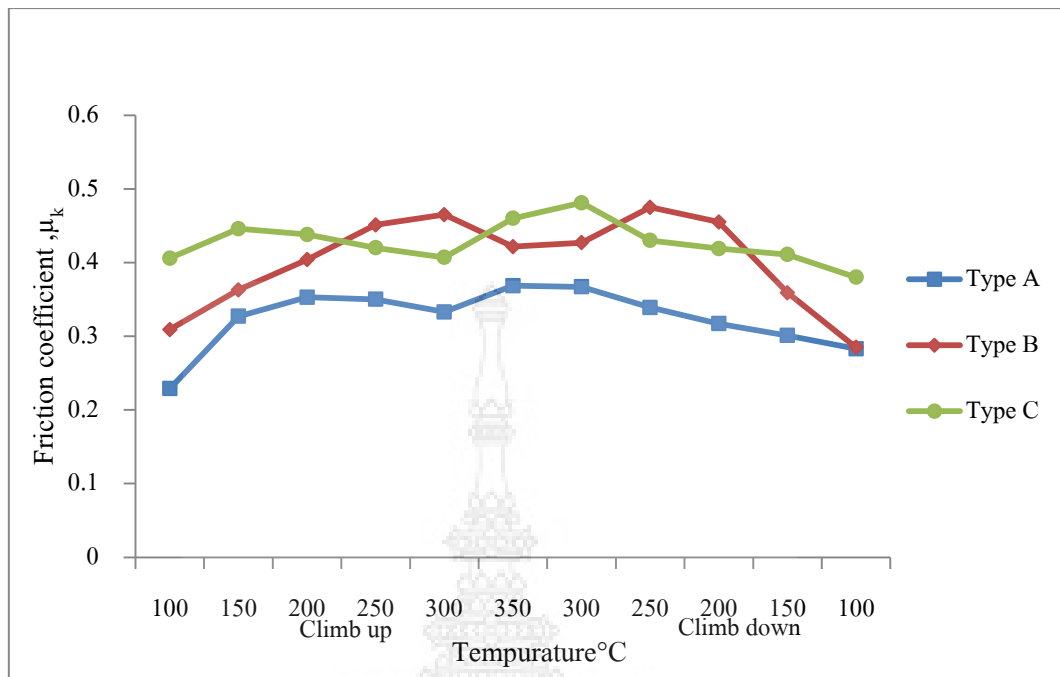
การเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร C แสดงไว้ในรูปที่ 4.16 ซึ่งผลที่เกิดขึ้นยังเป็นไปตามลักษณะของสูตร A และสูตร B คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของเครื่อง Pin on disk จะยังมีค่าสูงกว่าผลจากเครื่อง Friction testing โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ต่ำสุดจากเครื่อง Pin on disk คือ 0.380 ที่อุณหภูมิ 100 °C ในการทดลอง Climb down ส่วนค่าต่ำสุดของเครื่อง Friction testing คือ 0.278 ที่อุณหภูมิ 100 °C ในการทดลอง Climb up ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์สูงสุดของเครื่อง Pin on disk และเครื่อง Friction testing เกิดขึ้นที่อุณหภูมิเดียวกันคือที่อุณหภูมิ 300°C โดยค่าของเครื่อง Pin on disk เท่ากับ 0.481 ส่วนค่าของเครื่อง Friction testing เท่ากับ 0.422 และจากผลการทดลองนี้จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่ได้จากเครื่อง Pin on disk มีค่าสูงกว่าเครื่อง Friction testing เท่ากับ 17.82%



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองผ้าเบรกสูตร C

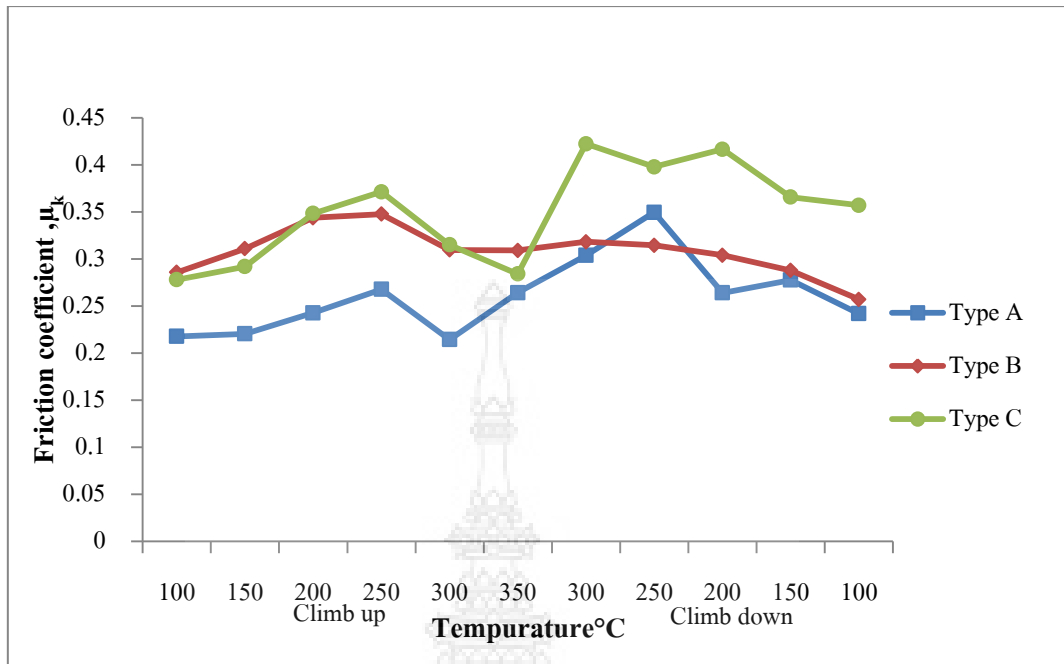
จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นพบว่าผลจากเครื่อง Friction testing มีค่าความคลาดเคลื่อนจากผลของ Pin on disk ตามจุดต่างๆแตกต่างกันไปและแต่ละชนิดก็มีความคลาดเคลื่อนรวมแตกต่างกัน ซึ่งอาจมีผลมาจากตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากความเร็วที่ใช้ในการทดลองของทั้ง 2 แบบ นั้นต่างกันอยู่มาก นอกจากนี้การควบคุมตัวแปรขณะทำการทดลองทำได้ค่อนข้างยาก เช่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นแต่ละจุดบนแผ่นระนาบทดสอบมีค่าแตกต่างกันในช่วงการทดลอง

จากรูปที่ 4.17 เมื่อนำพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ที่อุณหภูมิต่างๆ ของผ้าเบรกทั้ง 3 ชนิด มาเปรียบเทียบกันแล้ว โดยรวมจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกสูตร A จะมีค่าต่ำที่สุด และผ้าเบรกสูตร B และ C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงอุณหภูมิของการทดลองพบว่าผ้าเบรกสูตร B และ สูตร C จะมีค่ามากกว่าสูตร A ซึ่งมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ทั้งในช่วงการทดลอง Climb up และ Climb down โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกสูตร B มากกว่าสูตร C เท่ากับ 36.36% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกสูตร C มากกว่าสูตร B เท่ากับ 63.64%



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 สูตรของเครื่อง Pin on disk

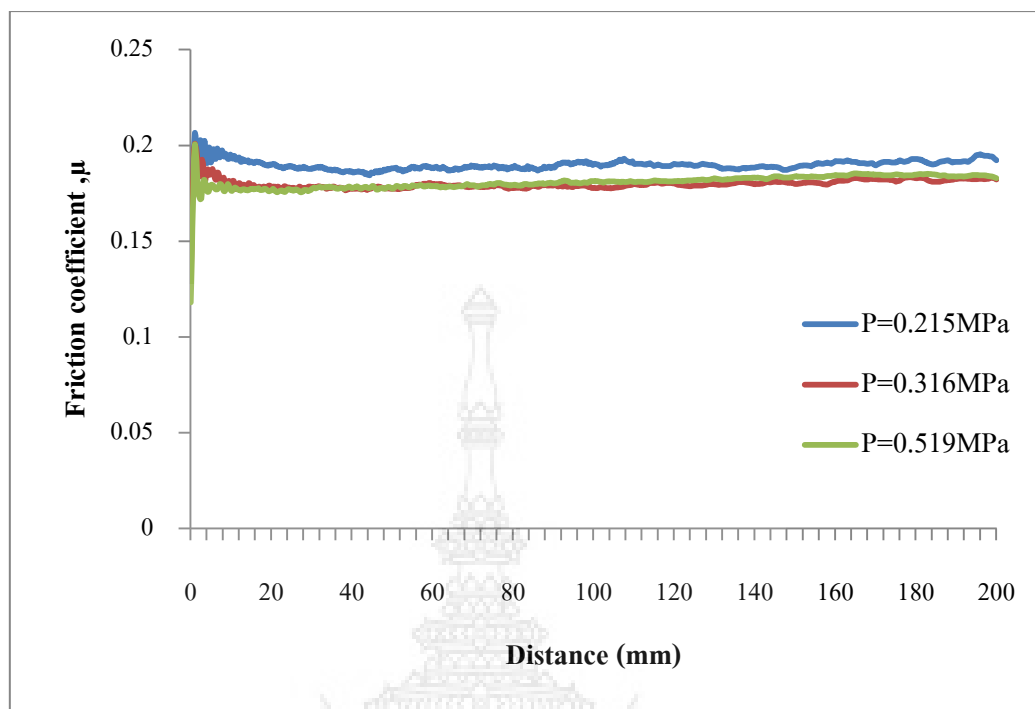
จากรูปที่ 4.18 เป็นการนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกทั้ง 3 สูตร ที่ทำการทดลองจากเครื่อง Friction testing มาทำการเปรียบเทียบผลเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.18 จะเห็นว่าผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองโดยรวมพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกสูตร A จะมีค่าต่ำที่สุดแต่จะมีความแปรปรวนเกิดขึ้นที่จุดอุณหภูมิ 250 °C ในการทดลอง Climb down ผ้าเบรกสูตร A มีค่ามากกว่าผ้าเบรกสูตร B อันอาจเกิดจากปัจจัยดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนผ้าเบรกสูตร B และ C จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในบางช่วงอุณหภูมิของการทดลองพบว่าผ้าเบรกสูตร B และสูตร C จะมีค่ามากกว่าสูตร A ซึ่งมีพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ทั้งในช่วงการทดลอง Climb up และ Climb down โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกสูตร B มากกว่าสูตร C เท่ากับ 27.27% ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของผ้าเบรกสูตร C มากกว่าสูตร B เท่ากับ 72.73%



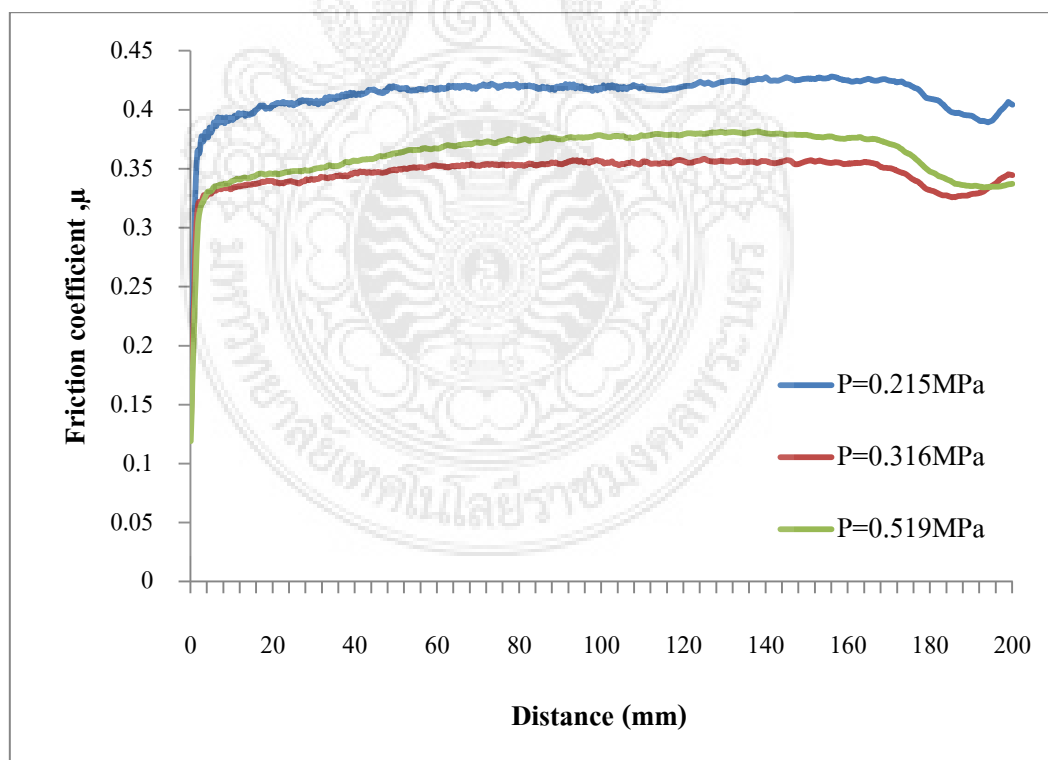
รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 3 สูตรของเครื่อง Friction testing

จากรูปที่ 4.19, 4.20 และ 4.21 เป็นการนำกราฟที่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ของผ้าเบรกสูตร A, B และ C ที่ความดันต่างๆ ณ อุณหภูมิที่ 200 °C เพื่อสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าว โดยอุณหภูมิอื่นที่ไม่ได้นำมาแสดงก็จะมีพฤติกรรมที่สอดคล้องและมีลักษณะคล้ายๆกันแทบทุกอุณหภูมิ

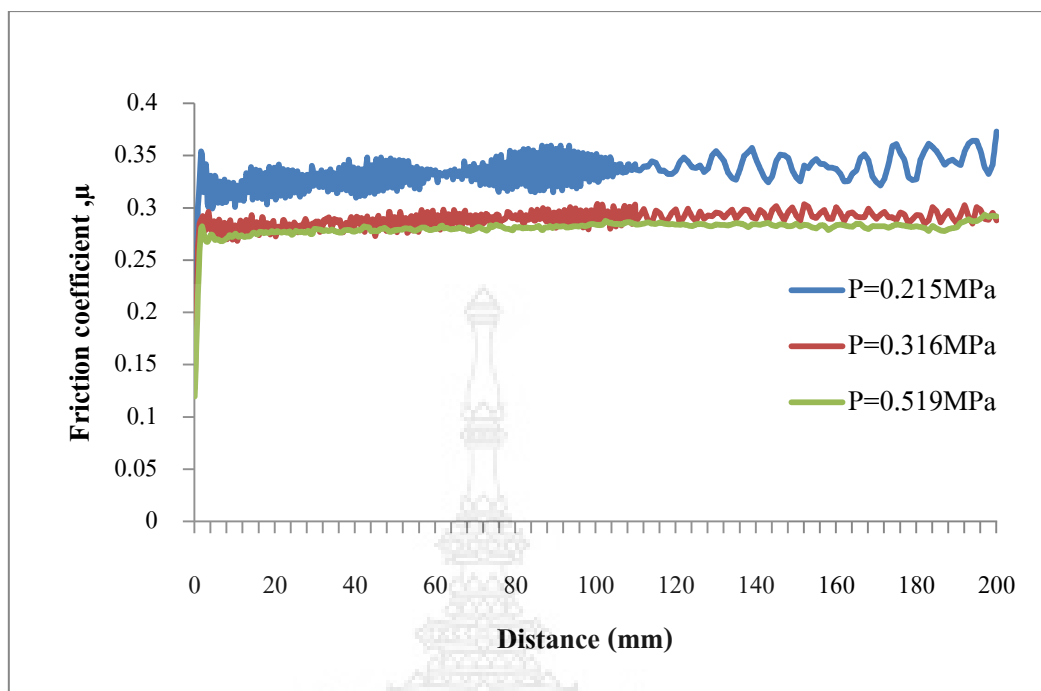
ผลจากการทดลอง พบว่าโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่สภาวะความดันสูงจะส่งผลกระทบให้ทั้งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ มีค่ามากกว่าที่สภาวะความดันต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในตารางที่ 4.4 และสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนจากผลการทดลองผ้าเบรกสูตร A ดังแสดงในรูปที่ 4.19 อย่างไรก็ตามผลการทดลองยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตไม่สามารถหาค่าได้ในผ้าเบรกสูตร B ดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.4 ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างโลหะและวัสดุผสม (ผ้าเบรก) ภายใต้สภาวะความดันอาจส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ทางพฤติกรรมระหว่างการเสียดทาน การหล่อลื่น และการสึกหรอ (Tribology) ในขณะที่ทำการทดลอง เนื่องจากผ้าเบรกสูตร B มีส่วนผสมของโลหะที่น้อยและมีค่าความยืดหยุ่นที่ค่อนข้างต่ำ (ข้อมูลจากผู้ผลิต) นอกจากนี้พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่มีความอ่อนไหวนั้นจะขึ้นอยู่กับสูตรของผ้าเบรกแต่ละชนิดอีกด้วย



รูปที่ 4.19 ผลการทดลองผ้าเบรกสูตร A ที่ความดันต่างๆจากเครื่อง Friction testing



รูปที่ 4.20 ผลการทดลองผ้าเบรกสูตร B ที่ความดันต่างๆจากเครื่อง Friction testing



รูปที่ 4.22 ผลการทดลองผ้าเบรกสูตร C ที่ความดันต่างๆจากเครื่อง Friction testing

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเนื่องจากความดันของผ้าเบรกสูตร A สูตร B และสูตร C

ความดัน (MPa)	สูตร A		สูตร B		สูตร C	
	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k	μ_s	μ_k
0.215(30 kg)	0.2066	0.1891	-	0.4084	0.3539	0.3268
0.316(60 kg)	0.2008	0.1789	-	0.3437	0.2920	0.2847
0.519(100 kg)	0.2006	0.1778	-	0.3559	0.2822	0.2774

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดลอง ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาแนวทางการทดสอบสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบใหม่ เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบในภาคอุตสาหกรรม อีกทั้งเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน โดยอาศัยแนวทางการสร้างตามรูปแบบมาตรฐาน JIS K7125 และอาศัยสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน JIS D4311 ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าคัลท์ซ์มาประยุกต์ใช้กับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผ้าเบรก นอกจากนี้ยังมุ่งเน้นไปที่การศึกษาพฤติกรรมสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์อีกด้วย

จากวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการสร้างทางเลือกใหม่สำหรับการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนั้นพบว่า ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 17-22% นอกจากนี้องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ และความดันที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานพบว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์อย่างยิ่งซึ่งสามารถกล่าวโดยรวมได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์มีแนวโน้มจะแปรผันตาม นอกจากนี้ความดันก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานซึ่งพบว่าโดยปกติค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตจะสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ผลต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นตามด้วย

อย่างไรก็ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นจากทั้งอุณหภูมิและความความดัน ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์นั้น ยังขึ้นอยู่กับสูตรของผ้าเบรกแต่ละชนิดที่มีส่วนการผสมของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันและหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งานที่ทางผู้ผลิตกำหนดอีกด้วย

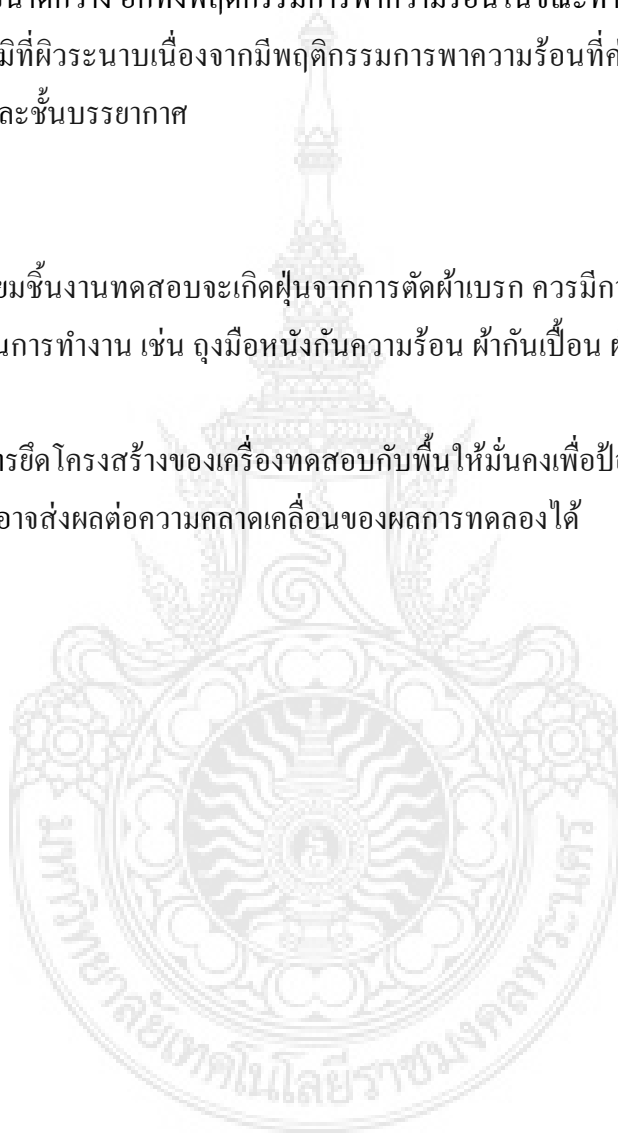
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ

การควบคุมอุณหภูมิที่ผิวแผ่นระนาบทดสอบในช่วงอุณหภูมิสูงมีข้อจำกัดและทำได้ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากมีอุณหภูมิที่ผิวระนาบแต่ละจุดมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากอันเป็นสาเหตุมาจากความสามารถของอุปกรณ์ทำความร้อนที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่สูงให้เท่ากันได้ ในบริเวณพื้นที่ที่มีขนาดกว้าง อีกทั้งพฤติกรรมการพาความร้อนในขณะที่ทำการทดสอบก็มีอิทธิพลต่อการรักษาอุณหภูมิที่ผิวระนาบเนื่องจากมีพฤติกรรมการพาความร้อนที่ค่อนข้างผันผวนระหว่างผิวระนาบทดสอบและชั้นบรรยากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบจะเกิดฝุ่นจากการตัดผ้าเบรก ควรมีการสวมอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน เช่น ถุงมือหนังกันความร้อน ผ้ากันเปื้อน ผ้าปิดจมูก และสวมแว่นตานิรภัยเป็นต้น

5.3.2 ควรมีการยึดโครงสร้างของเครื่องทดสอบกับพื้นให้มั่นคงเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนขณะเครื่องทำงาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองได้



บรรณานุกรม

- [1] ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรก.แหล่งที่มา:<http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/it/technology> ค้นเมื่อ วันที่ 29 พฤศจิกายน, 2553
- [2] JIS K7125:The special test jigs for friction measurements. Tokyo: Japanese Standards Association,1995.
- [3] JIS D4311:Clutch facings for automobiles. Tokyo: Japanese Standards Association,1995.
- [4] เรื่องของผ้าเบรก. แหล่งที่มา:<http://www.pickupextreme.com> ค้นเมื่อ วันที่ 2 ธันวาคม, 2553.
- [5] ประเสริฐ เทียนนิมิตร, วิวัฒน์ ภัททิยธนี, ปานเพชร ชินินทร.ทฤษฎีและคำนวณเทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547.
- [6] ชนะ กสิภาร์. ความแข็งแรงของวัสดุ.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2528.
- [7] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน.การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1.กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยูเคชั่น,2522.
- [8] สมพงษ์ ใจดี. ฟิสิกส์มหาวิทยาลัยเล่ม1.สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ,2539.
- [9] A R DUDI, M NARAIN.Brakes 2000 Automotive Braking-Technologies the21st Century
- [10] ข้อมูลมาตรฐานเหล็กรูปพรรณ. แหล่งที่มา:http://www.sb-trademark.co.th/product-metal-steel_JIS.php ค้นเมื่อ วันที่ 18 สิงหาคม, 2554.

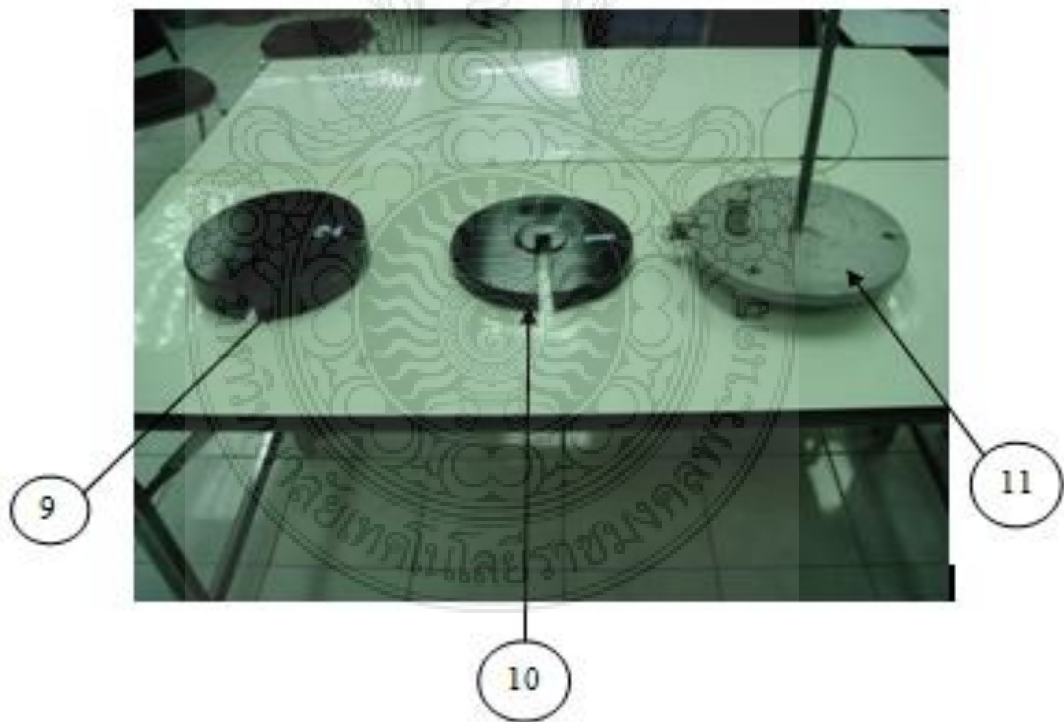
ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งานเครื่อง



แสดงส่วนประกอบ



หมายเลข	ส่วนประกอบ
1	ชุดลูกดอก
2	แผ่นระนาบ
3	ฮีตเตอร์
4	ฝาครอบ
5	ตู้คอนโทรล
6	ขาตั้ง
7	ล้อเลื่อน
8	ปลั๊กสายไฟ
9	ก้อนน้ำหนัก 20kg
10	ก้อนน้ำหนัก 10kg
11	ชุดรองก้อนน้ำหนัก

วิธีการใช้งาน

1. ทำการติดตั้งเครื่องทดสอบเข้ากับเครื่องตั้งแล้วใส่สลักล๊อคให้เรียบร้อย
2. ปรับความสูงของขาเครื่องทดสอบที่ขาตั้งให้ได้ระดับทั้งสี่ขา
3. เสียบปลั๊กเปิดเครื่องทดสอบ เครื่องตั้ง และคอมพิวเตอร์ควบคุมการตั้ง
4. ตั้งอุณหภูมิที่ตู้ควบคุมฮีตเตอร์โดยเริ่มจากอุณหภูมิต่ำไปสูง
5. เขียนคำสั่งการตั้งจากคอมพิวเตอร์
6. วางชุด support weight บนแผ่นระนาบทดสอบติดตั้งลวดตั้งกับ โหลดเซลล์
7. ติดตั้งชิ้นงานทดสอบที่ชุด support weight และวางก้อนน้ำหนัก
8. วัดอุณหภูมิที่แผ่นระนาบ แล้วทำการเริ่มตั้ง
9. เมื่อทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ปิดสวิตซ์ OFF ที่เครื่องทดสอบและเครื่องตั้ง
10. หลังการใช้งานทุกครั้งทำความสะอาดที่แผ่นระนาบทดสอบ และเครื่องตั้ง

ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่
2. ก่อนการใช้งานควรปรับความสูงเครื่องให้ได้ระดับ และล๊อคน๊อตที่ขาตั้งให้แน่น
3. ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานแผ่นระนาบทดสอบจะร้อนไม่ควรเข้าใกล้
4. ปิดฝาครอบแผ่นระนาบทันทีที่ทำการทดสอบเสร็จ

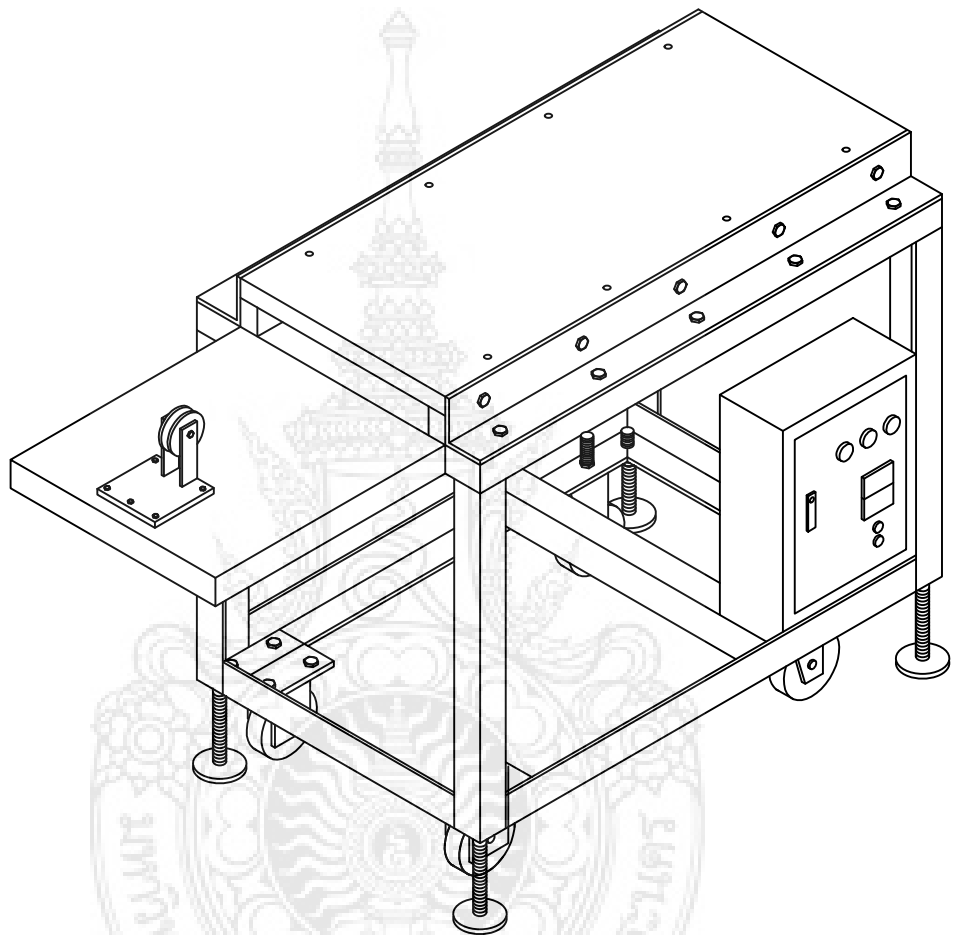
การบำรุงรักษา

1. ทำความสะอาดและชโลมน้ำมันบางๆที่แผ่นระนาบทดสอบเพื่อป้องกันสนิม
2. ทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้าสะอาดทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

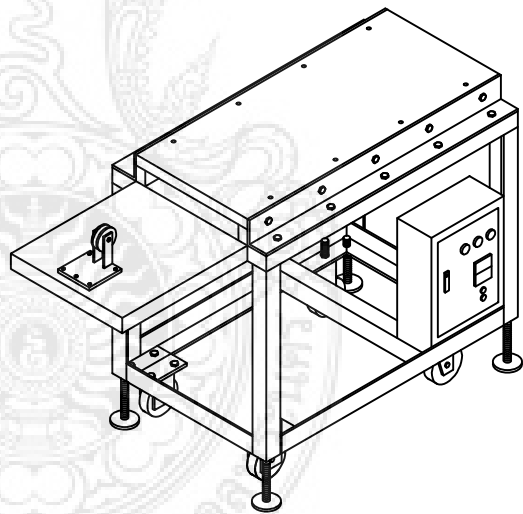
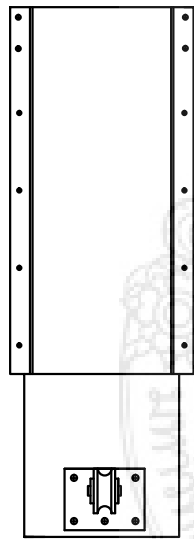
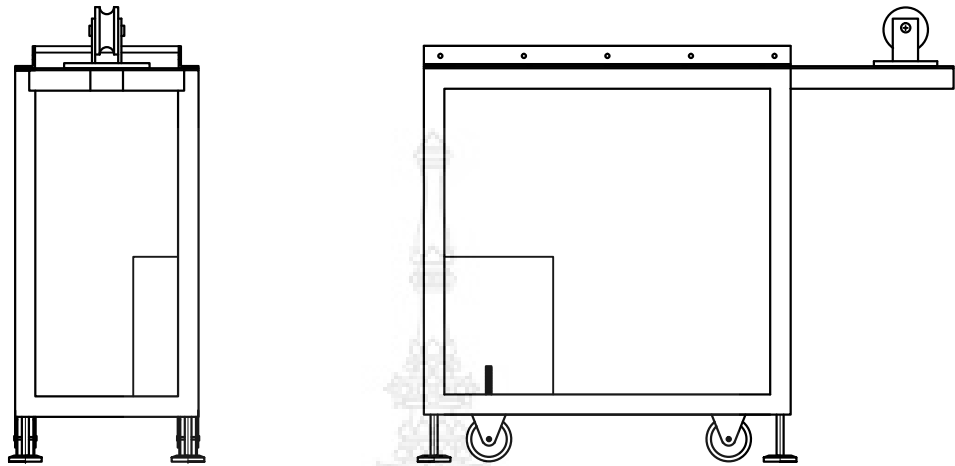
ภาคผนวก ข

แบบเครื่องทดสอบ

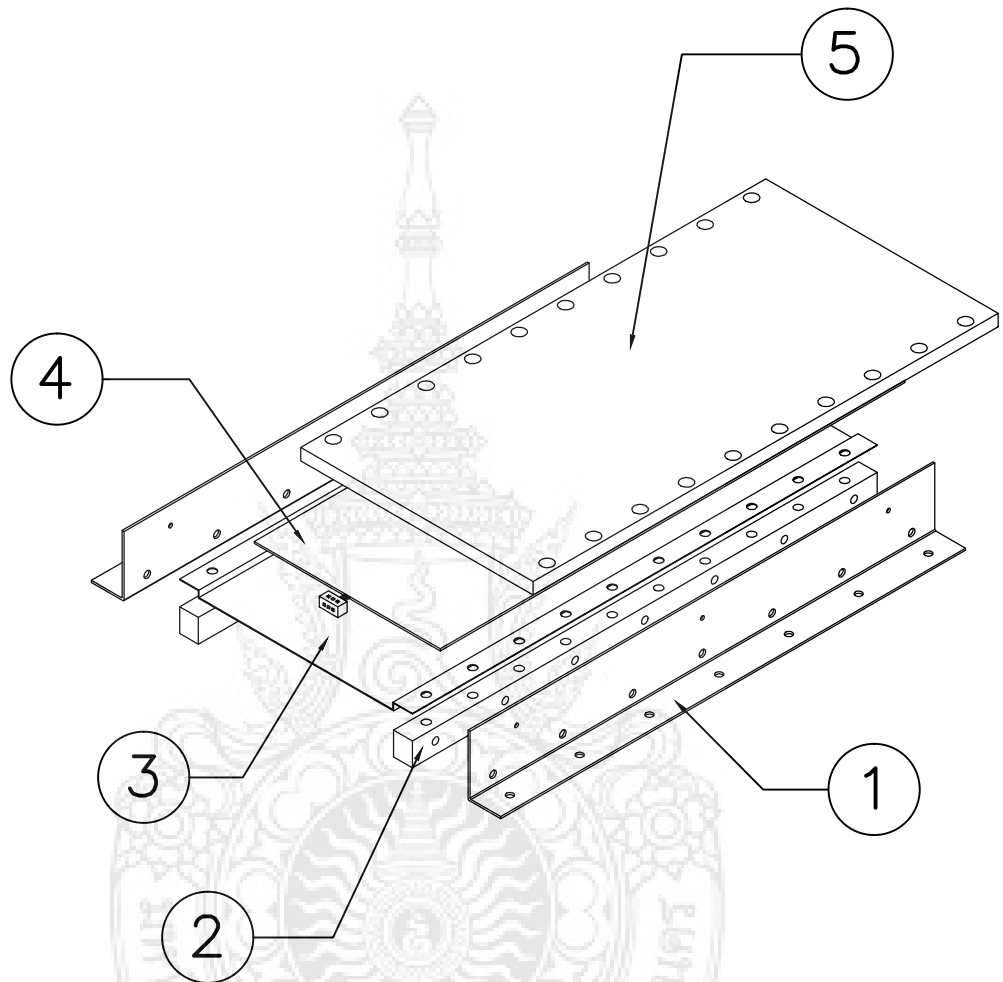




ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน ภาพเครื่องที่เสร็จสมบูรณ์		หมายเลขแบบ		

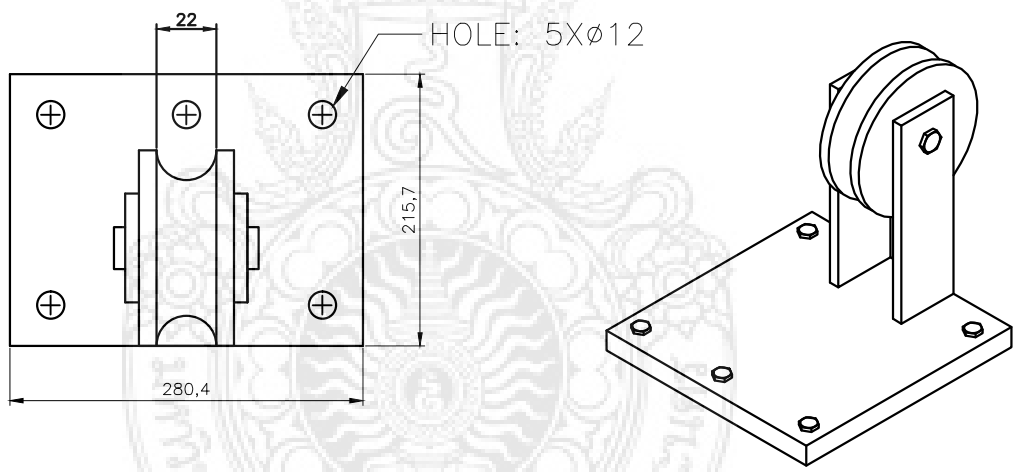
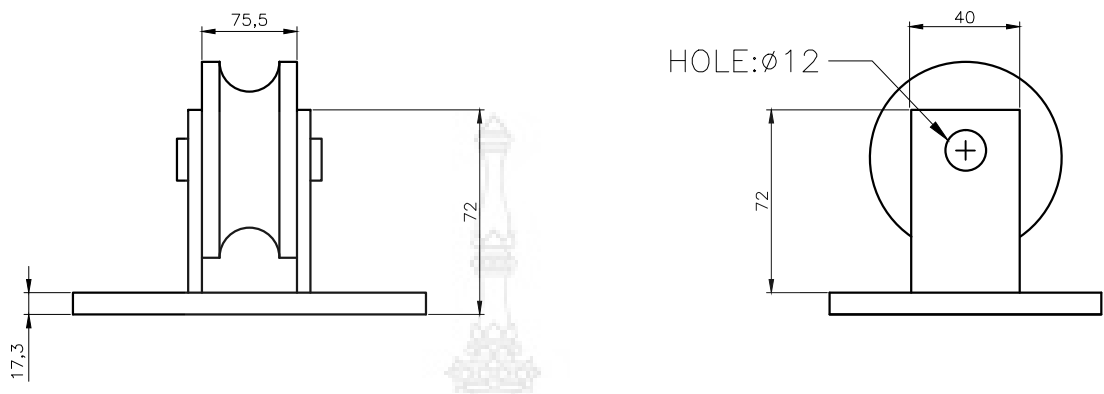


ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กันภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	1
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กันภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน ชุดทำความร้อน			หมายเลขแบบ 1	

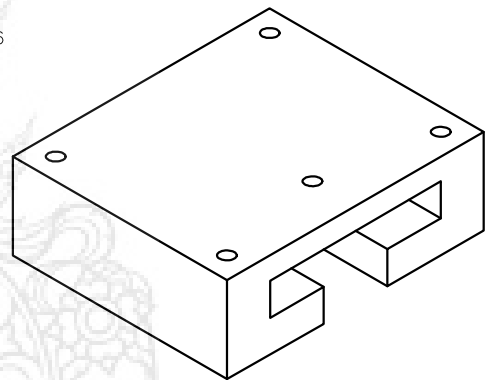
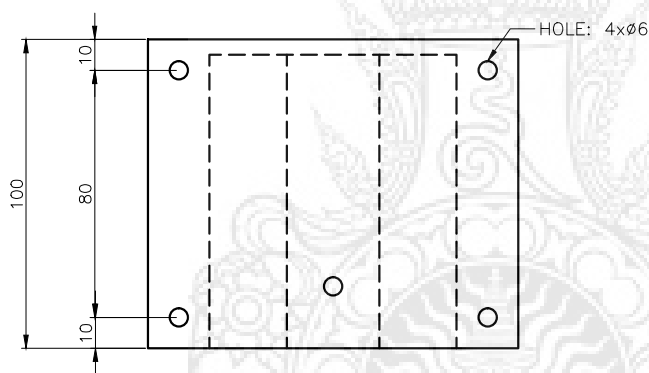
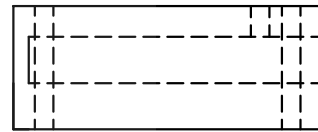
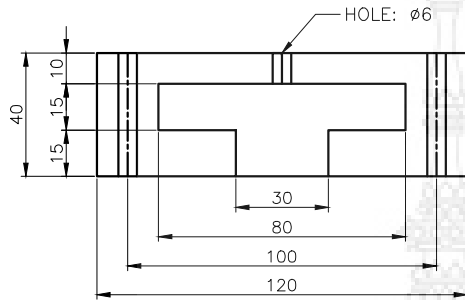


หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน
1	เหล็กประกอบข้าง
2	เหล็กรองแผ่นระนาบ
3	เหล็กรองแผ่นฉนวน
4	ชุดทำความสะอาด
5	แผ่นระนาบ

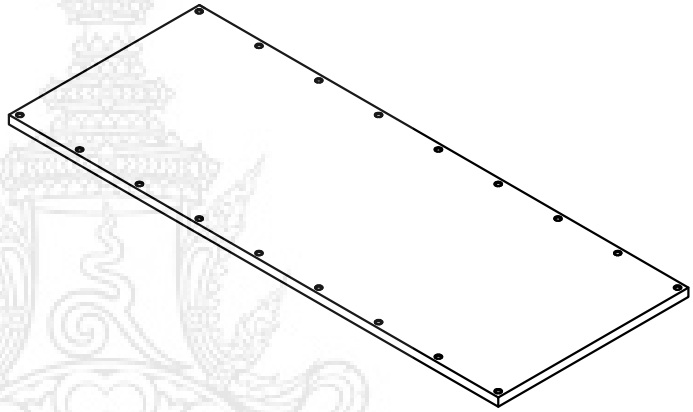
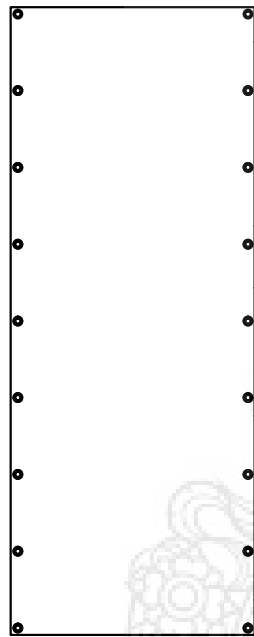
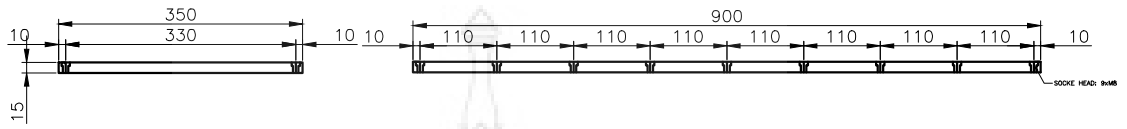
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กันภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กันภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน ลำดับแยกชิ้น			หมายเลขแบบ 2	



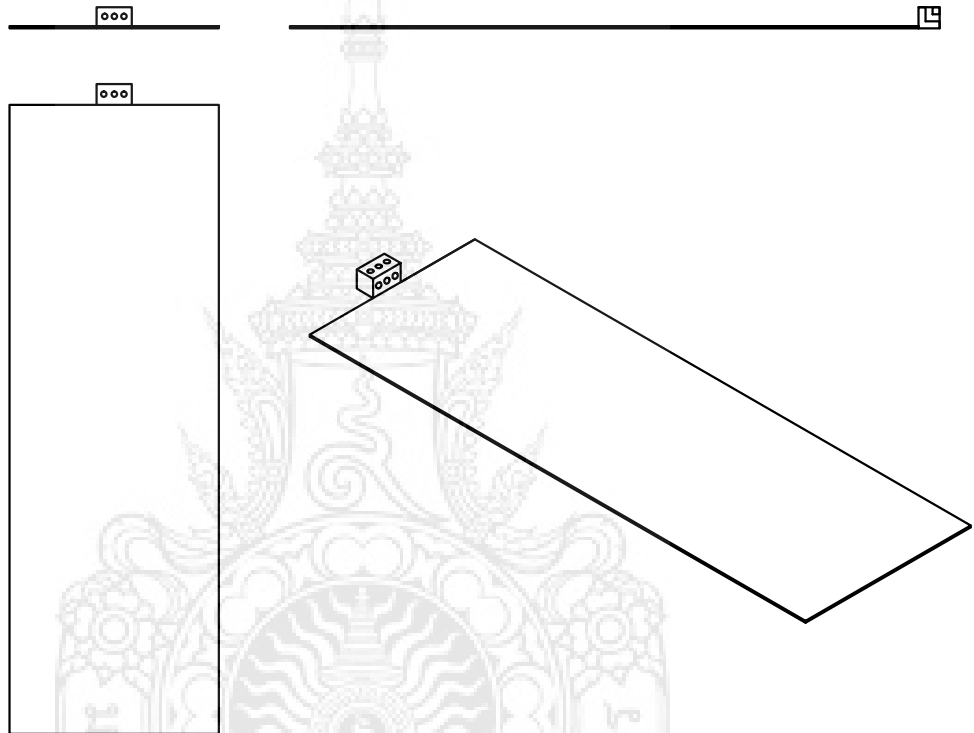
3					1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กันภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กันภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน ชุดลูกกรอก		หมายเลขแบบ 5		



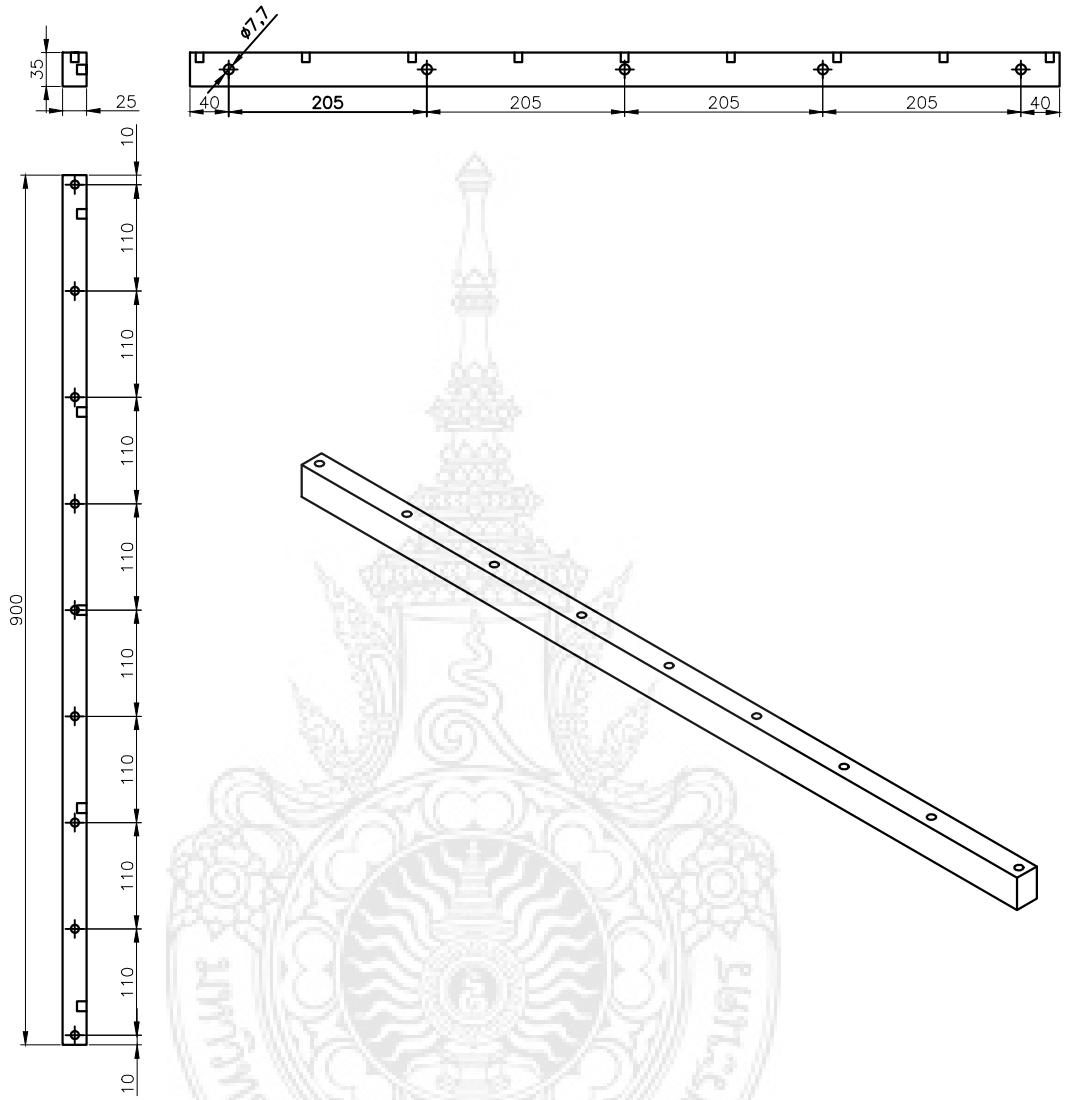
4					1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน ชุดกล่องลิ้นชัก			หมายเลขแบบ 6	



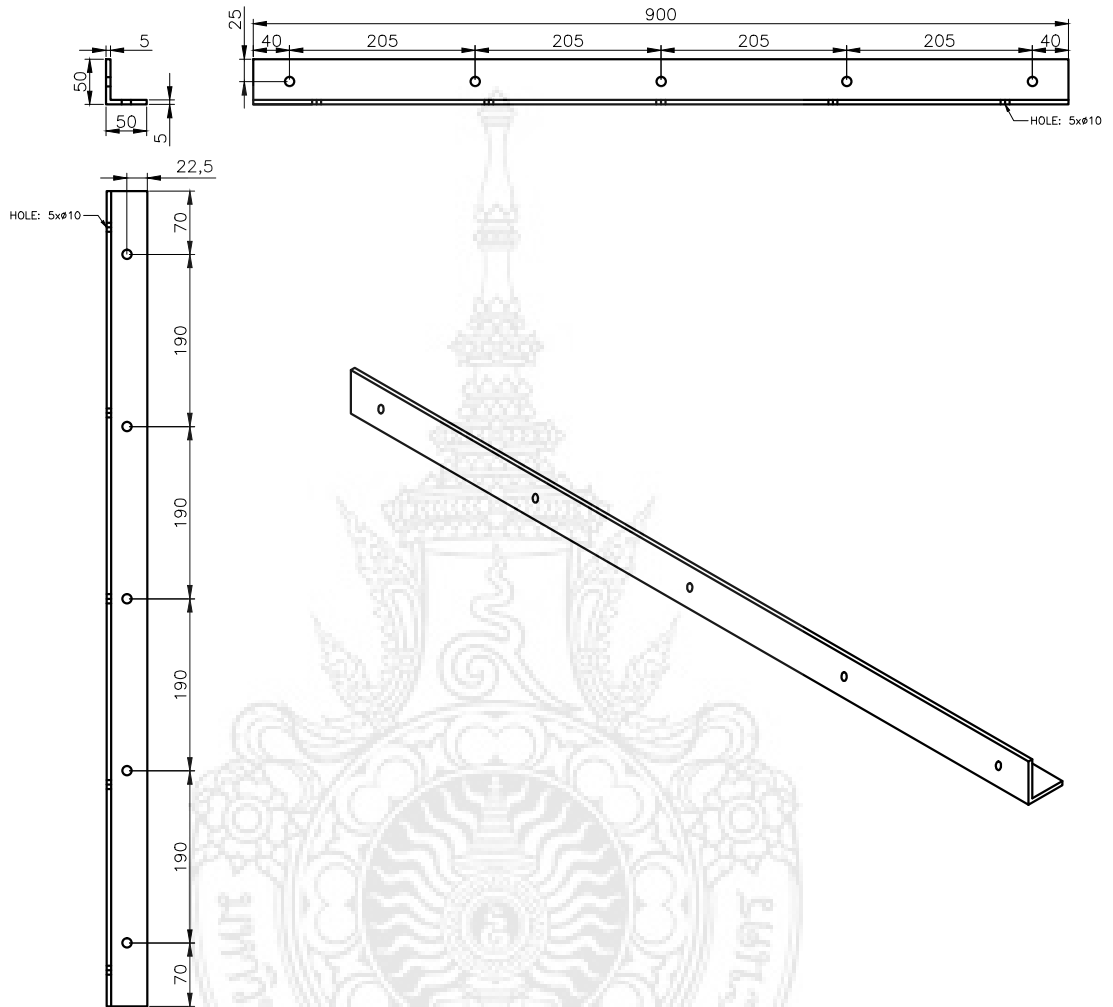
5					1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กัญภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กัญภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน แผ่นระนาบ		หมายเลขแบบ 7		



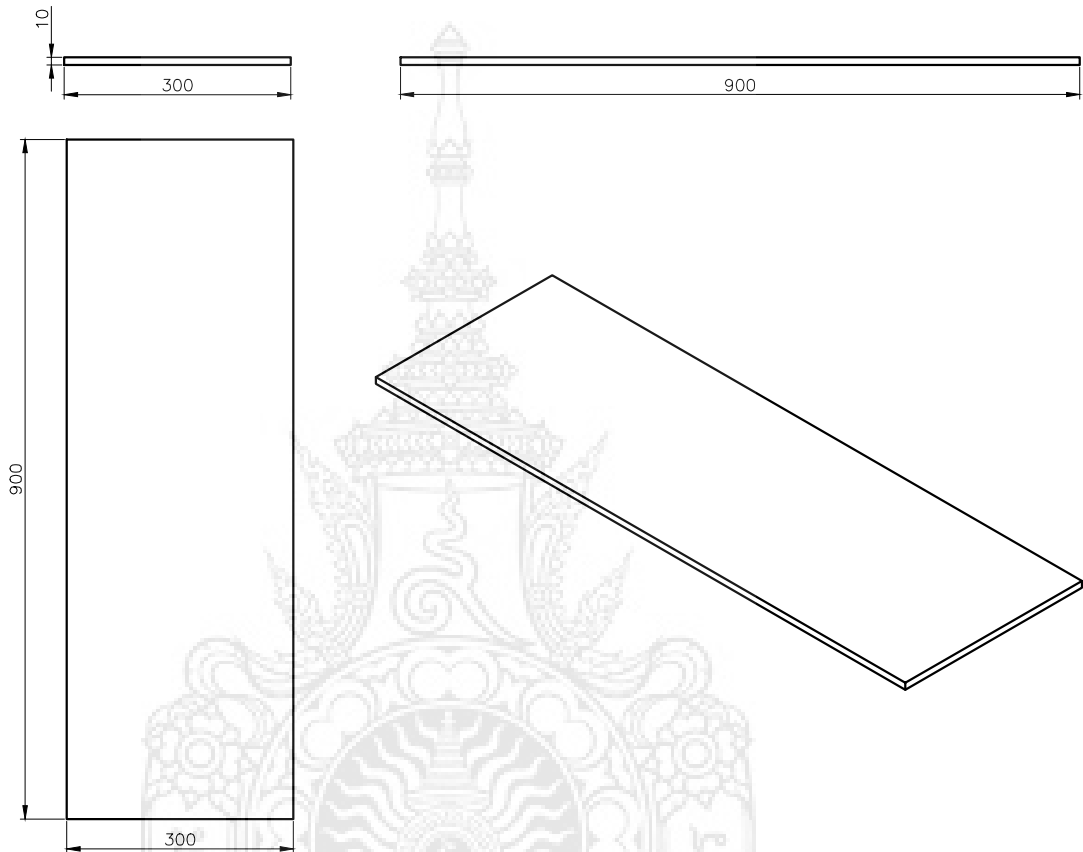
6					1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กัญภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กัญภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน ชุดทำควมร้อน		หมายเลขแบบ 8		



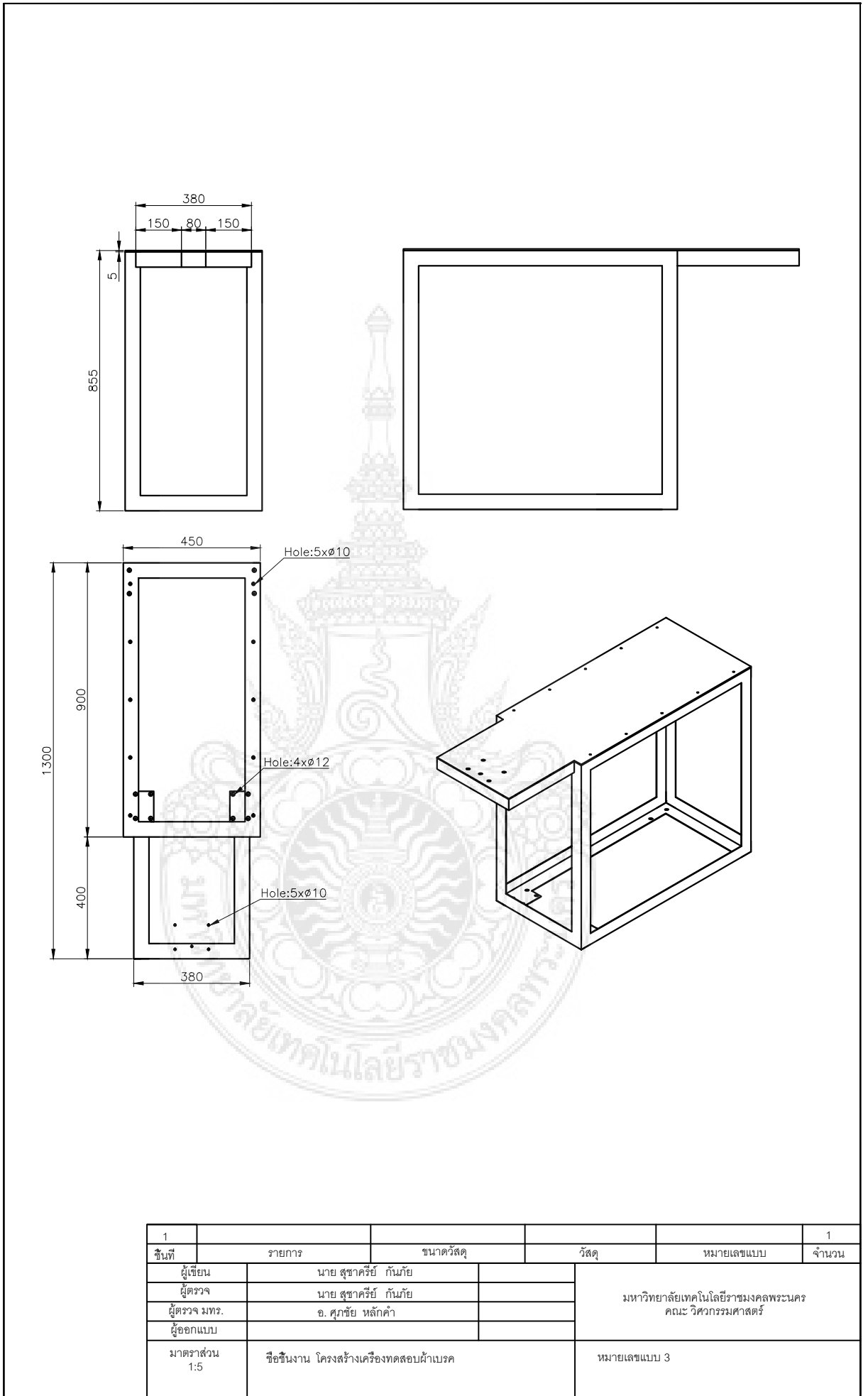
7					2
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กัมภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กัมภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตรฐาน 1:5	ชื่อชิ้นงาน	เหล็กทรงแผ่นระนาบ		หมายเลขแบบ 9	



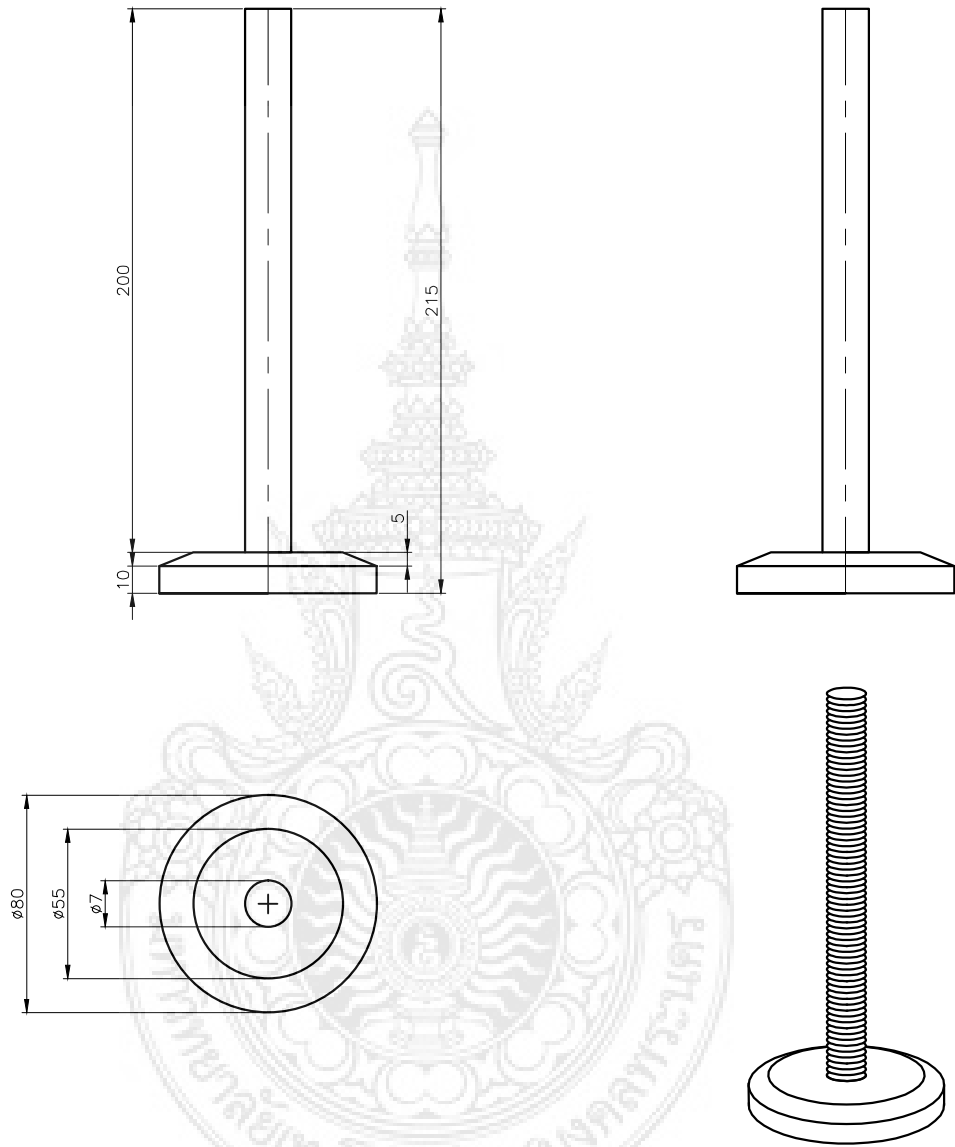
8					2
พื้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กันภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กันภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน เหล็กประกบข้าง			หมายเลขแบบ 10	



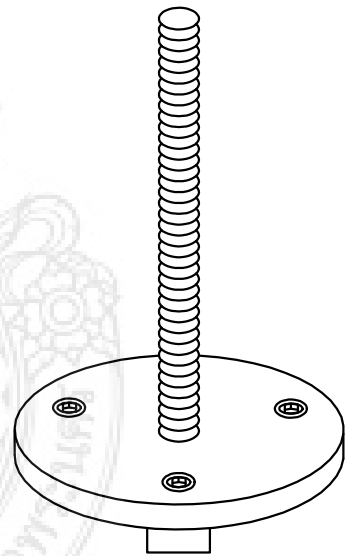
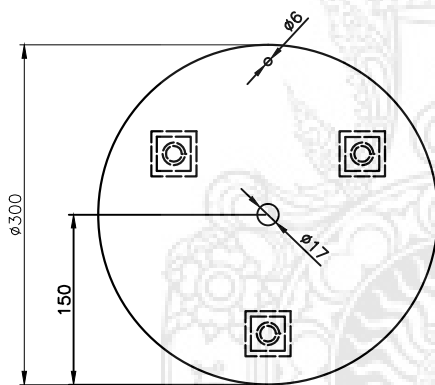
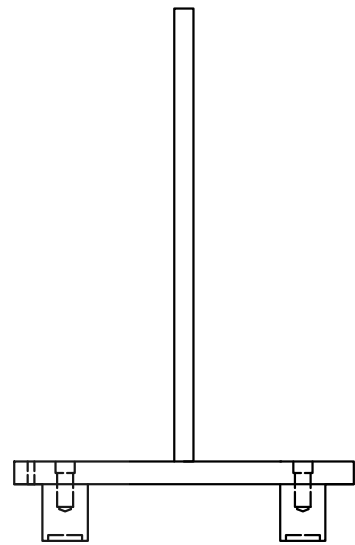
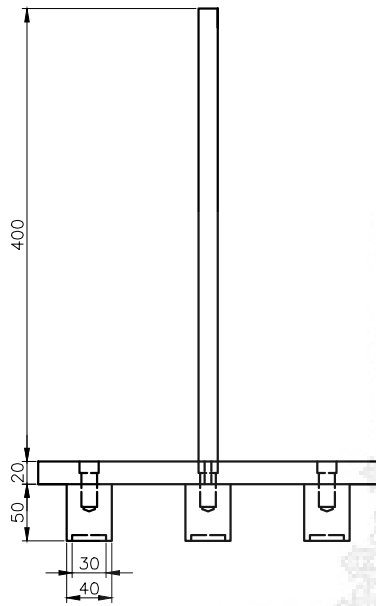
9					1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กัมภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กัมภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:5	ชื่อชิ้นงาน แผ่นฉนวน		หมายเลขแบบ 11		



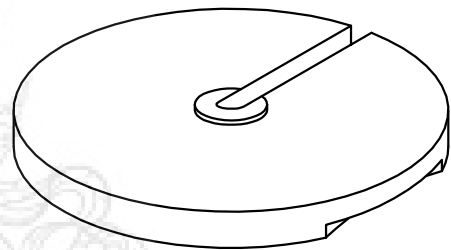
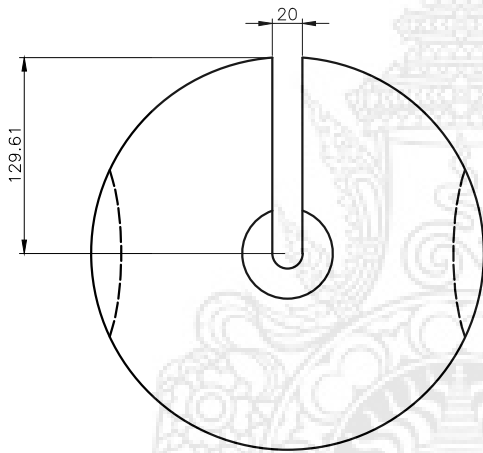
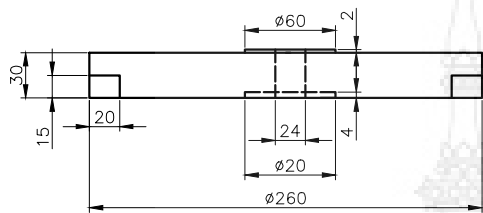
1	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	1
ชั้นที่					จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กันภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กันภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตรฐาน 1:5	ชื่อชิ้นงาน โครงสร้างเครื่องทดสอบผ้าเบรค			หมายเลขแบบ 3	



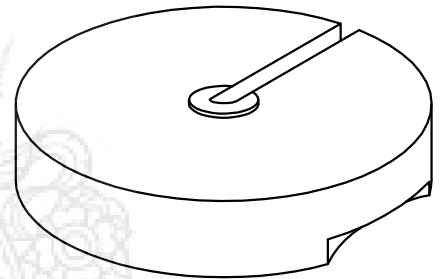
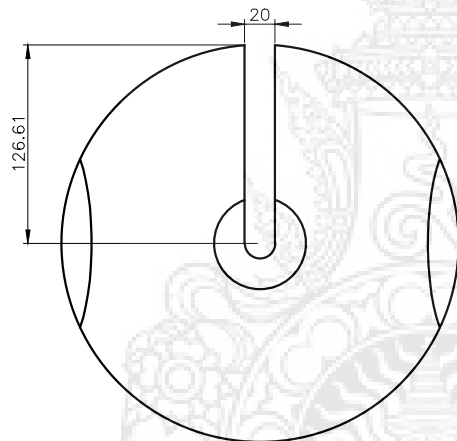
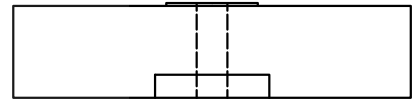
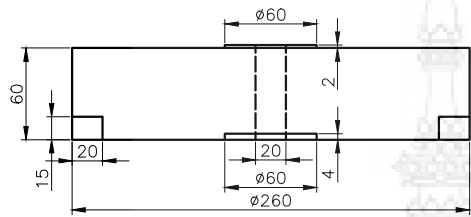
2					4
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กันภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กันภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:2	ชื่อชิ้นงาน ขาตั้ง		หมายเลขแบบ 4		



10					1
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กันภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กันภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:2.5	ชื่อชิ้นงาน ชุดจับยึดชิ้นงาน			หมายเลขแบบ 12	




12					4
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:2.5	ชื่อชิ้นงาน	ก้อนมวล 10 กิโลกรัม		หมายเลขแบบ	14




11					3
ชั้นที่	รายการ	ขนาดวัสดุ	วัสดุ	หมายเลขแบบ	จำนวน
ผู้เขียน	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย			มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะ วิศวกรรมศาสตร์	
ผู้ตรวจ	นาย สุชาครีย์ กั้นภัย				
ผู้ตรวจ มทร.	อ. ศุภชัย หลีกคำ				
ผู้ออกแบบ					
มาตราส่วน 1:2.5	ชื่อชิ้นงาน ก้อนมวล 20 กิโลกรัม		หมายเลขแบบ 13		

ประวัติผู้จัดทำโครงการ


ชื่อ-นามสกุล	นายพฤกษ์ โมกไชสง	
วัน-เดือน-ปีเกิด	16 สิงหาคม 2532	
ที่อยู่	212/200 หมู่ 5 ซอยวิภาวดีรังสิต 27 แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210	
ประวัติการทำงาน	บ.พระนครอโต้เซลล์จำกัด พ.ศ.2551-ปัจจุบัน	
ประวัติการศึกษา		
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนช่างฝีมือปทุมธานี พ.ศ. 2549	
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนช่างฝีมือปทุมธานี พ.ศ. 2551	
วศ.บ.	สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554	
โทรศัพท์	08-6909-6994	
e-mail	Prueg.m@hotmail.com	



ประวัติผู้จัดทำโครงการ


ชื่อ-นามสกุล	นายอมรศักดิ์ โพธิ์แก้ว	
วัน-เดือน-ปีเกิด	11 มีนาคม 2522	
ที่อยู่	145/25 หมู่ 10 ม.เมืองประชา ซอย 13 ต.บางคูวัด อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000	
ประวัติการทำงาน	บ.ไทยน้ำทิพย์จำกัด โรงงานปทุมธานี พ.ศ. 2547-พ.ศ. 2550 บ.ตรีเพชรীชูชูปริการจำกัด พ.ศ. 2550-ม.ค.-2555	
ประวัติการศึกษา	<p>ปวช. สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนพระรามหกเทคโนโลยี พ.ศ. 2540</p> <p>ปวส. สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม พ.ศ. 2542</p> <p>วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554</p>	
โทรศัพท์	08-9899-6378	
e-mail	nmars@hotmail.co.th	

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-นามสกุล	นายโมมิต เชื่อมใจ	
วัน-เดือน-ปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ 2529	
ที่อยู่	256/8 บ้านพักรถไฟ กม.11 แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900	
ประวัติการทำงาน	การรถไฟแห่งประเทศไทย พ.ศ.2552 – ปัจจุบัน	
ประวัติการศึกษา		
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง พ.ศ. 2547	
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2549	
วศ.บ.	สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554	
โทรศัพท์	08-4145-0863	
e-mail	Kosit_rts56@hotmail.com	



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-นามสกุล	นายสุชาครีย์ กันภัย	
วัน-เดือน-ปีเกิด	02 กรกฎาคม 2531	
ที่อยู่	36 หมู่ 3 ตำบลคอนนางหงส์ อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม 48110	
ประวัติการทำงาน	บ.สแกนเนียสยามจำกัด พ.ศ. 2551-2553	
ประวัติการศึกษา		
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคนครพนม พ.ศ. 2549	
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนเทคโนโลยียานยนต์ พ.ศ. 2551	
วศ.บ.	สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554	
โทรศัพท์	08-4696-7932	
e-mail	kingdnh@hotmail.com	