



การศึกษาผลกระทบการสึกหรอจานเบรกแบบดิสก์ที่มีผลต่อระยะทางการเบรก

A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE

นายกิตติศักดิ์ ดั่งแป้น
นายวงศ์ธร จันทร์พา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2555

การศึกษาผลกระทบการศึกษารอบจันเบรกแบบดิสก์ที่มีผลต่อระยะทางการเบรก



นายกิตติศักดิ์ ต้วงแป้น
นายวงศธร จันทรพา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2555

A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE

Kittisak Duangpan
Wongsatorn Janpa

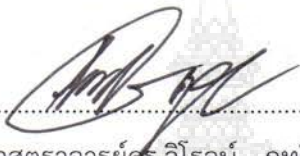


The Project Report Submitted in Partial Fulfillment of
The Requirement for Degree of Bachelor of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

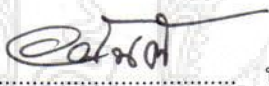
2012

หัวข้อปริญญาพนธ์ การศึกษาผลกระทบการศึกษหรืองานเบรกแบบดิสก์ที่มีผลต่อระยะการเบรก
โดย นายกิตติศักดิ์ ดั่งแป้น และ นายวงศธร จันทร์พา
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2555
อาจารย์ที่ปรึกษา ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้ปริญญาพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

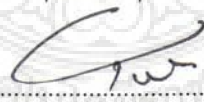

..... หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)

คณะกรรมการสอบปริญญาพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์อนันต์ เต็มเปี่ยม)


..... กรรมการ
(อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน)


..... กรรมการ
(อาจารย์กุลยศ สุวันทโรจน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาผลกระทบการสึกหรอจานเบรกแบบดิสก์ที่มีผล
ต่อระยะทางการเบรก
โดย นายกิตติศักดิ์ ดัวงแป้น และ นายวงศธร จันทรพา
ปีการศึกษา 2555
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

บทคัดย่อ

จานเบรกเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยโดยตรง จานเบรกที่มีการสึกหรอจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเบรกลดต่ำลง หากเราทราบถึงระดับความสึกหรอขณะใช้งานจานเบรก ก็สามารถลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุลงได้ ดังนั้น การศึกษาการสึกหรอของจานเบรกที่มีผลกระทบต่อระยะทางการเบรกจึงเป็นทางเลือกในการทดสอบจานเบรกที่ทำให้สามารถทราบถึงประสิทธิภาพของระบบเบรก

จากเหตุผลดังกล่าวผู้จัดทำโครงการ มีแนวคิดที่จะทดสอบประสิทธิภาพของระบบเบรกอันมีผลจากการสึกหรอของจานเบรก ภายใต้การทดสอบที่สามารถจำลองเงื่อนไขการเบรกได้ในสภาวะต่างๆ ตามมาตรฐานกระบวนการทดสอบตาม JASO C 406 [1] ทดสอบกับจานเบรกที่มีลักษณะที่แตกต่างกันทางกายภาพ 3 กรณีคือ จานเบรกแบบปกติ แบบขรุขระน้อย และแบบขรุขระมาก ภายใต้อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 °C ที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa และความเร็วเริ่มต้นการเบรก 50 และ 80 km/hr ซึ่งผลการทดสอบสามารถแสดงให้เห็นถึงระยะทางที่ใช้ในการเบรก อัตราหน่วงความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วงต่อหน่วยพื้นที่ของจานเบรก ภายใต้การสึกหรอกรณีต่างๆ ของจานเบรก

ผลการทดสอบพบว่าจานเบรกแบบปกติที่ความดัน 6 MPa อุณหภูมิ 300 °C ความเร็วเริ่มต้นการเบรก 50 km/hr มีระยะทางการเบรกสั้นที่สุดที่ 69.7 m ถึงแม้ว่าอัตราหน่วงเฉลี่ยและความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วงต่อหน่วยพื้นที่สูงสุดจะเกิดกับจานเบรกแบบขรุขระน้อยก็ตาม ส่วนในกรณีระยะทางการเบรกยาวที่สุด 690.8 m อัตราหน่วงเฉลี่ยและความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วงต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุดเป็นของจานเบรกแบบขรุขระมาก อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้น ความดันที่สูงขึ้น เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ระยะทางการเบรกสั้นลง

Project Title	A study of disc wear effected to brake distance
By	Mr. Kittisak Duangpan and Mr. Wongsatorn Janpa
Department	Mechanical Engineering
Academic Year	2012
Project Advisor	Acting 2 Sub.L.T.Songwut Mongkonlerdmanee

Abstract

A disc brake is one of important auto parts for automotive industry which effected directly to life safety. The wear of brake rotor was effected to the brake efficiency. If the wear of rotor was discovered while operating, the risk of accident shall be reduced. Therefore, a study of disc wear effected to brake distance was the one of alternative for the brake efficiency testing.

From this reason, the aim of project is to test brake efficiency from the wear of brake rotor with the experiment conditions from JASO C 406 [1]. By the test conditions are focused on 3 cases of the wear: ordinary rotor, little roughness rotor and abundant roughness rotor. The conditions of experiment consist of 100, 200 และ 300 °C on the rotor surface, operating pressure 2, 4 and 6 MPa, initial speed before brake applied 50 and 80 km/hr. Based on the result of experiment was revealed that the braking distance, deceleration and the brake ability with deceleration per unit of area.

The result of experiment shown that the ordinary rotor at 6 MPa , 300 °C and 50 km/hr is given to the shortest of braking distance 69.7 m. Although the average of deceleration and the brake ability is take up on the little roughness rotor. In case of the longest braking distance was occurred on the abundant roughness rotor. However, from this study is discovered to the high temperature and the high pressure is significant to the braking distance shortened.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำในการถ่ายทอดความรู้ตลอดจนการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์จนประสบความสำเร็จด้วยดี อีกทั้งคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของปริญญานิพนธ์รวมถึง คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำปริญญานิพนธ์

นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนทุนในโครงการสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2555

อีกทั้งประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงการขอมอบให้เป็นกตัญญูตาบูชาแต่ บิดามารดา ครูอาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวมา ณ ที่นี้

กิตติศักดิ์ ด้วงแป้น
วงศธร จันทรพา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 หลักการเกี่ยวกับเบรก	4
2.3 การสึกหรอของจานเบรก	6
2.4 มอเตอร์	9
2.5 เพลา	10
3. การออกแบบและการคำนวณ	
3.1 คำนวณข้อมูลและการออกแบบ	13
3.2 การเตรียมการทดสอบ	17
3.3 วิธีการทดสอบ	21
3.4 การทดสอบ	24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C	27
4.2 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200°C	29
4.3 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 300°C	30
4.4 การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ	32
5. สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดสอบ	37
5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำโครงการ	40

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก คู่มือการใช้เครื่องทดสอบ

ภาคผนวก ข แบบเครื่องทดสอบ

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าตัวประกอบความล่าช้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่กระทำ	8
3.1 สภาวะการจำลองความขรุขระของจารเบรก	18
3.2 รูปแบบของจานเบรกกรณีต่างๆ	19
3.3 ระดับความขรุขระของจานเบรกทั้ง 3 กรณี	21
3.4 JASO C406:2000	22
3.5 สภาวะและเงื่อนไขการทดสอบ	23
4.1 การเปรียบเทียบระยะทางในการเบรกของจานเบรกทั้ง 3 กรณี	34
4.2 ความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วยต่อหน่วยพื้นที่ของจานเบรกทั้ง 3 กรณี	35



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การถ่ายโอนน้ำหนักขณะเบรก	3
2.2 ระบบเบรก (ก) แบบดิสก์ (ข) แบบดรัม	6
2.3 การเกิดรอยบนจานเบรก	7
2.4 การแตกร้าวของจานเบรก	7
2.5 การปลิวของจานเบรก	8
2.6 จานเบรกเป็นร่อง	9
2.7 เหลล่ายู่ภายใต้แรงต่างๆ	10
3.1 ภาพขั้นตอนการดำเนินโครงการ	12
3.2 แบบมาตรฐานชุดทดสอบความสามารถการเบรก	13
3.3 ก้อนมวลล้อยช่วยแรง	14
3.4 แรง และโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อเพลลา	16
3.5 เครื่องทดสอบดิสก์เบรก	17
3.6 ก้อนมวล	18
3.7 เครื่องวัดความขรุขระ (Surface roughness)	20
3.8 บริเวณที่ทำการวัดความขรุขระ	20
3.9 วัดความขรุขระของจานเบรก	21
3.10 แผนผังชุดทดสอบความสามารถในการเบรก	23
3.11 การติดตั้งจานเบรก	24
3.12 การปรับตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์	24
3.13 วัดอุณหภูมิผิวของจานเบรก	25
3.14 การปิดเครื่องทดสอบจานเบรก	25
3.15 การปล่อยตุ้มน้ำหนัก	26
3.16 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)	26
4.1 ผลการทดสอบที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 km/hr และอุณหภูมิ 100 °C	27
4.2 ผลการทดสอบที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 80 km/hr และอุณหภูมิ 100 °C	28
4.3 ผลการทดสอบที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 km/hr และอุณหภูมิ 200 °C	29
4.4 ผลการทดสอบที่ความเร็วต้นเริ่มเบรก 80 km/hr และอุณหภูมิ 200 °C	30
4.5 ผลการทดสอบที่ความเร็วต้นเริ่มเบรก 50 km/hr และอุณหภูมิ 300 °C	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ผลการทดสอบที่ความเร็วต้นเริ่มเบรก 80 km/hr และอุณหภูมิ 300 °C	32
5.1 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่มีความขรุขระแตกต่างกัน	38
5.2 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่มีความดันแตกต่างกัน	38
5.3 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	39
5.4 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่ความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่แตกต่างกัน	40



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
I	โมเมนต์ความเฉื่อย	kg.m^2
L	ระยะทางจากเพลหน้าถึงเพลหลัง	m
P	กำลังมอเตอร์	kW
R	รัศมีล้อช่วยแรง	m
T	แรงบิดเพล	N.m
C_m	ตัวประกอบความล่าเนื่องจากความตืด	-
C_t	ตัวประกอบความล่าเนื่องจากแรงบิด	-
ΔF	Dynamic load transfer	kN
F_{BR}	แรงเบรกที่กระทำบนเพลหน้า	kN
F_{BF}	แรงเบรกที่กระทำบนเพลหน้า	kN
F_{RZ}	แรงกระทำในแนวตั้งที่เพลท้าย	kN
F_{ZF}	แรงในแนวตั้งที่กระทำต่อเพลหน้า	kN
I_{zz}	โมเมนต์ความเฉื่อยของเพล	kg.m^2
R_z	ความไม่สม่ำเสมอของเส้นกราฟ	μm
a	อัตราหน่วงจากการเบรก	m/s^2
d	เส้นผ่าศูนย์กลางเพล	mm

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	m/s ²
h	ระยะทางจากพื้นถึงจุดศูนย์กลางในแนวตั้ง	m
k	สัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก	-
m	มวลของรถยนต์	kg
n	ความเร็วรอบมอเตอร์	rpm
r	รัศมีล้อ	m
s	ระยะเบรก	m
Δt	การเปลี่ยนแปลงเวลา	s
Δv	การเปลี่ยนแปลงความเร็ว	m/s
α	ความเร่งเชิงมุม	rad/s ²

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมเทคโนโลยีรถยนต์ได้มีการเติบโต และเข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศไทย ซึ่งงานเบรกก็เป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ โดยส่วนหนึ่งจะถูกนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก ด้วยเหตุผลทางด้านวัสดุศาสตร์ และเครื่องมือการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่มีความพร้อมมากกว่าภายในประเทศ อย่างไรก็ตาม ทั้งทางรัฐบาล และภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศยังคงมีความพยายามอย่างมาก เพื่อที่จะทำการปรับสัดส่วนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ทั้งด้านการลงทุน และใช้ทรัพยากรภายในประเทศในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ให้มากขึ้น รวมถึงงานเบรกด้วย โดยปัจจุบันได้มีผู้ผลิตหลายรายทำการออกแบบเพื่อแข่งขัน และพัฒนาเชิงความสามารถกันอย่างกว้างขวาง ทั้งการออกแบบที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างออกไป รวมถึงการนำวัสดุภายในประเทศมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต

หากกล่าวถึงเบรกซึ่งเป็นอุปกรณ์ในระบบความปลอดภัยที่มีความสำคัญและจำเป็นมากที่สุดระบบหนึ่งสำหรับรถยนต์ ที่ทำหน้าที่ชะลอความเร็วหรือหยุดการเคลื่อนที่ของรถ โดยใช้ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผ้าเบรกกับจานเบรก รวมไปถึงความเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณถนนและยาง อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของระบบเบรกจะพิจารณาถึง ความหน่วง (การต้านทานการเร็ว) และระยะทางจากการเบรก ในกรณีของการสร้างความเสียดทานที่เกิดขึ้นบริเวณผ้าเบรก และจานเบรกนั้น ในปัจจุบันจานเบรกแบบดิสก์นิยมนำมาใช้งานอย่างมาก เนื่องจากประสิทธิภาพของการระบายความร้อนดีกว่าจานเบรกแบบดรัม หากจานเบรกหรือผ้าเบรกมีการสึกหรอจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเบรกลดต่ำลง และอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่และผู้อื่นอีกด้วย ดังนั้นหากทราบถึงระดับความสึกหรอที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานของจานเบรก สามารถทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของระบบเบรก ยิ่งไปกว่านั้นการทดสอบหาประสิทธิภาพระบบเบรกสำหรับประเทศไทยนั้น เครื่องมือการทดสอบและจำนวนเครื่องทดสอบยังคงไม่เพียงพอ เนื่องจากเครื่องทดสอบมีราคาที่สูง อีกทั้งยังถูกใช้เฉพาะกลุ่มงาน เช่น กรมการขนส่งทางบก เป็นต้น

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้จัดทำโครงการ มีแนวคิดที่จะทำการสร้างชุดทดสอบประสิทธิภาพจานเบรก เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเบรกอันมีผลจากการ

สึกหรอของจานเบรก ภายใต้การทดสอบที่สามารถจำลองเงื่อนไขการเบรกได้ในสภาวะต่างๆตามมาตรฐานกระบวนการทดสอบตาม JASO C 406 [1] โดยผลการทดสอบสามารถแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ความหน่วงของจานเบรก ที่ส่งผลต่อระยะทางการเบรก ภายใต้การสึกหรอกรณีต่างๆ ของจานเบรก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบการสึกหรอจานเบรกแบบดิสก์ที่มีผลกระทบต่อระยะทางการเบรก
- 1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของดิสก์เบรกที่มีการสึกหรอ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 เป็นจานเบรกที่ใช้กับรถยนต์มีมวลไม่เกิน 3000 kg
- 1.3.2 จานเบรกทดสอบใช้จานเบรกที่ติดตั้งมาจากโรงงานอุตสาหกรรม
- 1.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการเบรกใช้จานเบรกที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน 3 กรณีคือ ปกติ ขรุขระปานกลาง ขรุขระมาก

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ

- 1.4.1 ทราบประสิทธิภาพของการเบรกของจานเบรกในแต่ละกรณี
- 1.4.2 สามารถนำจานเบรกไปใช้งานได้ตามความเหมาะสม
- 1.4.3 เป็นแนวการขับเคลื่อนอย่างปลอดภัย

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

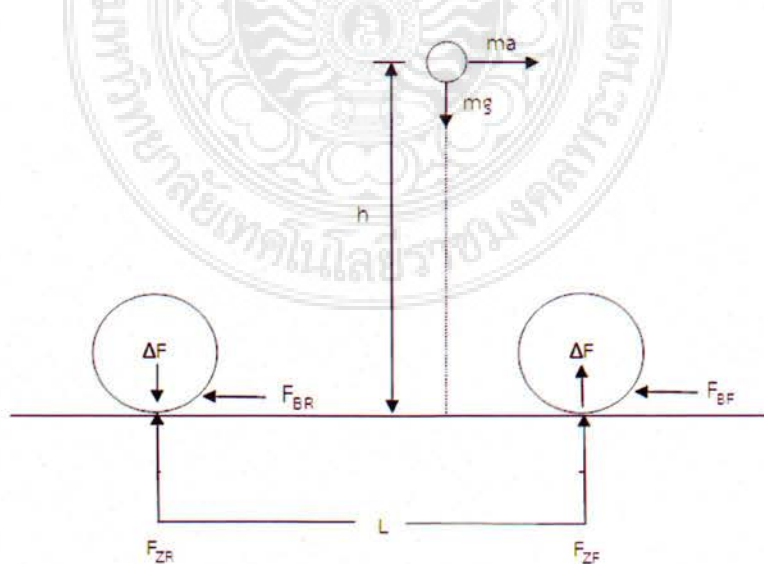
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักทางทฤษฎี และหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบดีสก์เบรกและ ความสามารถในการเบรก ประการแรกจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและ แนวคิดพื้นฐานที่นำมาใช้อยู่ทั่วไป นำคำนวณตามหลักทางทฤษฎีต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าและ รวบรวมมาซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

2.1.1 การถ่ายโอนน้ำหนัก (Dynamic load transfer)

ในขณะที่ผู้ขับขี่ถอนคันเร่งหรือเหยียบเบรก ร่างกายของผู้ขับขี่ และผู้โดยสารจะเคลื่อนที่ ไปด้านหน้าของรถยนต์ สืบเนื่องจากพฤติกรรมของการส่งถ่ายน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นกระทำไปที่เพลาหน้า ซึ่งเรียกว่าการถ่ายโอนน้ำหนัก (Dynamic load transfer) และจะมีผลกระทบต่อระยะทางในการ เบรก โดยค่า Dynamic load transfer สามารถพิจารณาได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) ตามรูปที่ 2.1

ทั้งนี้แรงเบรกที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อคนขับใช้เท้าเหยียบเบรก ทั้งนี้ แรงเบรกขึ้นอยู่กับแรงเสียดทาน (Friction) ที่กระทำระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก รวมไปถึงแรง เสียดทานระหว่างล้อกับพื้นผิวถนน [2]



รูปที่ 2.1 การถ่ายโอนน้ำหนักขณะเบรก [2]

เมื่อ

ΔF	คือ	Dynamic load transfer	[kN]
F_{ZF}	คือ	แรงในแนวตั้งที่กระทำต่อเพลลาหน้า	[kN]
F_{RZ}	คือ	แรงกระทำในแนวตั้งที่เพลลาท้าย	[kN]
F_{BF}	คือ	แรงเบรกที่กระทำบนเพลลาหน้า	[kN]
F_{BR}	คือ	แรงเบรกที่กระทำบนเพลลาท้าย	[kN]
m	คือ	มวลของรถยนต์	[kg]
a	คือ	อัตราห่างจากการเบรก	$[m/s^2]$
h	คือ	ระยะทางจากพื้นถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวตั้ง	[m]
L	คือ	ระยะทางจากเพลลาหน้าถึงเพลลาท้าย	[m]
g	คือ	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	$[m/s^2]$

2.1.1.1 โมเมนต์ความเฉื่อย คือสมบัติอย่างหนึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัตถุหมุนเป็นปริมาณที่บอกความเฉื่อยในการหมุนของวัตถุ (Rotational Inertia) ในการที่จะพยายามรักษาสภาพเดิมของการหมุนเอาไว้ โดยวัตถุมีโมเมนต์ความเฉื่อยมากก็จะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนสภาพของการหมุนเดิมได้ยาก และถ้าวัตถุนั้นมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยก็จะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนสภาพของการหมุนเดิมได้ง่ายซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุมีค่าขึ้นกับแกนหมุนรูปร่างของวัตถุ และลักษณะการเรียงตัวของวัตถุรอบแกนหมุน การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยตามสัดส่วนระหว่างแรงเบรกหน้าและหลัง (แรงเบรกหน้าประมาณ 60-80% และแรงเบรกหลังประมาณ 20-40%) การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของรถยนต์แสดงดังสมการที่ (2.1) ส่วนในกรณีการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลแสดงดังสมการที่ (2.2)

$$I = mr^2 k \quad (2.1)$$

$$I_{zz} = \frac{1}{2} mR^2 \quad (2.2)$$

เมื่อ

I	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อยของรถยนต์ $[kg.m^2]$
r	คือ	รัศมีล้อ [m]
k	คือ	สัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก (0.7 สำหรับรถโดยสารส่วนบุคคล)
I_{zz}	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อยของมวล $[kg.m^2]$
R	คือ	รัศมีของล้อช่วยแรงเครื่องทดสอบการสึกหรอของจานเบรก [m]

2.1.1.2 แรงบิดเพลลา (Torque) คือแรงหมุนของเพลลาเครื่องยนต์ เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของเครื่องยนต์ไปหมุนเกียร์ เพลลา และล้อรถ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปได้ [4] แรงบิดจะมีค่าแตกต่างกันไปที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ โดยแรงบิดเพลลาสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.3)

$$T = I\alpha \quad (2.3)$$

เมื่อ

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

α คือ ความเร่งเชิงมุม [rad/s^2]

2.1.2 ประสิทธิภาพของการเบรก

ประสิทธิภาพของการเบรก ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น พฤติกรรมการขับขี่ สภาพถนน สภาพภูมิอากาศ และแรงเบรก เป็นต้น ซึ่งหากพิจารณาถึงแรงเบรก ที่มีความสัมพันธ์ร่วมกับความหน่วง (Deceleration) และระยะเบรก (Brake distance) โดยความหน่วง คือ อัตราการเปลี่ยนความเร็วที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ต่อหนึ่งหน่วยของเวลา [3] ส่วนในกรณีของระยะเบรกขึ้นอยู่กับค่าความหน่วงที่ผู้ขับขี่เหยียบเบรกในขณะนั้น สำหรับความหน่วง และระยะเบรก สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.4) และสมการ (2.5) ตามลำดับ

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.4)$$

$$s = \frac{\Delta v \Delta t}{2} \quad (2.5)$$

เมื่อ

Δv คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็ว [m/s]

Δt คือ การเปลี่ยนแปลงของเวลา [s]

s คือ ระยะเบรก [m]

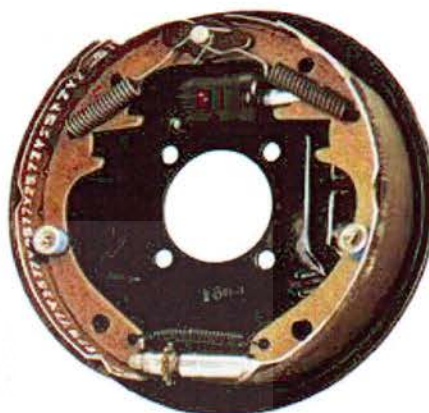
2.2 หลักการเกี่ยวกับเบรก

ระบบเบรกถือเป็นระบบความปลอดภัยหลัก (Active Safety) ของรถยนต์ ที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ไปเป็นความร้อนที่เพิ่มขึ้นบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างจานเบรกและผ้าเบรก ความเสียดทานความร้อนหรือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานนี้ เป็นผลจากการกดผ้าเบรกที่กระทำต่อจานเบรก ส่งผลทำให้รถยนต์เกิดการชะลอหรือหยุดการเคลื่อนที่ โดยประสิทธิภาพในการเบรกที่ดี ต้องอาศัยชั้นความเสียดทานบริเวณผิวของผ้าเบรกที่เรียกว่า (Third body formation) ซึ่งหากเกิดความไม่ต่อเนื่องของความเสียดทานที่กระทำระหว่างการเบรกนั้น ทำให้ประสิทธิภาพการเบรกลดลง และเป็นสาเหตุหลักของการสึกหรอบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก [3] สำหรับระบบเบรกแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ดิสก์เบรก (Disc Brake) และดรัมเบรก (Drum Brake) ดังแสดงตามรูปที่ 2.2

(ก) แบบดิสก์



(ข) แบบดรัม



รูปที่ 2.2 ระบบเบรก

ที่มา: <http://www.sub5zero.com>

2.3 การสึกหรอของจานเบรก

การสึกหรอของจานเบรกสามารถแบ่งได้เป็น 4 กรณีคือ การเกิดรอย (Scarring) การแตกร้าว (Cracking) และการบิดงอ (Warping) จานเบรกเป็นร่อง (Scored Rotors) โดยทั้ง 4 กรณีนี้มีผลทำให้ประสิทธิภาพการเบรกลดลงและนำไปสู่ความปลอดภัยที่ลดลงในการขับขี่รถยนต์ อย่างไรก็ตาม การบำรุงรักษาสามารถลดปัญหาการสึกหรอของจานเบรกลงได้อีกทั้งยังสามารถลดเสียงรบกวน การสั่นสะเทือนรวมถึงการเกิดอาการสับัดของเบรกได้

2.3.1 การเกิดรอย (Scarring)

รอยบริเวณจานเบรกเกิดจากคุณสมบัติของผิวหน้าผ้าเบรกที่มีความแข็งเสียดสีกับจานเบรกเมื่อผู้ขับขี่ทำการเหยียบเบรก การเกิดรอยที่จานเบรกอาจเกิดจากสาเหตุคือ ผุ่นหรือหินขนาดเล็กหลุดเข้าไปในบริเวณหน้าสัมผัสระหว่างจานและผ้าเบรก จากอายุการใช้งานผ้าเบรกในกรณีผ้าเบรกมีความหนาถึงจุดวิกฤตหรือคุณสมบัติของผ้าเบรกเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดความร้อนหรือสัมผัสกับน้ำ ความลึกของรอยขึ้นอยู่กับแรงเบรกที่กระทำต่อจาน หากมีความลึกเกินค่ามาตรฐานที่ผู้ผลิตจานเบรกกำหนดไว้มีความจำเป็นจะต้องเปลี่ยนจานเบรกใหม่ ในทางกลับกันหากความลึกของรอยยังมีค่าไม่เกินมาตรฐานก็สามารถนำจานเบรกมาปรับสภาพความเรียบบริเวณผิวหน้าได้ การเกิดรอยของจานเบรกแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิดรอยบนจานเบรก
ที่มา: <http://www.caronline.net>

2.3.2 การแตกร้าว (Cracking)

การแตกร้าวของจานเบรกเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันและความหนาของจานเบรกมีไม่เพียงพอต่อการใช้งานในกรณีต้องการแรงเบรกสูง พฤติกรรมของการแตกร้าวของจานเบรกเริ่มต้นจากบริเวณขอบของจานซึ่งจะขยายรอยแตกร้าวมากขึ้นไปจนถึงบริเวณจุดศูนย์กลางของจานเบรก จานเบรกที่มีการแตกร้าวจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเบรกลดลง การสะท้อนขณะเบรก และการเสียการทรงตัวของรถซึ่งอันตรายมากต่อผู้ขับขี่ การแตกร้าวของจานเบรกแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การ

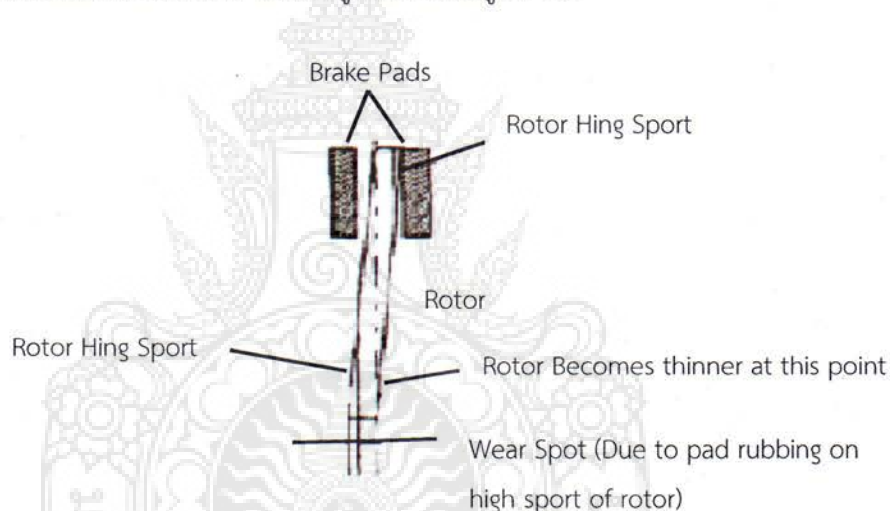
แตกร้าวของจาน

เบรก

ที่มา: <http://www.thaispeedcar.com>

2.3.3 การบิดงอหรือการพลิ้ว (Warping)

การบิดงอหรือการพลิ้วของจานเบรกเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างเฉียบพลันเช่นเดียวกับการแตกร้าวแต่ผลต่างของอุณหภูมินั้นมีค่าต่ำกว่าการแตกร้าว และการใช้งานที่รุนแรงเกินไป การลุยน้ำ เมื่อจานเบรกเกิดการบิดงอส่งผลให้ประสิทธิภาพการเบรกต่ำลง เกิดอาการสั่นเมื่อเบรก ยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้การสึกหรอของผ้าเบรกไม่เท่ากันอีกด้วย การตรวจสอบเพื่อให้ได้รับความมั่นใจว่าความหนาของจานเบรคนั้นอยู่ในระยะพิคัดที่ผู้ผลิตได้ระบุไว้จึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยทั่วไปแล้วเมื่อวัดโดยรอบทุกๆจุด จานเบรกควรมีความหนาไม่แตกต่างกันเกิน 0.005 นิ้ว ถ้าผลการวัดเกินระยะพิคัดนี้ ควรนำจานเบรกไปทำการเจียรเพื่อปรับสภาพผิว เพราะปัญหาการพลิ้วของจานเบรคนี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเบรกที่ลดลง และทำให้เกิดอาการสั่นที่แป้นเบรกซึ่งส่งผลต่อความรำคาญ อีกทั้งยังเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้เกิดเสียงในขณะทำการเบรกขึ้นได้ ซึ่งลักษณะการพลิ้วของจานเบรกถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การพลิ้วของจานเบรก

ที่มา: <http://www.autorepair.about.com>

2.3.4 จานเบรกเป็นร่อง (Scored Rotors)

ลักษณะจานเบรกที่เป็นร่องนี้จะแสดงให้เห็นชัดเจนที่ผิวของจานเบรกโดยจะมีร่องเกิดขึ้นตามแนวการหมุนของจานเบรกดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งถ้าความลึกของร่องมีค่ามากกว่า 0.015 นิ้ว ควรทำการปรับผิวของจานเบรก แต่ต้องคำนึงถึงความหนาของจานเบรกภายหลังทำการปรับผิวด้วยไม่ให้เกินค่าพิคัดที่ผู้ผลิตกำหนด แต่ถ้าหากปล่อยละเลยไว้ก็จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการเบรก การสึกหรอของผ้าเบรกที่มากกว่าปกติ และเสียงรบกวนที่อาจเกิดขึ้นได้



รูปที่ 2.6 จานเบรกเป็นร่อง

ที่มา: <http://www.rangerovers.net>

2.4 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทิศทางเดิมเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ ต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น บั๊ม พัดลม คอมเพรสเซอร์ สายพานลำเลียง เป็นต้น มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงาน ไฟฟ้า ในสัดส่วนที่สูงมาก การเรียนรู้ให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพ ตลอดจนการเลือกใช้งานมอเตอร์ให้ถูกต้อง และเหมาะสม [5]

ภาระของมอเตอร์ หมายถึงจำนวนกำลัง (P) ที่มอเตอร์ตัวนั้นจะต้องสามารถให้ต้นกำลังได้ กล่าวคือ มอเตอร์จะต้องสามารถให้กำลังขับที่เพียงพอกับงาน เรียกว่า “กำลังเพลลา” ข้อนี้เป็นส่วนสำคัญประการแรก แต่แท้จริงความสามารถประการที่สองในการขับภาระนั้นคือทอร์ก (Torque) และกำลัง (Power) ดังสมการ (2.6)

2.4.1 การหาขนาดของมอเตอร์

ข้อพิจารณาในการเลือกกำหนดมอเตอร์เพื่อใช้งานคือ ต้องทราบปริมาณภาระหรือโหลดที่มอเตอร์ต้องการ รวมไปถึงแรงบิดของมอเตอร์ ซึ่งการหาขนาดของมอเตอร์แสดงดังสมการ (2.6)

$$P = \frac{2\pi Tn}{60} \quad (2.6)$$

เมื่อ

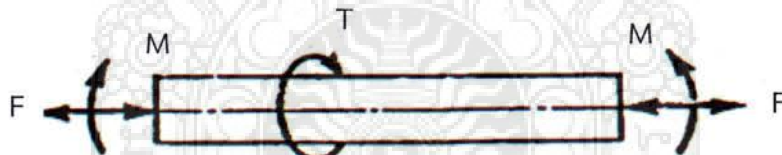
P	คือ	กำลังของมอเตอร์ [kW]
T	คือ	แรงบิด [N.m]
n	คือ	ความเร็วรอบของมอเตอร์ [rpm]

2.5 เพลลา

เพลลาเป็นชิ้นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิดทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องขณะใช้งานเพลลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่างๆเช่น แรงกดแรงดึงโมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิต และแรงแบบวิฤจักรทำให้เกิดการล้าได้ เพลลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้คือ เพลลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุน และใช้ในการส่งกำลัง [4]

2.5.1 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟือง และแบริ่งที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่าย



รูปที่ 2.4 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ [4]

2.5.2 การคำนวณเพลลา

การคำนวณเพลลาสามารถหาได้จากสมการที่ (2.7)

$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi\tau} \right) \times \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

เมื่อ

d	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา [mm]
C_m	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด [-]
C_t	คือ	ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด [-]

ถ้ากำหนดวัสดุของเพลลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยเพลลาเหล็กที่ไม่มีร่องลิ้นใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน 55MN/m^2 และถ้าเพลลา มีร่องลิ้นให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าที่ได้ คือ 41MN/m^2 สำหรับค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ [4]

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลลาอยู่นิ่ง		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 – 2.0	1.0 – 2.0
เพลลาหมุน		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 – 2.0	1.0 – 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 – 3.0	1.5 – 3.0



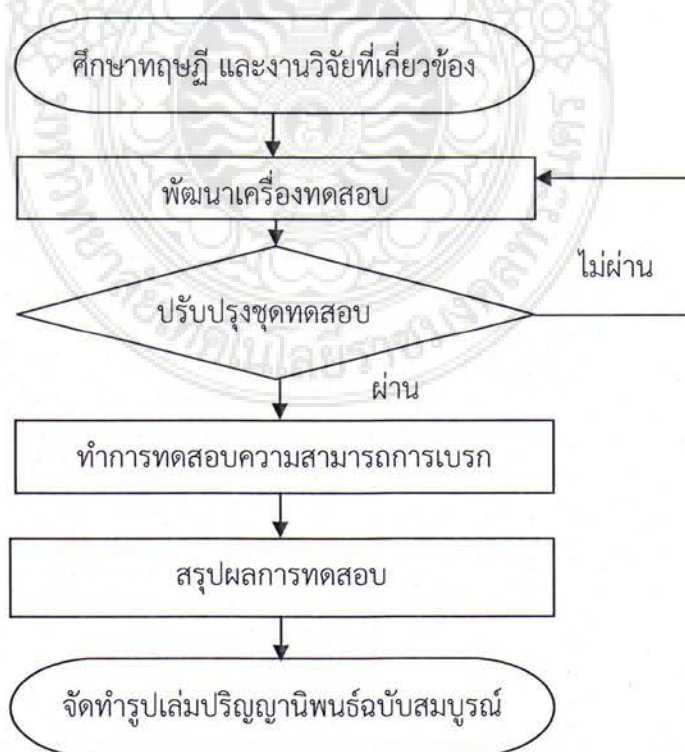
บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

การจัดทำโครงการครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินโครงการ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนการพัฒนาเครื่องทดสอบดังกล่าวและลดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการพัฒนา โดยผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบชุดทดสอบ
- 3) ปรับปรุงเครื่องทดสอบความสามารถทางการเบรก
- 4) ทำการทดสอบความสามารถการเบรก
- 5) สรุปผลการทดสอบ
- 6) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

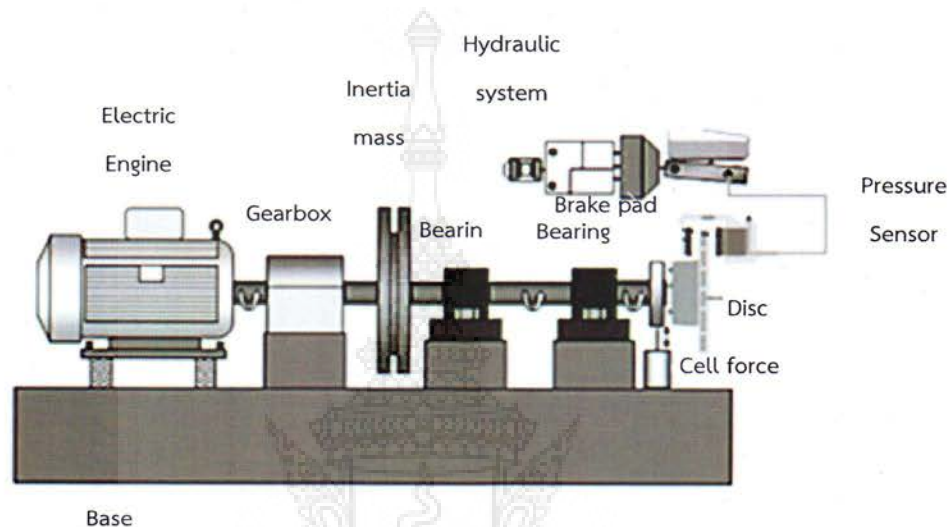
จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 คำนวณข้อมูล และการออกแบบ

จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวผู้จัดทำโครงการได้ทำการคำนวณข้อมูลถึงรูปแบบต่าง ๆ ที่ จะนำมาพัฒนาเครื่องทดสอบโดยยึดรูปแบบเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เพื่อเป็นแนวทางใน การพัฒนาเครื่องทดสอบความสามารถการเบรก



รูปที่ 3.2 แบบมาตรฐานชุดทดสอบความสามารถการเบรก [6]

3.1.1 การหาโมเมนต์ความเฉื่อย

จากการคำนวณข้อมูลของรถยนต์ที่ขนาดมวล 2,500 kg รัศมีทำการล้อรถยนต์เท่ากับ 0.388 m และสัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก (0.7 สำหรับรถโดยสารส่วนบุคคล) โดย นำมาสู่การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากสมการที่ (2.1)

$$\begin{aligned}
 I &= m r^2 k \\
 \text{แทนค่า} &= \frac{(2,500 \text{ kg})}{2} (0.388 \text{ m})^2 (0.7) \\
 &= 131.73 \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

3.1.2 การหาแรงบิด

จากการคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยของรถยนต์ที่มวล 2,500 kg ได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย เท่ากับ 131.73 kg.m² ที่ความเร็วเชิงมุมเท่ากับ 1,500 rpm โดยนำมาสู่การคำนวณหาค่าแรงบิดจาก สมการที่ (2.3)

$$T = I\alpha$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} &= (131.73 \text{ kg.m}^2)(1,500 \text{ rpm.}) \left(\frac{2\pi}{120 \times 60} \right) \\ &= 172.43 \text{ N.m} \end{aligned}$$

3.1.3 การหาค่าขนาดมอเตอร์

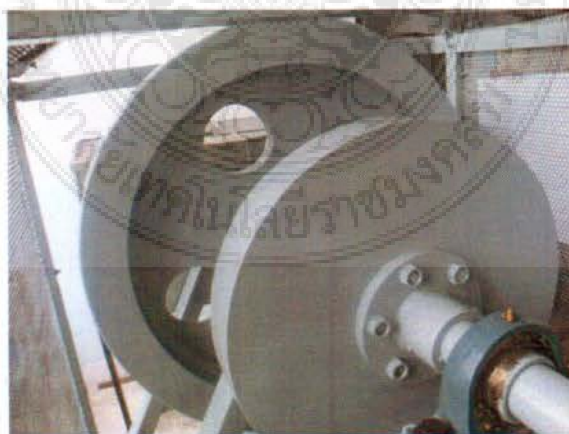
จากการคำนวณหาแรงบิด และความเร็รรอบที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 1,500 rpm โดยนำมาสู่การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบจากสมการที่ (2.6)

$$\begin{aligned} P &= \frac{2\pi Tn}{60} \\ \text{แทนค่า} &= \frac{(2 \times \pi \times 172.43 \text{ N.m} \times 1,500 \text{ rpm})}{60} \\ &= 27085.24 \text{ W} \\ 1 \text{ hp} &= 746 \text{ W} \\ P &= 36 \text{ hp} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 40 hp

3.1.4 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวล

การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลที่จะใช้ในการทดสอบความสามารถทางการเบรก โดยมวลมีทั้งหมด 3 แบบ มวลแบบที่ 1 มีน้ำหนักที่ 35.1 kg มีรัศมีเท่ากับ 0.20 m มวลแบบที่ 2 มีน้ำหนัก 200 kg มีรัศมีเท่ากับ 0.30 m และแบบที่ 3 มีมวลรวมที่ 800 kg มีรัศมีเท่ากับ 0.50 m ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ก้อนมวลล้อช่วยแรง

โมเมนต์ความเฉื่อยของมวลแบบที่ 1 จากสมการที่ (2.2)

$$I_{zz} = \frac{1}{2}mR^2$$

แทนค่า

$$I_{zz} = \frac{1}{2}(35.1)(0.20)^2$$

$$= 0.70 \text{ kg.m}^2$$

หาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลแบบที่ 2 จากสมการที่ (2.2)

$$I_{zz} = \frac{1}{2}mR^2$$

แทนค่า

$$I_{zz} = \frac{1}{2}(200)(0.30)^2$$

$$= 9.0 \text{ kg.m}^2$$

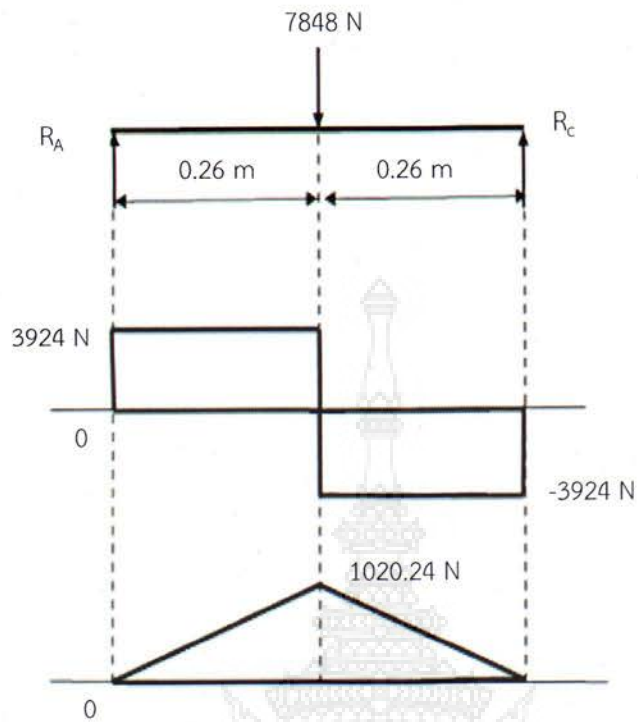
อย่างไรก็ตามการคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลแบบที่ 3 มีค่า 117.40 kg.m^2 ที่ได้จากการจำลองบนโปรแกรม Solid work เนื่องจากรูปทรงของมวลที่ใช้ในการทดสอบไม่มีลักษณะตรงตามรูปทรงที่มีอยู่ ดังนั้นจึงใช้เป็นเพียงค่าจากการประเมินเท่านั้น

3.1.5 การคำนวณหาขนาดเพลลา

การเลือกวัสดุที่เลือกใช้ทำเพลลาเป็นเหล็ก SCM 440 เนื่องจากโค้ดของ ASME ได้ระบุเอาไว้ว่าเพลลาที่มีร่องลึ้มซึ่งมีอยู่ใช้งานธรรมดาทั่วไปควรจะมีคามเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau = 41 \text{ MN/m}^2$$

การหาขนาดของเพลลาสามารถคำนวณได้จากแรงและโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อเพลลาโดยแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แรง และโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อเพลา

คำนวณหาแรงปฏิกิริยา R_A และ R_C

$$\begin{aligned} \sum M_C &= 0 \\ 0.52R_A &= 0.26 \times 7,848 \\ R_A &= \frac{0.26 \times 7,848}{0.52} \\ &= 3,924 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ 0.52R_C &= 0.26 \times 7,848 \\ R_C &= \frac{0.26 \times 7,848}{0.52} \\ &= 3,924 \text{ N} \end{aligned}$$

ฉะนั้น โมเมนต์ดัดที่ A คือ

$$\begin{aligned} M_A &= 3,924 \times 0.36 \\ &= 1,412.6 \text{ N.m} \end{aligned}$$

ดังนั้น โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดที่จุด A

จากตารางที่ 2.1 ค่าตัวประกอบความล้าของเพลลาหมุน $C_m = 2.0$, $C_t = 2.0$

จากสมการที่ (2.7)

$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi \tau} \right) \times \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi \times 41 \times 10^6} \right) \times \left[(2 \times 172.43)^2 + (2 \times 1,020.24)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$d = 0.06358 \text{ m}$$

$$= 63.58 \text{ mm}$$

ดังนั้นจึงเลือกใช้เพลลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm

3.2 การเตรียมการทดสอบ

3.2.1 การเตรียมชุดทดสอบจานเบรก

3.2.1.1 การเตรียมเครื่องทดสอบ ทำการตรวจเช็คสภาพเครื่องทดสอบทดสอบจานเบรก เช่น ระบบไฟฟ้า มอเตอร์ และชุดอุปกรณ์ปรับความเร็ว ให้พร้อมใช้งานเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในขณะที่ทำการทดสอบจานเบรก และใช้ปรับความเร็วรอบของเครื่องทดสอบให้ได้ ถูกต้องตามสภาวะการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบจานเบรก

3.2.1.2 การเตรียมก้อนมวล นำก้อนมวลแต่ละขนาดมาชั่งน้ำหนักเพื่อทดสอบการหาแรงเบรกที่ตำแหน่งแม่ปั้มเบรกสามารถทำการทดสอบจานเบรกได้ตามเงื่อนไข และสภาวะการทดสอบ JASO C406 ที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa โดยการทดสอบเริ่มที่น้ำหนัก 33.3, 66.6 และ 100.0 kg ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ก้อนมวล

3.2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

สำหรับชิ้นงานทดสอบแบ่งเป็น 3 กรณีคือ จานเบรกปกติ จานเบรกขรุขระน้อย และจานเบรกขรุขระมาก ซึ่งจานเบรกปกติ สามารถเตรียมได้ง่าย เนื่องจากสามารถจัดหาซื้อได้ ส่วนกรณีของจานเบรกขรุขระน้อย และขรุขระมาก ไม่สามารถจัดหาได้ เนื่องจากเป็นจานเบรกที่ต้องผ่านการใช้งาน ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงได้จำลองความขรุขระของจานเบรกทั้งในกรณี ขรุขระน้อย และขรุขระมาก ด้วยการใช้อผ้าทรายที่มีความละเอียดแตกต่างกัน (เบอร์ 7 และ 4) เพื่อสร้างความขรุขระของจานเบรก โดยสภาวะการจำลองความขรุขระของจานเบรกแสดงดังตารางที่ 3.2 ส่วนรูปแบบของจานเบรกทั้ง 3 กรณีแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 สภาวะการจำลองความขรุขระของจานเบรก

ความขรุขระ	ความเร็วของจานเบรก (km/hr)	มวลถ่วง (kg)	รอบการหมุนสร้าง ความขรุขระ (รอบ)	ผ้าทราย (เบอร์)
น้อย	50	30	100	6
มาก	50	30	100	4

ตารางที่ 3.2 รูปแบบของจานเบรกกรณีต่างๆ

กรณี	ลักษณะทางกายภาพ	พื้นที่ผิวสัมผัส ทั้ง 2 ด้าน (m ²)
ปกติ		0.072
ขรุขระน้อย		0.072
ขรุขระมาก		0.072

3.2.3 วัดความขรุขระของจานเบรก

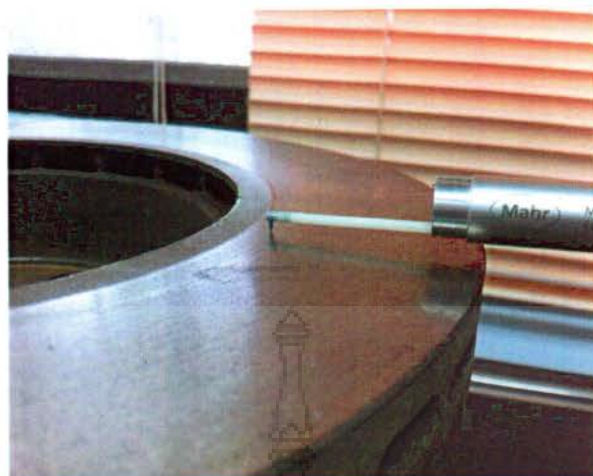
สำหรับการวัดความขรุขระของจานเบรกทั้ง 3 กรณี คือ จานเบรกแบบปกติ จานเบรกแบบขรุขระน้อย และจานเบรกแบบขรุขระมาก สามารถทำโดยการนำจานเบรกไปวางบนเครื่องทดสอบ (Surface roughness) เพื่อหาค่าระดับความขรุขระของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ ในส่วนของระดับความขรุขระของจานเบรกทั้ง 3 กรณีแสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความขรุขระ (Surface roughness)



รูปที่ 3.8 บริเวณที่ทำการวัดความขรุขระ



รูปที่ 3.9 วัดความขรุขระของจานเบรก

ตารางที่ 3.3 ระดับความขรุขระของจานเบรกทั้ง 3 กรณี

จานเบรกทั้ง 3 กรณี	R_{max} (μm)
ปกติ	15.62
ขรุขระน้อย	26.577
ขรุขระมาก	35.65

ผลการทดสอบความขรุขระของจานเบรกทั้ง 3 กรณี ด้วยเครื่องวัดความขรุขระ (surface roughness) ตามตารางที่ 3.3 พบว่าหลังจากที่ทำการวัดความขรุขระของจานเบรก 4 จุด ซึ่งแต่ละจุดมีมุมต่างกันประมาณ 90 องศา เพื่อให้การวัดมีความแม่นยำมากที่สุด โดยหลังจากการวัดความขรุขระทั้ง 4 จุด แล้วนั้นจึงนำค่าที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยความขรุขระของจานเบรกในแต่ละกรณี

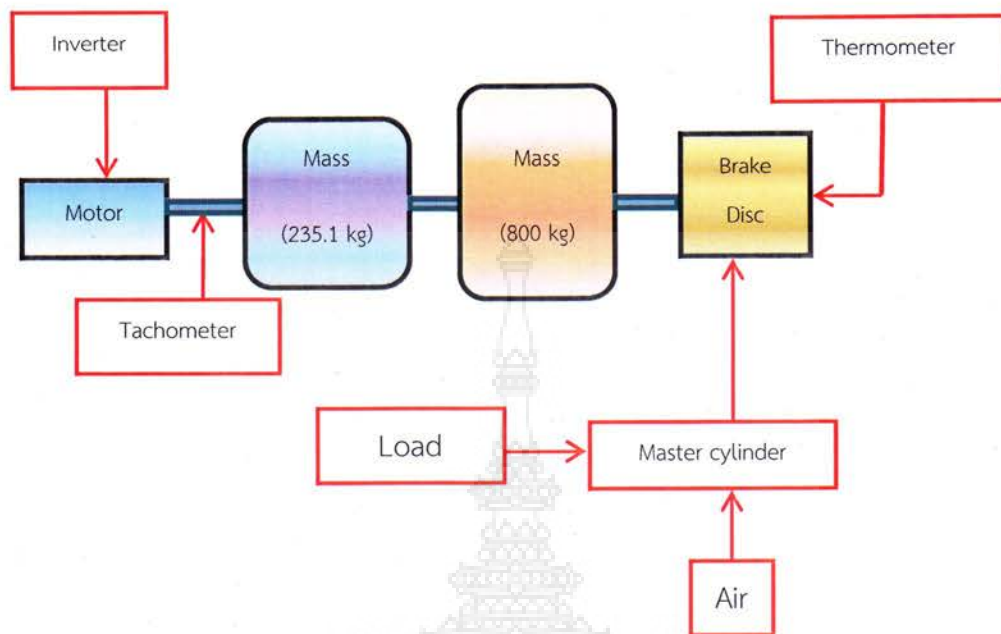
3.3 วิธีการทดสอบ

สำหรับวิธีการทดสอบความสามารถในการเบรก ทางคณะผู้จัดทำโครงการนี้ได้ทำการทดสอบโดยอ้างอิงกระบวนการทดสอบตามมาตรฐาน JASO C406 บางส่วนเป็นแนวทางในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 JASO C 406:2000 [5]

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

การทดสอบจานเบรกที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันของจานเบรกจะทำการทดสอบทั้งหมด 3 กรณีคือ จานเบรกปกติ จานเบรกขรุขระน้อย และจานเบรกขรุขระมาก โดยการปล่อยก้อนมวล (load) เพื่อกดขึ้นส่วนกลไกของแม่ปั้มเบรก (Master cylinder) แทนการเหยียบเบรกด้วยเท้าของผู้ขับขี่ โดยจำลองการทดสอบภายใต้ความดัน 2, 4 และ 6 MPa เพื่อสร้างแรงที่ใช้ในการเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั้มเบรกเป็น 891.7, 1963.5 และ 2945.2 N สำหรับการทดสอบทุกกรณีจะกระทำภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 100, 200 และ 300 °C ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 และ 80 km/hr และความเร็วลม 11 m/s ซึ่งอ้างอิงมาตรฐาน JASO C406 โดยสภาวะและเงื่อนไขการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.5 ซึ่งกระบวนการทดสอบสามารถกระทำได้ตามแผนผังดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนผังชุดทดสอบความสามารถในการเบรก

ตารางที่ 3.5 สภาวะ และเงื่อนไขการทดสอบ

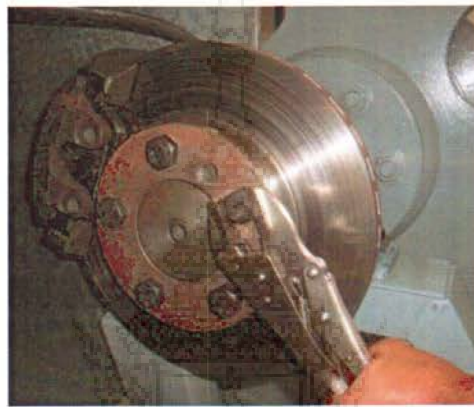
ความดันที่ใช้ในการเบรก (MPa)	มวล (kg)	แรงเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั๊ม (N)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วเริ่มต้นการเบรก (km/hr)	ความเร็วลม (m/s)	พื้นที่หน้าตัดแม่ปั๊ม (mm ²)
2	33.3	891.7	100	50 และ 80	11	490
4	66.6	1,963.5	200			
6	100.0	2,945.2	300			

3.4 การทดสอบ

การทดสอบความสามารถในการเบรกมีขั้นตอนต่างๆ ต่อไปนี้

3.4.1 การติดตั้งจานเบรก

นำจานเบรกแต่ละชนิดเข้าไปติดตั้งภายในอุโมงค์ลม เพื่อวางตำแหน่งของชุดทดสอบให้เหมาะสมโดยให้ทิศทางการไหลของกระแสลมขนานไปกับผิวจานเบรก และจัดให้ตำแหน่งของจานเบรกอยู่กึ่งกลางหน้าตัดของส่วนที่ทำการทดสอบในอุโมงค์ลม ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การติดตั้งจานเบรก

3.4.2 การเปิดเครื่องทดสอบจานเบรก

ทำการเปิดเครื่องทดสอบจานเบรก โดยเริ่มต้นจากการปรับตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้อุปกรณ์ปรับตั้งค่าความเร็วรอบ (Inverter) จนมีความเร็วรอบเทียบเท่ากับความเร็วของรถยนต์ที่ 50 และ 80 km/hr ภายใต้ความเร็วลมในอุโมงค์คงที่ 11 m/s ตามสภาวะการทดสอบในตารางที่ 3.5 การปรับตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ แสดงในรูปที่ 3.12



ปุ่มเปิดการทำงาน

รูปที่ 3.12 การปรับตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์

3.4.3 การปรับตั้งอุณหภูมิตามค่าที่กำหนดตามการทดสอบ

การทดสอบจานเบรกแต่ละชนิด สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิก่อนการทดสอบได้กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 °C เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขและสภาวะการทดสอบ JASO C406 [5] ที่ถูกกำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วัดอุณหภูมิผิวของจานเบรก

3.4.4 การปิดเครื่องทดสอบจานเบรก

การปิดเครื่องทดสอบจานเบรก เสมือนเป็นการจำลองการที่ผู้ขับขี่ถอนคันเร่ง เพื่อชะลอความเร็วของรถยนต์ลง ซึ่งกรณีนี้การทดสอบใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง จึงมีอาจกระทำได้เหมือนกับเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงต้องทำการหยุดการทำงานมอเตอร์ไฟฟ้าด้วยการปิดเครื่องทดสอบ โดยการกดสวิตช์หยุดการทำงานมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 อย่างไรก็ตามก่อนมวลของล้อช่วยแรงยังสามารถหมุนไปได้ด้วยโมเมนต์ความเฉื่อย เหมือนกับรูปแบบการถอนคันเร่งของรถยนต์

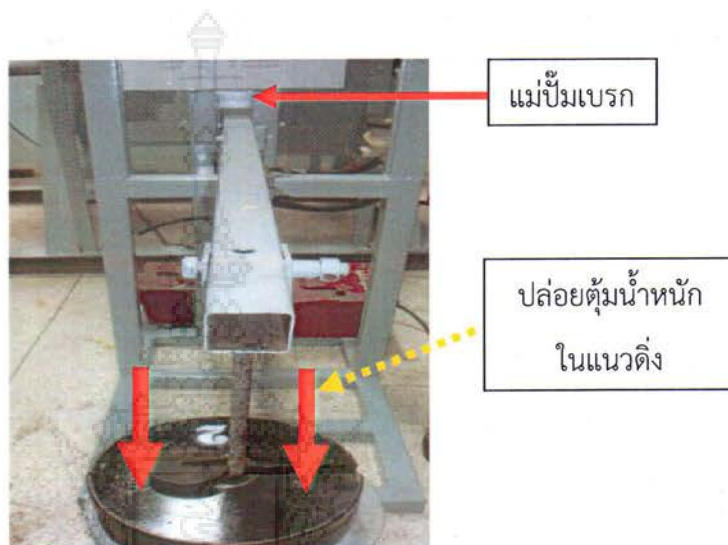


ปุ่มปิดการทำงาน

รูปที่ 3.14 การปิดเครื่องทดสอบจานเบรก

3.4.5 การห้ามเพลลา

การห้ามเพลลาสามารถทำได้โดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักในแนวตั้ง เพื่อกดชิ้นส่วนกลไกของแม่ปั๊มเบรก โดยตุ้มน้ำหนักมีค่า 33.3, 66.6 และ 100 kg ซึ่งตุ้มน้ำหนักที่ทำการปล่อยนี้ จะทำให้เกิดแรงที่ใช้ในการเบรก ทำให้เพลลาที่ถูกต่อกับล้อช่วยแรงชะลอความเร็วลงจนกระทั่งเพลลาหยุดหมุน การห้ามเพลลาแสดงตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การปล่อยตุ้มน้ำหนัก

3.4.6 เก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลโดย จะทำการจัดเก็บความเร็วรอบที่ลดลงต่อหน่วยเวลา เพื่อใช้ในการคำนวณหา ระยะทางการเบรก ซึ่งการจัดเก็บข้อมูลความเร็วรอบสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ดังแสดงในรูป 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)

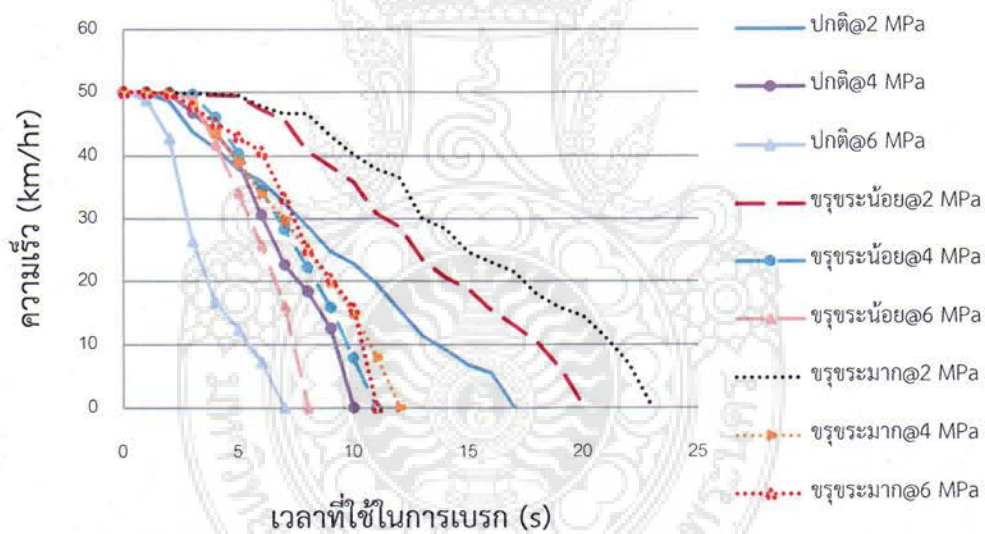
บทที่ 4

ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผล

จากการดำเนินโครงการตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว นำมาสู่ผลการทดลองงานเบรกที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 กรณี คือ ปกติ ขรุขระน้อย และขรุขระมาก เพื่อหาระยะทางการเบรกที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa ที่อุณหภูมิผิวงานเบรก เริ่มต้นตั้งแต่อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 °C ซึ่งมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 °C

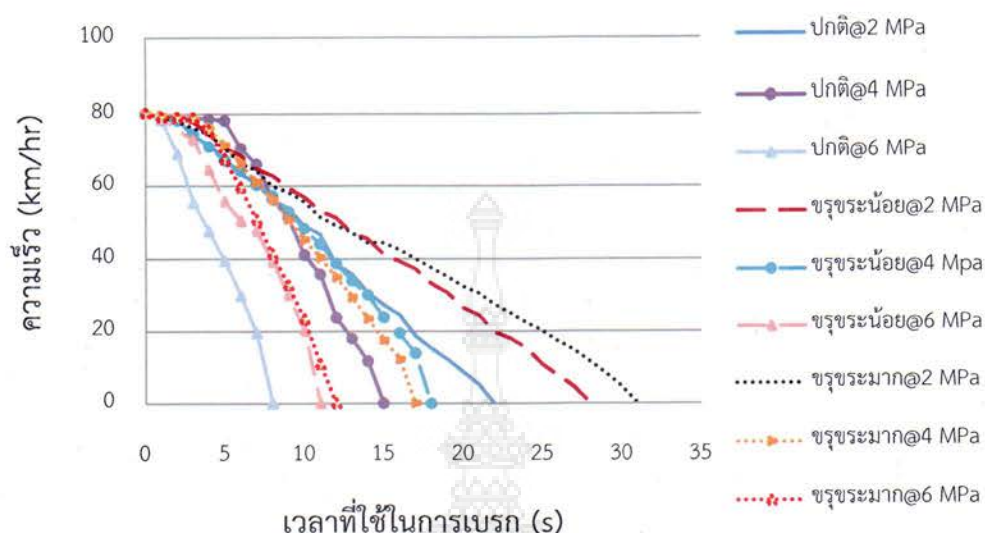
4.1.1 ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 km/hr



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 km/hr และอุณหภูมิ 100 °C

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลของพฤติกรรมของเวลาที่ใช้ในการเบรก อันเกิดจากการทดสอบตามมาตรฐาน JASO C406 ภายใต้เงื่อนไขของความเร็วเริ่มต้นเบรกที่ 50 km/hr และอุณหภูมิ 100 °C พบว่าพฤติกรรมของเวลาที่ใช้ในการเบรกมีความคล้ายคลึงกันในทุกๆ ความดัน (2, 4 และ 6 MPa) โดยในกรณีงานเบรกขรุขระมากใช้เวลาในการเบรกสูงที่สุด 23 วินาที สำหรับงานเบรกขรุขระน้อยใช้เวลาในการเบรกปานกลางที่ 20 วินาที ส่วนกรณีงานเบรกปกติใช้เวลาในการเบรกต่ำที่สุด 7 วินาที

4.1.2 ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 80 km/hr



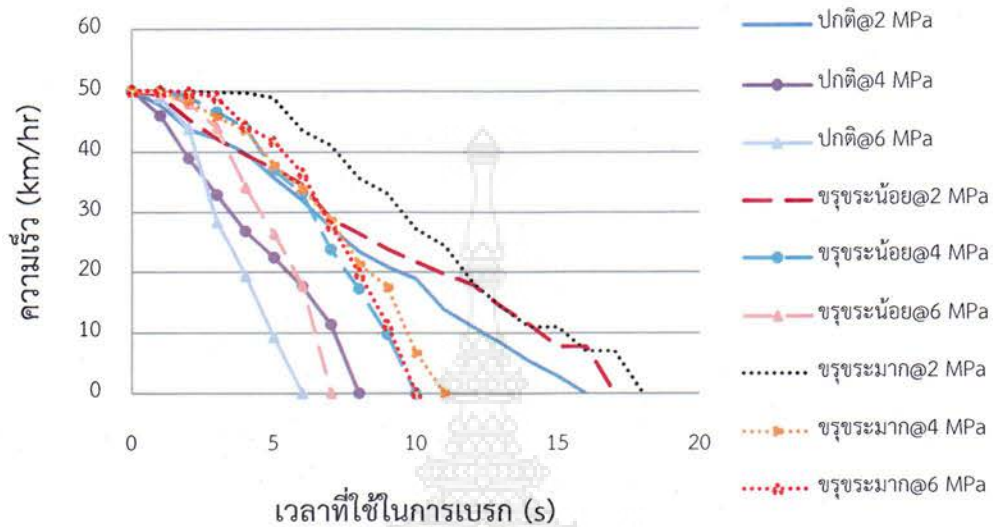
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 80 km/hr และอุณหภูมิ 100 °C

ผลการทดสอบของความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 80 km/hr และอุณหภูมิ 100 °C ตามรูปที่ 4.2 เปิดเผยให้เห็นว่า จานเบรกในกรณีขรุขระมาก ภายใต้ความดันทดสอบ 2 MPa ใช้เวลาในการเบรกมากที่สุด 31 วินาที ในขณะที่จานเบรกกรณีปกติ ที่ความดัน 6 MPa ใช้เวลาในการเบรกลดลงเหลือเพียง 8 วินาที ซึ่งหากเปรียบเทียบผลของระยะเวลาที่ใช้ในการเบรกมากที่สุด และน้อยที่สุดในกรณีของจานเบรกกรณีปกติ ที่ความดัน 6 MPa ใช้เวลาเบรกลดลงกว่ากรณีขรุขระมาก ที่ความดัน 2 MPa คิดเป็นร้อยละ 287 หรือ 2.87 เท่า

ดังนั้นหากพิจารณาความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ความเร็ว 50 km/hr และ 80 km/hr จากการทดสอบทั้ง 3 ความดัน มีแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการเบรกเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ จานเบรกปกติใช้เวลาในการเบรกมากที่สุด จานเบรกแบบขรุขระน้อยใช้เวลาปานกลาง ส่วนจานเบรกแบบขรุขระมากใช้เวลาในการเบรกลดลงมากที่สุด อีกทั้งความดันที่ใช้ในการเบรกกิ่งส่งผลโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการเบรกอีกด้วย ซึ่งหากใช้ความดันในการเบรกสูงสุด เวลาที่ใช้ในการเบรกก็น้อยที่สุด สืบเนื่องจากความดันที่สูง ทำให้แรงเบรกก็น่าจะมาก

4.2 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200 °C

4.2.1 ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 km/hr

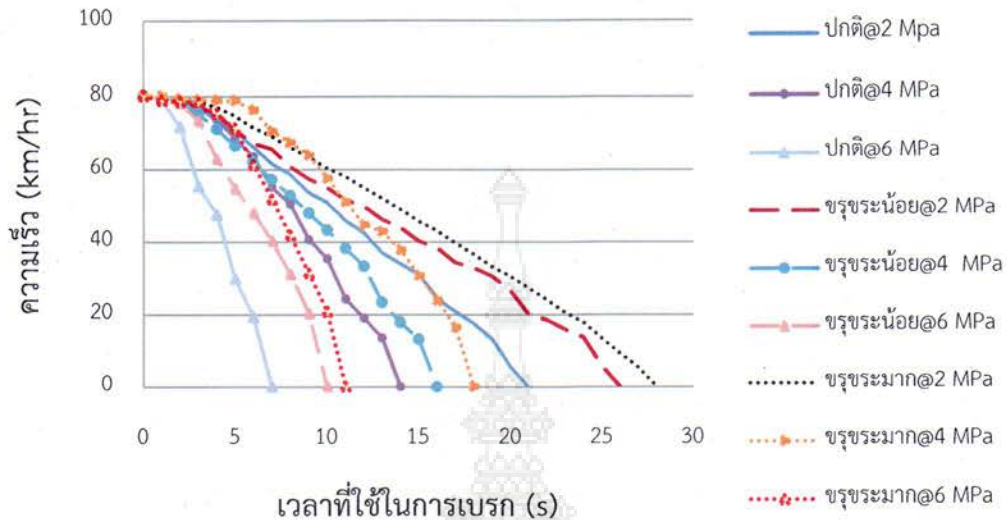


รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 km/hr และอุณหภูมิ 200 °C

ผลการทดสอบที่ความเร็วเริ่มต้น 50 km/hr และอุณหภูมิ 200 °C ดังรูปที่ 4.3 พบว่างานเบรกกรณีขรุขระมาก ที่ความดัน 2 MPa ใช้เวลาในการเบรกมากที่สุด 18 วินาที ในขณะที่งานเบรกกรณีปกติ ที่ความดัน 6 MPa ใช้เวลาในการเบรคน้อยสุด 6 วินาที ซึ่งหาเปรียบเทียบความแตกต่างระยะทางในการเบรกทั้งสองความดันแล้วนั้น ภายใต้ความดันที่ 6 MPa ทำให้ระยะเวลาในการเบรกต่ำกว่าที่ความดัน 2 MPa คิดเป็นร้อยละ 300 หรือ 3 เท่า

อย่างไรก็ตามในกรณีของงานเบรกแบบขรุขระมาก ทดสอบที่ความดัน 4 MPa มีความแตกต่างของแนวโน้มการทดสอบจากในทุกกรณีที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งโดยปกติในงานเบรกแบบขรุขระมาก เวลาที่ใช้ในการเบรกที่ถูกเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ ความดัน 2, 4 และ 6 MPa หากแต่การทดสอบในกรณีนี้ เวลาที่ใช้ในการเบรกเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยกลับเป็นที่ ความดัน 2, 6 และ 4 MPa ซึ่งอาจเกิดได้จากความผิดพลาดในขณะทำการทดสอบ

4.2.2 ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 80 km/hr



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบที่ความเร็วต้นเริ่มเบรก 80 km/hr และอุณหภูมิ 200 °C

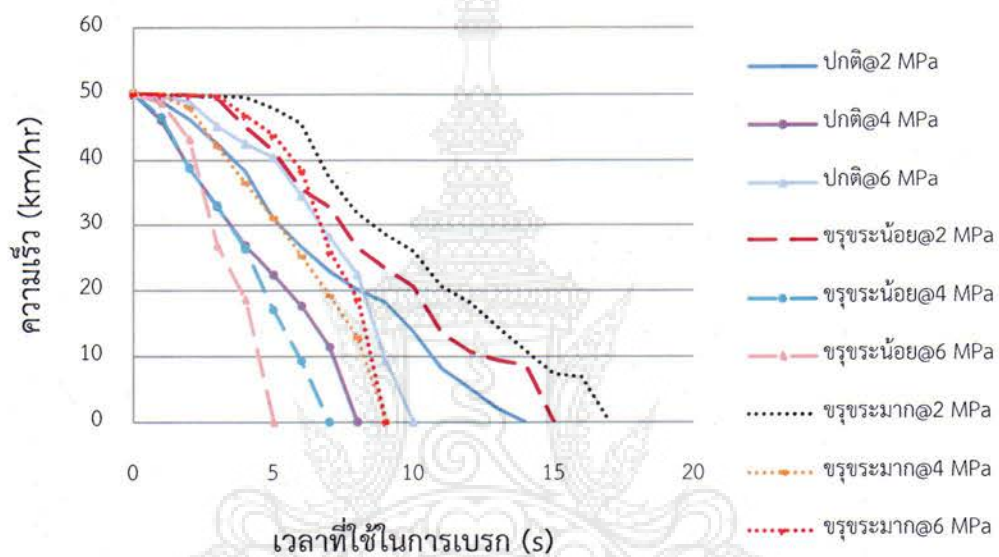
ผลการทดสอบตามรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ภายใต้ความเร็วต้นเริ่มเบรก 80 km/hr ที่อุณหภูมิ 200 °C แนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการเบรกมีแนวโน้มเดียวกันกับที่ความเร็วเริ่มต้นเบรกที่ 50 km/hr คือ งานเบรกแบบปกติที่ความดัน 6 MPa ใช้เวลาในการเบรกลดน้อยที่สุด และใช้เวลานานที่สุดเป็นของกรณีงานเบรกแบบขรุขระมากที่ความดัน 2 MPa ยิ่งไปกว่านั้นความเร็วเริ่มต้นของการเบรกส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการเบรก โดยที่ความเร็วต้นในการเบรก 50 km/hr ใช้เวลาในการเบรกลดน้อยกว่า ความเร็วเริ่มต้น 80 km/hr คิดเป็นร้อยละ 33.33

4.3 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 300 °C

4.3.1 ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 50 km/hr

ภายใต้การทดสอบที่อุณหภูมิ 300 °C และความเร็วต้นในการเบรก 50 km/hr พฤติกรรมของเวลาที่ใช้ในการเบรกตามรูปที่ 4.5 เปิดเผยให้เห็นถึงงานเบรกแบบขรุขระมากที่ความดัน 2 MPa ใช้เวลาในการเบรกสูงสุด 17 วินาที ในขณะที่งานเบรกแบบขรุขระน้อยใช้เวลาในการเบรกลดน้อยที่สุด 5 วินาที ที่ความดัน 6 MPa อย่างไรก็ตามที่ความเร็วต้นในการเบรก 50 km/hr ในทุกๆ อุณหภูมิทดสอบ ให้ผลการทดสอบแบบเดียวกัน คือ งานเบรกแบบปกติ และแบบขรุขระมาก ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเบรกลดต่ำที่สุด และสูงที่สุด

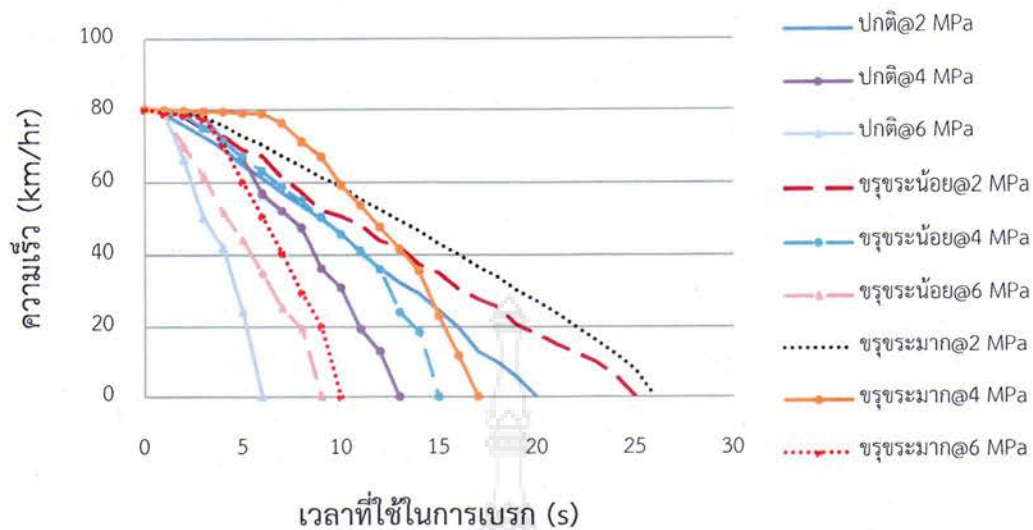
กระนั้นผลการทดสอบในกรณีนี้ มีความแตกต่างกว่าในกรณีอื่นๆ โดยที่ความดัน 6 และ 4 MPa ให้ค่าพฤติกรรมการใช้เวลาในการเบรกของงานเบรกกรณีต่างๆ ไม่เป็นไปตามทฤษฎี หรือสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้ คือ เวลาที่ใช้ในการเบรกที่ถูกเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยควรเป็นงานเบรกแบบขรุขระมาก แบบขรุขระน้อย และแบบปกติ ที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa หากแต่ในกรณีที่ความดัน 6 MPa งานเบรกแบบขรุขระน้อยกลับใช้เวลาในการเบรกต่ำที่สุด เช่นเดียวกับกรณีที่ความดัน 4 MPa งานเบรกแบบขรุขระน้อยใช้เวลาน้อยกว่างานแบบปกติ



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบที่ความเร็วต้นเริ่มเบรก 50 km/hr และอุณหภูมิ 300 °C

4.3.2 ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr

ผลการทดสอบที่ความที่ความเร็วเริ่มต้น 80 km/hr และอุณหภูมิ 300 °C ดังรูปที่ 4.6 พบว่างานเบรกกรณีขรุขระมาก ที่ความดัน 2 MPa ใช้เวลาในการเบรกมากที่สุด 26 วินาที ในขณะที่งานเบรกกรณีปกติ ที่ความดัน 6 MPa ใช้เวลาในการเบรคน้อยสุด 6 วินาที ซึ่งหาเปรียบเทียบความแตกต่างระยะทางในการเบรกทั้งสองความดันแล้วนั้น ภายใต้ความดันที่ 6 MPa ทำให้ระยะเวลาในการเบรกต่ำกว่าที่ความดัน 2 MPa คิดเป็นร้อยละ 433.33 หรือ 4.33 เท่า



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบที่ความเร็วต้นเริ่มเบรก 80 km/hr และอุณหภูมิ 300 °C

4.4 การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ

ภายหลังจากการทดสอบการสึกหรอของจานเบรก ที่ส่งผลต่อระยะทางการเบรกมีปัจจัย 4 ด้าน คือ การสึกหรอของจานเบรก ความดัน อุณหภูมิ และความเร็วเริ่มต้นในการเบรก นอกจากนี้การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกอันเป็นผลจากปัจจัยด้านต่างๆ ตามตารางที่ 4.1

4.4.1 ปัจจัยด้านการสึกหรอของจานเบรก

การสึกหรอของจานเบรกนี้ ถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางในการเบรกมากที่สุด เนื่องจากรูปแบบของการสึกหรอของจาน มีผลโดยตรงต่อการสร้างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างจานเบรกและผ้าเบรก จากการทดสอบพบว่าจานเบรกที่มีการสึกหรอบริเวณผิวสัมผัส หรือการเกิดความขรุขระ ทำให้ระยะทางในการเบรกมีค่ามาก หรือกล่าวได้ว่าระยะทางการเบรกที่มากขึ้นเป็นผลจากความขรุขระที่มากขึ้น ซึ่งหากพิจารณาถึงระยะทางการเบรกต่ำที่สุด และสูงสุด ตามตารางที่ 4.1 พบว่าระยะการเบรกต่ำสุดเกิดขึ้นที่จานเบรกแบบปกติ 69.7 m ในขณะที่ระยะทางที่ใช้ในการเบรกสูงสุดเป็นของจานเบรกแบบขรุขระมาก 690.8 m โดยคิดเป็นผลต่างร้อยละ 991.1 หรือ 9.91 เท่า

4.4.2 ปัจจัยด้านความดัน

ปัจจัยด้านความดัน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเวลาและระยะทางที่ใช้ในการเบรก เนื่องจากความดันเป็นปัจจัยที่สามารถใช้ประเมินระยะทางการเบรกได้ ซึ่งจากผลการทดสอบ สะท้อนให้เห็นว่ารูปแบบของการลดลงของเวลาที่ใช้ในการเบรก ขึ้นอยู่กับปริมาณของความดันที่ใช้ในการกดผ้าเบรก โดยผลสรุปตามตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าที่ความดัน 6 MPa (ความดันสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ) สามารถทำให้ระยะทางการเบรกต่ำที่สุด ในทางกลับกันภายใต้ความดัน 2 MPa (ความดันต่ำที่สุดที่ใช้ทดสอบ) ทำให้ระยะทางการเบรกสูงขึ้น สำหรับระยะทางเบรก

4.4.3 ปัจจัยด้านอุณหภูมิ

จากผลการทดสอบในทุกกรณีตามตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า หากอุณหภูมิสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการเบรกหรือระยะทางที่ใช้ในการเบรกมีค่าน้อยลง ซึ่งจากการทดสอบที่อุณหภูมิ 300 °C ที่ความดัน 6 MPa และงานเบรกแบบปกติ มีระยะทางการเบรกต่ำที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิ 100 °C ความดัน 2 MPa และงานเบรกแบบขรุขระมาก มีระยะทางการเบรกสูงที่สุด

4.4.4 ปัจจัยด้านความเร็วเริ่มต้นในการเบรก

ปัจจัยด้านความเร็วเริ่มต้นในการเบรก เป็นปัจจัยที่ถูกกำหนดไว้ในสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน โดยความเร็วเริ่มต้นในการเบรกมีค่า 50 km/hr และ 80 km/hr การทดสอบแสดงให้เห็นว่า ใน ความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 50 km/hr มีระยะทางการเบรกต่ำกว่า ความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 80 km/hr ในทุกๆสภาวะการทดสอบของความดัน อุณหภูมิ และแบบของงานเบรก ส่วนระยะทางการเบรกที่ต่ำที่สุดอยู่ในสภาวะการทดสอบของงานเบรกแบบปกติ ภายใต้ความดัน 6 MPa อุณหภูมิ 300 °C และความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 50 km/hr ในขณะที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 50 km/hr อุณหภูมิ 100 °C ความดัน 2 MPa และงานเบรกแบบขรุขระมาก มีระยะทางการเบรกสูงที่สุด เช่นเดียวกับทุกปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบระยะทางในการเบรกของจานเบรกทั้ง 3 กรณี

จานเบรก	ความเร็วเริ่มต้น ในการเบรก (km/hr)	ความดัน (MPa)	ระยะทางในการเบรก (m)		
			100 °C	200 °C	300 °C
ปกติ	50	2	236.2	222.9	194.9
		4	139	111.4	111
		6	97.5	83.6	138.97
	80	2	490.2	467.9	445.7
		4	334.2	311.9	289.7
		6	178.3	155.9	133.7
ขรุขระน้อย	50	2	277.7	236.3	208.5
		4	152.9	139	97.49
		6	111.1	97.3	69.63
	80	2	623.9	579.3	557.1
		4	401.1	356.5	334.2
		6	245.1	222.8	200.5
ขรุขระมาก	50	2	319.7	236.3	236
		4	166.8	152.6	125.16
		6	152.7	138.9	125
	80	2	690.8	623.9	579.4
		4	378.8	401.1	378.8
		6	267.4	245.1	222.8

จากตารางการเปรียบเทียบระยะทางในการเบรกของจานเบรกทั้ง 3 กรณีแสดงให้เห็นว่า จานเบรกแบบขรุขระน้อย ที่ความเร็ว 50 km/hr อุณหภูมิ 300 °C และความดัน 6 MPa มีประสิทธิภาพในการเบรกดีที่สุด คือ 69.63 m เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีปริมาณไม่มากกว่าอุณหภูมิที่ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูญเสีย ดังนั้นอุณหภูมิที่ 300 °C ยังมีความเหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพการเบรกที่สูงสุด สำหรับในกรณีนี้ระยะทางการเบรกที่ดีที่สุดเป็นของจานเบรกแบบขรุขระน้อยซึ่งอาจไม่เป็นไปดังสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยระยะทางการเบรกที่ดีที่สุดควรอยู่ที่จานเบรกปกติ อันเป็นผลจาก

ความต่อเนื่องของการสร้างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดีกว่ากรณีอื่นๆ ทั้งนี้ค่าที่ได้จากตาราง 4.1 อาจเกิดจากความผิดพลาดของการเก็บข้อมูลข้อมูลที่ผิดพลาด

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วยต่อหน่วยพื้นที่ของจานเบรกทั้ง 3 กรณี

จานเบรก	ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก (km/hr)	ความดัน (MPa)	อัตราหน่วยเฉลี่ย (m/s ²)			ความสามารถในการเบรกต่อหน่วยพื้นที่ (m/s ² /m ²)		
			100 °C	200 °C	300 °C	100 °C	200 °C	300 °C
ปกติ	50	2	0.817	0.87	0.995	11.35	12.08	13.82
		4	1.39	1.74	1.741	19.31	24.17	24.18
		6	1.98	2.321	1.389	27.50	32.24	19.29
	80	2	1.013	1.061	1.114	14.07	14.74	15.47
		4	1.486	1.592	1.714	20.64	22.11	23.82
		6	2.786	3.183	3.714	38.69	44.21	51.58
ขรุขระน้อย	50	2	0.69	0.818	0.927	9.58	11.36	12.86
		4	1.263	1.390	1.989	17.54	19.31	27.63
		6	1.736	1.986	2.786	24.11	27.58	38.69
	80	2	0.796	0.857	0.891	11.06	11.90	12.38
		4	1.238	1.393	1.486	17.19	19.35	20.64
		6	2.236	2.228	2.476	31.06	30.94	34.39
ขรุขระมาก	50	2	0.60	0.772	0.818	8.33	10.72	11.36
		4	1.158	1.261	1.545	16.08	17.51	21.46
		6	1.262	1.389	1.544	17.53	19.29	21.44
	80	2	0.719	0.796	0.857	9.99	11.056	11.90
		4	1.311	1.238	1.311	18.21	17.194	18.21
		6	1.857	2.026	2.228	25.79	28.139	30.94

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่างานเบรกแบบขรุขระน้อย ที่ความดัน 6 MPa อุณหภูมิ 300 °C ความเร็วเริ่มต้นการเบรก 50 km/hr มีอัตราหน่วงเฉลี่ยสูงสุดที่ 2.786 m/s² ส่งผลให้ความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วงต่อหน่วยพื้นที่สูงสุด 38.69 m/m²s² ในขณะที่งานเบรกแบบขรุขระมาก ภายใต้ความดัน 2 MPa อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วเริ่มต้นการเบรก 50 km/hr มีอัตราหน่วงเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.60 m/s² ส่งผลให้ความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วงต่อหน่วยพื้นที่ต่ำสุด 8.33 m/m²s²

อย่างไรก็ตามความสามารถในการเบรกต่อหน่วยพื้นที่ของงานเบรกทั้ง 3 กรณี อาจไม่สอดคล้องกับระยะทางในการเบรก เนื่องจากค่าอัตราหน่วงที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการเบรกเชิงอัตราหน่วงต่อหน่วยพื้นที่ ไม่เกิดขึ้นกับงานเบรกแบบปกติ



บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ

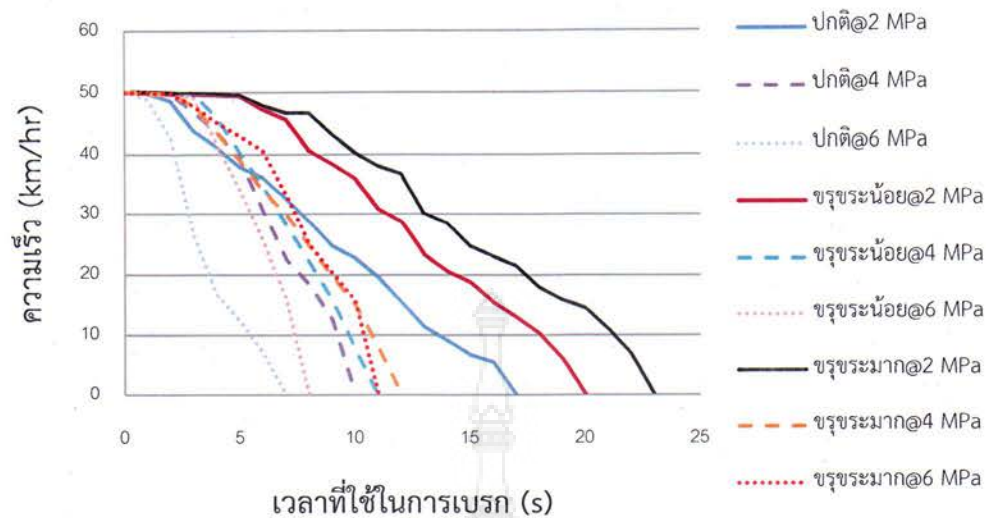
บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดสอบ ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากวัตถุประสงค์ของโครงการฯ เพื่อศึกษาระยะทางในการเบรกจากการสึกหรอของจานเบรก โดยการพัฒนาเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกแบบไดนาโมมิเตอร์ จากเดิมที่ความสามารถในการสร้างโมเมนต์ความเฉื่อย 9.7 kg.m^2 เป็น 127.1 kg.m^2 หรือเทียบเท่ากับรถยนต์ที่มีมวลประมาณ 3 ตัน ที่ปัจจุบันมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก การทดสอบใช้จานเบรกที่มีความแตกต่างกัน 3 กรณี คือ จานเบรกแบบปกติ แบบขรุขระน้อย และแบบขรุขระมาก โดยสภาวะการทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน JASO C 406 บางส่วน การศึกษาการสึกหรอของจานเบรกที่มีผลกระทบระยะทางในการเบรกสามารถสรุปได้เป็นปัจจัยดังต่อไปนี้

5.1.1 ปัจจัยด้านการสึกหรอของจานเบรก

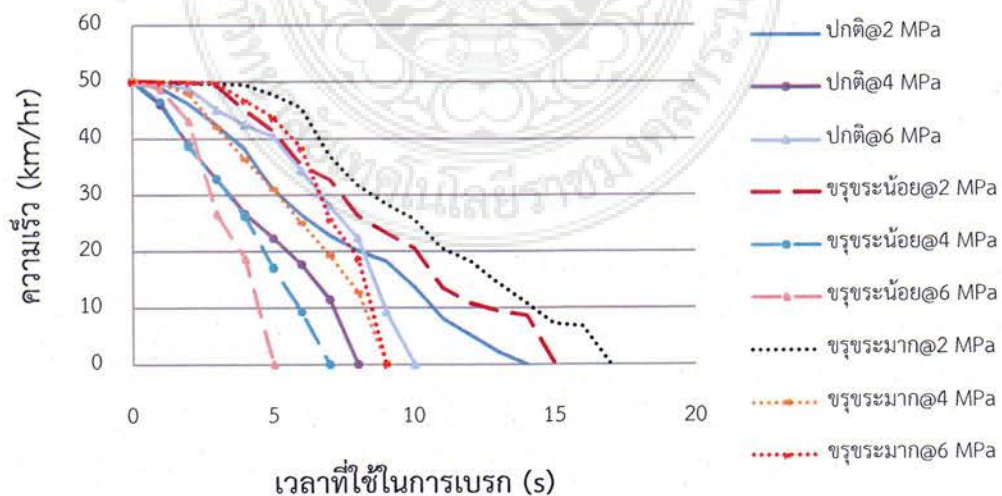
ปัจจัยด้านการสึกหรอของจานเบรกนี้ ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหลักของการศึกษา อันจะส่งผลต่อระยะทางในการเบรก เนื่องจากรูปแบบของการสึกหรอของจาน มีผลโดยตรงต่อการสร้างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างจานเบรกและผ้าเบรก ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญ และจำเป็นที่สุดต่อการลดความเร็วหรือหยุดรถยนต์ จากผลการเปรียบเทียบระยะทางในการเบรกที่มีความขรุขระแตกต่างกัน ดังแสดงรูปที่ 5.1 สะท้อนให้เห็นว่าจานเบรกที่มีความขรุขระมาก ทำให้ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการเบรกสูงที่สุด หรือกล่าวได้ว่าระยะทางการเบรกสูงที่สุด สืบเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในการสร้างความเสียดทานระหว่างผ้าเบรกและจานเบรก ดังนั้นจานเบรกที่มีปริมาณความขรุขระของบริเวณผิวสัมผัสสูง ทำให้ระยะทางการเบรกสูงขึ้น หรือประสิทธิภาพในการเบรกต่ำนั่นเอง



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่มีความขรุขระแตกต่างกัน

5.1.2 ปัจจัยด้านความดัน

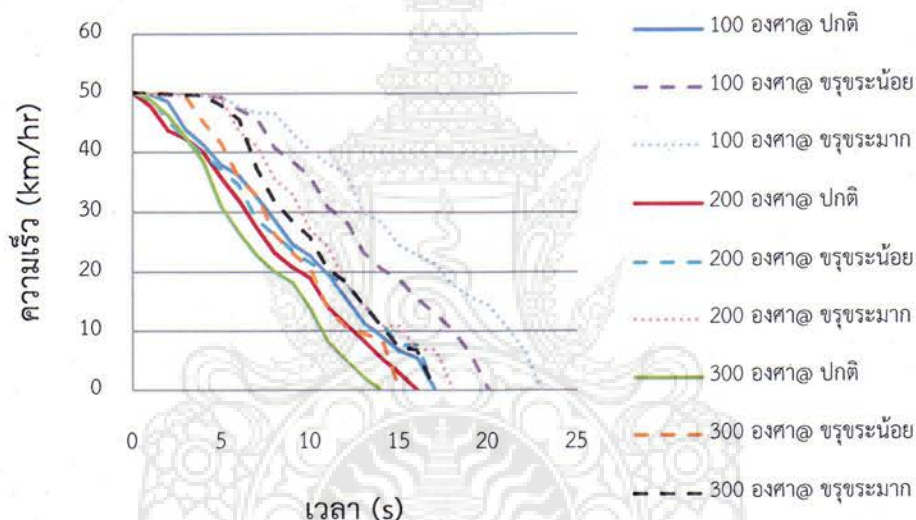
ความดันที่ใช้ทดสอบนั้นเปรียบเสมือนแรงเบรกจากเท้าของผู้ขับขี่ ถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาจากวิธีการสีกหรือของจาน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีรูปแบบหลากหลาย ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการขับขี่ ซึ่งหากผู้ขับขี่เหยียบเบรกที่เท้ามาก ทำให้ความดันในระบบเบรกเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้อัตราหน่วงของการเบรกมีมาก ผู้ขับขี่จึงสามารถทำการควบคุมรถยนต์ให้มีระยะทางการหยุดต่ำกว่าการเบรกที่แรงเบรกน้อย หรือการเบรกที่ความดันในระบบต่ำ ดังนั้นความดันที่สูงขึ้นทำให้ระยะทางการเบรกลดลง ดังแสดงในรูป 5.2



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่มีความดันแตกต่างกัน

5.1.3 ปัจจัยด้านอุณหภูมิ

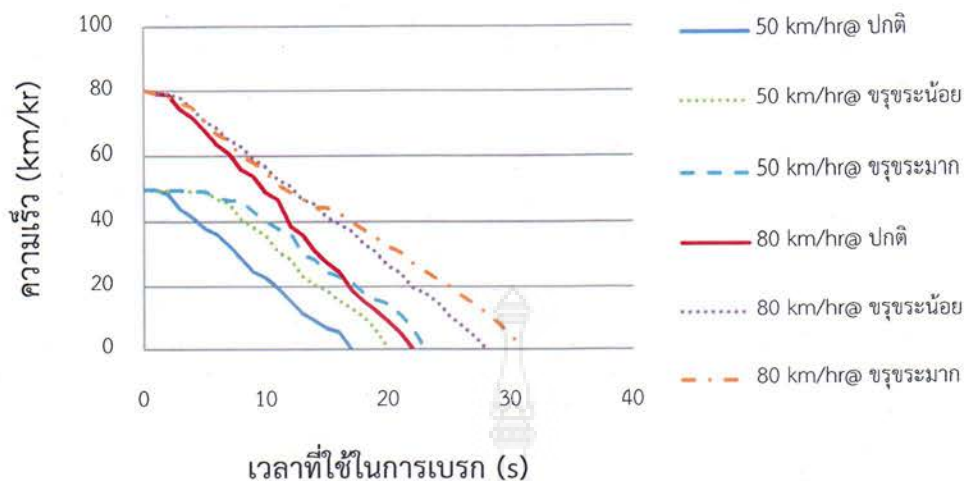
อุณหภูมิถือเป็นอีกปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณา เช่นเดียวกับปัจจัยด้านความดัน เนื่องจากข้อกำหนดของสภาวะการทดสอบตามมาตรฐาน ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระยะทางการเบรกลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในทุกกรณีของงานเบรกแบบต่างๆ รวมไปถึงทุกๆ ความดันที่ใช้ในการทดสอบ อย่างไรก็ตามพฤติกรรมการณ์การลดลงของความเร็วขณะเบรกอาจไม่รวดเร็ว หากอุณหภูมิสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง เนื่องจากผลของความร้อนอาจส่งผลต่อการสูญเสียคุณสมบัติการสัมผัสประสิทธิ ความเสียดทานของผ้าเบรกที่กระทำต่อจานเบรก หากแต่ข้อจำกัดของการทดสอบตามมาตรฐานได้กำหนดให้การทดสอบที่อุณหภูมิสูงสุดเพียง 300 °C เท่านั้น จึงไม่เป็นไปตามเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้จาก รูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

5.1.4 ปัจจัยด้านความเร็วเริ่มต้นในการเบรก

ความเร็วเริ่มต้นในการเบรกเป็นปัจจัยสุดท้ายที่ถูกนำมาพิจารณา โดยกระบวนการทดสอบตามมาตรฐานเสมือนเป็นการจำลองความเร็วของรถยนต์ก่อนเริ่มต้นเบรก ซึ่งได้กำหนดความเร็วเริ่มต้นในการเบรกไว้ที่ 50 km/hr และ 80 km/hr การทดสอบแสดงให้เห็นว่า ความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 50 km/hr มีระยะทางการเบรกต่ำกว่า ความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 80 km/hr ในทุกๆ สภาวะการทดสอบทั้งความดัน อุณหภูมิ และแบบของงานเบรก เนื่องจากการหยุดรถยนต์ที่มีความเร็วต่ำกว่าย่อมทำได้ง่ายการหยุดรถยนต์ในขณะที่มีความเร็วสูง อีกทั้งมวลของรถยนต์ในขณะทำการเบรกรยังส่งผลต่อระยะทางในการเบรกเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูป 5.4



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบระยะทางการเบรกที่ความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่แตกต่างกัน

5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำโครงการ

5.2.1 การติดตั้งงานเบรกแต่ละแบบเข้ากับเครื่องทดสอบทำได้ยาก เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งมีจำกัด

5.2.2 การปรับตั้งแนวแกนเพลลาของมอเตอร์เพื่อให้ได้ระดับแนวแกนเดียวกับเพลลาของมวล เพราะฐานของเครื่องทดสอบมีความล้าเนื่องจากการทำงานเป็นระยะเวลานานจึงทำให้อุปกรณ์ของเครื่องทดสอบชำรุดหรือเสียหาย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรยึดโครงสร้างของเครื่องทดสอบกับพื้นให้มั่นคง เพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนขณะทำการทดสอบ ทั้งนี้เพื่อความแม่นยำของผลการทดสอบ

5.3.2 ควรใช้เครื่องมือวัดที่มีละเอียดมากขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลการทดสอบ

บรรณานุกรม

- [1] Passenger car – Braking device – Dynamometer test procedures, Japanese Automobile standard, JASO C 406
- [2] ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี. Experimental investigation of brake behaviour for double-deck bus. วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550
- [3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มจธ. แหล่งที่มา <http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Brake/learn/les2.3.3.htm>. 3 มีนาคม, 2556
- [4] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2541
- [5] อถรร อมตกิตต์. การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนดอ์, 2545
- [6] M Triches Jr และคณะ Reduction of squeal noise from disc brake systems using constrained layer damping. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2004, pp. 3-4
- [7] <http://www.sub5zero.com> สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม, 2555
- [8] <http://www.caronline.net> สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม, 2555
- [9] <http://www.thaispeedcar.com> สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม, 2555
- [10] <http://www.autorepair.about.com> สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม, 2555
- [11] <http://www.rangerovers.net> สืบค้นเมื่อ สิงหาคม, 2555

ภาคผนวก



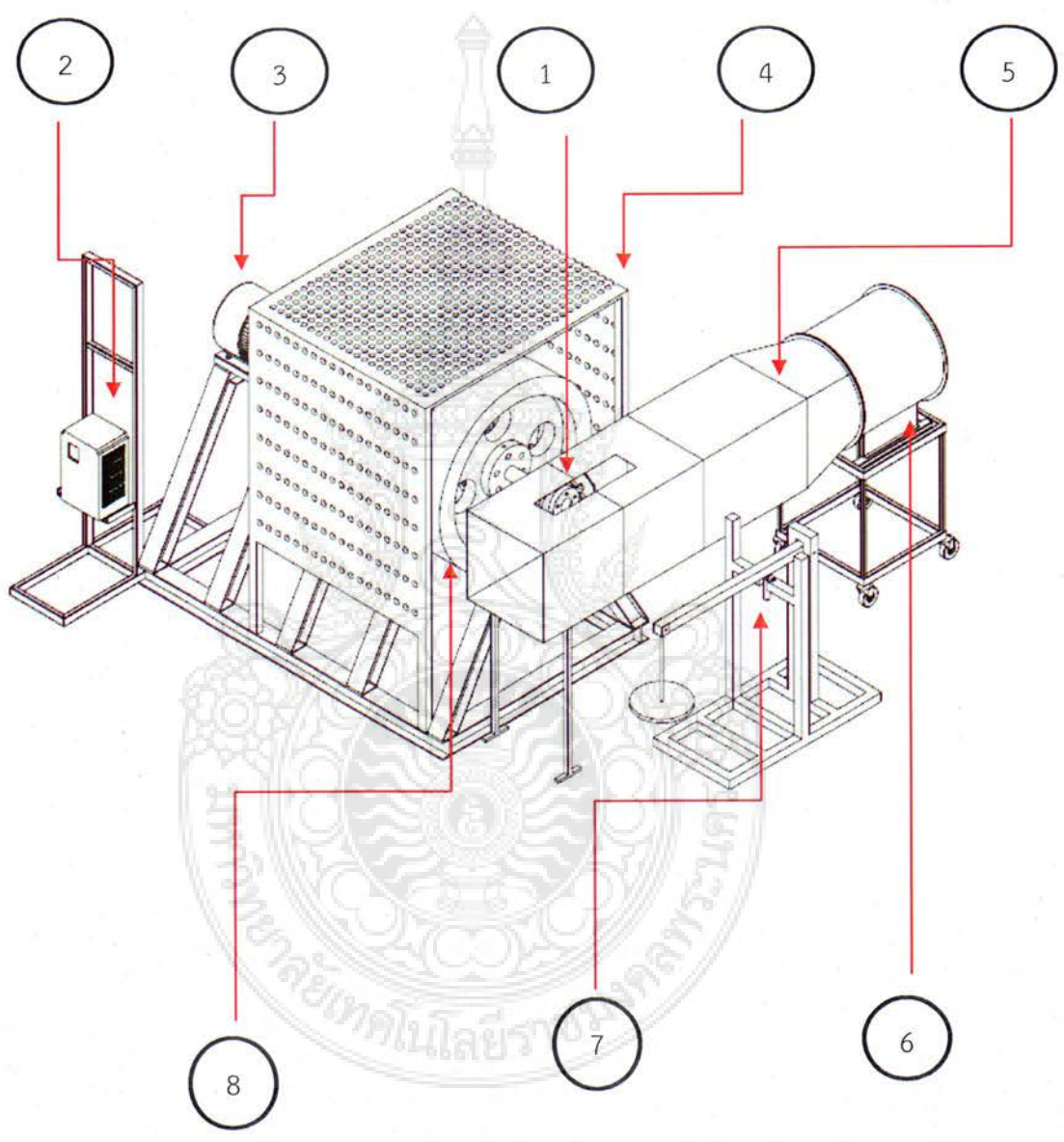
ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบความสามารถในการเบรก



คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบความสามารถในการเบรก

ส่วนประกอบ



คำอธิบายตำแหน่งต่าง ๆ ของชุดทดสอบ

หมายเลข	ส่วนประกอบ
1	จานเบรก
2	ชุดขับเคลื่อน
3	มอเตอร์ขับเคลื่อนจานเบรก
4	ฝาครอบล้อช่วยแรง
5	อุโมงค์ลม
6	ชุดมอเตอร์พัดลม
7	แม่ปั๊มเบรก
8	ก้อนมวล

วิธีการใช้งาน

- 1 ติดตั้งจานเบรกเข้ากับเพลลาและติดตั้งปั๊มเบรกเข้ากับจานเบรก
- 2 นำชุดอุโมงค์ลมมาประกอบสวมเข้ากับชุดจานเบรก
- 3 ติดตั้งเครื่องวัดรอบ และปรับตั้งจุดยิงสัญญาณไปที่เพลลา
- 4 ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด และตรวจสอบจุดยิงสัญญาณที่จานเบรก
- 5 วัดอุณหภูมิที่จานเบรกก่อนทำการเบรก
- 6 เปิดสวิตซ์ ON ที่เครื่องทดสอบ
- 7 ปิดสวิตซ์ OFF ที่เครื่องทดสอบ เมื่อทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ข้อควรระวังในการใช้งาน

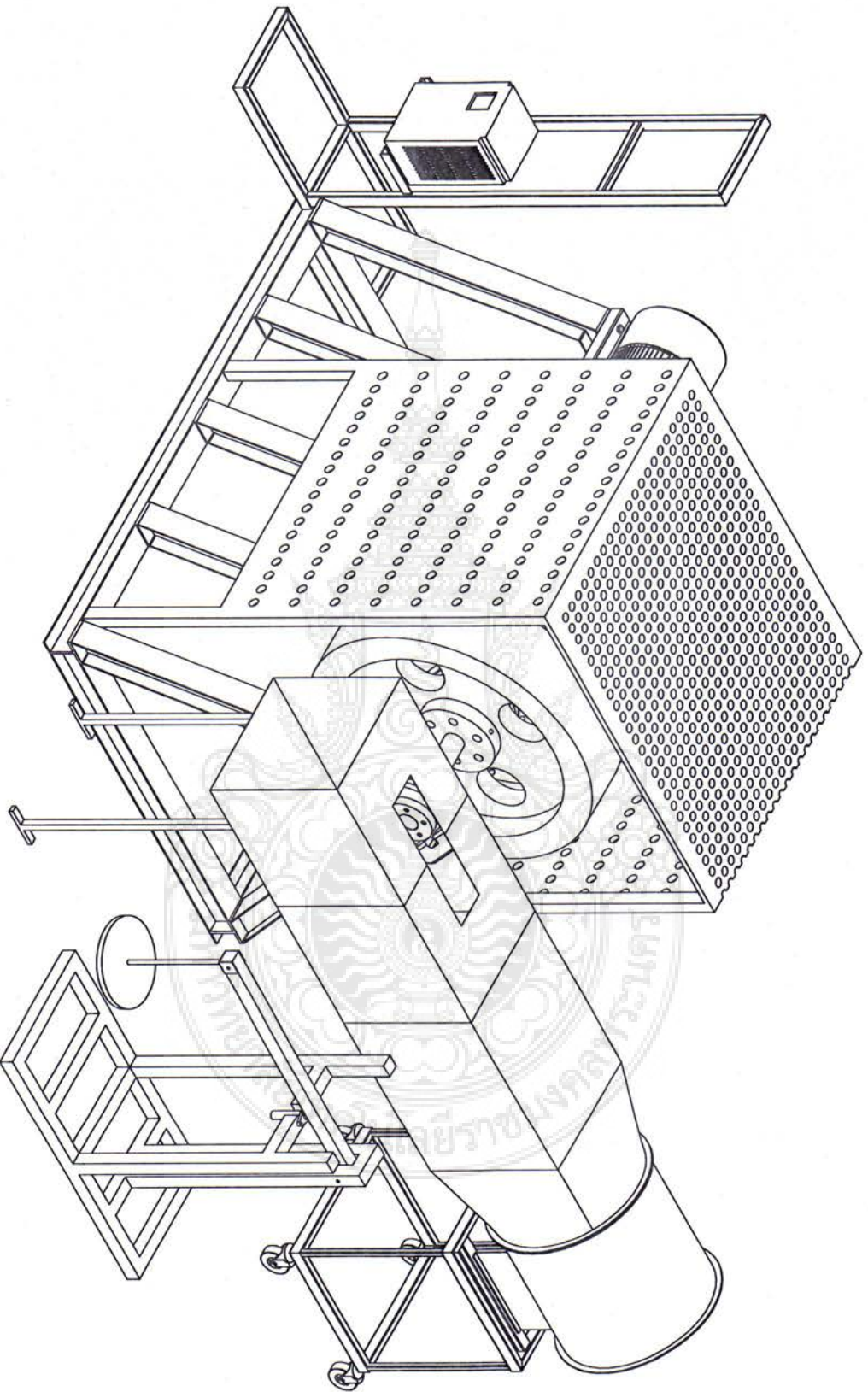
- 1 ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ก่อน
- 2 ระวังความร้อนอันเกิดจากเครื่องทดสอบ
- 3 หากเกิดปัญหาให้กดปุ่มหยุดฉุกเฉิน (Emergency stop) ทันที


การบำรุงรักษา

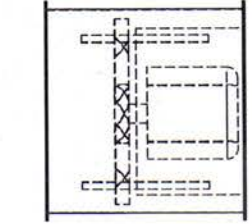
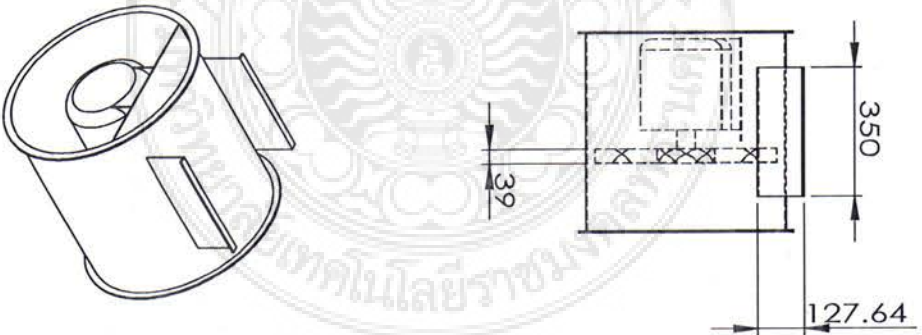
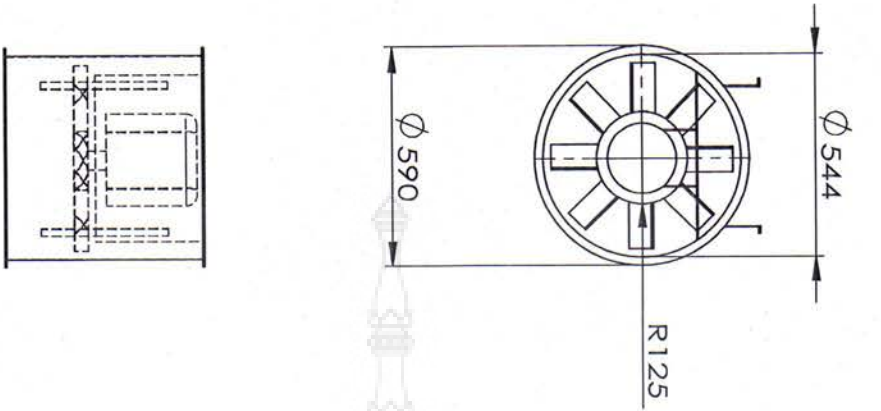
- 1 ทำความสะอาดและเช็ดน้ำมันต่างๆ ที่ส่วนต่างๆของเครื่องทดสอบเพื่อป้องกันสนิม
- 2 ทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้าสะอาดทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

ภาคผนวก ข
แบบเครื่องทดสอบความสามารถในการเบรก

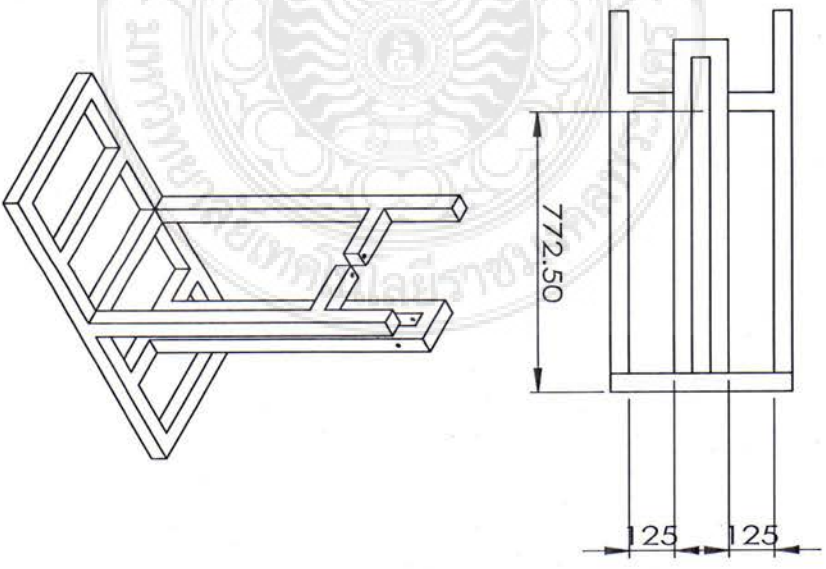
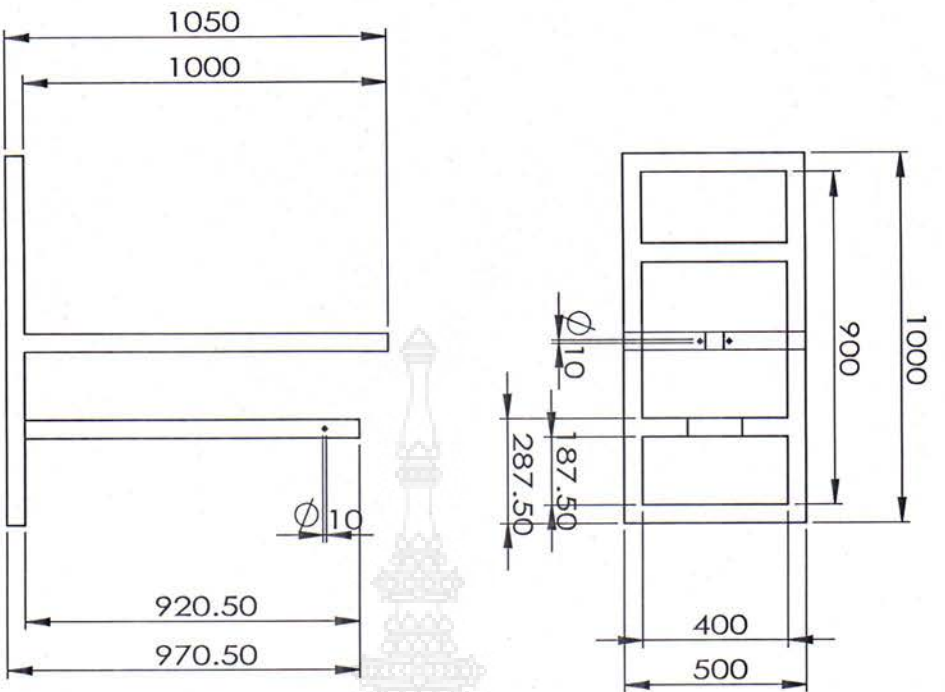




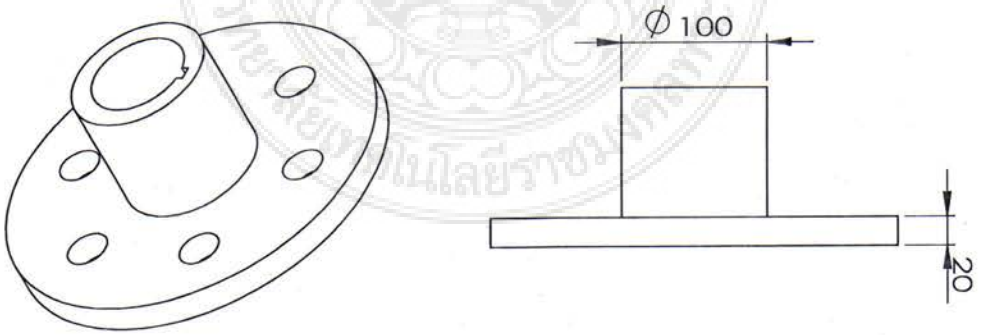
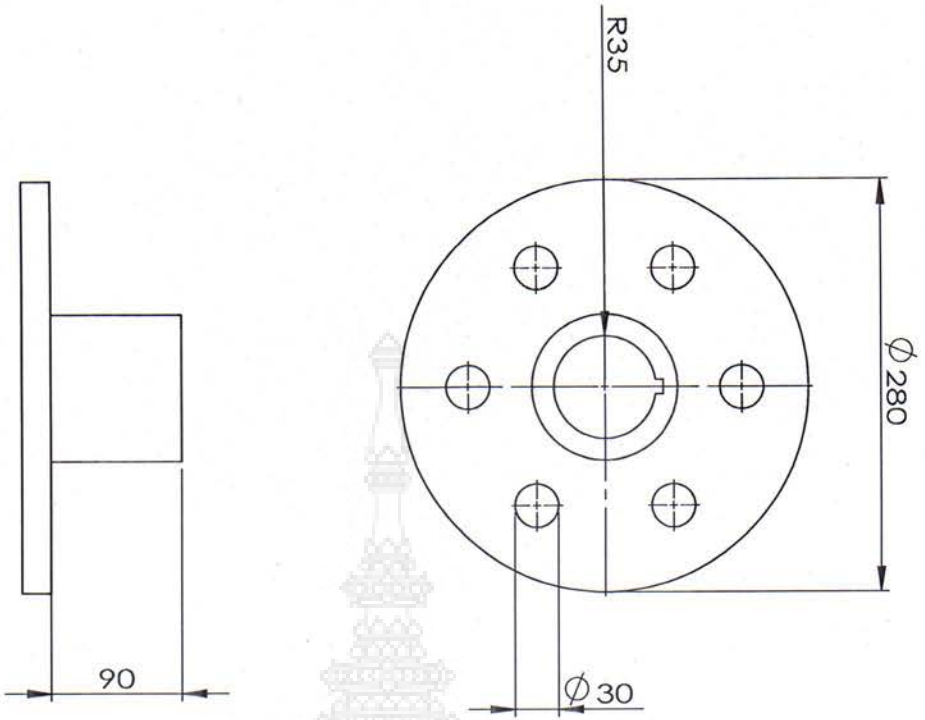
DESIGNER	KITTISAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	ASSEMBLY : INERTIA DYNAMOMETER	 Third Angle Projection	SCALE : 1:20
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013				SHEET : 1 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013				
DIMENSION : mm	NAME	DATE	TITLE : A STUDY OF FRONT AND BACK-VENTED BRAKE DISC EFFECTING ON BRAKING DISTANCE			




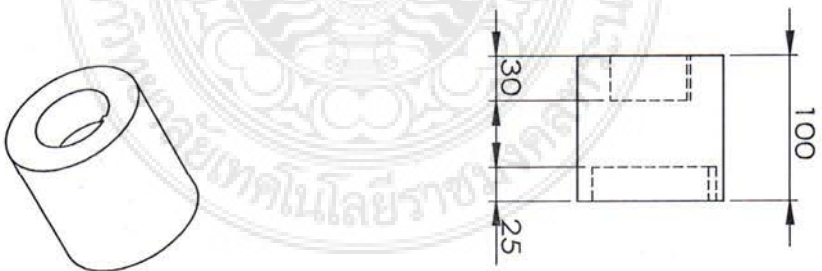
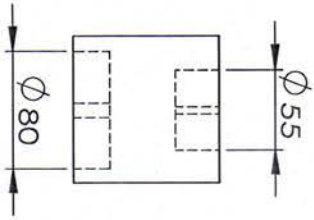
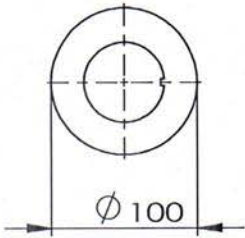
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE	ASSEMBLY : BLOWWER	Third Angle Projection	SCALE : 1:20
DRAW	WONGSATORN JAMPA	30 May 2013					
APPROVED	SONGWUT MONGKONLEPMANEE	30 May 2013					SHEET : 2 OF 17
DIMENSION : mm	NAME	DATE					



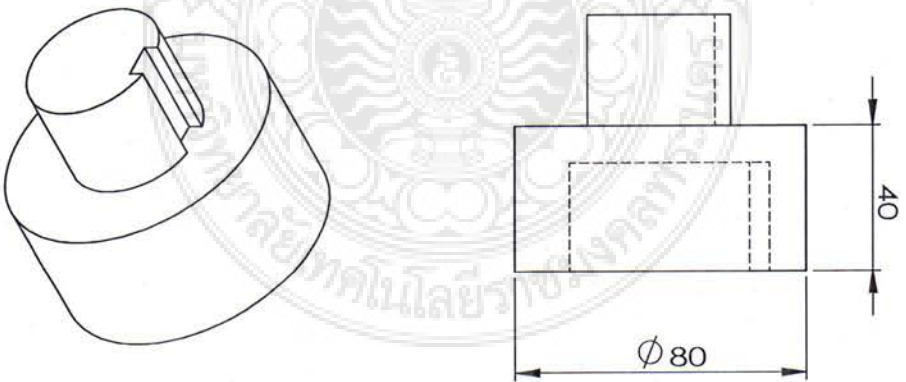
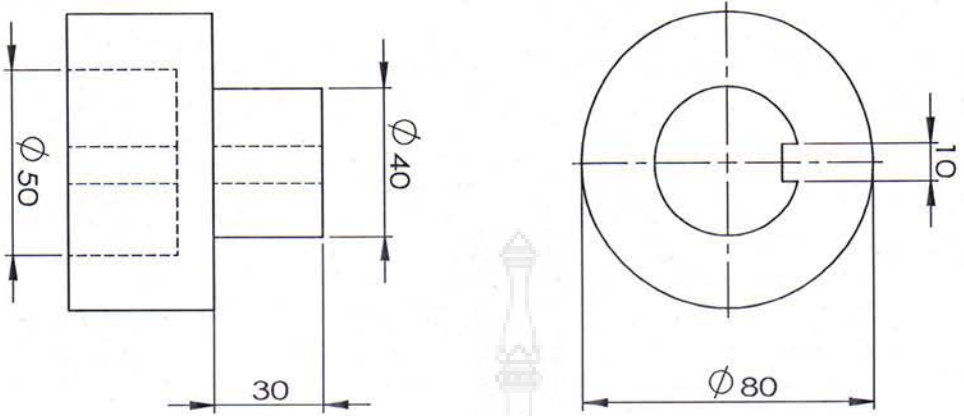
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013		
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013		
DIMENSION : mm	NAME	DATE		
TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE				
ASSEMBLY : BASE 2			 Third Angle Projection	
SCALE : 1:20			SHEET : 4 OF 17	




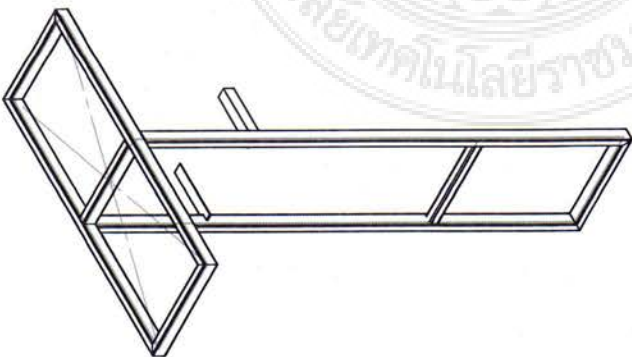
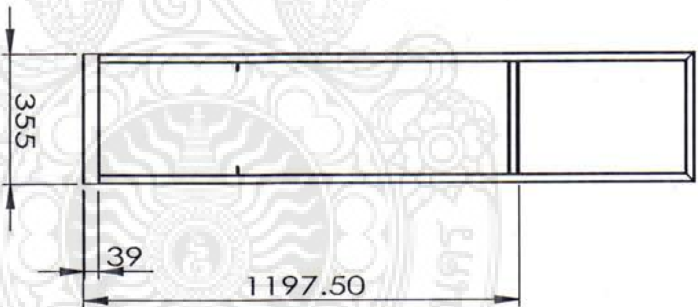
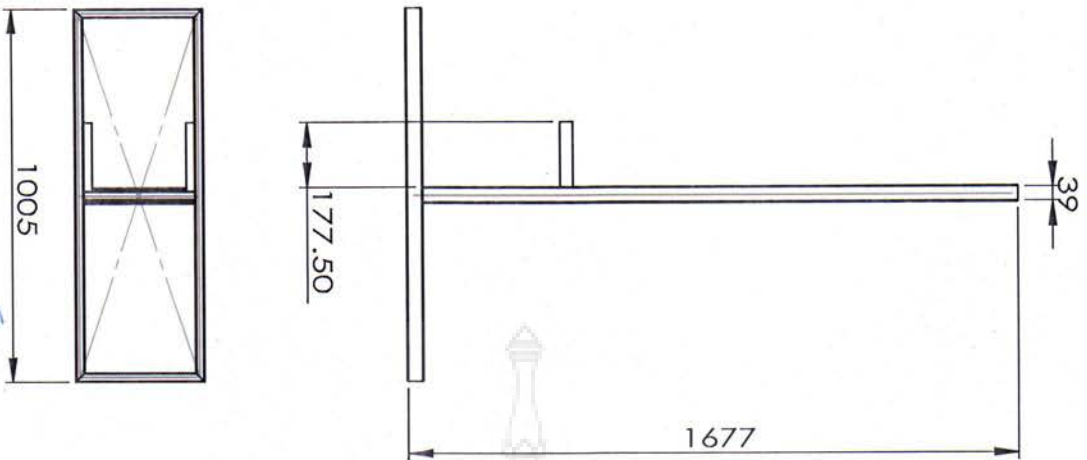
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection	SCALE :
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013		TO BRAKE DISTANCE	COUPLING		SHEET :
APPROVED	SONGWUT MONGKONLEDMANEE	30 May 2013				5 OF 17	
DIMENSION : mm	NAME	DATE					




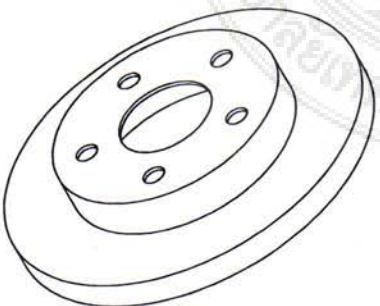
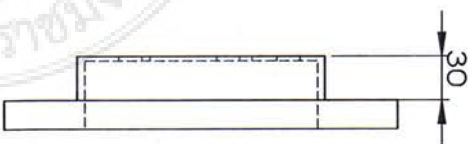
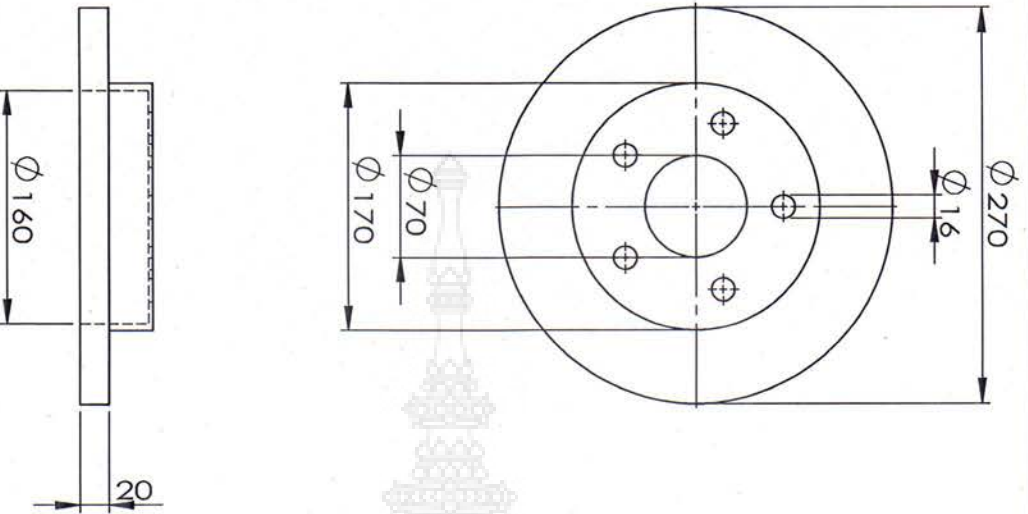
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE	ASSEMBLY : ADAPTER 1	 Third Angle Projection	SCALE : 1:5
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013					SHEET : 6 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013					
DIMENSION : mm	NAME	DATE					



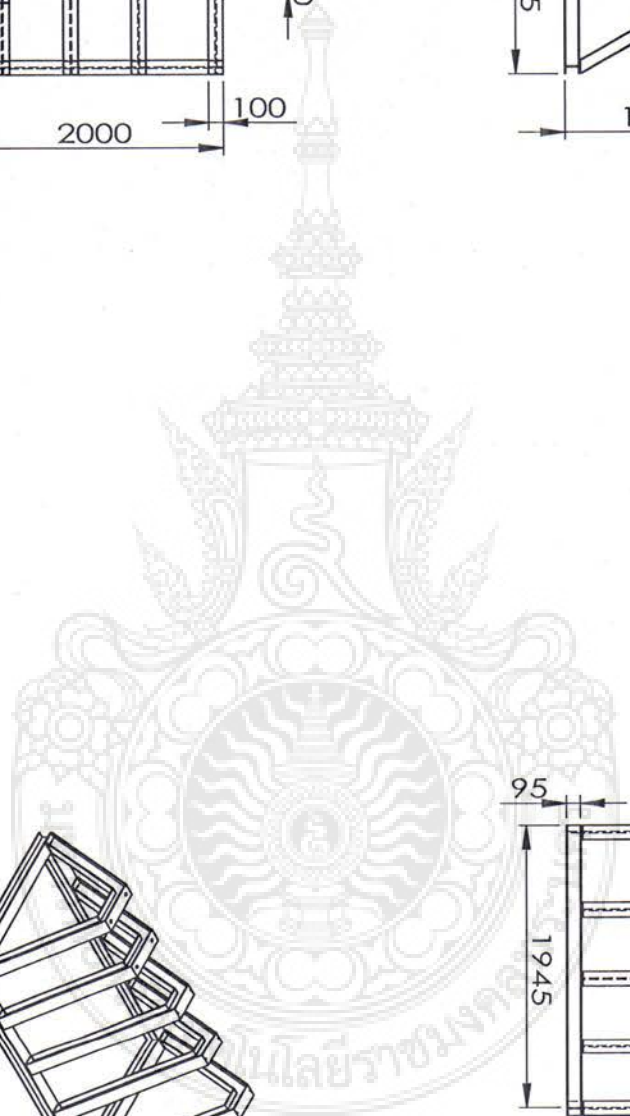
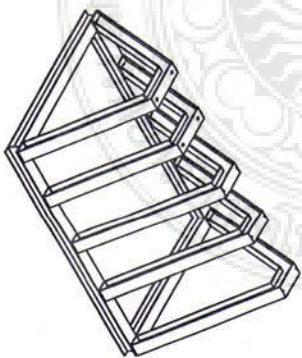
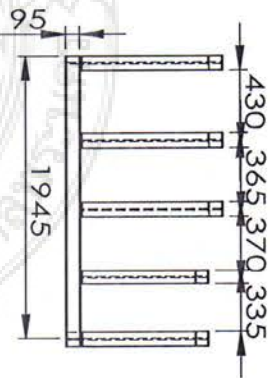
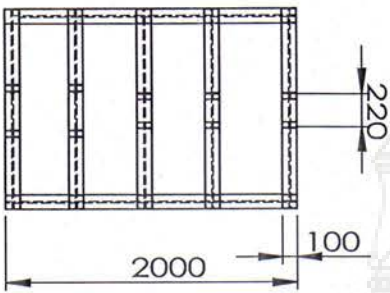
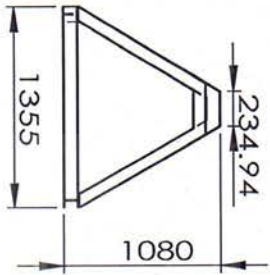
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	TITLE :	A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE	ASSEMBLY :	ADAPTER 2	 Third Angle Projection	SCALE :	1:2	
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013								SHEET :	7 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013									
DIMENSION : mm	NAME	DATE									




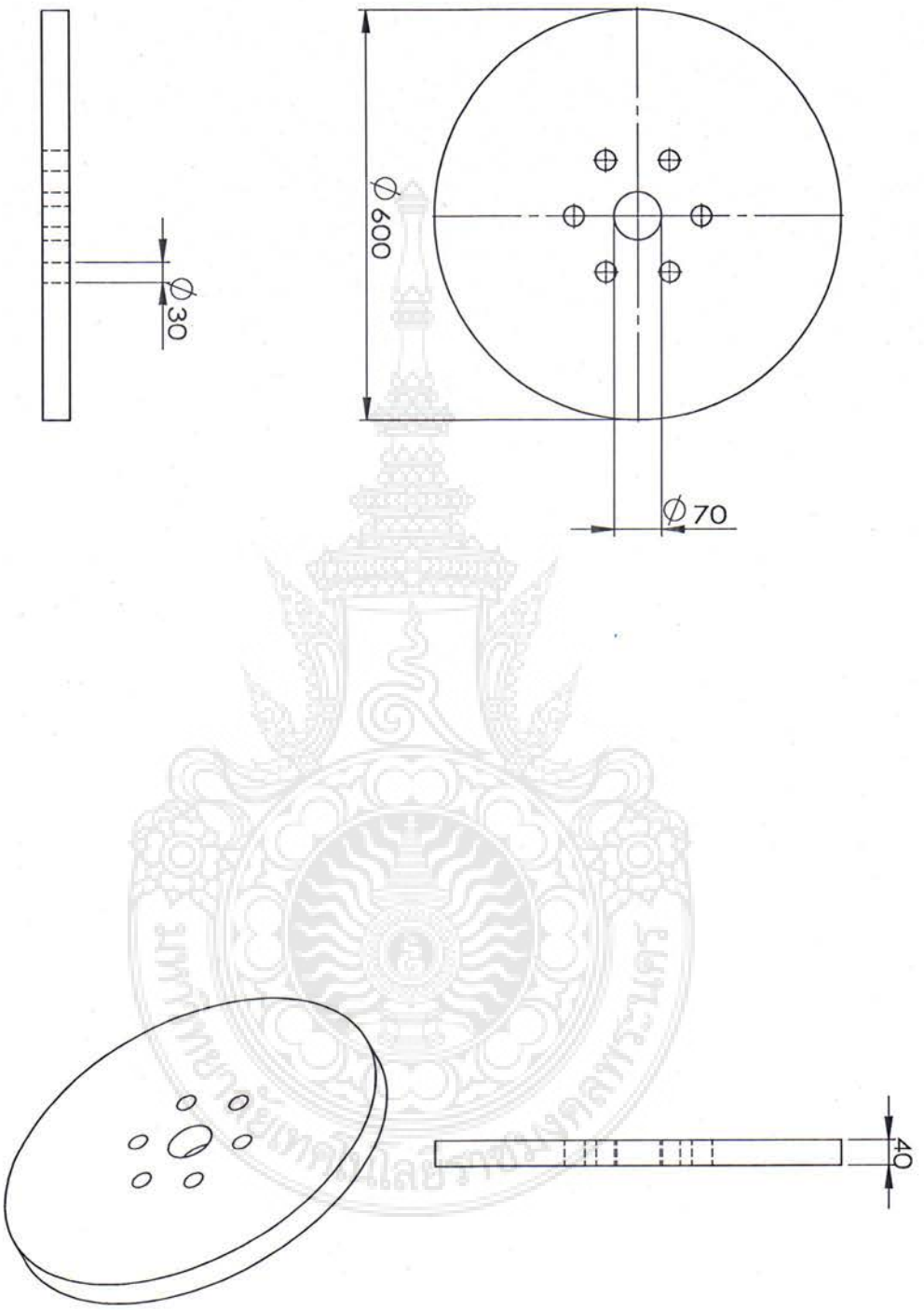
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	ASSEMBLY : BASE 1	 Third Angle Projection	SCALE : 1:20
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013		TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE		SHEET : 8 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013				
DIMENSION : mm	NAME	DATE				




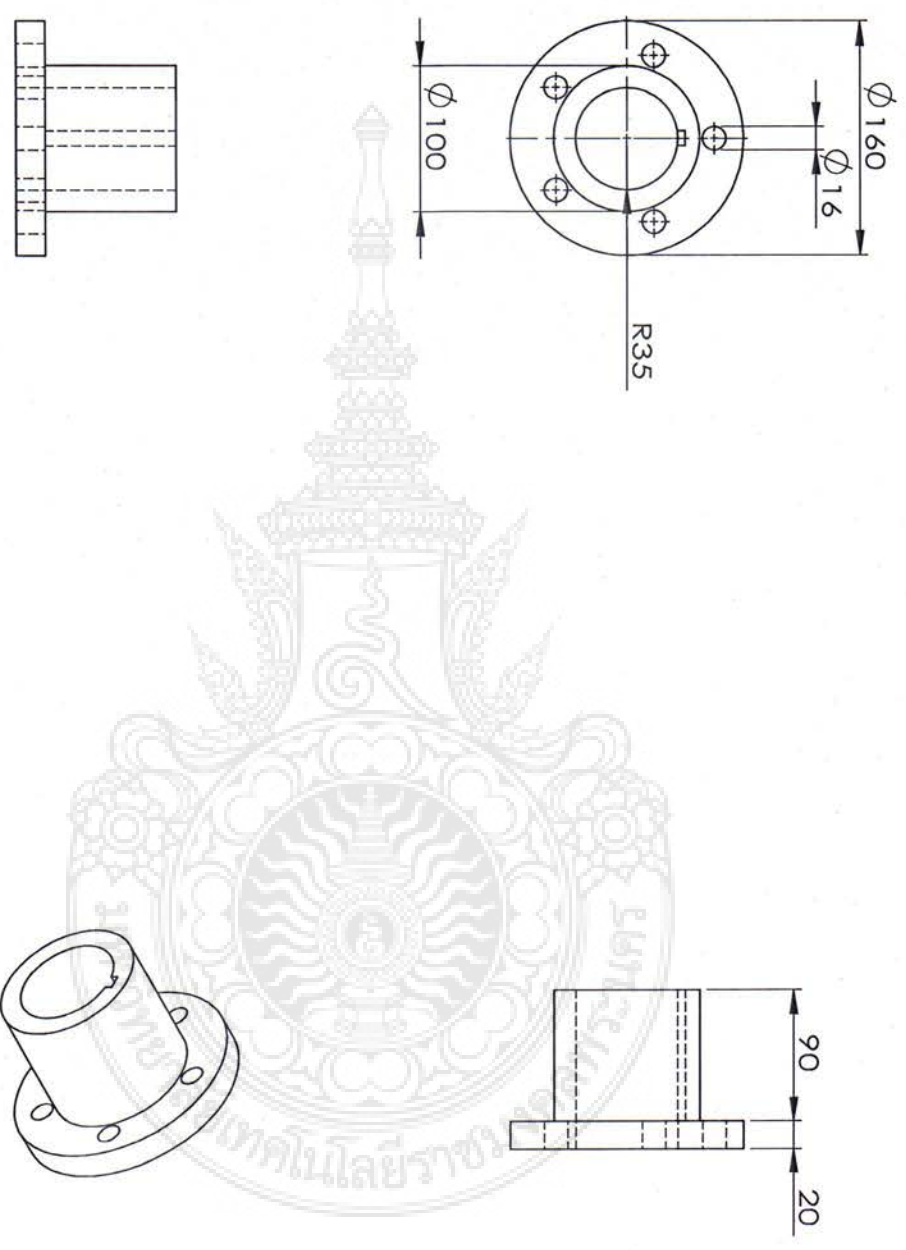
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	ASSEMBLY :	DISC BRAKE	 Third Angle Projection	SCALE :	1:5
DRAW	WONGSATORN JAIPA	30 May 2013		TITLE :	A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE		SHEET :	9 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLEDMANEE	30 May 2013		DATE				
DIMENSION : mm								



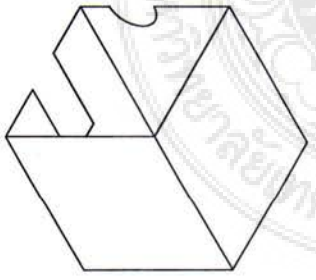
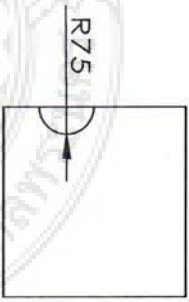
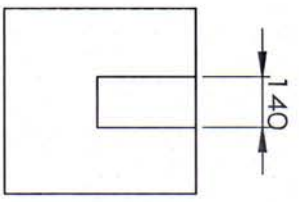
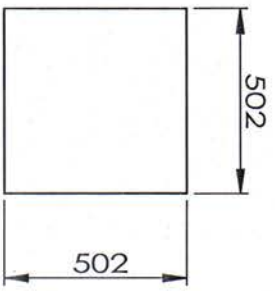
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON		ASSEMBLY : BASE 3	 Third Angle Projection	SCALE : 1:50
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013					TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013					
DIMENSION : mm	NAME	DATE					



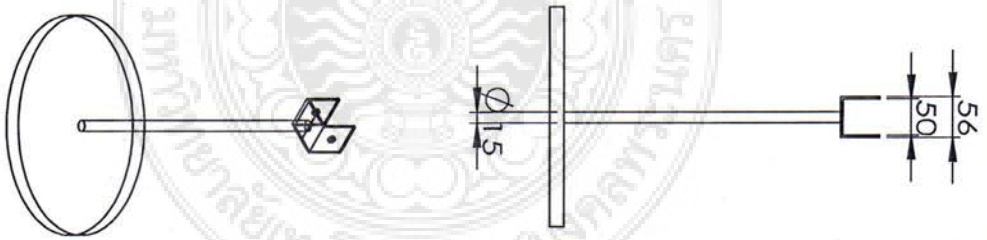
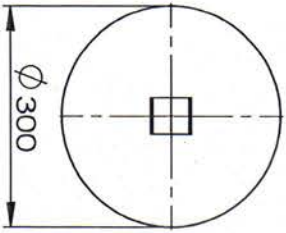
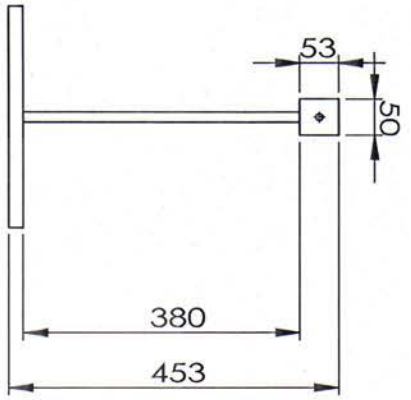
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013		
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013	TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE	ASSEMBLY : MASS 1
DIMENSION : mm	NAME	DATE	 Third Angle Projection	
			SCALE : 1:10	SHEET : 11 OF 17



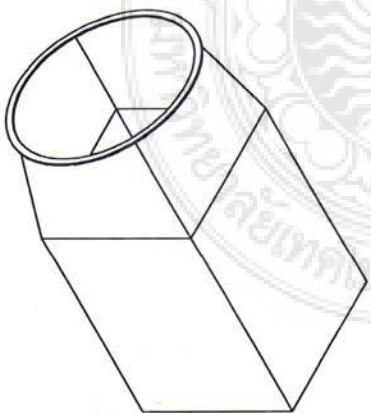
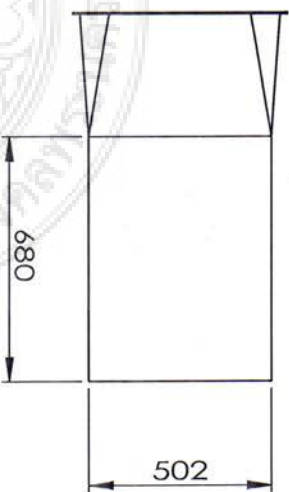
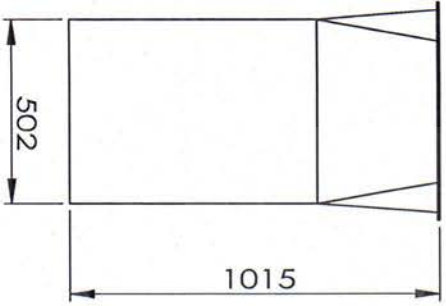
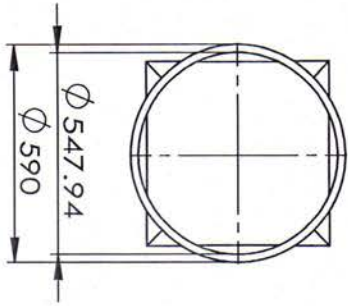
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON		ASSEMBLY : COUPLING OF DISC BRAKE	 Third Angle Projection	SCALE : 1:5
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013					SHEET : 12 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLEHRMANEE	30 May 2013	TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE				
DIMENSION : mm	NAME	DATE					




DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE	ASSEMBLY : AIR DUCT 1	Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013					SHEET : 13 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013					
DIMENSION : mm	NAME	DATE					

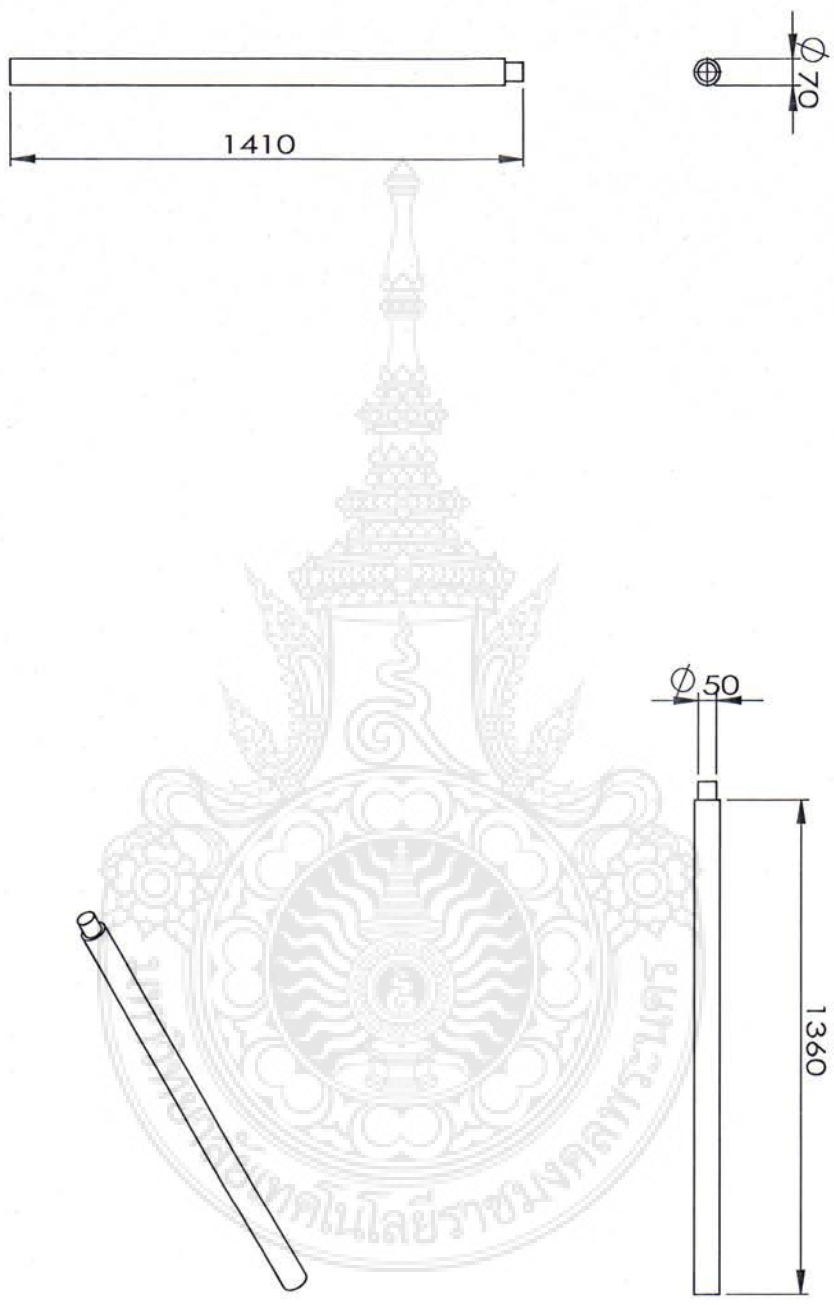


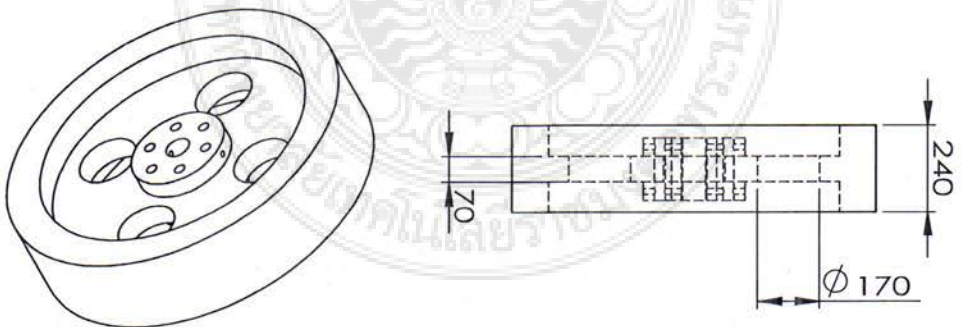
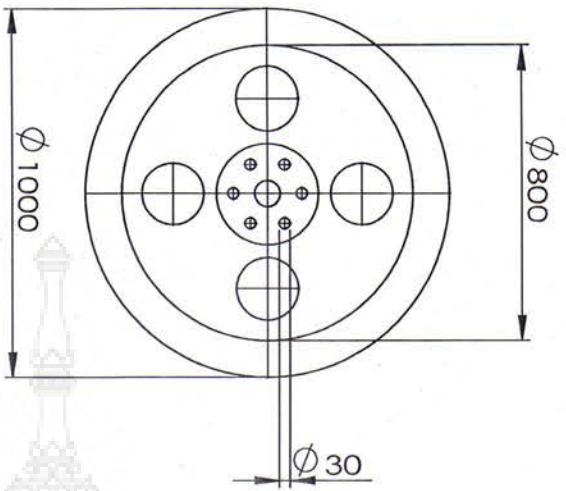
DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	ASSEMBLY : BASE OF MASS	 Third Angle Projection	SCALE : 1:10
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013				
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013	TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE			SHEET : 14 OF 17
DIMENSION : mm	NAME	DATE				




DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	TITLE :	A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE	ASSEMBLY :	AIR DUCT 1	 Third Angle Projection	SCALE :	1:10
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013		SHEET :	15 OF 17					
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013								
DIMENSION : mm	NAME	DATE								

DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	ASSEMBLY : SHAFT	 Third Angle Projection	SCALE : 1:20
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013				TITLE : A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED TO BRAKE DISTANCE
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERMANE	30 May 2013				
DIMENSION : mm	NAME	DATE				





DESIGNER	KITTSAK DUANGPAN	30 May 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	TITLE :	ASSEMBLY :	 Third Angle Projection	SCALE : 1:20
DRAW	WONGSATORN JANPA	30 May 2013		A STUDY OF DISC WEAR EFFECTED	MASS 2		SHEET : 17 OF 17
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	30 May 2013		TO BRAKE DISTANCE			
DIMENSION : mm	NAME	DATE					

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล

กิตติศักดิ์ ดั่งแป้น

วัน-เดือน-ปีเกิด

13 มีนาคม 2533

ที่อยู่

74 หมู่ 8 ต.สวนใหญ่

อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

ประวัติการศึกษา

มัธยมตอนต้น.

โรงเรียนวัดนพคุณประชาสรรค์ จ.นครศรีธรรมราช พ.ศ.2546

มัธยมตอนปลาย.

โรงเรียนวัดเขมาภิรตาราม จ.นนทบุรี พ.ศ.2549

วศบ.

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ.2552

โทรศัพท์

0890837211

E-mail address

nasa_kit789@hotmail.com



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล

วงศธร จันทร์พา

วัน-เดือน-ปีเกิด

24 มิ.ย. 2534

ที่อยู่

81/11 ซอยลาดพร้าว 41 ถนนลาดพร้าว
เขตจตุจักร กทม. 10900



ประวัติการศึกษา

ปวส.

โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ ช่างกล ขส.ทบ. สาขาวิชา ช่างยนต์

วศบ.

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2552

โทรศัพท์

0831971079

E-mail address

jen_jazz_black@hotmail.com

