



การศึกษาผลกระทบของจานเบรกแบบตรง และแบบกลับที่มีผลกระทบ

ต่อระยะทางการเบรก

A Study of Front and Back-Vented Brake Disc Effecting

on Braking Distance

นายณัฐพงษ์

น้อยเชื่อม

นายทศพล

อนุดรานุสรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

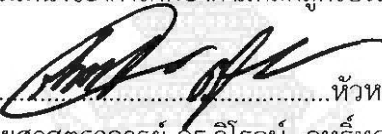
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2555

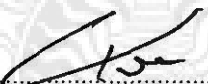
หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาผลกระทบของงานเบรกแบบตรง และแบบกลับที่มีผลกระทบ
ต่อระยะทางการเบรก
โดย นายณัฐพงษ์ น้อยเชื่อม และนายทศพล อนุตรานุสรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษา นายกุลยศ สุวันทโรจน์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2555

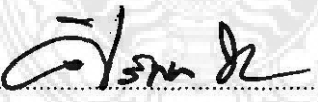
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

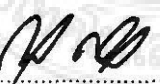

.....หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิทอง)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(นายศุภชัย หล้าคำ)


.....กรรมการ
(ว่าที่เรือดริ์ทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)


.....กรรมการ
(นายศิริพล ทองอ่อน)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(นายกุลยศ สุวันทโรจน์)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาผลกระทบของงานเบรกแบบตรง และแบบกลับที่มีผลกระทบต่อระยะทางการเบรก
โดย	นายณัฐพงษ์ น้อยเชื่อม และนายทศพล อนุตรานุสรณ์
ปีการศึกษา	2555
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	นายกุลยศ สุวันทโรจน์

บทคัดย่อ

งานเบรกเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยโดยตรง จากผลกระทบต่อความปลอดภัยดังกล่าวจึงทำให้เกิดโครงการเครื่องทดสอบความสามารถในการเบรกเพื่อศึกษาผลกระทบของงานเบรกแบบตรงและแบบกลับที่มีผลกระทบต่อระยะทางการเบรก และเป็นทางเลือกในการทดสอบงานเบรก

จากเหตุผลข้างต้น คณะผู้จัดทำโครงการจึงคิดค้นและออกแบบสร้างเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกแบบไดนาโมมอเตอร์ขนาดไม่เกิน 40 แรงม้า และโมเมนต์ความเฉื่อยไม่เกิน 135.36 kg.m^2 ซึ่งอ้างอิงการทดสอบอุณหภูมิตามมาตรฐาน JASO C406 มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน โดยมุ่งเน้นไปที่การทดสอบงานเบรกที่มีลักษณะที่แตกต่างกันทางกายภาพ 2 ชนิดคือ งานเบรกแบบตรงและงานเบรกแบบกลับ ในสภาวะอุณหภูมิของงานเบรก 100, 200 และ $300 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยใช้แรงเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั๊มเบรกที่แตกต่างกันระหว่าง 891.74, 1,963.50 และ 2,945.24 N โดยใช้ความดันในการเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั๊มเบรกที่ 2, 4 และ 6 MPa มาทำการทดสอบ

จากการดำเนินการข้างต้นได้นำไปสู่การศึกษาลักษณะของงานเบรกทั้ง 2 แบบ ที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางการเบรก โดยผลการทดสอบสะท้อนให้เห็นว่างานเบรกกลับ มีระยะทางการเบรกที่สั้นกว่างานเบรกแบบตรง อย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งยังมีปัจจัยทางด้าน อุณหภูมิ ความดัน และ ความเร็วเริ่มต้นการเบรก โดยผลการทดลองสะท้อนให้เห็นว่า ที่สภาวะอุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราหน่วงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ระยะทางการเบรกจึงสั้นลง ในขณะที่เดียวกัน ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำจะทำให้อัตราหน่วงเฉลี่ยลดลง ระยะทางการเบรกจึงเพิ่มขึ้น ความดันในการเบรกสูงจะทำให้อัตราหน่วงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ระยะทางการเบรกจึงลดลง ในทางตรงกันข้าม ความดันในการเบรกต่ำจะทำให้อัตราหน่วงเฉลี่ยลดลง จะทำให้ระยะทางการเบรกเพิ่มขึ้น

Project Title	A Study of front and Back-Vented Brake Disc Effecting on Braking Distance
By	Mr.Nuttapong Noichum and Mr.Todsapon Anutarnusorn
Academic Year	2012
Department	Mechanical Engineering
Project Advisor	Mr.Kullayot Suwantaraj

Abstract

Nowadays, the automotive parts industry greatly grows up in Thailand. Brake disc is one of products that play a role in safety area. As a result, the various designs such as front and back-vented brake discs are occurred to improve the performance of usability.

Consequently, this study aims to develop the ability of braking dynamometer from 9.7 kg-m^2 to 127.1 kg-m^2 of moment of inertial. Moreover, the influence of the front and the back-vented brake disc effecting on braking distance was investigated by single dynamometer referenced JASO C406 for testing condition. Therefore, both of discs were operated under 100, 200 and 300 °C of braking temperature and 2, 4 and 6 MPa of line hydraulic pressure of braking.

From experimental works, the test results reflected that the back-vented brake disc created braking distance shorter than front-vented brake disc ostensibly. Besides, there are also diversity of factors as temperature, pressure and initial speed of braking. Especially, the higher temperature caused an increase of deceleration and a decrease of braking distance. Moreover, the higher pressure produced a deduction of braking distance and a rise of deceleration. Finally, the initial speed of braking was directly various the braking distances in same condition.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ โดยได้รับการสนับสนุนและได้รับคำปรึกษาจากอาจารย์ กุลยศ สุวันทโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์โดยให้คำแนะนำและถ่ายทอดความรู้ ตลอดจนควบคุมการทำโครงการจนประสบความสำเร็จด้วยดี คณะผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของโครงการ รวมทั้งบุคคลที่ปรากฏตามรายการอ้างอิงที่ผู้ทำโครงการใช้อ้างอิง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านรวมทั้งเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความสะดวกต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัย และพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในการสนับสนุนทุนตามโครงการนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ปี พ.ศ. 2555

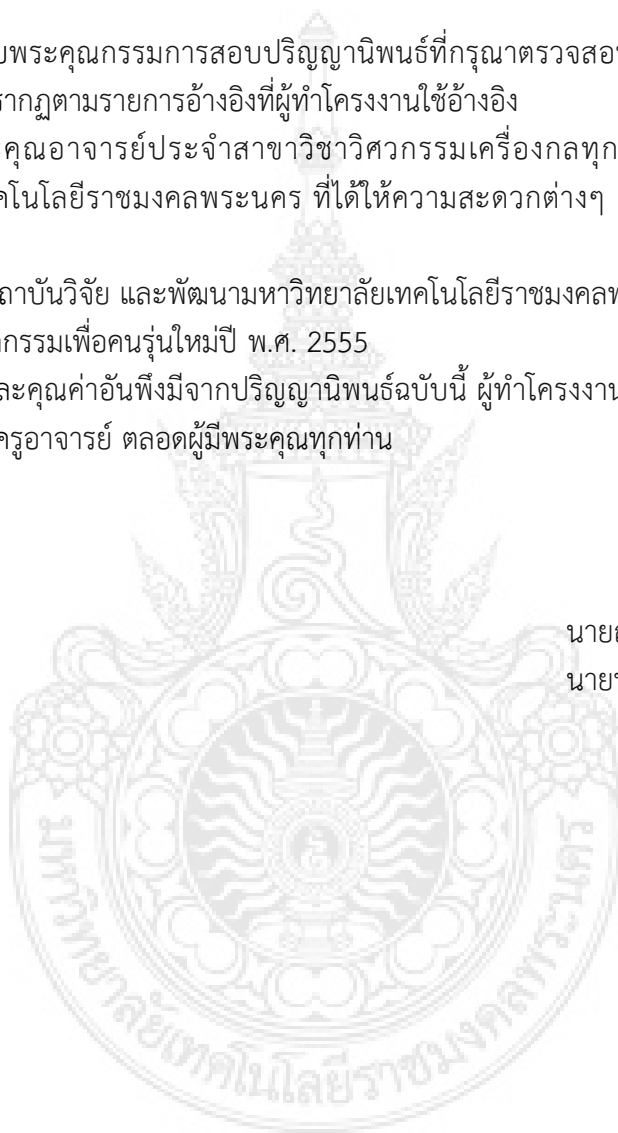
ประโยชน์ และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำโครงการขอมอบเป็นกตัญญูตา บูชา แต่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ตลอดผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายณัฐพงษ์

น้อยเชื้อม

นายทศพล

อนุตรานุสรณ์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีทั่วไปเกี่ยวกับมอเตอร์	3
2.2 การหาโมเมนต์ความเฉื่อย	4
2.3 การหาแรงบิด	5
2.4 การหาขนาดมอเตอร์	5
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับเฟลา	6
2.6 อัตราไหล และความเร็วเฉลี่ย	8
2.7 ระยะทาง และอัตราห่วงเฉลี่ย	8
2.8 จานเบรกแบบตรง และจานเบรกแบบกลับ	10
3. การออกแบบ และการคำนวณ	11
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	11
3.2 ค้นคว้าข้อมูล และการออกแบบ	12
4. วิธีการทดสอบ และผลการทดสอบ	17
4.1 การเตรียมทดสอบ	17
4.2 วิธีการทดสอบ	20
4.3 ผลการทดสอบ	26

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
5. สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการทดสอบ	34
5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำโครงการ	35
5.3 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก ก. คู่มือการใช้เครื่องทดสอบการเบรก	37
ภาคผนวก ข. แบบเครื่องทดสอบการเบรก	41
ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์	58



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ	8
4.1	รูปแบบของจานเบรก	19
4.2	JASO C406:2000	20
4.3	สภาวะและเงื่อนไขการทดสอบ	22
4.4	การเปรียบเทียบระยะทางจานเบรกแบบตรง และจานเบรกแบบกลับ	32
4.5	การเปรียบเทียบความสามารถการเบรกเฉลี่ยของจานเบรกทั้ง 2 แบบ	33



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์	1
2.1 การกระจายสัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก	4
2.2 ระบบการรองรับของคานแบบง่าย	6
2.3 แรงกระจายสมำเสมอ	6
2.4 เฟลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ	7
2.5 การเปรียบเทียบระหว่างระยะทาง และระยะกระจัด	9
2.6 แบบจำลองงานเบรกแบบกลับ	10
2.7 แบบจำลองงานเบรกแบบตรง	10
3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน	11
3.2 แบบมาตรฐานชุดทดสอบความสามารถการเบรก	12
3.3 ก้อนมวลล้อช่วยแรง	14
3.4 แสดงแรง และโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อเฟลา	15
4.1 เครื่องทดสอบงานเบรก	17
4.2 ชุดอินเวอร์เตอร์	18
4.3 ตั้มน้ำหนัก	18
4.4 แผนผังชุดทดสอบความสามารถทางการเบรก	21
4.5 การปล่อยตั้มน้ำหนัก	21
4.6 การติดตั้งชุดทดสอบ	22
4.7 ปุ่มกดสวิตช์สตาร์ท	23
4.8 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิงานเบรก	23
4.9 ปุ่มกดสวิตช์หยุดการทำงานของมอเตอร์	24
4.10 การปล่อยตั้มน้ำหนักเบรก	24
4.11 การวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องตรวจวัด	25
4.12 การบันทึกข้อมูล	25
4.13 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa.	26
4.14 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa.	27
4.15 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa.	28
4.16 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 200 °C ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa.	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานเบรคทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 300 °C ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa.	30
4.18 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของงานเบรคทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 300 °C ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa.	31



คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
I	โมเมนต์ความเฉื่อย	$kg.m^2$
L	ความยาวของล้อ	m
M	โมเมนต์ดัด	N-m
N	ความเร็วรอบ	rpm.
P	กำลังของมอเตอร์	kW
Q	อัตราไหล	m^3/s
R	รัศมีล้อช่วยแรง	m^2
S	ระยะทางที่เพลาหยุดนิ่ง	m
T	แรงบิด	N-m
V	ความเร็วเฉลี่ยของการไหล	m/s
C_m	ตัวประกอบความล่าเนื่องจากการตัด	-
C_t	ตัวประกอบความล่าเนื่องจากการบิด	-
F_f	แรงเบรกสูงสุดที่ล้อหน้า	N
I_{zz}	การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวล	$kg.m^2$
L_a	ระยะทางจากล้อหน้าถึงจุดศูนย์กลางถ่วง	m
L_b	ระยะทางจากล้อหลังถึงจุดศูนย์กลางถ่วง	m
N_e	รอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง	rev/min
P_b	กำลังเบรก	kW
R_f	แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า	N
R_r	แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง	N
S_0	ระยะเริ่มต้นการห้ามเพลา	m
T_e	แรงบิดของเครื่องยนต์	N-m
$V(t)$	ความเร็วเชิงเส้น	m/s^2
a	ความหน่วงในการเบรก	m/s^2
d	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	mm
g	แรงโน้มถ่วง	m/s^2
k	สัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก	%
m	มวล	kg

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
r	รัศมีล้อ	m
d_{avg}	อัตราห่วงเฉลี่ย	m/s^2
m_v	มวลรถ	kg
t_t	เวลาเมื่อเพลาหยุดนิ่ง	sec
t_1	เวลา ณ จุดเริ่มต้น	sec
t_2	เวลา ณ จุดสุดท้าย	sec
v_1	ความเร็ว ณ จุดเริ่มต้น	m/s
v_2	ความเร็ว ณ จุดสุดท้าย	m/s
τ	ความเค้นเฉือน	MN/m^2
α	ความเร่งเชิงมุม	rad/s^2
BMD	Bending moment diagrams	-
JIS	Japanese Industrial Standards	-
SFD	Shearing force diagrams	-



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโต และเข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจในประเทศไทย ซึ่งงานเบรกเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีบทบาทในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งมีทั้งการนำเข้าและผลิตภายในประเทศ โดยมีการออกแบบเพื่อแข่งขันและพัฒนาเชิงประสิทธิภาพกันอย่างกว้างขวาง ทั้งการออกแบบที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างออกไป เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย และเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นทั้งด้านลักษณะทางกายภาพในการออกแบบ จึงจำเป็นต้องมีการค้นคว้าในด้านการตรวจสอบผลกระทบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการออกแบบและผลิตออกมา เนื่องจากราคาเครื่องทดสอบที่มีราคาสูงถึง 500,000-1,000,000 บาท ส่งผลให้เกิดความขาดแคลนด้านเครื่องมือทดสอบการเบรก



รูปที่ 1.1 เครื่องทดสอบไดนาโมมิเตอร์ [7]

นอกจากนี้แล้ว ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานรถยนต์ที่เกิดอุบัติเหตุยังคงพบเห็นอยู่ทั่วไป โดยส่วนหนึ่งของปัญหาที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุนั้นมีสาเหตุมาจากความไม่พร้อมอุปกรณ์ หรือการทำงานบกพร่อง หรืออุปกรณ์ในระบบเบรกมีความสามารถไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งานนั้น เช่น การแตกร้าวของจานเบรกอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของวัสดุ เนื่องจากหลักการทำงานของระบบเบรกโดยทั่วไปเป็นการหน่วงรถหรือการทำให้ชะลอความเร็วตามที่ผู้ขับขี่ต้องการ ซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ซึ่งหมายถึงความเร็วของล้อรถ เมื่อผ้าเบรกสัมผัสจานเบรกทำให้เกิดทอร์คส่งไปยังที่ล้อรถในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ทำให้ความเร็วรถลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระยะทางที่ใช้ในการเบรกเมื่อ ขึ้นอยู่กับความเร็วและเวลาเป็นหลักนั่นเอง ปัจจัยดังกล่าวทำให้เกิดระยะทางในการเบรกเมื่อความเร็วสุดท้ายก่อนการเบรกมีความเร็วที่แตกต่างกันไปและเมื่อทำการเบรกแล้วจะมีระยะทางเท่าไรก่อนรถจะมีความเร็วเท่ากับศูนย์

จากปัญหาข้างต้นจึงทำให้เกิดการคิดค้นและออกแบบพัฒนาจานเบรกที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันออกไป 2 แบบเพื่อนำมาศึกษาการเกิดแรงเสียดทานของจานเบรกทั้ง 2 แบบนี้ซึ่งลักษณะที่ต่างกันทางกายภาพถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเบรกและเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยโดยตรง แต่เนื่องจากเครื่องทดสอบมีราคาสูงมาก ฉะนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้พัฒนาต่อยอดจากเครื่องทดสอบเดิมที่ใช้ในการทดสอบจานเบรกของรถจักรยานยนต์ ให้มาเป็นเครื่องทดสอบจานเบรกของรถยนต์ โดยการปรับแต่งเครื่องทดสอบให้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับการทดสอบจานเบรกของรถยนต์ โดยเปลี่ยนน้ำหนักของรถยนต์ที่ 3 ตัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกแบบไดนาโมมิเตอร์ของรถยนต์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของจานเบรกที่มีผลกระทบต่อระยะทางการเบรก

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 พัฒนาเครื่องทดสอบเดิมให้สามารถทดสอบการเบรกของรถยนต์ ไม่เกิน 3 ตัน
- 1.3.2 ทดสอบจานเบรกของรถยนต์ที่มีลักษณะทางกายภาพ ทั้ง แบบตรงและแบบกลับ
- 1.3.3 แนวทางการทดสอบอ้างอิงจาก JASO C406 บางส่วน [9]

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ได้เครื่องทดสอบความสามารถจานเบรกต้นแบบอุตสาหกรรมรถยนต์
- 1.4.2 ทราบปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลกระทบต่อระยะทางการเบรกของจานเบรก
- 1.4.3 สามารถนำจานเบรกในแต่ละประเภทไปใช้งานได้ตามความเหมาะสม
- 1.4.4 ส่งเสริมให้เกิดการคิดค้นและพัฒนาจนนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์
- 1.4.5 พัฒนาเครื่องทดสอบเดิมให้สามารถทดสอบการเบรกของรถยนต์ ไม่เกิน 3 ตัน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักทางทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องทดสอบความสามารถการเบรก และหลักการทำงานของเครื่องทดสอบ ซึ่งในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบนั้นชิ้นส่วนที่ออกแบบและนำมาประกอบเป็นชุดประกอบ การออกแบบชิ้นส่วนให้ใช้งานได้ดีนั้น ประการแรกจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและแนวคิดพื้นฐานที่นำมาใช้อยู่ทั่วไป เพราะชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีขนาดที่เป็นมาตรฐานหรืออาจมีวางขายอยู่ตามท้องตลาดแต่ก็มีบางชิ้นส่วนที่ไม่สามารถหาซื้อได้นอกจากจะออกแบบและสร้างขึ้นมาเองซึ่งก่อนที่จะทำการสร้างชิ้นส่วนเหล่านั้นได้จะต้องมีการออกแบบรูปร่างขนาด และวัสดุที่จะนำมาใช้ก่อนแล้วจึงนำคำนวณตามหลักทางทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมมาซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.1 มอเตอร์

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ ต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น ปั๊ม พัดลม คอมเพรสเซอร์ สายพานลำเลียง เป็นต้น มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมและเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนที่สูงมากการเรียนรู้ให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพตลอดจนการเลือกใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมและถูกต้อง [2]

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. Motors) เป็นมอเตอร์ ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีข้อดีคือ มีความเร็วรอบคงที่ และตัวหมุน (Rotor) ส่วนมากเป็นชนิดกรงกระรอก (Squirrel cage) ไม่มีขดลวดพันอยู่จึงไม่มีอันตรายจากประกายไฟฟ้าที่แปร่งถ่าน และคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่สามารถนำไปใช้ได้

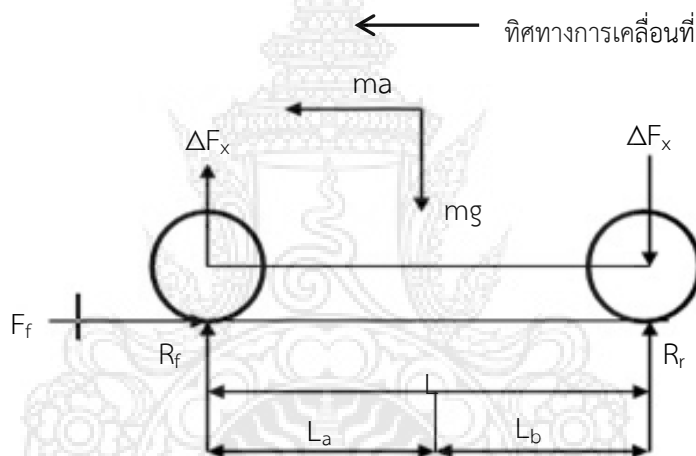
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์กระแสจะแบ่งออกไป 2 ทาง คือ ส่วนที่หนึ่งจะผ่านเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและอีกส่วนหนึ่งจะผ่านแปลงถ่านคาร์บอนและผ่านคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน ซึ่งทั้งสองสนามจะเกิดขึ้นขณะเดียวกันตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วจะไม่มี การตัดกัน จะมีแต่การหักล้างและการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์มาเจอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนซึ่งในการหมุนนั้นจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's left hand rule)

ภาระของมอเตอร์หมายถึงจำนวนกำลัง (P) ที่มอเตอร์ตัวนั้นจะต้องสามารถให้ต้นกำลังได้ กล่าวคือมอเตอร์จะต้องสามารถให้กำลังขับที่เพียงพอกับงาน เรียกว่า “กำลังเพลลา” ข้อนี้เป็นส่วน

สำคัญประการแรก แต่แท้จริงความสามารถประการสอง ในการขับภาระนั้นคือ ทอร์ก (Torque) และ กำลัง (Power) ดังสมการ (2.4)

2.2 การหาโมเมนต์ความเฉื่อย

โมเมนต์ความเฉื่อย เป็นสมบัติอย่างหนึ่งเกิดขึ้นเมื่อวัตถุหมุน เป็นปริมาณที่บอกความเฉื่อยในการหมุน (Rotational Inertia) ของวัตถุ ในการที่จะพยายามรักษาสภาพเดิมของการหมุนเอาไว้ โดยวัตถุมีโมเมนต์ความเฉื่อยมาก ก็จะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนสภาพของการหมุนเดิมได้ยาก และถ้าวัตถุนั้นมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยก็จะทำให้วัตถุนั้นเปลี่ยนสภาพของการหมุนเดิมได้ง่าย ซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุมีค่าขึ้นกับแกนหมุน รูปร่างของวัตถุและลักษณะการเรียงตัวของวัตถุรอบแกนหมุน การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย สัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรกและการกดเบรกหน้า ประมาณ 60-80% และหลังประมาณ 20-40% ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การกระจายสัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก

กำหนดให้

- F_f คือ แรงเบรกสูงสุดที่ล้อหน้า, N
- R_f คือ แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า, N
- R_r คือ แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง, N
- a คือ ความหน่วงในการเบรก, m/sec^2
- g คือ แรงโน้มถ่วง, m/sec^2
- m คือ มวล, kg
- L คือ ความยาวของล้อ, m
- L_a คือ ระยะทางจากล้อหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วง, m
- L_b คือ ระยะทางจากล้อหลังถึงจุดศูนย์ถ่วง, m

โดยแสดงดังสมการที่ 2.1

$$I = m_v r^2 k \quad (2.1)$$

- เมื่อ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย, kg.m^2
 m_v คือ มวลรถ, kg
 r คือ รัศมีล้อ, m
 k คือ สัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก (0.7 สำหรับรถโดยสารส่วนบุคคล)

2.1.2 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวล

โมเมนต์ความเฉื่อยของมวลคือ คุณสมบัติในการต้านแรงเคลื่อนที่การหมุนของวัตถุโดยแสดงดังสมการที่ 2.2

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

- เมื่อ m คือ มวล, kg
 R คือ รัศมี, m

2.3 การหาแรงบิด

แรงบิด (Torque) คือ แรงหมุนของเพลลาเครื่องยนต์ เป็นแรงที่ใช้เพื่อส่งกำลังของเครื่องยนต์ไปหมุนเกียร์ เพลลา และล้อรถ เพื่อให้รถเคลื่อนที่ไปได้ แรงบิดจะมีค่า แตกต่างกันไปที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่าง ๆ ซึ่ง ขึ้นอยู่กับการออกแบบโดยแสดงดังสมการ 2.3

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

- เมื่อ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย, kg.m^2
 α คือ ความเร่งเชิงมุม, rad/sec^2

2.4 การหาขนาดของมอเตอร์

ข้อพิจารณาในการเลือกกำหนดมอเตอร์เพื่อใช้งานคือ ต้องทราบปริมาณภาระหรือโหลดที่มอเตอร์นั้นจะต้องขับทั้งกำลังและแรงบิดโดยแสดงดังสมการ 2.4

$$P = \frac{2\pi T n}{60} \quad (2.4)$$

- เมื่อ P คือ กำลังของมอเตอร์, kW
 T คือ แรงบิด, N-m
 n คือ ความเร็วรอบ, rpm .

2.5 เพลา

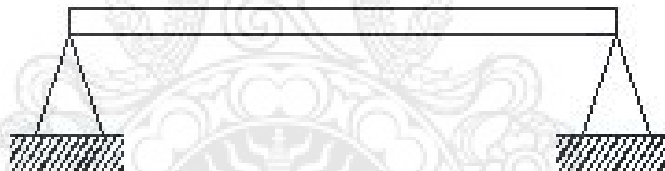
เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิดทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังหรือทำให้เกิดการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องขณะใช้งานเพลลาจะอยู่ภายใต้ภาระการกระทำชนิดต่าง ๆ เช่นแรงกดแรงดึงโมเมนต์ดัดและโมเมนต์บิดซึ่งอาจมีทั้งแรงสถิต และแรงแบบวิญจักรทำให้เกิดการล้าได้เพลลาอาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานดังนี้คือ เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง [5]

2.5.1 โมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของคาน (Bending moment and shearing force)

การพิจารณาท่อน โลหะซึ่งอยู่ภายใต้ความเค้นดิ่ง ความเค้นอัด และความเค้นเฉือน ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดภาคตัด แต่ถ้าท่อนโลหะ โดยเฉพาอย่างยิ่งคานอยู่ภายใต้แรงที่กระทำในแนวดิ่ง ความเค้นที่เกิดขึ้นจะมีทั้งความเค้นดิ่ง ความเค้นอัด และความเค้นเฉือน แต่มีค่าไม่คงที่ตลอดภาคตัดอันหนึ่ง [5]

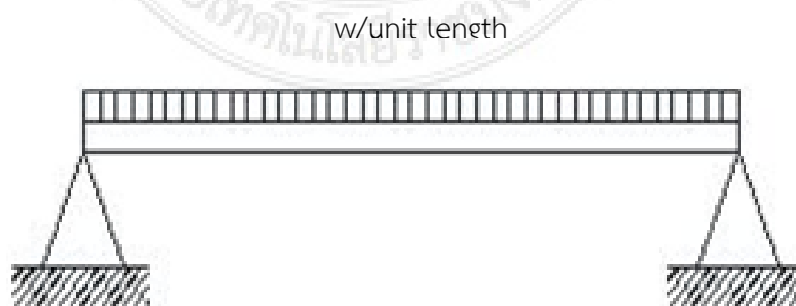
2.5.2 ชนิดของแรงที่กระทำบนคาน มี 2 ระบบดังนี้ [5]

ก. Simple beam เป็นระบบการรองรับของคานแบบง่ายนั่นคือคานมีค้มมีด หรือลูกกลิ้งรองรับอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบการรองรับของคานแบบง่าย [5]

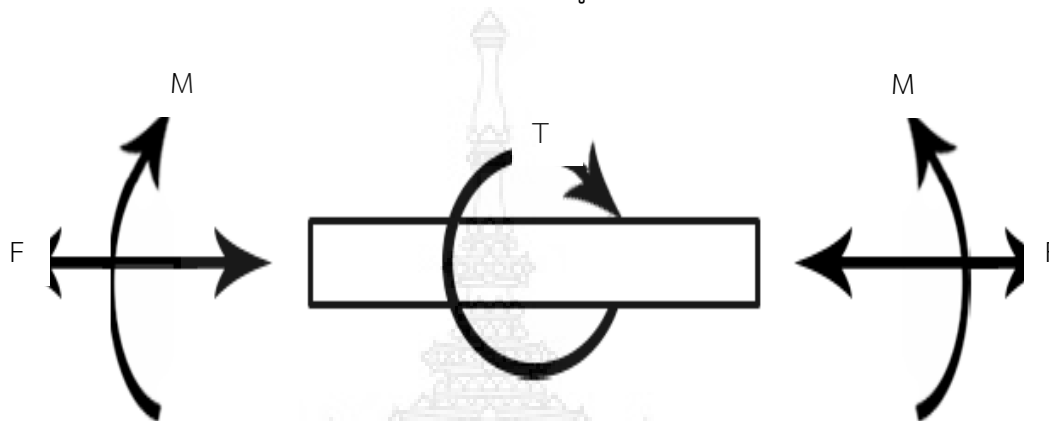
ข. แรงกระจายบนคาน แรงกระจายสม่ำเสมอ Uniformly Distributed Load เขียนย่อว่า UDL อาจเขียนแทนแรงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แรงกระจายสม่ำเสมอ [5]

2.5.3 หลักพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ นั่นคือเพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการถ้ามุมบิดมากไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนมีผลให้เฟือง และแบร์ริงที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่าย [5]



รูปที่ 2.4 เพลลาอยู่ภายใต้แรงต่าง ๆ [5]

สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิติศาสตร์ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วยอีกทั้งในการหาขนาดของเพลลาสามารถหาได้จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดโดยแสดงดังสมการที่ (2.5)

หาขนาดของเพลลา

$$d^3 = \left(\frac{16}{\pi \tau} \right) \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.5)$$

โดยที่ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา, mm

C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการตัด

C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ถ้ากำหนดวัสดุของเพลลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยเพลลาเหล็กที่ไม่มีร่องลิ้นใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งาน 55 MN/m^2 และถ้าเพลลามีร่องลิ้นให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75 % ของค่าที่ได้คือ 41 MN/m^2

ตารางที่ 2.1 ค่าตัวประกอบความล้มสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ [5]

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายู่นึง : แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 – 2.0	1.0 – 2.0
เพลามาก : แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 – 2.0	1.0 – 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 – 3.0	1.5 – 3.0

2.6 อัตราไหล และความเร็วจลี่ย [1]

อัตราไหล (Flow rate) ของของไหลคือ ปริมาตรของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดที่กำหนดในหนึ่งหน่วยเวลา หน่วยของอัตราไหลจึงเป็นหน่วยของปริมาตรต่อหน่วยเวลา นั่นคือลูกบาศก์เมตรต่อวินาที m^3/s และใช้สัญลักษณ์แทนค่าอัตราไหลว่า Q

ความเร็วจลี่ย (Mean velocity) บนหน้าตัดที่กำหนดคือ ค่าอัตราไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดหารด้วยพื้นที่หน้าตัด ถ้าให้ v เป็นความเร็วจลี่ย Q เป็นอัตราไหล และ A เป็นพื้นที่หน้าตัด ดังนั้น

$$Q = Av \quad (2.6)$$

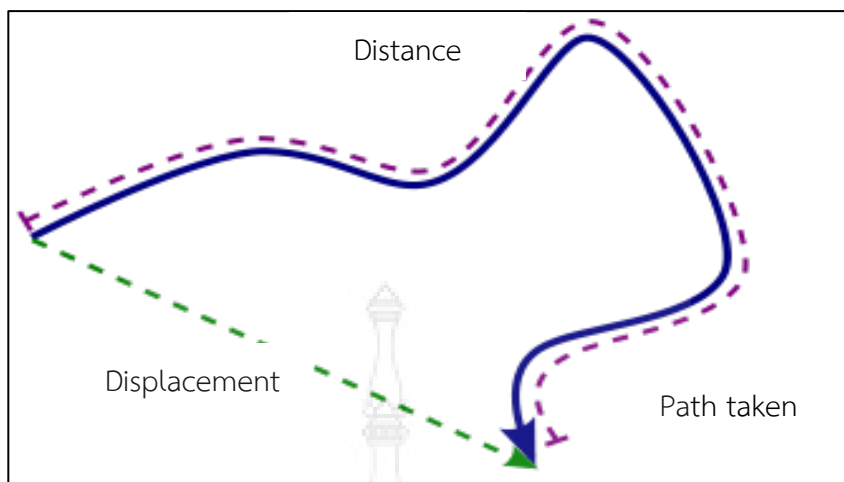
โดยที่ Q คือ อัตราไหล, m^3/sec

v คือ ความเร็วจลี่ย, m/sec

A คือ พื้นที่หน้าตัด, m

2.7 ระยะทาง และระยะกระจัด [4]

หมายถึงตัวเลขที่อธิบายว่าวัตถุแต่ละอย่างอยู่ห่างกันเท่าไรในช่วงเวลาหนึ่งในทางฟิสิกส์ระยะทางอาจหมายถึงความยาวทางกายภาพ ระยะเวลา หรือการประมาณค่าบนสิ่งที่พิจารณาสองอย่าง ส่วนทางคณิตศาสตร์จะพิจารณาอย่างเฉพาะเจาะจงมากกว่า โดยทั่วไปแล้ว "ระยะทางจาก A ไป B" มีความหมายเหมือนกับ "ระยะทางระหว่าง A กับ B" ระยะทางเป็นปริมาณสเกลาร์ที่ไม่สามารถเป็นจำนวนลบ และมีเพียงขนาด (magnitude) ในขณะที่ระยะกระจัด (displacement) จะเทียบเท่ากับปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาด และทิศทาง ดังรูปที่ (2.5)



รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบระหว่างระยะทางกับ ระยะกระจัด [4]

2.4.1 ระยะทาง และอัตราห้วงเฉลี่ย

เนื่องจากการทดสอบดังกล่าวมีความต้องการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางการเบรก จึงใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมูแบบหลายช่วง [10] โดยการประมาณใช้ช่วงจำนวนที่มีค่าระยะห่างทุก ๆ วินาทีเท่ากันในการคำนวณหาผลรวมระยะทางการห้ามเพลลาที่ได้จากการทดสอบ ดังสมการที่ (2.7)

$$s - s_0 = \int_0^{t_f} v(t) dt \quad (2.7)$$

โดยที่ s คือ ระยะที่เพลลาหยุดนิ่ง
 s_0 คือ ระยะเริ่มต้นการห้ามเพลลา ≈ 0
 $v(t)$ คือ ความเร็วเชิงเส้น ณ ตำแหน่งรัศมีทำการ
 t_f คือ เวลาเมื่อเพลลาหยุดนิ่ง

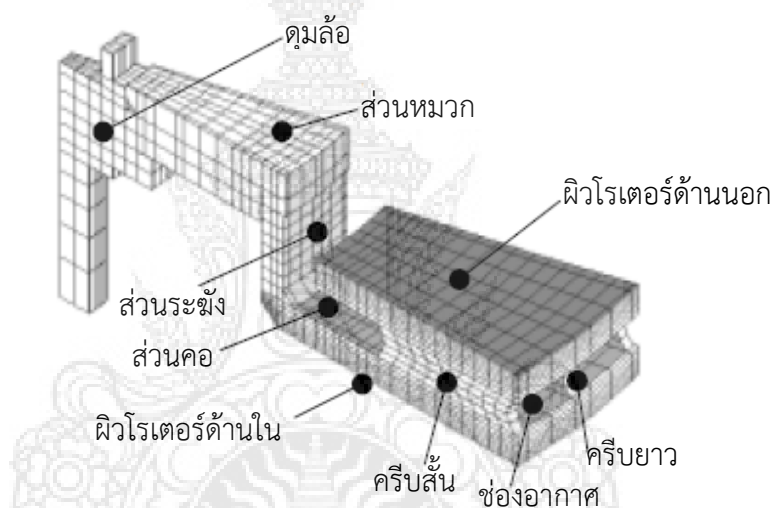
ในขณะที่การคำนวณอัตราห้วงเฉลี่ยในช่วงเวลาเริ่มต้น (t_1) ถึงเวลาสุดท้าย (t_2) จากการเบรกสามารถหาได้จากสมการที่ (2.8)

$$d_{avg} = \frac{v_1 - v_2}{t_2 - t_1} \quad (2.8)$$

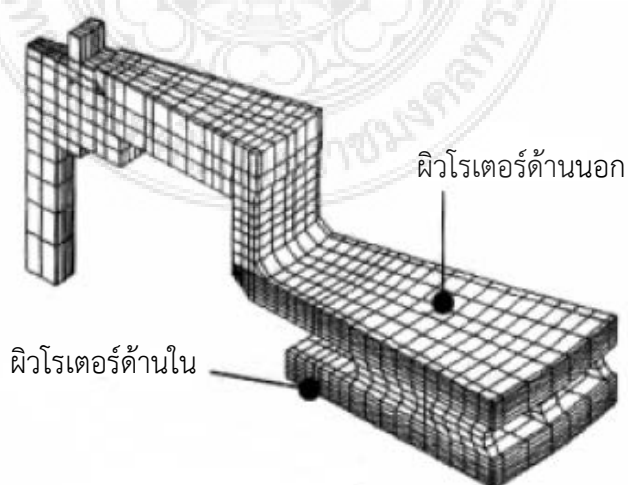
d_{avg} คือ อัตราห้วงเฉลี่ย
 v_1 คือ ความเร็ว ณ จุดเริ่มต้น
 v_2 คือ ความเร็ว ณ จุดสุดท้าย
 t_1 คือ เวลา ณ จุดเริ่มต้น
 t_2 คือ เวลา ณ จุดสุดท้าย

2.8 งานเบรคแบบตรง และงานเบรคแบบกลับ [6]

งานเบรครถยนต์เป็นส่วนใหญ่มักติดตั้งอยู่ที่เพลาหน้าของรถยนต์ ประกอบไปด้วยส่วนที่ขัดสีกับผ้าเบรคส่วนที่เป็นหมวก และส่วนที่เป็นคอ ส่วนที่ขัดสีของงานเบรคจะเป็นตัวที่ทำหน้าที่กำเนิดแรงเสียดทานระหว่างโรเตอร์ และผ้าเบรคที่อยู่กับที่เพื่อกำเนิดแรงระหว่างยางรถยนต์กับพื้นถนน ส่วนที่เป็นหมวกจะทำหน้าที่ยึดกับคัมล้อของรถยนต์ ส่วนที่ยึดติดระหว่างส่วนที่ขัดสี และส่วนที่เป็นหมวกของงานเบรคจะเรียกว่าส่วนคองานเบรครถยนต์แบบมีช่องระบายอากาศส่วนมากจะนำมาใช้กับรถยนต์ที่มีความเร็วสูงซึ่งจะอยู่ระหว่างโรเตอร์ด้านใน และด้านนอก ทั้งสองนี้จะยึดติดกันด้วยครีบซึ่งจะช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์ในขณะทำงานโดยทั่วไปแล้วงานเบรคที่มีส่วนคอยึดติดกับด้านนอกของโรเตอร์จะเรียกว่างานเบรคแบบตรง ส่วนงานเบรคที่มีการยึดติดด้านในของโรเตอร์จะเรียกว่างานเบรคแบบกลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 แบบจำลองงานเบรคแบบกลับ [6]

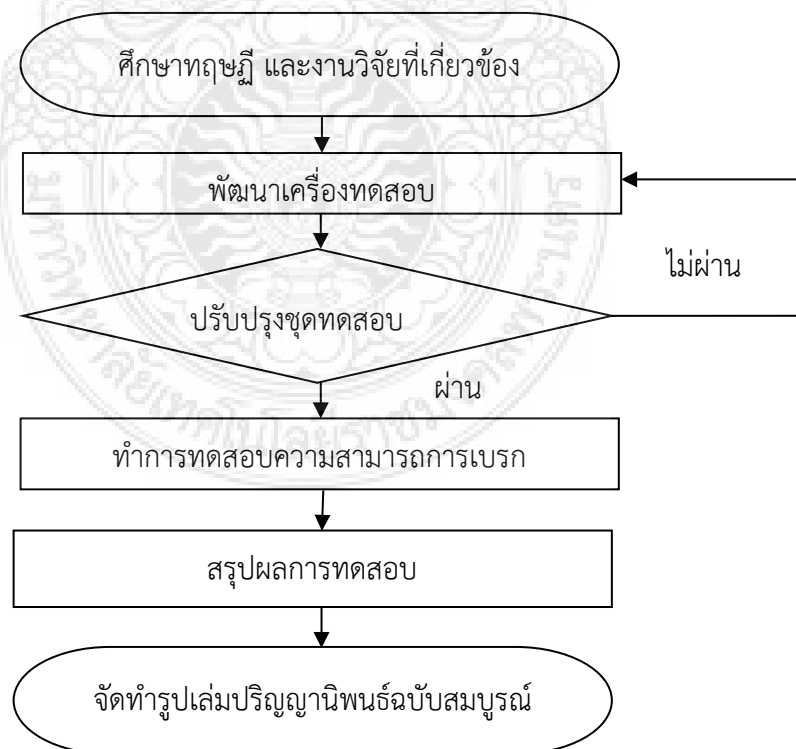


รูปที่ 2.7 แบบจำลองงานเบรคแบบตรง [6]

บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ

การจัดทำโครงการครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินโครงการ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี และมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนการพัฒนาเครื่องทดสอบดังกล่าว และลดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการพัฒนา โดยผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

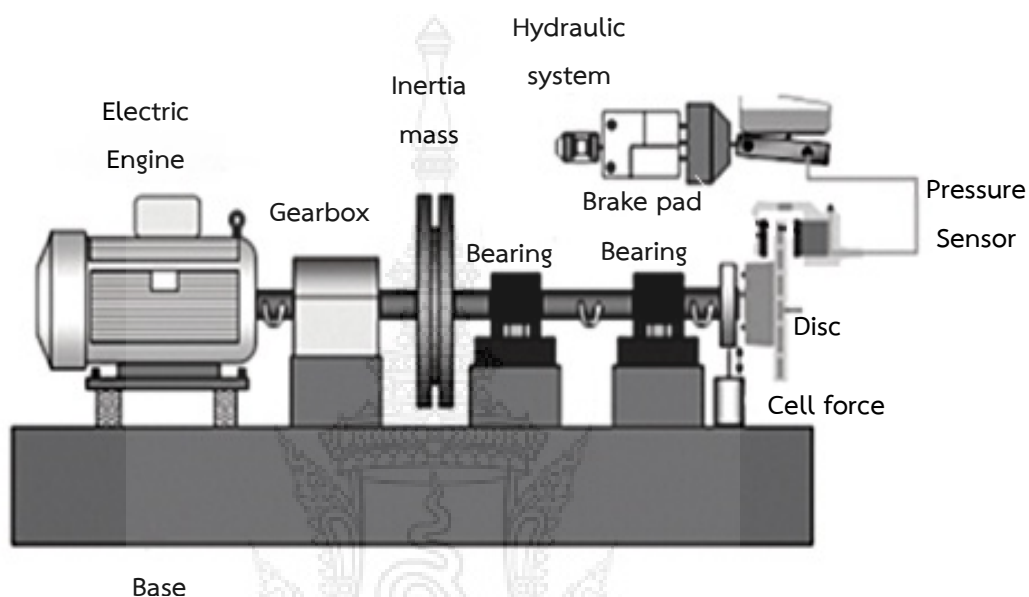
- 1.) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 2.) พัฒนาชุดทดสอบ
 - 3.) ปรับปรุงเครื่องทดสอบความสามารถทางการเบรก
 - 4.) ทำการทดสอบความสามารถการเบรก
 - 5.) สรุปผลการทดสอบ
 - 6.) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
- จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 คำนวณข้อมูล และการออกแบบ

จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวทางผู้จัดทำโครงการได้ทำการค้นคว้าข้อมูลถึงรูปแบบต่างๆที่จะนำมาพัฒนาเครื่องทดสอบ โดยยึดรูปแบบเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องทดสอบความสามารถการเบรก



รูปที่ 3.2 แบบมาตรฐานชุดทดสอบความสามารถการเบรก [3]

3.1.1 การหาโมเมนต์ความเฉื่อย

จากการค้นคว้าข้อมูลของรถยนต์ที่ขนาดมวล 2,000 kg รัศมีทำการล้อรถยนต์เท่ากับ 0.388 m และสัดส่วนภาวะถ่ายโอนระหว่างทำการเบรก (0.7 สำหรับรถโดยสารส่วนบุคคล) โดยนำมาสู่การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย จากสมการที่ (2.1)

$$I = m_v r^2 k$$

แทนค่า

$$= \frac{(2,500)}{2} (0.388)^2 (0.7)^2$$

$$= 131.726 \text{ kg.m}^2$$

3.1.2 การหาแรงบิด

จากการคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยของรถยนต์ที่มีมวล 2,000 kg ได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 105.381 kg.m² ที่ความเร่งเชิงมุมเท่ากับ 1,500 rpm โดยนำมาสู่การคำนวณหาค่าแรงบิด จากสมการที่ (2.3)

$$\begin{aligned}
 T &= I\alpha \\
 \text{แทนค่า} &= (131.72 \text{ kg}\cdot\text{m}^2)(1500 \text{ rpm}) \left(\frac{2\pi}{(120)(60)} \right) \\
 &= 172.43 \text{ N}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

3.1.3 การหาค่าขนาดมอเตอร์

จากการคำนวณหาแรงบิด และความเร็วรอบที่ใช้ในกรทดสอบเท่ากับ 1,500 rpm โดยนำมาสู่การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ 2.4} \quad P &= \frac{2\pi TN}{60} \\
 \text{แทนค่า} \quad P &= \frac{(2\pi)(172.43)(1,500)}{60} \\
 p &= 2,7085.07 \text{ w} \\
 1 \text{ hp} &= 746 \text{ w} \\
 P &= 36.31 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : มอเตอร์ที่มีขายในท้องตลาดนั้นมีขนาดใกล้เคียงกัน คือ 40 hp ซึ่งสามารถใช้แทนกันได้

3.1.4 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวล

การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลที่จะใช้ในการทดสอบความสามารถทางการเบรก โดยมวลมีทั้งหมด 3 แบบ มวลแบบที่ 1 มีน้ำหนักที่ 35.1 kg มีรัศมีเท่ากับ 0.40 m ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ก) มวลแบบที่ 2 มีน้ำหนัก 200 kg มีรัศมีเท่ากับ 0.60 m ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ข) และมวลก้อนที่ 3 มีมวลรวมที่ 780 kg มีรัศมีเท่ากับ 0.9 m ดังแสดงในรูปที่ 3.3 (ค)

โมเมนต์ความเฉื่อยของมวลแบบที่ 1 จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการที่ 2.2} \quad I_{zz} &= \frac{1}{2}mR^2 \\
 \text{แทนค่า} \quad I_{zz} &= \frac{1}{2}(35.1)(0.20)^2 \\
 &= 0.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^2
 \end{aligned}$$

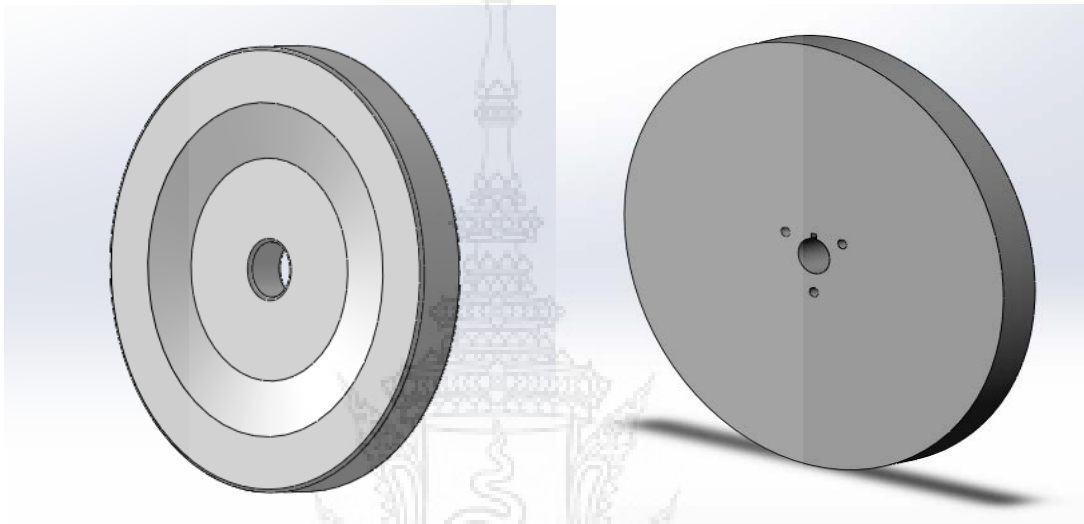
โมเมนต์ความเฉื่อยของมวลก้อนที่ 2 จะได้

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่า} \quad I_{zz} &= \frac{1}{2}(200)(0.30)^2 \\
 &= 9 \text{ kg}\cdot\text{m}^2
 \end{aligned}$$

โมเมนต์ความเฉื่อยของมวลก้อนที่ 3 จะได้

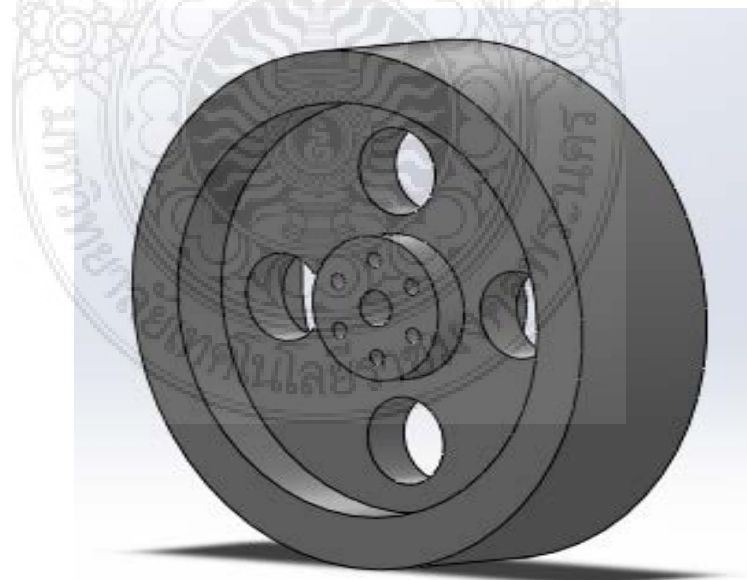
$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad I_{zz} &= \frac{1}{2}(780)(0.20)^2 \\ &= 117.4 \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

รวมค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลทั้ง 3 ก้อนเท่ากับ 127.1 kg.m^2



(ก) ขนาด 35.1 kg

(ข) ขนาด 100 kg



(ค) ขนาด 800 kg

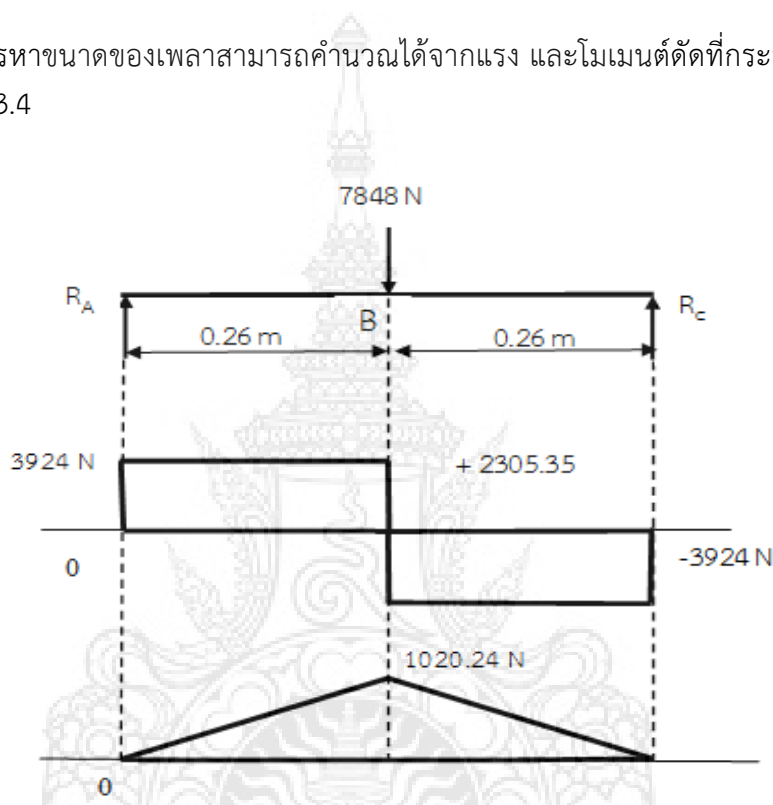
รูปที่ 3.3 ก้อนมวลล้อช่วยแรง

3.1.5 การคำนวณหาขนาดเพลลา

วัสดุที่เลือกใช้ทำเพลลาเป็นเหล็ก SCM 440 เนื่องจากโค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลลาที่มีร่องลึมหั้งมีอยู่ใช้งานธรรมดาทั่วไปควรมีความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

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

การหาขนาดของเพลลาสามารถคำนวณได้จากแรง และโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อเพลลา โดยแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงแรง และโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อเพลลา [5]

คำนวณหาแรงปฏิกิริยา R_A , R_C

$$\sum M_C = 0$$

$$0.52R_A = (16)(7,848)$$

$$R_A = \frac{(0.26)(7,848)}{0.52} = 3,924 \text{ N}$$

$$= 3,924 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$0.52R_C = (0.26)(7,848)$$

$$R_C = \frac{(0.26)(7,848)}{0.52} = 3,924 \text{ N}$$

$$= 3,924 \text{ N}$$

ฉะนั้น โมเมนต์ดัดที่ A คือ

$$M_A = (3,924)(0.36) = 1,412.6 \text{ N-m}$$

$$= 1,412.6 \text{ N-m}$$

ดังนั้น โมเมนต์ดัดสูงสุดเกิดที่จุด A

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

จากสมการที่ 2.5

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

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

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

$$= 63.58 \text{ mm.}$$

หมายเหตุ : เลือกใช้เพลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm.

3.1.6 อัตราไหลและความเร็วเฉลี่ย

จากสมการที่ 2.6

$$Q = Av$$

หาค่า v ได้จากการวัดความเร็วลมและขนาดของอุโมงค์ลม

$$A = (0.5)(0.5 \text{ m}^2)$$

$$v = 11.2 \text{ m/sec}$$

แทนค่า

$$Q = (0.25 \text{ m}^2)(11.2 \text{ m}^2/\text{sec})$$

$$Q = 2.8 \text{ m}^3/\text{sec}$$

บทที่ 4

วิธีการทดสอบ และผลการทดสอบ

ในการทำโครงงานครั้งนี้หลังจากทำการออกแบบ และการสร้างเครื่องทดสอบความสามารถเบรก จะต้องมีการทดสอบหาระยะทางการเบรกเพื่อทำการประเมิน กลุ่มผู้จัดทำได้ทำการทดสอบ และได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 4.1 การเตรียมการทดสอบ
- 4.2 วิธีการทดสอบ
- 4.3 ผลการทดสอบ

4.1 การเตรียมการทดสอบ

4.1.1 การเตรียมชุดทดสอบจานเบรก

4.1.1.1 การเตรียมเครื่องทดสอบ

ทำการตรวจเช็คสภาพเครื่องทดสอบจานเบรก เช่น มอเตอร์ 3 เฟส 40 hp และชุดอุปกรณ์ปรับความเร็วสำหรับมอเตอร์ 40 hp ให้พร้อมใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 เครื่องทดสอบจานเบรก



รูปที่ 4.2 ชุดอินเวอร์เตอร์

4.1.1.2 การเตรียมตุ้มน้ำหนัก

นำก้อนมวลแต่ละขนาดมาชั่งน้ำหนักเพื่อทดสอบหาแรงเบรกที่สามารถทำการทดสอบได้ตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนดโดยการทดสอบเริ่มที่มวล 33.33, 66.66 และ 100 kg ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตุ้มน้ำหนัก

4.1.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

เตรียมจานเบรกแต่ละชนิดโดยนำชิ้นงานทดสอบคือ จานเบรก ที่มีลักษณะแตกต่างกันได้แก่ จานแบบตรง และจานแบบกลับ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รูปแบบของจานเบรก

จานเบรก	รูปแบบ	พื้นที่ผิวสัมผัส ของจานเบรก ทั้ง 2 ด้าน (m^2)
จานแบบตรง		0.072
จานแบบกลับ		0.062

4.1.3 การทดสอบค่าความผิดของชุดทดสอบความสามารถการเบรก

สำหรับการทดสอบความสามารถการเบรกจำเป็นจะต้องทำการตรวจสอบความผิดของชุดทดสอบก่อนการทดสอบความสามารถการเบรกของจานเบรกแต่ละแบบ โดยเริ่มทำการหมุนเพล่าไปที่ความเร็วรอบคงที่ 700 rpm แล้วทำการหยุดเพล่าด้วยการตัดการลั้งขับเคลื่อนจากมอเตอร์โดยไม่มี การห้ามเพล่าจากชุดเบรก แล้วทำการจับเวลาที่ใช้ในการหยุดนิ่งของเพล่า เพื่อนำค่าดังกล่าวไปใช้ เปรียบเทียบ และตรวจสอบความผิดของเพล่าเมื่อทำการติดตั้งหรือเปลี่ยนจานเบรกในการทดสอบแต่ ละครั้ง อีกทั้งขั้นตอนดังกล่าวจะช่วยทำให้ลดความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

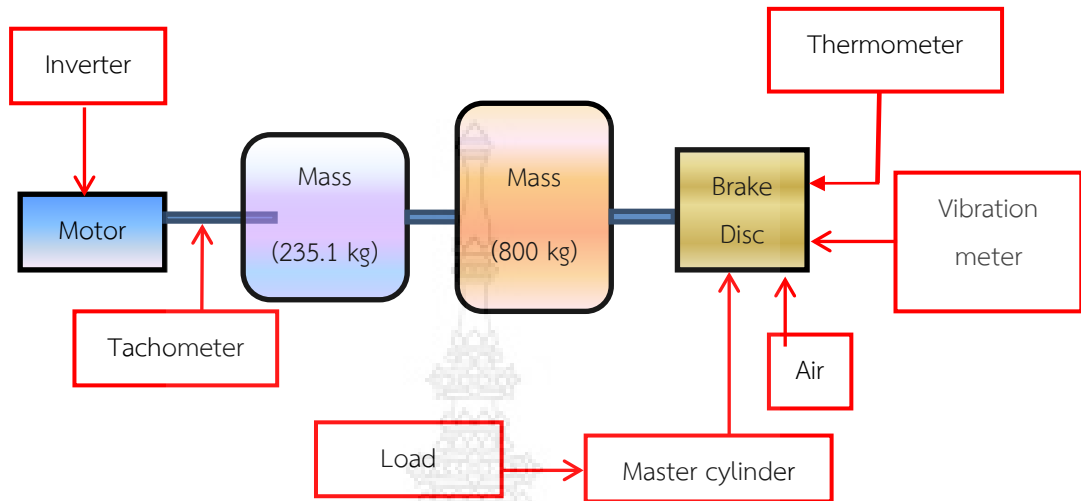
4.2 วิธีทดสอบ

การทดสอบความสามารถทางการเบรกอ้างอิงมาตรฐาน JASO C406 บางส่วนเป็นแนวทางในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 JASO C406:2000 [7]

Test Items & Sequence		Test Conditions		Initial Speed (km/hr)	Intervals (s)	Initial Temperature (°c)	Braking Deceleration (m/sec ²)
		Vehicle Class					
a	Initial Measurement	All		-	-	-	-
b	Preburnish 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

การดำเนินการชุดทดสอบความสามารถการเบรกที่ใช้ในโครงงานนี้มีส่วนประกอบสำคัญต่าง
 ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนผังชุดทดสอบความสามารถทางการเบรก

การทดสอบจานเบรกแบบตรง และจานเบรกแบบกลับ จะทำการทดสอบโดยการปล่อยตุ้ม
 น้ำหนัก (load) เพื่อกดขึ้นส่วนกลไกของแม่ปั๊มเบรก (Master cylinder) ที่ใช้ในการทดสอบการเบรก
 ที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa ซึ่งจะทำให้เกิดความดันที่ใช้ในการเบรก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยจะทำ
 ตามเงื่อนไข และสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 100, 200, และ 300 °C ความเร็วเริ่มต้นในการ
 เบรก 50 และ 80 km/hr แรงเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั๊ม 891.7, 1,963.5, และ 2,945.2 N ความเร็ว
 ลม 11 m/sec ซึ่งอ้างอิงมาตรฐาน JASO C406 เฉพาะบางส่วนโดยสภาวะการทดสอบ และเงื่อนไข
 ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 การปล่อยตุ้มน้ำหนัก

ตารางที่ 4.3 สภาวะ และเงื่อนไขการทดสอบ

ความดันที่ใช้ในการเบรก (MPa)	มวล (kg)	แรงเบรก ณ ตำแหน่งแม่ปั๊มเบรก (N)	อุณหภูมิงานเบรก (°C)	ความเร็วเริ่มต้นการเบรก (km/hr)	ความเร็วลม (m/sec)	พ.ท.หน้าตัดแม่ปั๊มเบรก (mm ²)
2	33.3	891.74	100	50 และ 80	11	490
4	66.6	1,963.50	200			
6	100.0	2,945.24	300			

4.2.1 การติดตั้งงานเบรก

การนำงานเบรกแต่ละชนิดเข้าไปติดตั้งภายในอุโมงค์ลม วางตำแหน่งของชุดทดสอบให้เหมาะสมโดยให้ทิศทางไหลของกระแสลมขนานไปกับผิวงานเบรก และจัดให้ตำแหน่งของงานเบรกอยู่กึ่งกลางหน้าตัดของส่วนที่ทำการทดสอบในอุโมงค์ลม ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การติดตั้งชุดทดสอบ

4.2.2 เปิดเครื่องทดสอบจานเบรก

การเปิดเครื่องทดสอบจานเบรกเพื่อควบคุมความเร็วรอบพัลลัมให้คงที่ และความเร็วของมอเตอร์ให้เทียบเท่าความเร็วรัศมีทำการของล้อรถยนต์เท่ากับ 50-80 km/hr หรือเท่ากับความเร็วรอบของจานเบรก คือ 350-550 rpm โดยความเร็วลมในอุโมงค์อยู่ที่ 11 m/sec ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 เปิดเครื่องทดสอบจานเบรก

4.2.3 ปรับตั้งอุณหภูมิตามค่าที่กำหนดตามการทดสอบ

การทดสอบจานเบรกแต่ละชนิด สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิก่อนการทดสอบได้กำหนดไว้ที่อุณหภูมิ 100, 200 และ 300 °C เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิจานเบรก

4.2.4 ปิดเครื่องทดสอบงานเบรก

การปิดเครื่องทดสอบงานเบรกทำได้โดยการกดสวิตช์หยุดการทำงานของมอเตอร์เพื่อทำให้มอเตอร์หยุดหมุนโดยล้อช่วยแรงจะยังสามารถหมุนไปได้ด้วยแรงของโมเมนต์ตัม ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปิดเครื่องทดสอบงานเบรก

4.2.5 การห้ามเพลลา

การห้ามเพลลาสามารถทำได้โดยการปล่อยก้อนมวลเพื่อกดขึ้นส่วนกลไกของแม่ปั๊มเบรกที่ใช้ในการทดสอบที่น้ำหนัก 33.33, 66.66 และ 100 kg ซึ่งจะทำให้เกิดความดันที่ใช้ในการเบรก ตามเงื่อนไขในการห้ามเพลลา ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การห้ามเพลลา

4.2.6 การวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องตรวจวัด

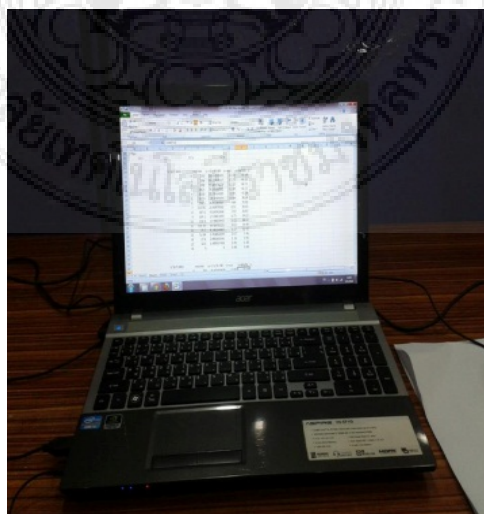
การวัดค่าความเร็วรอบสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องตรวจวัด

4.2.7 บันทึกข้อมูลกับเครื่องคอมพิวเตอร์

การเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดความเร็วรอบของเพลลาทำได้โดยบันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดความเร็วของเพลลาไปยังคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การบันทึกข้อมูล

4.3 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 C

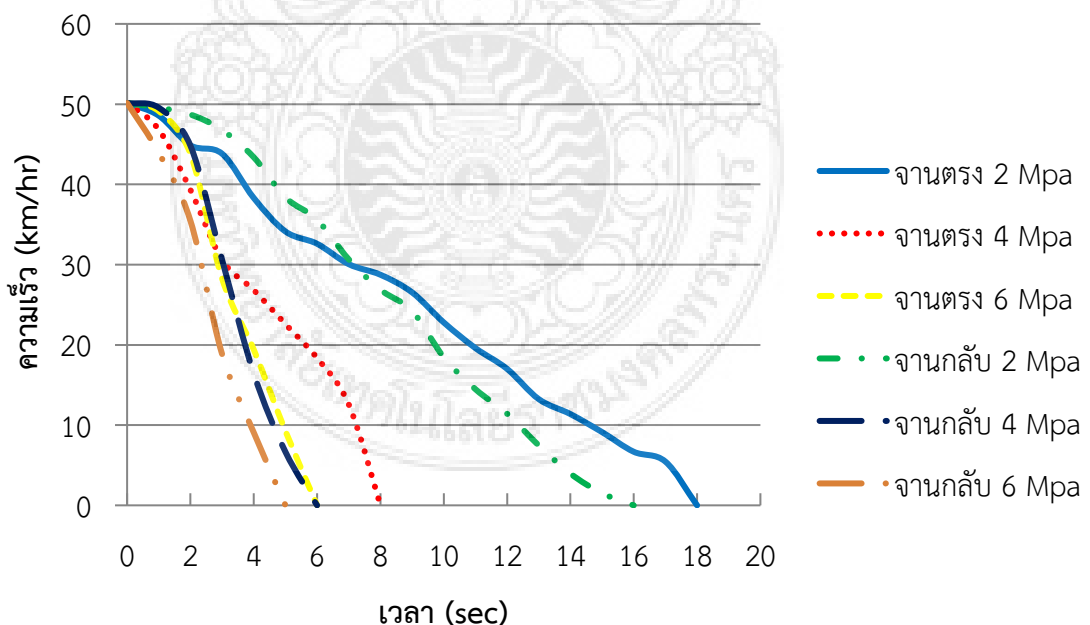
4.3.1 ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr

จากผลการทดสอบที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa โดยทำการเปรียบเทียบจานเบรกทั้ง 2 แบบ จากความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่ 50 km/hr พบว่าที่ความดัน 6 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงสุด โดยที่จานเบรกแบบตรงมีอัตราท่วงเฉลี่ย 2.31 m/sec^2 ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ย 2.78 m/sec^2 ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 20.35 %

ในขณะที่ความดัน 2 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราท่วงเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยจานเบรกแบบตรงมีอัตราท่วงเฉลี่ย 0.77 m/sec^2 และที่จานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ย 0.87 m/sec^2 ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 13.00 %

อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการเบรกในสภาวะความดันต่าง ๆ พบว่าที่ความดัน 2 MPa จานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 127.21 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 118.47 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 7.38 %

ภายใต้ความดัน 6 MPa พบว่าจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรkn้อยสุด 48.59 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรkn้อยสุด 36.77 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 32.15 % ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของจานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 100 °C

ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa

4.4 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 100 °C

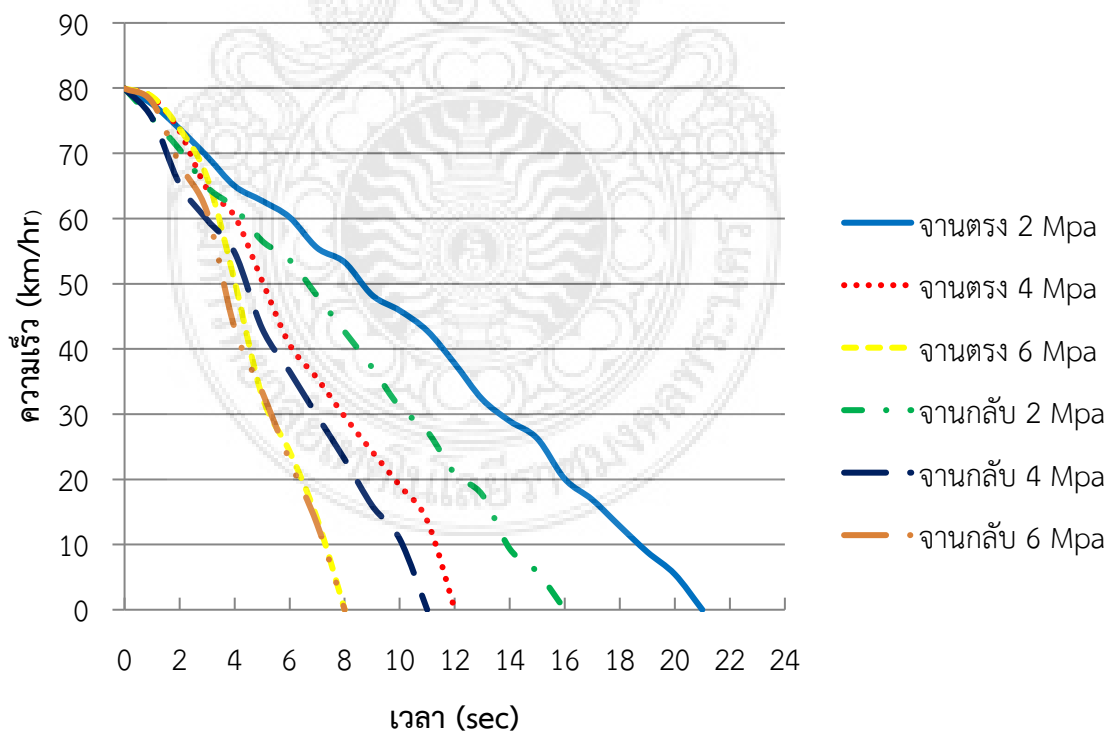
4.4.1 ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr

จากผลการทดสอบที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa โดยทำการเปรียบเทียบจานเบรกทั้ง 2 แบบ จากความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่ 80 km/hr พบว่าที่ความดัน 6 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงสุด โดยที่จานเบรกแบบตรงมีอัตราท่วงเฉลี่ย 2.78 m/sec² ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ย 2.78 m/sec² ซึ่งจานเบรกทั้ง 2 แบบ มีอัตราท่วงเฉลี่ยที่เท่ากัน

ในขณะที่ความดัน 2 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราท่วงเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยจานเบรกแบบตรงมีอัตราท่วงเฉลี่ย 1.06 m/sec² และจานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ย 1.48 m/sec² ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 39.62 %

อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการเบรกในสภาวะความดันต่างๆพบว่าที่ความดัน 2 MPa จานเบรกแบบตรงมีระยะทางในการเบรกมากที่สุด 245.46 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 184.04 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 33.37 %

ภายใต้ความดัน 6 MPa พบว่าจานเบรกแบบตรงมีระยะทางในการเบรคน้อยสุด 105.57 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรคน้อยสุด 99.93 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 5.64 % ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของจานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 100 °C

ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa

4.5 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200 °C

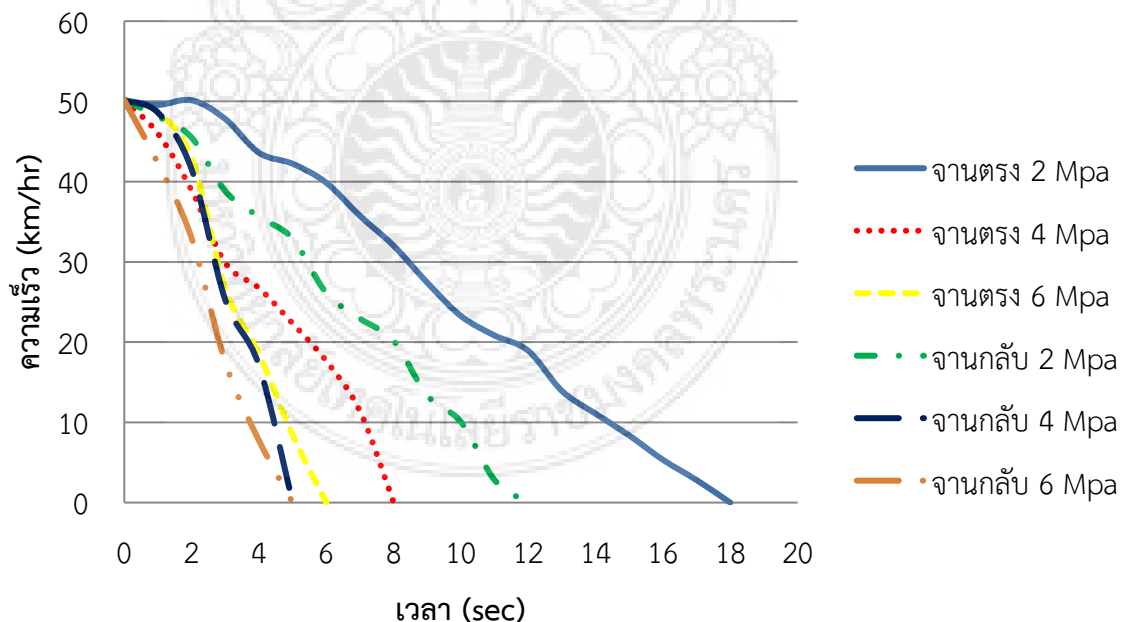
4.5.1 ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr

จากผลการทดสอบที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa โดยทำการเปรียบเทียบจานเบรกทั้ง 2 แบบ จากความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่ 50 km/hr พบว่าที่ความดัน 6 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราหน่วงเฉลี่ยสูงสุด โดยที่จานเบรกแบบตรงมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 2.31 m/sec² ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 3.47 m/sec² ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราหน่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 50.22 %

ในขณะที่ความดัน 2 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราหน่วงเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยจานเบรกแบบตรงมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 0.87 m/sec² และจานเบรกแบบกลับมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 0.99 m/sec² ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราหน่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 13.79 %

อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการเบรกในสภาวะความดันต่าง ๆ พบว่าที่ความดัน 2 MPa จานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 110.61 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 89.28 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 23.89 %

ภายใต้ความดัน 6 MPa พบว่าจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรkn้อยสุด 47.32 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรkn้อยสุด 33.78 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 40.08 % ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของจานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 200 °C

ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa

4.6 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 200 °C

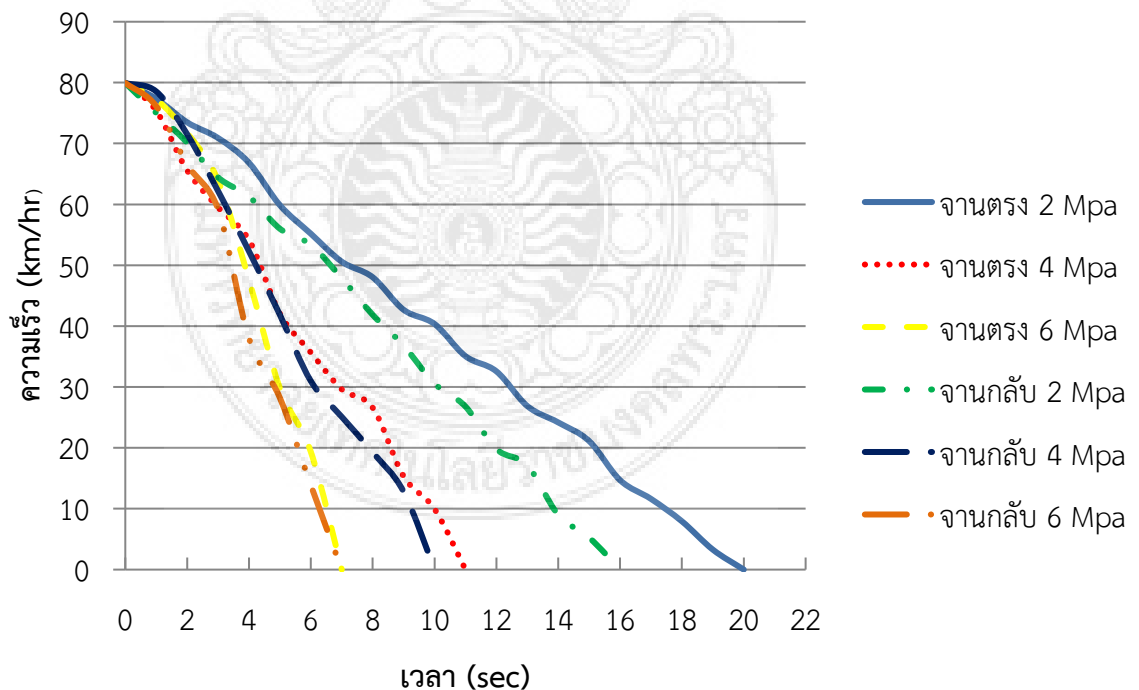
4.6.1 ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr

จากผลการทดสอบที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa โดยทำการเปรียบเทียบจานเบรกทั้ง 2 แบบ จากความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่ 80 km/hr พบว่าที่ความดัน 6 MPa เป็นสถานะที่มีอัตราทวนวงเฉลี่ยสูงสุด โดยที่จานเบรกแบบตรงมีอัตราทวนวงเฉลี่ย 3.17 m/sec^2 ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีอัตราทวนวงเฉลี่ย 3.17 m/sec^2 ซึ่งจานเบรกทั้ง 2 แบบ มีอัตราทวนวงเฉลี่ยที่เท่ากัน

ในขณะที่ความดัน 2 MPa เป็นสถานะที่มีอัตราทวนวงเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยจานเบรกแบบตรงมีอัตราทวนวงเฉลี่ย 1.11 m/sec^2 และจานเบรกแบบกลับมีอัตราทวนวงเฉลี่ย 1.41 m/sec^2 ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราทวนวงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 27.03 %

อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการเบรกในสถานะความดันต่างๆพบว่าที่ความดัน 2 MPa จานเบรกแบบตรงมีระยะทางในการเบรกมากที่สุด 222.92 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 182.00 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 22.48 %

ภายใต้ความดัน 6 MPa พบว่าจานเบรกแบบตรงมีระยะทางในการเบรkn้อยสุด 97.10 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรkn้อยสุด 89.42 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 8.59 % ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของจานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 200 °C

ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa

4.7 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 300 °C

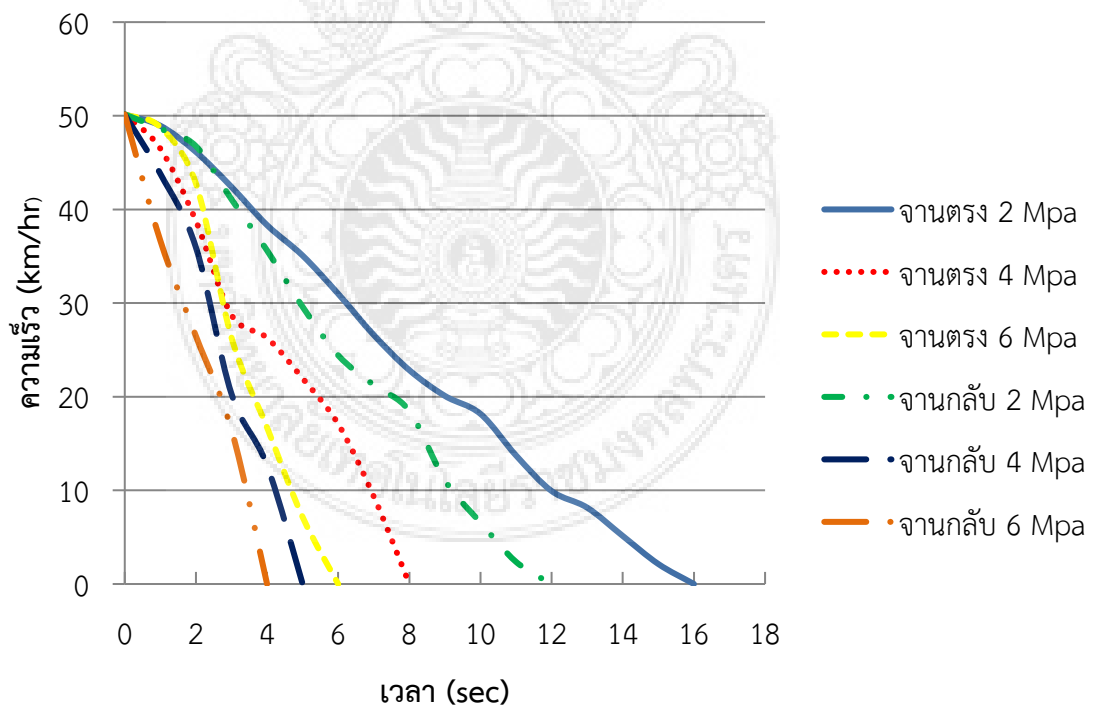
4.7.1 ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr

จากผลการทดสอบที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa โดยทำการเปรียบเทียบจานเบรกทั้ง 2 แบบ จากความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่ 50 km/hr พบว่าที่ความดัน 6 MPa เป็นสถานะที่มีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงสุด โดยที่จานเบรกแบบตรงมีอัตราท่วงเฉลี่ย 2.31 m/sec² ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ย 3.47 m/sec² ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 50.22 %

ในขณะที่ความดัน 2 MPa เป็นสถานะที่มีอัตราท่วงเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยจานเบรกแบบตรงมีอัตราท่วงเฉลี่ย 0.87 m/sec² และจานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ย 1.16 m/sec² ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราท่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 33.33 %

อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการเบรกในสถานะความดันต่าง ๆ พบว่าที่ความดัน 2 MPa จานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 109.35 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 86.35 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 26.64 %

ภายใต้ความดัน 6 MPa พบว่าจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรคน้อยสุด 46.34 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรคน้อยสุด 29.08 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 59.35 % ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของจานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 300 °C

ความเร็วเริ่มต้นที่ 50 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa

4.8 ผลการทดสอบที่อุณหภูมิ 300 °C

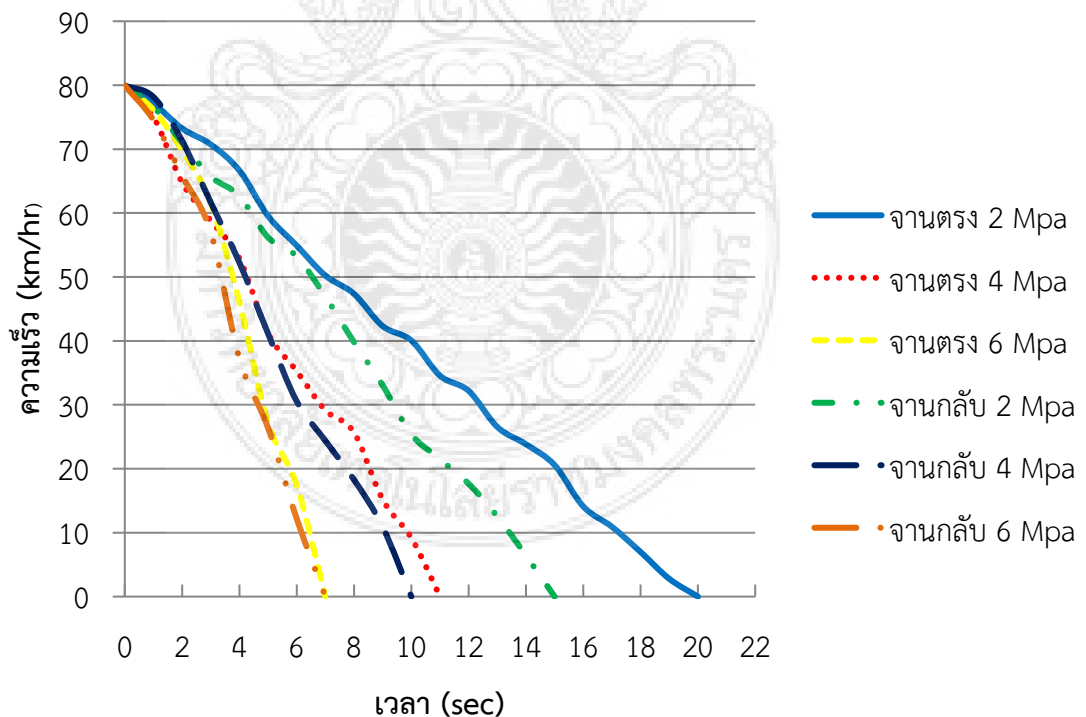
4.8.1 ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr

จากผลการทดสอบที่ความดัน 2, 4 และ 6 MPa โดยทำการเปรียบเทียบจานเบรกทั้ง 2 แบบ จากความเร็วเริ่มต้นการเบรกที่ 80 km/hr พบว่าที่ความดัน 6 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราหน่วงเฉลี่ยสูงสุด โดยที่จานเบรกแบบตรงมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 3.17 m/sec^2 ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 3.17 m/sec^2 ซึ่งจานเบรกทั้ง 2 แบบ มีอัตราหน่วงเฉลี่ยที่เท่ากัน

ในขณะที่ความดัน 2 MPa เป็นสภาวะที่มีอัตราหน่วงเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยจานเบรกแบบตรงมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 1.11 m/sec^2 และจานเบรกแบบกลับมีอัตราหน่วงเฉลี่ย 1.39 m/sec^2 ซึ่งจานเบรกแบบกลับมีอัตราหน่วงเฉลี่ยสูงกว่าจานเบรกแบบตรง 25.24 %

อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบระยะทางการเบรกในสภาวะความดันต่าง ๆ พบว่าที่ความดัน 2 MPa จานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 220.73 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรกมากที่สุด 174.65 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 26.38 %

ภายใต้ความดัน 6 MPa พบว่าจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรkn้อยสุด 93.95 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับมีระยะทางการเบรkn้อยสุด 87.00 m ซึ่งจานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 7.99 % ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของจานเบรกทั้ง 2 แบบที่ อุณหภูมิ 300 °C
ความเร็วเริ่มต้นที่ 80 km/hr ความดัน 2, 4 และ 6 MPa

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบระยะทางจานเบรกแบบตรง และจานเบรกแบบกลับ

ชนิดจานเบรก	ความเร็ว (km/hr)	ความดัน (MPa)	ระยะทาง (m)		
			อุณหภูมิ 100 °C	อุณหภูมิ 200 °C	อุณหภูมิ 300 °C
จานเบรกแบบตรง	50	2	127.21	110.61	109.35
		4	61.71	60.53	59.36
		6	48.59	47.32	46.34
	80	2	245.46	222.92	220.73
		4	147.23	126.05	122.24
		6	105.57	97.10	93.95
จานเบรกแบบกลับ	50	2	118.47	89.28	86.35
		4	48.09	43.75	38.27
		6	36.77	33.78	29.08
	80	2	184.04	182.00	174.65
		4	126.25	120.69	119.06
		6	99.93	89.42	87.00

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าจานเบรกแบบกลับ มีระยะทางการเบรกที่น้อยกว่าจานเบรกแบบตรง อย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างเช่น ที่ความเร็ว 50 km/hr ความดัน 6 MPa พฤติกรรมของจานเบรกแบบตรง มีระยะทางที่ใช้ในการเบรก 59.36 m ในขณะที่จานเบรกแบบกลับ มีระยะทางที่ใช้ในการเบรก 29.08 m ซึ่งแตกต่างกันมากถึง 49.00 %

ในขณะที่อุณหภูมิเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางในการเบรก จากผลการทดลองที่กล่าวมาซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 100 °C มีระยะทางที่ใช้ในการเบรกมากกว่าที่อุณหภูมิ 300 °C ตัวอย่าง เช่น ที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วเริ่มต้นการเบรก 80 km/hr ความดัน 4 MPa จานเบรกแบบตรงมีระยะทางที่ใช้ในการเบรก 147.23 m ในทางตรงกันข้าม ณ อุณหภูมิ 300 °C ที่ความเร็วเริ่มต้นการเบรก และความดันเดียวกันมีระยะทางที่ใช้ในการเบรก 122.24 m ซึ่งแตกต่างกันถึง 20.44 % เนื่องจากผ้าเบรกที่มีอุณหภูมิ 30 °C จะเกิดสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่าอุณหภูมิ 100 °C

นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 80 km/hr มีระยะทางการเบรกมากกว่าความเร็วเริ่มต้นในการเบรกที่ 50 km/hr อย่างชัดเจน ตัวอย่าง เช่น ที่ความเร็วเริ่มต้นในการเบรก 80 km/hr ความดัน 6 MPa และอุณหภูมิ 100 °C จานเบรกแบบกลับมีระยะทางที่ใช้ในการเบรก

99.93 m ในทางกลับกันที่ความเร็วเริ่มต้นการเบรก 50 km/hr ที่ความดัน และอุณหภูมิเดียวกันมี ระยะทางที่ใช้ในการเบรก 36.77 m ซึ่งแตกต่างกันมากถึง 71.77 % ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความสามารถการเบรกเฉลี่ยของงานเบรกทั้ง 2 แบบ

ชนิดงานเบรก	พื้นที่ผิวสัมผัส 2 ด้าน (m ²)	ความเร็ว (km/hr)	ความดัน (MPa)	อัตราหน่วงเฉลี่ย (m/s ²)			ความสามารถการเบรกเฉลี่ย ต่อ $\left(\frac{m/s^2}{m^2}\right)$		
				อุณหภูมิ 100 °C	อุณหภูมิ 200 °C	อุณหภูมิ 300 °C	อุณหภูมิ 100 °C	อุณหภูมิ 200 °C	อุณหภูมิ 300 °C
งานเบรกแบบตรง	0.072	50	2	0.77	0.87	0.87	10.69	12.08	12.08
			4	1.74	1.74	1.74	24.17	24.17	24.17
			6	2.31	2.31	2.31	32.08	32.08	32.08
		80	2	1.06	1.11	1.11	14.72	15.42	15.42
			4	1.85	2.02	2.02	25.69	28.06	28.06
			6	2.78	3.17	3.17	38.61	44.03	44.03
งานเบรกแบบกลับ	0.062	50	2	0.87	0.99	1.16	14.03	15.97	18.71
			4	2.31	2.78	2.78	37.26	44.84	44.84
			6	2.78	3.47	3.47	44.84	55.97	55.97
		80	2	1.39	1.41	1.48	22.42	22.74	23.87
			4	2.02	2.22	2.22	32.58	35.81	35.81
			6	2.78	3.17	3.17	44.84	51.13	51.13

จากตารางที่ 4.4 พบว่าพฤติกรรมของงานเบรกแบบตรง และงานเบรกแบบกลับ ที่ความเร็ว 50 km/hr อุณหภูมิ 100 °C ความดัน 2 MPa และที่ความเร็ว 50 km/hr อุณหภูมิ 300 °C ความดัน 2 MPa สร้างความสามารถการเบรกเฉลี่ยได้น้อยสุด และมากที่สุด 10.69 และ 55.97 m/s² ต่อพื้นที่ผิวสัมผัสงานเบรก 1 m² ตามลำดับ ซึ่งงานเบรกแบบตรงมีระยะทางการเบรกมากกว่าแบบกลับ 523.57 %

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดสอบ ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดสอบ

โครงการนี้ได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องทดสอบความสามารถการเบรกแบบไดนาโมมิเตอร์ขนาดไม่เกิน 40 hp และ โมเมนต์ความเฉื่อยไม่เกิน 127.1 kg.m² เพื่อใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดสอบในภาคอุตสาหกรรม โดยอ้างอิงสภาวะการทดสอบอุณหภูมิตามมาตรฐาน JASO C406 บางส่วน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการทดสอบจานเบรกมาประยุกต์ใช้กับการทดสอบ อีกทั้งนี้ยังมุ่งเน้นไปที่การศึกษาผลกระทบของจานเบรกแบบตรงและแบบกลับที่มีผลกระทบต่อระยะทางการเบรก

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่า พฤติกรรมการลดลงของความเร็วเพลลาที่ได้จากจานเบรกแบบตรง และจานเบรกแบบกลับ ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบไม่เป็นไปในลักษณะแบบเชิงเส้น (Non linear) ซึ่งแตกต่างกับทางทฤษฎี โดยอาจเกิดการสั่นสะเทือนระหว่างผ้าเบรก และจานเบรก ขณะทำการทดสอบ จึงส่งผลให้พฤติกรรมการลดความเร็วมีลักษณะดังกล่าว

จากการดำเนินการข้างต้นได้นำไปสู่การศึกษาลักษณะจานเบรกทั้ง 2 แบบ คือ จานเบรกแบบตรง และจานเบรกแบบกลับที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางที่ใช้ในการเบรก โดยผลการทดลองสะท้อนให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงถึงช่วง 200 ถึง 300 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิใช้งาน จะทำให้ประสิทธิภาพในการเบรกเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ระยะทางในการเบรกสั้นลง และมีอัตราหน่วงสูง ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น และมีความหน่วงลดลง นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความดันที่ใช้ในการเบรกมีอิทธิพลอย่างมากต่อความหน่วงซึ่งแปรผันตามกัน อีกทั้งเมื่อเริ่มเบรกในขณะความเร็วสูงจะทำให้ระยะทางในการเบรกยาวอยู่นอกช่วงการใช้งาน จะทำให้ประสิทธิภาพการเบรกลดลง และส่งผลให้ระยะทางในการเบรก

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ

5.2.1 การติดตั้งงานแต่ละชนิดเข้ากับเครื่องทดสอบทำได้ยาก เพราะมีพื้นที่ในการติดตั้งที่จำกัด และต้องปรับตั้งอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้เข้ากับเพลลาได้

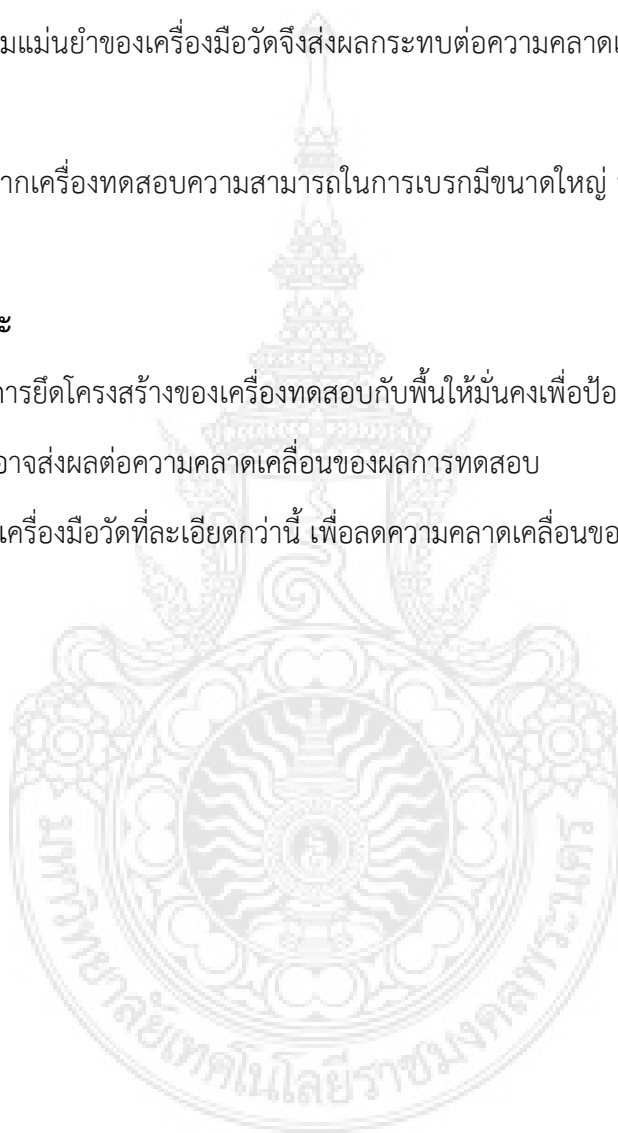
5.2.2 เนื่องจากมีความจำเป็นต้องวัดความเร็วรอบ, อุณหภูมิ และการสั่นสะเทือน หลายจุด ระยะเวลาเดียวกันความแม่นยำของเครื่องมือวัดจึงส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้จากการทดสอบ

5.2.3 เนื่องจากเครื่องทดสอบความสามารถในการเบรกมีขนาดใหญ่ ทำให้การปฏิบัติงานมีความยากลำบาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการยึดโครงสร้างของเครื่องทดสอบกับพื้นให้มั่นคงเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนขณะเครื่องทำงาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ

5.3.2 ควรใช้เครื่องมือวัดที่ละเอียดกว่านี้ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล จากการทดสอบ



บรรณานุกรม

- [1] ชาญุ ถนัดงาน, กลศาสตร์ของไหล อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [2] ถาวร อมตกิตต์, การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพมหานคร, เอ็มแอนด์อี, 2545
- [3] รูปแบบมาตรฐานชุดทดสอบความสามารถการเบรก
<http://www.bmwsociety.com/archives/58.asp> ค้นเมื่อ วันที่ 17 มกราคม, 2556
- [4] ระยะทางกับระยะกระจัด
<http://th.wikipedia.org/wiki/ระยะทาง> ค้นเมื่อ วันที่ 11 พฤษภาคม, 2556
- [5] วริทธิ์ อังภากรณ์ และ ชาญุ ถนัดงาน, การออกแบบเครื่องกล เล่ม 1. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พิมพ์ครั้งที่ 10, 2541
- [6] สายประสิทธิ์ เกิดนิยม , การวิเคราะห์ทางด้านอุณหภูมิจานเบรกรถยนต์ต่างๆ วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 ม.ค.-มี.ค. 2546
- [7] ศูนย์วิจัยและทดสอบชิ้นส่วนเบรกแหล่งที่มา:<http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/it/technology> ค้นเมื่อ วันที่ 13 มกราคม, 2556
- [8] สุรเชษฐ์ ชูติมา ทศนพ กำเนิดทอง และ อำนาจ สิริวัฒนผลกุล, ผลกระทบของความเร็วรถยนต์ต่อพฤติกรรมของจานเบรกในขณะเบรก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วารสารวิจัย และพัฒนา มจร. ปีที่ 30 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2550
- [9] Motor car – Braking device – Dynamometer test procedures, Japanese Automobile standard, JASO C 406

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบจานเบรก



อธิบายตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องทดสอบจานเบรก

หมายเลข	ชิ้นส่วนเครื่องทดสอบจานเบรก
1	จานเบรก
2	มอเตอร์ขับจานเบรก
3	ฟาคลอบล้อช่วยแรง
4	อุโมงค์ลม
5	ชุดมอเตอร์พัดลม
6	แม่ปั๊มเบรก
7	ก้อนมวล

วิธีการใช้งาน

- 1 ติดตั้งจานเบรกเข้ากับเพลาลแล้วใส่น็อตล้อคให้เรียบร้อย
- 2 ติดตั้งปั้มเบรกเข้ากับจานเบรกแล้วใส่น็อตล้อคให้เรียบร้อย
- 3 นำชุดอุโมงค์ลมมาประกอบสวมเข้ากับชุดจานเบรกแล้วยึดสลักให้แน่น
- 4 ติดตั้งเครื่องวัดรอบกับขาตั้งแล้วยิงสัญญาณไปที่เพลลา
- 5 ต่อสายสัญญาณของเครื่องวัดการสั่นสะเทือนเข้ากับคอมพิวเตอร์
- 6 ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดเข้ากับขาตั้งแล้วยิงสัญญาณไปที่จานเบรก
- 7 เสียบปลั๊กเปิดเครื่องทดสอบ และคอมพิวเตอร์
- 8 วัดอุณหภูมิที่จานเบรก แล้วทำการเบรก
- 9 เมื่อทำการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ปิดสวิทซ์ OFF ที่เครื่องทดสอบ

ข้อควรระวังในการใช้งาน

- 1 ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
- 2 ห้ามเล่นกันระหว่างการทดสอบเพราะอาจทำให้เกิดอันตรายได้
- 3 ในขณะที่เครื่องกำลังทำงานจานเบรกมีความร้อนไม่ควรเข้าใกล้
- 4 เมื่อเดินเครื่องทดสอบควรอยู่ใกล้สวิทซ์ควบคุม เพราะเกิดปัญหาสามารถกดปุ่มหยุดฉุกเฉิน (Emergency stop) การทำงานได้โดยทันที

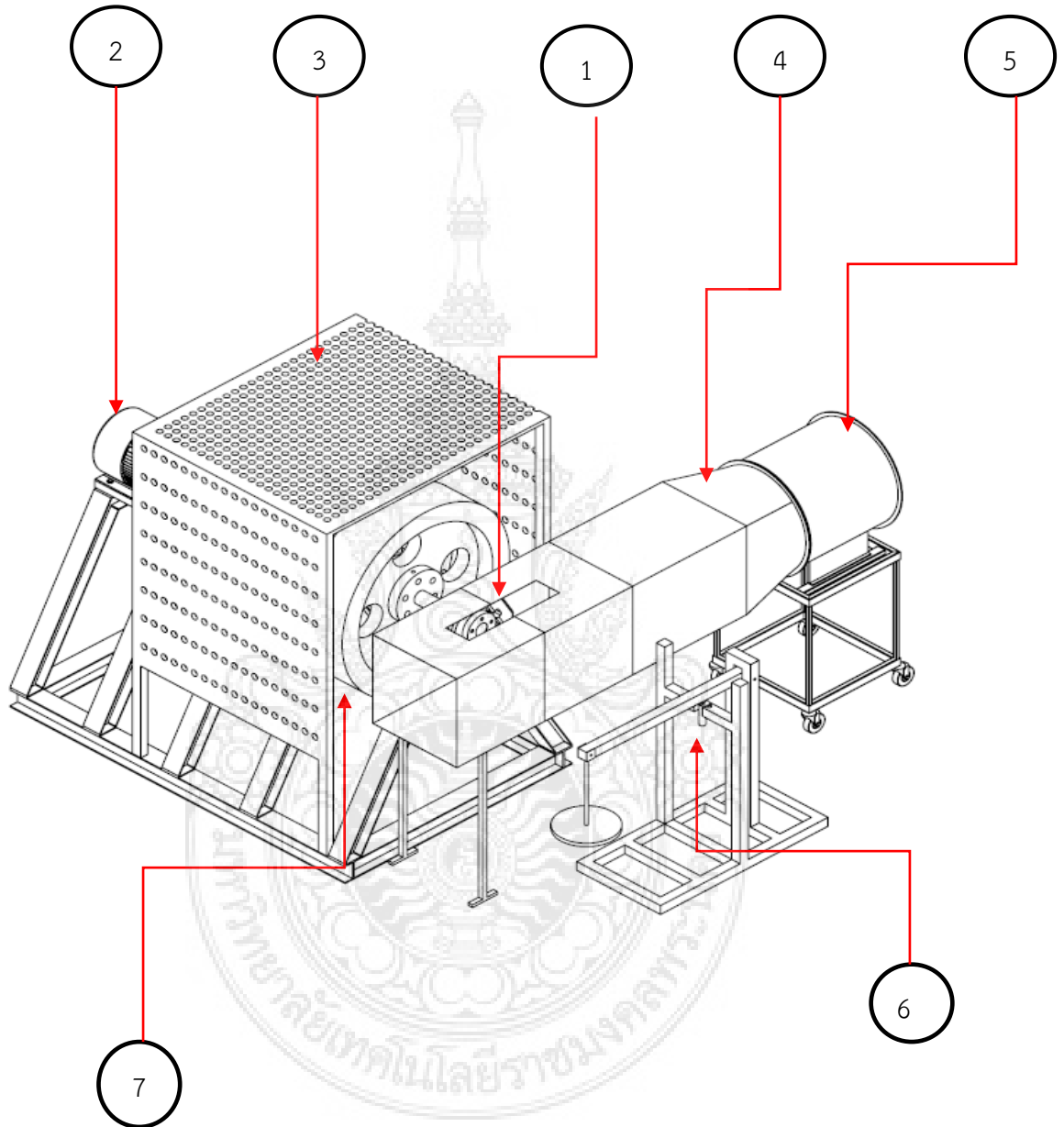
การบำรุงรักษา

- 1 ทำความสะอาดและชโลมน้ำมันบางๆ ที่ส่วนต่างๆ ของเครื่องทดสอบเพื่อป้องกันสนิม
- 2 ทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้าสะอาดทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จเพื่อป้องกันฝุ่นละออง

ภาคผนวก ข
แบบเครื่องทดสอบงานเบรก



เครื่องทดสอบจานเบรก



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-สกุล	ณัฐพงษ์ น้อยเชื่อม
วัน-เดือน-ปีเกิด ที่อยู่	6 พฤษภาคม 2531 140/255 333A น้ำเพชรคอนโด ซ.เรวดี 48 ถ.ติวานนท์ ม.4 ต.ตลาดขวัญ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาช่างยนต์ โรงเรียนนิตาบริหารธุรกิจและวิศวกรรม พ.ศ. 2549
วศบ.	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2555
โทรศัพท์	08-9673-6577
E-mail address	tar060531@hotmail.com



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-สกุล	ทศพล อนุตรานุสรณ์
วัน-เดือน-ปีเกิด ที่อยู่	18 กุมภาพันธ์ 2534 936/13 ถ.ประชาสงเคราะห์ แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาช่างยนต์ โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกล ขส.ทบ. พ.ศ. 2551
วศบ.	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2555
โทรศัพท์	08-1371-5918
E-mail address	karnkung_5@hotmail.com

