



การศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมรถยนต์
A Study of Brake Proportional Effected to Vehicle Control

นายปฐวี ภาคาเดช
นายชูศักดิ์ วงษ์สถิต
นายอิทธิกร บุตรครอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

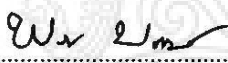
ปีการศึกษา 2556

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมรถยนต์
โดย นายปฐวี ภาคเดช นายชูศักดิ์ วงษ์สถิต และนายอิทธิกร บุตรครอง
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2556
อาจารย์ที่ปรึกษา ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

 ประธานกรรมการ
(อาจารย์พลรัตน์ บุญมี)

..... กรรมการ
(อาจารย์อนันต์ เต็มเปี่ยม)

..... กรรมการ
(อาจารย์ศุภชัย หลักคำ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมรถยนต์
โดย	นายปฐวี ภาคาเดช นายชูศักดิ์ วงษ์สถิต และ นายอิทธิกร บุตรครอง
ปีการศึกษา	2556
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

บทคัดย่อ

ระบบเบรกถือเป็นระบบความปลอดภัยหลักของรถยนต์ ทำหน้าที่ชะลอหรือหยุดการเคลื่อนที่ของรถยนต์ โดยปกติแล้วระบบเบรกที่มีใช้ในปัจจุบันเป็นระบบที่ไม่สามารถปรับตั้งค่าแรงดันได้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการเบรกที่เกิดขึ้นสูงสุดในขณะขับขี่เกิดจากปัจจัย 3 ประการ คือ ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ในระบบ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นถนนและสัดส่วนแรงเบรก ทั้งนี้ปัจจัยของอุปกรณ์ในระบบ และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นถนนนั้นผู้ขับขี่รถยนต์ไม่สามารถที่ควบคุมได้ หากในกรณีของสัดส่วนแรงเบรคนั้นสามารถกำหนดให้มีความเหมาะสมได้ ในทางกลับกันหากมีความไม่เหมาะสมจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการควบคุมรถยนต์ที่อาจจะส่งผลทำให้ผู้ขับขี่เกิดอันตรายได้จากการสูญเสียการบังคับทิศทางของรถยนต์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ

จากเหตุผลดังกล่าวผู้จัดทำโครงการมีแนวคิดที่จะศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อ การควบคุมรถยนต์ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การทดสอบความสามารถในการเบรก ซึ่งพิจารณาความหน่วง ระยะทางเบรก เวลาที่ใช้ในการเบรก และการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์ โดยพิจารณาถึงมุมส่าย มุมกระดก มุมลื่นไถลของล้อ และการลื่นไถลของล้อ สำหรับการทดสอบเป็นแบบภาคสนาม โดยมีเงื่อนไขการทดสอบตามมาตรฐาน Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA)

ผลการทดสอบความสามารถในการเบรกพบว่า ความหน่วงสูงสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วน 80:20 แต่ระยะทางการเบรกและเวลาที่ใช้ในการเบรกก็นั้นได้มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่ไม่ได้เหยียบเบรกเพื่อสร้างความหน่วงได้สูงสุดอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นระยะทางการเบรกและเวลาที่ใช้ในการเบรกขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของความหน่วง อันเป็นผลจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ส่วนกรณีของการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์พบว่าภายใต้สัดส่วนแรงเบรกทุก ๆ สัดส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนแรงเบรก 100:0 จะส่งผลอย่างมากต่อความเสี่ยงของผู้ขับขี่ เนื่องจากค่า การลื่นไถลด้านข้าง เกินค่าวิกฤตและเกิดการลื่นที่เพลาลัง

Project Title	A Study of Brake Proportional Effect to Vehicle Control
By	Mr. Patawee Pakadach Mr. Choosak Wongsatit and Mr. Ittikorn Boodkrong
Department	Mechanical Engineering
Academic Year	2013
Project Advisor	Acting 2 Sub.L.T.Songwut Mongkonlerdmanee

Abstract

Braking system is the main of safety for motor vehicle. It uses to slow down or stop of vehicle movement. Normally, braking system can not to adjustable in the recently. The brake efficiency depends up on to 3 factors by the perfection of brake equipment, friction coefficient of road surface and the brake proportional. The factor of the perfection of brake equipment and friction coefficient of road surface can not be control. But in case of the brake proportional can be set up to suitable. In the other hand, if the brake ratio is unsuitable, the driver may be risk to danger from the loss of vehicle control.

From this reason, the aim of project is to study of the brake proportional affected to vehicle control. By the test condition consist of 2 cases: braking performance testing and vehicle stability testing. In case of braking performance testing is consider to deceleration, braking distance and time of braking. For the vehicle stability testing is determined with yaw angle, pitch angle, sideslip angle and wheel lock up condition. However, the bolt of testing is the road test and using the FMCSA standard for the testing guideline.

The result of the braking performance testing shown the maximum deceleration was appeared on brake proportional 80:20. But the braking distance and time of braking are least because of the non-continuously of deceleration from the driver. Therefore, the braking distance and time of braking depend on the continuously of deceleration. In term of vehicle stability testing discovered to the each of brake proportional are risk to danger for the driver, especially on the 100:0 because of the value of sideslip angle is more than the critical point, and the rear axle is lock up.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำในการถ่ายทอดความรู้ ตลอดจนการควบคุมการทำ ปริญญาานิพนธ์จนประสบความสำเร็จด้วยดี อีกทั้งคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ที่กรุณาตรวจสอบ ความถูกต้องของปริญญาานิพนธ์ รวมถึงคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร ที่ได้อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ที่กรุณาตรวจสอบความถูกต้องของ โครงการรวมทั้งบุคคลและข้อมูลที่ปรากฏตามรายการอ้างอิงที่ผู้ทำโครงการใช้อ้างอิง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความสะดวกต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำ โครงการ

นอกจากนี้ คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนทุนในโครงการสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคน รุ่นใหม่ ประจำปี พ.ศ. 2556

อีกทั้งประโยชน์ และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงการขอมอบให้เป็น กตัญญูตาบูชาแต่ บิดามารดา ครูอาจารย์ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวมา ณ ที่นี้

นายปฐมวิ ภาคาเดช
นายชูศักดิ์ วงษ์สถิต
นายอิทธิกร บุตรครอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฏ

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ	2
2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2.1 จุดศูนย์กลางมวลของรถยนต์	10
2.2.2 แรงเบรกและการกระจายแรงเบรก	10
2.2.3 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน	10
2.2.4 เสถียรภาพการบังคับรถยนต์	13
2.2.5 มาตรฐานการทดสอบแรงเบรก	14

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3. การออกแบบและการคำนวณ	15
3.1 การออกแบบวงจรแบ่งแรงเบรก	17
3.2 การออกแบบการทดสอบ	17
3.2.1 การเตรียมรถยนต์ทดสอบ	19
3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ปรับตั้งแรงดันเบรก	20
3.2.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัย	21
3.2.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วง	22
3.2.5 การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์ (VDO)	22
3.3 การคำนวณ	24
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล	25
4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการเบรก	26
4.2 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์	31
4.2.1 ผลการทดสอบค่า Pitch angle และ Yaw angle	33
5. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	45
5.1 สรุปผลการทดสอบ	45
5.1.1 สรุปผลการทดสอบความสามารถในการเบรก	45
5.1.2 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์	45
5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำโครงการ	46
5.3 ข้อเสนอแนะ	46

บรรณานุกรม

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการทดสอบ

ภาคผนวก ข แบบรถยนต์ทดสอบ

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนแบบต่างๆ	10
2.2 รายละเอียดการทดสอบสมรรถนะการเบรกของรถยนต์ตามมาตรฐาน FMCSA	14
3.1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ	19
3.2 การคำนวณหาค่า Sideslip angle (β)	24
4.1 เงื่อนไขการทดสอบ	25
4.2 แสดงความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความหน่วง ระยะทาง และเวลา ที่ใช้ในการเบรก ซึ่งมีผลมาจากการเหยียบเบรกของผู้ขับขี่	26
4.3 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์	31
4.4 ผลการลื่นไถลของล้อที่สัดส่วนแรงเบรกต่าง ๆ	32



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวยาวรถ	6
2.2 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวขวางรถ	6
2.3 วิธีการหาระยะแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวลแบบยกเพลาท้ายขึ้น	7
2.4 การส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบขณะทำการเบรก	8
2.5 การกระจายแรงเบรกแบบมี ABS และ EBD	10
2.6 พฤติกรรมการส่ายของรถยนต์	11
2.7 พฤติกรรมการโคลงของรถยนต์	12
2.8 พฤติกรรมการกระดกของรถยนต์	12
2.9 พฤติกรรมการลื่นไถลของรถยนต์	13
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	15
3.2 วงจรกระจายแรงดันเบรกของรถยนต์ปกติ	16
3.3 วงจรกระจายแรงดันเบรกของรถยนต์ที่ออกแบบและทดสอบ	17
3.4 การปรับเปลี่ยนรถยนต์เป็นแบบ Rigid body เพลาหน้า และเพลาลัง	18
3.5 การชั่งน้ำหนักลงเพลาหน้า และเครื่องชั่งน้ำหนัก	18
3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ปรับตั้งแรงดันเบรก	20
3.7 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัย	21
3.8 การเปรียบเทียบค่าของมุมลื่นไถลด้านข้าง มุมพวงมาลัยที่เปลี่ยนไป และระยะของมุมล้อ	21
3.9 การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วง	22
3.10 การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์	22
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเหยียบและเวลาที่ใช้ของสัดส่วน 0:100 ถึง 100:0	27
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรกกรณีสัดส่วน แรงเบรกหน้าที่มีค่าน้อยกว่าถึงเท่ากับสัดส่วนแรงเบรกหลัง	28
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรกกรณีสัดส่วน แรงเบรกหน้าที่มีค่ามากกว่าถึงเท่ากับสัดส่วนแรงเบรกหลัง	29
4.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรก	30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (0:100)	34
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (10:90)	35
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (20:80)	36
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (30:70)	37
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (40:60)	38
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (50:50)	39
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (60:40)	40
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (70:30)	41
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (80:20)	42
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (90:10)	43
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ของสัดส่วนแรงเบรก (100:0)	44



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	ความหน่วงในการเบรก	m/s^2
L	ระยะฐานล้อ	m
g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	m/s^2
h	ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงรถในแนวตั้ง	m
m	มวลรถยนต์	kg
F_F	แรงปฏิกิริยาที่เพลาหน้า	N
F_R	แรงปฏิกิริยาที่เพลาหลัง	N
F_{BF}	แรงเบรกที่เพลาหน้า	N
F_{BR}	แรงเบรกที่เพลาหลัง	N
F'_{BF}	แรงเบรกตามสัดส่วนเพลาหน้า	N
F'_{BR}	แรงเบรกตามสัดส่วนเพลาหลัง	N
i_F	สัดส่วนการกระจายแรงเบรกที่เพลาหน้า	-
i_R	สัดส่วนการกระจายแรงเบรกที่เพลาหลัง	-
L_1	ระยะห่างจากล้อหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	N
L_2	ระยะห่างจากล้อหลังถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	N
ΔF	Dynamic load transfer	N
θ	มุมพวงมาลัยของรถยนต์	deg.
β	มุมบิดของล้อ	deg.
μ_{road}	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน	-
ARS	Active Rear Steer	-
DOT	Department of Transportation	-
EBD	Electronic brake force distribution	-
ESC	Electronic Stability Control	-
FMCSA	Federal Motor Carrier Safety Administration	-
GPC	Generalized Predictive Control	-
GVWR	Gross Vehicle Weight Rating	-

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ระบบเบรกเป็นระบบที่ใช้เพื่อการชะลอหรือหยุดรถยนต์ โดยการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อน ภายใต้การสร้างสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างจานเบรกกับผ้าเบรก ระบบเบรกถือได้ว่าเป็นระบบความปลอดภัยพื้นฐานของรถยนต์ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นระบบที่มีการทำงานก่อนที่อุบัติเหตุจะเกิดขึ้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการเบรกที่เกิดขึ้นสูงสุดในขณะขับขึ้นที่เกิดจากปัจจัยหลาย 3 ประการ คือ ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ในระบบ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นถนน และสัดส่วนแรงเบรก โดยปัจจัยของสัดส่วนแรงเบรคนั้นเป็นปัจจัยพื้นฐานของการพัฒนาระบบเบรกอย่างมีประสิทธิภาพในปัจจุบัน

ทั้งนี้เบรกเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดเนื่องจากสมรรถนะของอุปกรณ์ในระบบ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นถนนนั้นผู้ขับขี่รถยนต์ไม่สามารถที่ควบคุมได้ หากในกรณีของสัดส่วนแรงเบรคนั้นสามารถที่จะกำหนดได้เพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพการเบรกสูงสุดและความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินในทางกลับกันหากมีความผิดพลาดจากการทำงานของระบบเบรกจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการควบคุมรถยนต์ที่อาจจะส่งผลทำให้ผู้ขับขี่เกิดอันตรายได้จากการสูญเสียการบังคับทิศทางของรถยนต์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ

เนื่องจากปัญหาที่ได้แนวคิดที่จะทำการโครงการสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับรถยนต์ โดยเลือกนำเอาปัจจัยที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการเบรกมาพิจารณา เพื่อให้ได้ความรู้ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อกลุ่มผู้เกี่ยวข้องกับรถยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการศึกษาที่เป็นเป้าหมายหลักของการพัฒนาในอนาคต อีกทั้งยังสามารถนำไปปรับใช้กับกลุ่มต่างๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อประโยชน์ต่อการนำใช้งานและทำงานต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

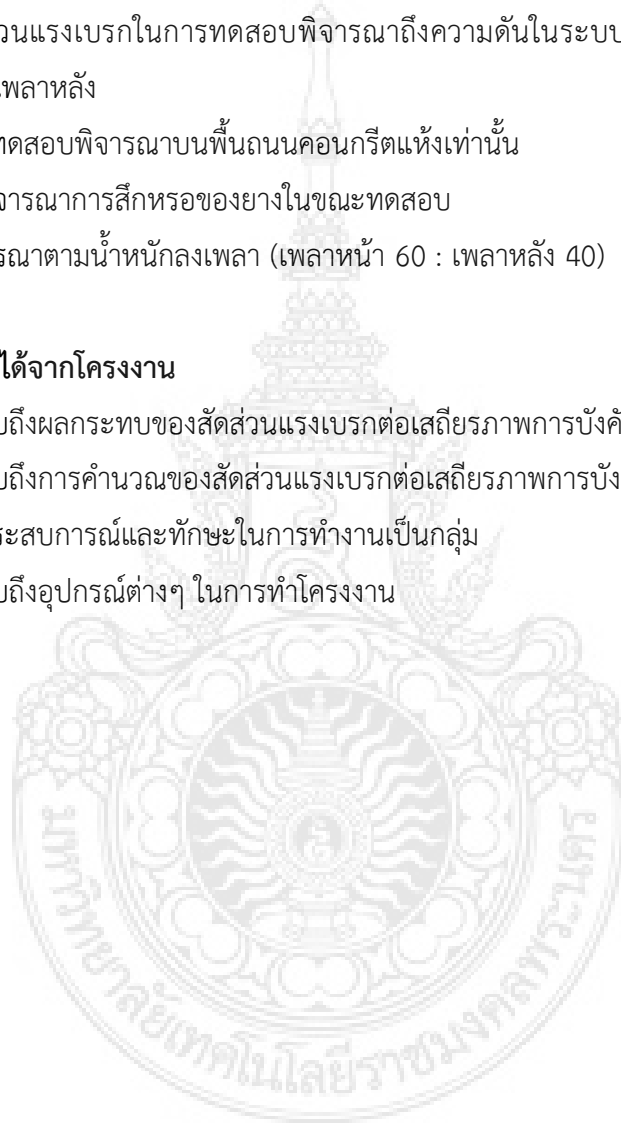
- 1.2.1 เพื่อศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับรถยนต์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถการเบรก
- 1.2.3 เพื่อสร้างการทดสอบทางวิศวกรรมยานยนต์ในด้านการทดสอบความสามารถในการเบรก (ภาคสนาม)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 สร้างชุดทดสอบที่สามารถเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการกระจายแรงเบรก
- 1.3.2 สามารถรองรับการทดสอบของรถยนต์ที่มีพิกัดไม่เกิน 2 ตัน
- 1.3.3 กระบวนการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานกรมการขนส่งทางบกประเทศไทยและ FMCSA
- 1.3.4 โครงสร้างเป็น Rigid body (ไม่พิจารณาระบบรองรับน้ำหนัก)
- 1.3.5 สัดส่วนแรงเบรกในการทดสอบพิจารณาถึงความดันในระบบที่กระทำระหว่างเพลาน้ำและเพลาลัง
- 1.3.6 การทดสอบพิจารณาบนพื้นถนนคอนกรีตแห้งเท่านั้น
- 1.3.7 ไม่พิจารณาการสึกหรอของยางในขณะทดสอบ
- 1.3.8 พิจารณาตามน้ำหนักกลางเพลาน้ำ (เพลาน้ำ 60 : เพลาลัง 40)

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากโครงการ

- 1.4.1 ทราบถึงผลกระทบของสัดส่วนแรงเบรกต่อเสถียรภาพการบังคับรถยนต์
- 1.4.2 ทราบถึงการคำนวณของสัดส่วนแรงเบรกต่อเสถียรภาพการบังคับรถยนต์
- 1.4.3 ได้ประสบการณ์และทักษะในการทำงานเป็นกลุ่ม
- 1.4.4 ทราบถึงอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการ



บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินโครงการ อีกทั้งเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลจากงานวิจัยที่เคยจัดทำมาแล้ว

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบความเร่งด้านข้างนิยมใช้เพื่อพิจารณาเสถียรภาพรถขณะเข้าโค้ง ซึ่งเป็นตัวแปรหลักของอัตราการส่ายของรถยนต์ (Yaw rate) และการถูกรบกวนของพวงมาลัย ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้รถยนต์มีเสถียรภาพการบังคับลดลง ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Riener และคณะ [1] ที่ศึกษาปัจจัยความเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวผู้ขับกับรถ และรถกับถนน ในกรณีที่รถขับเข้าโค้ง ซึ่งพวงมาลัยถูกรบกวนจากความเร่งด้านข้าง (Lateral acceleration) ซึ่งขึ้นกับอัตราส่วนการหมุนพวงมาลัยและความเร็วของรถขณะเข้าโค้ง การทดสอบกระทำโดยชดเชยแรงด้านข้างของรถโดยอาศัยร่างกายของตัวผู้ขับที่ใช้การประเมินผลจากค่าความดันที่จากแผงวัดความดัน 2 แผง ที่รับความดันจากการเปลี่ยนแปลงท่าทางของผู้ขับ โดยแต่ละแผงมีเซ็นเซอร์วัดความดันจำนวน 32 ตัวติดตั้งบริเวณที่นั่งและติดตั้งบริเวณพนักพิงจำนวน 32 ตัวเพื่อจำแนกคุณลักษณะตามสถานการณ์การขับผ่านโค้ง ผลการทดสอบพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะมีการชดเชยความเร่งด้านข้าง กรณีนี้สามารถทำให้รถเพิ่มความเร็วและเพิ่มความแม่นยำของพวงมาลัย อีกทั้งสามารถลดการดื้อโค้ง (Understeer) และไวโค้ง (Oversteer) ของรถได้

ส่วนงานวิจัยของ Anwar [2] ศึกษาถึงปัจจัยการรักษาเสถียรภาพการควบคุมรถยนต์ที่เป็นแบบผสมผสาน (Hybrid) กับรถยนต์ที่ติดตั้งระบบเบรกแบบไฟฟ้า (Brake-by-wire) การทดสอบใช้วิธีการประเมินผลการหมุนของมุมพวงมาลัย (Generalized Predictive Control) หรือ (GPC) เพื่อใช้ในการควบคุมอัตราการส่ายของรถยนต์ (Yaw rate) ในสภาวะที่รถเกิดการดื้อโค้ง (Understeer) และสภาวะที่รถมีความไวโค้ง (Oversteer) โดยผลการวิจัยสรุปได้ว่าวิธี (GPC) สามารถนำมาใช้ประเมินเสถียรภาพของรถยนต์ขณะเข้าโค้งจากผลของการลื่นไถลของล้อ

การทดสอบการโคลงของรถยนต์ เป็นการทดสอบที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง อันเป็นผลจากการออกแบบระบบรองรับน้ำหนัก (Suspension) โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่อยู่เหนือระบบรองรับ (Sprung mass) ที่ส่งผลให้เกิดการพลิกคว่ำในขณะเข้าโค้ง ซึ่งการทดสอบการโคลงของรถยนต์ นิยมพิจารณาถึงโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia) อันเป็นผลจากแรงกระทำด้านข้างหรือขณะเข้าโค้ง ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Svenson และ Hac [3] ได้ศึกษาผลของการโคลงของตัวรถที่มากเกินไปโดยทดสอบกับรถบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ ขับเคลื่อน 2 ล้อหลัง โดยเปรียบเทียบกับ การทดสอบที่ติดตั้งระบบควบคุมเสถียรภาพรถด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Stability Control) หรือ (ESC) และระบบควบคุมมุมเลี้ยว 4 ล้อ (Active Rear Steer) หรือ (ARS) สรุปว่ารถยนต์ทดสอบที่ติดตั้งระบบ (ESC) สามารถลดการโคลงของตัวรถ ส่วนระบบ (ARS) มีผลต่อประสิทธิภาพการบังคับเลี้ยวในขณะความเร็วสูงที่ทำให้การตอบสนองของมุมพวงมาลัยทันต่อความเร็วรถ และช่วยลดภาระการหมุนพวงมาลัยในขณะความเร็วต่ำของผู้ขับขี่ซึ่งทั้งสองระบบนี้จะช่วยให้การขับขี่ปลอดภัยมากขึ้น

งานวิจัยของ Miège และ Cebon [4] ศึกษาถึงความได้เปรียบของระบบการควบคุมการพลิกคว่ำแบบเชิงรุก (Active roll control) ของรถขนาดใหญ่ วิธีการทดสอบกระทำโดยการพัฒนาจากต้นแบบระนาบพลิกคว่ำอย่างง่ายหรือแบบพลิกคว่ำ 2 มิติ ด้วยการเพิ่มเชื่อมต่อเข้ากับระบบรองรับที่ถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ให้สามารถเก็บข้อมูลป้อนกลับ (Feedback control) ของค่าความเร่งด้านข้าง ซึ่งระบบการควบคุมการพลิกคว่ำแบบเชิงรุก (Active roll control) นี้สามารถทดสอบกับรถยนต์ได้ทั้งสภาวะอยู่ตัว (Steady state) และสภาวะไม่อยู่ตัว (Transient) โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบถูกใช้วิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เพื่อนำไปพัฒนาการออกแบบระบบควบคุม เช่น การควบคุมมุมโคลง (Roll angle) ด้วยการชดเชยแรงกดและความหน่วงของระบบรองรับในแนวตั้ง

แรงเบรกของรถยนต์ เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่อการควบคุมรถยนต์ ทั้งกรณีการขับขี่ทางตรง และการขับขี่ขณะเข้าโค้ง เนื่องจากปัจจัยด้านเวลาการตอบสนอง ปริมาณแรงเบรก สัดส่วนการกระจายแรงเบรก และอัตราหน่วง อย่างไรก็ตามการทดสอบเกี่ยวกับแรงเบรกของรถยนต์ถือเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบเบรกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ระบบป้องกันการลื่นไถลของล้อ (ABS) และระบบการกระจายแรงเบรกด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (EBD) ระบบเหล่านี้เป็นระบบที่ช่วยป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและมีส่วนในการรักษาเสถียรภาพของรถยนต์ ซึ่งผู้เขียนได้แสดงถึงแนวทางการทดสอบระบบเบรกรถยนต์ตามมาตรฐานของกรมการขนส่งทางบกประเทศไทย [5] คือ ระบบเบรกจะต้องตอบสนองภายในเวลา 5 วินาทีหลังจากทำการเหยียบเบรก ปริมาณแรงเบรกทั้งหมดจะต้องมีค่า

มากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักลงเพลารวม (Gross Vehicle Weight Rating) หรือ (GVWR) ของรถยนต์ทั่วไป ส่วนในกรณีรถบัสและรถบรรทุก ปริมาณแรงเบรกรวมทุกเพลาดึงต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักลงเพลา โดยทดสอบบนเครื่องทดสอบแบบลูกกลิ้ง (Roller brake tester) และมาตรฐานของ Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA) [6] ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทั้ง 2 มาตรฐานมีความแตกต่างกันคือ มาตรฐาน (FMCSA) จะไม่พิจารณาถึงเวลาการตอบสนองระบบ และค่าของปริมาณแรงเบรกที่สูงกว่ามาตรฐานของประเทศไทย ยกเว้นในกรณีเดียว คือ รถยนต์ประเภทนั่งแบบมีภาระการบรรทุก ปริมาณแรงเบรกในแต่ละเพลาดึงที่ต้องการมีค่าเพียงร้อยละ 43.5 เท่านั้น

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เสถียรภาพการบังคับรถยนต์ คือ การบังคับรถยนต์ให้เป็นไปตามที่ผู้ขับขี่ต้องการ ในสภาวะการขับขี่จริง ทั้งในขณะขับขี่ทางตรง การเข้าโค้งหรือแม้กระทั่งผ่านสภาวะของถนนรูปแบบต่างๆ ซึ่งเสถียรภาพการบังคับรถยนต์และการเบรกถือได้ว่าเป็นการกระทำของรถยนต์ที่ทำหน้าที่ให้เกิดความปลอดภัยต่อการขับขี่ก่อนที่จะเกิดอุบัติเหตุ (Active safety) กระนั้นเสถียรภาพการบังคับรถยนต์อาจหมายถึงการทรงตัวของรถยนต์ได้ดีในทุกๆ สถานการณ์การทรงตัวขณะจอดนิ่งบนพื้นระดับหรือทางชัน การทรงตัวในขณะที่เลี้ยวเข้าโค้ง ฯลฯ [7] องค์ประกอบหลักที่จะรักษาเสถียรภาพของรถยนต์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักต่อไปนี้

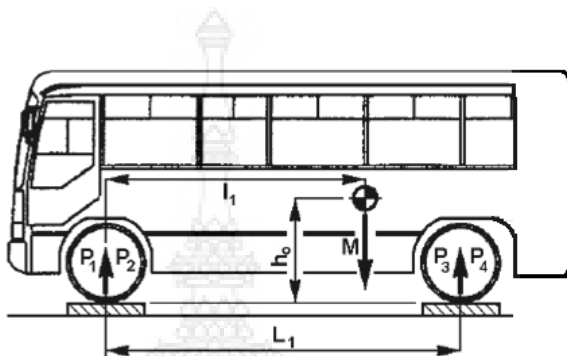
1. จุดศูนย์กลางมวลของรถยนต์ (Centre of gravity of vehicle)
2. แรงเบรกและการกระจายแรงเบรก (Braking force and Brake force distribution)
3. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน (Friction coefficient of road surface)

2.2.1 จุดศูนย์กลางมวลของรถยนต์ (Centre of gravity of vehicle)

จุดศูนย์กลางมวลเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องตระหนักถึงเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมการขับขี่โดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยานยนต์ที่มีสมรรถนะสูงเพราะต้องการการทรงตัวที่ดีและในขณะที่ใช้ความเร็วสูงเพื่อความปลอดภัยความสูงของจุดศูนย์กลางมวลที่น้อยที่สุดเป็นสิ่งจำเป็นที่ปรารถนาสำหรับการออกแบบยานยนต์ในทุกประเภท ด้วยเหตุผลในด้านการควบคุมรถ การยึดเกาะถนน การเลี้ยว รวมไปถึงการขึ้นทางลาดชัน อย่างไรก็ตามตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลขึ้นอยู่กับขนาดของภาระการโดยสารและตำแหน่งที่ตั้งของมวลที่บรรทุก ด้วยหลักการทางวิศวกรรมยานยนต์ จุดศูนย์กลางมวลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวตามระบบพิกัดฉากดังนี้

- ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางมวล

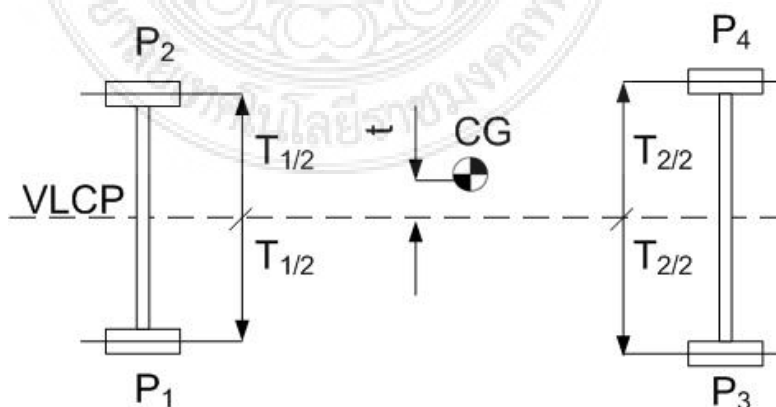
ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางมวล เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะฐานล้อ (Wheel base) โดยมองจากด้านข้างตำแหน่งตามยาวของจุดศูนย์กลางถ่วงจะอยู่ในแนวระนาบ (Horizontal) ภายใต้ระยะของฐานล้อ สำหรับตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางมวลแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวยาวรถ [8]

- ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางมวล

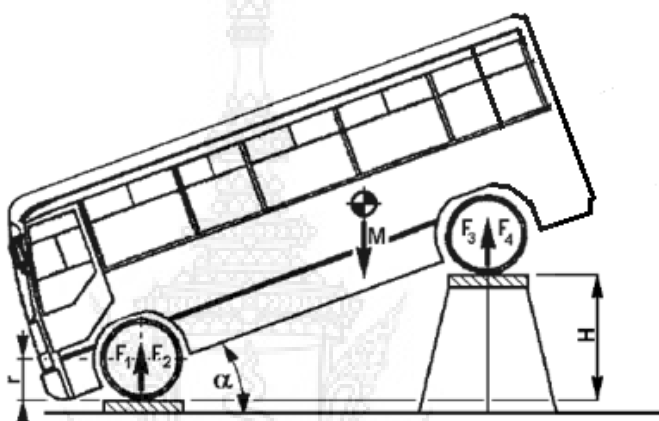
ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางมวล เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะของจุดศูนย์กลางล้อซ้ายถึงจุดศูนย์กลางล้อขวา (Tracking) โดยการมองรถจากด้านหน้าหรือด้านหลัง ในขณะที่ระยะของจุดศูนย์กลางล้อซ้ายถึงจุดศูนย์กลางล้อขวาของเพลลาหน้า และเพลลาท้ายของรถยนต์อาจมีค่าไม่เท่ากันเช่นรถบรรทุก 6 ล้อ ที่ออกแบบให้มีล้อคู่อยู่ที่เพลลาท้ายโดยที่เพลลาหลังจะมีค่ามากกว่าเนื่องจากเหตุผลเรื่องรัศมีการเลี้ยว (Turning radius) และการเข้าโค้ง ส่วนในกรณีรถยนต์ 4 ล้อโดยปกติจะมีค่าเท่ากัน ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางมวลแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวขวางรถ [8]

- ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวล

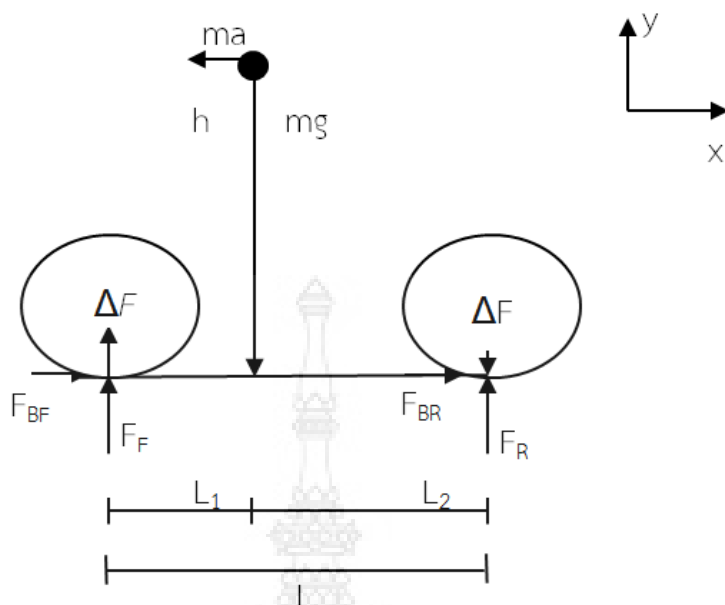
ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวล เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะที่ล้อสัมผัสกับผิวถนนซึ่งตำแหน่งตามแนวตั้งถึงจุดศูนย์กลางมวลนี้ เป็นตำแหน่งที่พิจารณาได้ยากที่สุด เนื่องจากต้องมาจากการทดสอบเท่านั้น การทดสอบสามารถกระทำได้ 3 วิธี คือวิธีแขวนรถวิธียกเพลาท้ายขึ้นในแนวตั้งและวิธีพลิกคว่ำ อย่างไรก็ตามการทดสอบทั้ง 3 วิธีนี้ค่าที่ได้ถูกนำมาใช้คำนวณหาตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวล วิธีการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วิธีการหาระยะแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวลแบบยกเพลาท้ายขึ้น [8]

2.2.2 แรงเบรกและการกระจายแรงเบรก (Braking force and brake force distribution)

แรงเบรกเป็นองค์ประกอบหลักของการสร้างแรงเสียดทานที่กระทำต่อผ้าเบรกและจานเบรก ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเบรกเพื่อการชะลอหรือหยุดรถยนต์ ปริมาณแรงเบรคนั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ขับขี่หรือปริมาณแรงเบรกที่อยู่ในระบบไฮดรอลิก หากแรงเบรกมีปริมาณสูงเกินไป yang ที่สัมผัสกับผิวของถนนนั้นจะเกิดการลื่นไถลของล้อหรือที่เรียกว่า ล้อล็อก (Wheel lock-up) การลื่นไถลของล้อเกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ ปริมาณของแรงเบรกที่ผู้ขับขี่เหยียบเบรกมีค่ามากเกินไปและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนนจริงมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนนจากการที่ผู้ขับขี่ทำการเหยียบเบรกด้วยการลื่นไถลของล้อนี้จะส่งผลกระทบต่ออย่างมากกับการบังคับหรือการควบคุมรถยนต์ให้ทิศทางเป็นไปตามต้องการ หากพิจารณาพฤติกรรมของรถยนต์ในขณะที่ทำการเบรคนั้นจะเกิดการส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบและแนวตั้งไปที่บริเวณเพลาน้ำของรถยนต์ (Dynamic load transfer) ดังแสดงตามรูปที่ 2.4 สำหรับสมการที่ใช้ในการพิจารณาแรงเบรกของรถยนต์แสดงดังสมการที่ (2.1 ถึง 2.4)



รูปที่ 2.4 การส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบขณะทำการเบรก

การหาแรงเบรกรวมของรถยนต์แสดงดังสมการที่ (2.1)

$$F_B = F_{BF} + F_{BR} \quad (2.1)$$

การหาแรงเบรกที่เพลาหน้าและเพลาหลังแสดงดังสมการที่ (2.2) และ (2.3) ตามลำดับ

$$F_{BF} = F_F \times \mu_{road} \quad (2.2)$$

$$F_{BR} = F_R \times \mu_{road} \quad (2.3)$$

การหาแรงเบรกที่ตามสัดส่วนแรงเบรก (เพลาหน้า : เพลาหลัง)

$$F'_{BF} = \mu_{road} \times m \times g \times i_F \quad (2.4)$$

$$F'_{BR} = \mu_{road} \times m \times g \times i_R \quad (2.5)$$

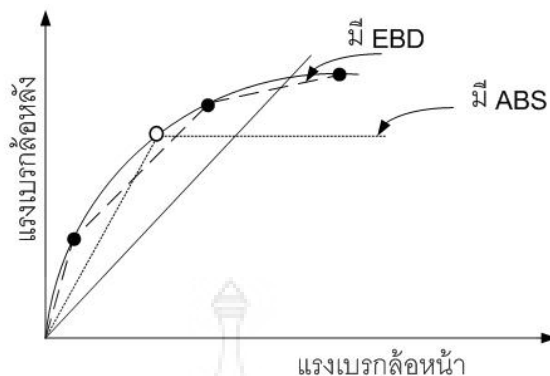
การหาค่า Dynamic load transfer แสดงดังสมการที่ (2.6)

$$\Delta F = mah/L \quad (2.6)$$

กำหนดให้

F_{BF}	คือ	แรงเบรกที่เพลาหน้า	[N]
F_{BR}	คือ	แรงเบรกที่เพลาหลัง	[N]
F'_{BF}	คือ	แรงเบรกตามสัดส่วนเพลาหน้า	[N]
F'_{BR}	คือ	แรงเบรกตามสัดส่วนเพลาหลัง	[N]
F_F	คือ	แรงปฏิกิริยาที่เพลาหน้า	[N]
F_R	คือ	แรงปฏิกิริยาที่เพลาหลัง	[N]
L	คือ	ระยะฐานล้อ	[m]
L_1	คือ	ระยะห่างจากล้อหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	[m]
L_2	คือ	ระยะห่างจากล้อหลังถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	[m]
a	คือ	ความหน่วงในการเบรก	$[m/s^2]$
g	คือ	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	$[m/s^2]$
h	คือ	ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงรถในแนวตั้ง	[m]
i_F	คือ	แบ่งสัดส่วนที่เพลาหน้า	[-]
i_R	คือ	แบ่งสัดส่วนที่เพลาหลัง	[-]
m	คือ	มวลรถยนต์	[kg]
μ_{road}	คือ	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน	[-]
ΔF	คือ	Dynamic load transfer	[N]

อย่างไรก็ตามการพิจารณาแรงเบรกที่มีความสัมพันธ์กับการส่งถ่ายมวลขณะเบรก (Dynamic load transfer) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ แรงเบรกที่ได้มาจากอุปกรณ์ในระบบเบรก เช่น กระบอกเบรก แรงดันน้ำมัน หม้อลมเบรก เป็นต้น หรือเรียกว่าแรงเบรกกระทำจริง (Actual braking force) ส่วนอีกแบบหนึ่งเป็นแรงเบรกทางทฤษฎี (Ideal braking force) ที่เป็นผลจากการประเมินทางทฤษฎีที่ได้จากปัจจัยต่างๆเช่นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน (Friction coefficient of road surface) มวลของรถยนต์ ระยะห่างของจุดศูนย์ถ่วงในแนวตั้งและระนาบ (Centre of gravity) เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นแรงเบรกและการกระจายแรงเบรกถือเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบเบรกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ระบบป้องกันการลื่นไถลของล้อ (Anti-lock brake system) และระบบการกระจายแรงเบรกด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic brake force distribution) ระบบเหล่านี้เป็นระบบที่ช่วยป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและมีส่วนในการช่วยรักษาเสถียรภาพของรถยนต์แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การกระจายแรงเบรกแบบมี ABS และ EBD

2.2.3 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน (Friction coefficient of road surface)

การเคลื่อนที่ของรถยนต์ไปตามที่ผู้ขับขี่ต้องการนั้น เรากล่าวได้ว่าไม่สามารถเลือกไปตามถนนที่ต้องการได้เสมอไป ดังนั้นรถยนต์ที่เคลื่อนที่ไปทุกสภาพถนนในทุกพฤติกรรมการขับขี่อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพการบังคับรถยนต์ได้ เช่นในกรณีทำการเบรกหรือเข้าโค้งในขณะที่พื้นถนนลื่นทำให้มีโอกาสที่รถยนต์เกิดปัญหาการควบคุม ซึ่งอาจมีความรุนแรงจนเกิดการพลิกคว่ำ จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เปิดเผยให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับยานยนต์ ทั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการได้นำเสนอตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน เพื่อประโยชน์ในการช่วยประเมินการขับขี่รถยนต์ ดังแสดงตามตารางที่ 2.1 [9]

ตารางที่ 2.1 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนแบบต่างๆ [9]

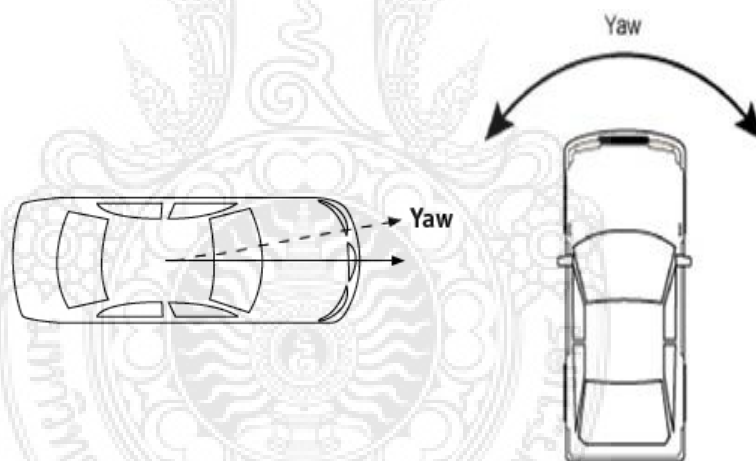
Type	Range of Friction Coefficient	
	Concrete and Asphalt	Tar macadam
Dry	0.76-0.85	0.58-0.62
Wet	0.48-0.52	0.38-0.42
Oily	0.35-0.40	0.25-0.30

2.2.4 เสถียรภาพการบังคับรถยนต์ (Vehicle stability control)

เสถียรภาพการบังคับรถยนต์เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยทั้งของผู้ขับขี่และผู้โดยสาร เนื่องจากการรักษาไว้ซึ่งความมั่นคงของการขับขี่รถยนต์ ทำให้รถยนต์สามารถแล่นอยู่บนท้องถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการรักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถยนต์นั้น สามารถพิจารณาหรือชี้วัดได้จากมุม 4 มุม คือ มุมส่าย (Yaw angle) มุมโคลง หรือมุมพลิกคว่ำ (Roll angle) มุมกระดก (Pitch angle) มุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) ที่กระทำขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่ในสภาวะต่างๆ

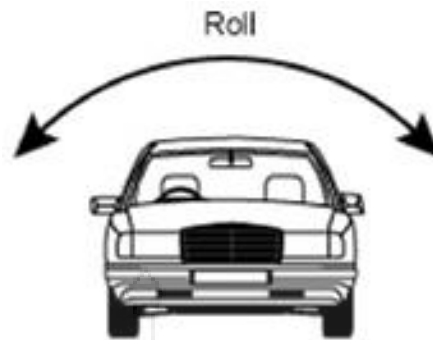
สำหรับมุมส่าย (Yaw angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านหน้าของรถยนต์ อันเป็นผลจากการสูญเสียการควบคุมของพวงมาลัย ทำให้รถยนต์เกิดการส่ายไปมาทั้งด้านซ้ายและด้านขวา พฤติกรรมการส่ายของรถยนต์แสดงดังรูปที่ 2.6

ส่วนกรณีมุมโคลง หรือมุมพลิกคว่ำ (Roll angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านหน้าของรถยนต์ อันเป็นผลจากความไม่สมดุลของแรงยกตัวในซีกด้านซ้ายและด้านขวาของรถยนต์ พฤติกรรมการโคลงของรถยนต์แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 พฤติกรรมการส่ายของรถยนต์

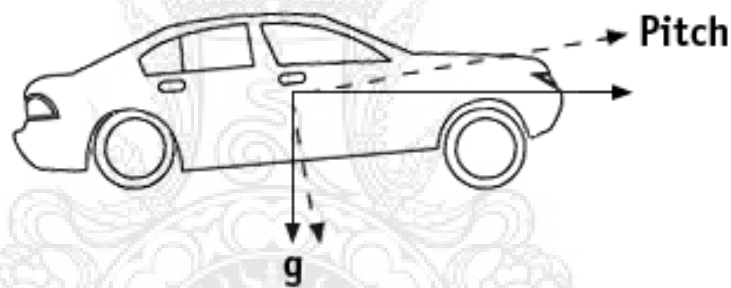
ที่มา : <http://www.sensorsmag.com>



รูปที่ 2.7 พฤติกรรมการโคลงของรถยนต์

ที่มา : <http://www.findmems.com>

มุมกระดก (Pitch angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านหน้าและด้านข้างของรถยนต์ อันเป็นผลจากสภาพของพื้นถนนที่มีระดับต่างกัน เกิดจากการเบรก และการบรรทุก พฤติกรรมการกระดกของรถยนต์แสดงดังรูปที่ 2.8



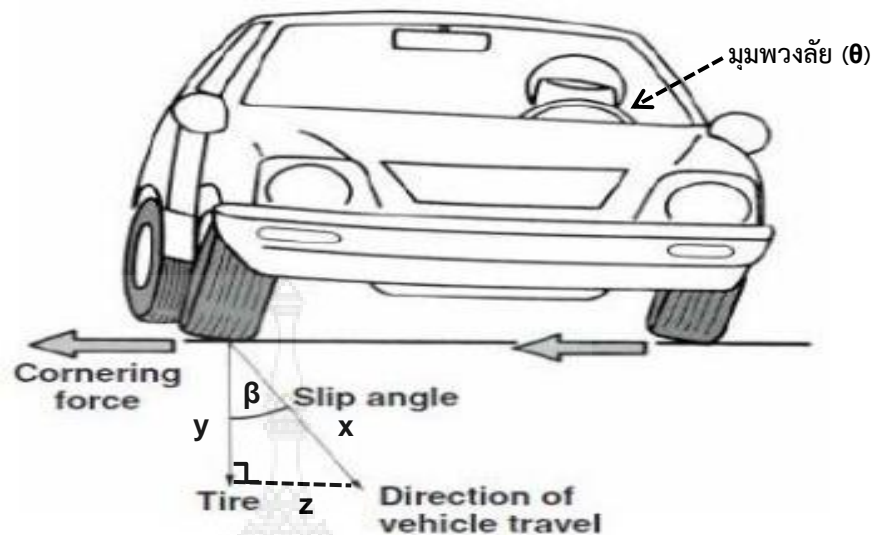
รูปที่ 2.8 พฤติกรรมการกระดกของรถยนต์

ที่มา : <http://www.sensormag.com>

มุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านข้างของรถยนต์ในขณะที่เข้าโค้ง อันเป็นผลจากล้อของรถยนต์พยายามที่ตั้งหรือผลักรถยนต์ให้เข้าและออกจากโค้ง ซึ่งโดยปกติแล้วมุมลื่นไถลด้านข้างจะมีค่าเป็นบวก (+) และลบ (-) อย่างไรก็ตามหากมีค่าเป็นบวก ยางรถยนต์ก็พยายามที่จะดึงเข้าไปในโค้ง ส่วนมีค่าเป็นลบยางรถยนต์ก็พยายามที่จะผลักรถยนต์ออกจากโค้ง สำหรับพฤติกรรมการลื่นไถลของรถยนต์แสดงดังรูปที่ 2.9

การพิจารณามุมลื่นไถลด้านข้าง Sideslip angle (β) ตามรูปที่ 2.9 จะพิจารณาจากมุมพวงมาลัยที่เปลี่ยนไป (θ) ที่ส่งผลให้ระยะของการลื่นไถลของล้อ Sideslip (x) เปลี่ยนตามโดยที่ระยะ y และ z เป็นระยะที่อ้างอิงที่ถูกกำหนดมาเพื่อพิจารณาค่า Sideslip (x) และ Sideslip angle (β) ซึ่งการคำนวณหาค่า Sideslip angle (β) แสดงดังสมการที่ 2.7

$$\text{Sideslip angle } (\beta) = \sin^{-1}(z/x) \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.9 พฤติกรรมการลื่นไถลของรถยนต์

ที่มา : <http://www.goldwingfacts.com>

2.2.5 มาตรฐานการทดสอบแรงเบรก (Standard of Brake force testing)

สำหรับมาตรฐานการทดสอบแรงเบรกในโครงการนี้ คณะผู้จัดทำได้พิจารณามาตรฐาน 2 มาตรฐาน คือ มาตรฐานกรมการขนส่งทางบก (ประเทศไทย) ตามประกาศลงวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2548 และมาตรฐาน FMCSA No.121 part 49CFR 393.52 (สหรัฐอเมริกา) โดยมาตรฐานกรมการขนส่งทางบกได้ระบุไว้ว่าแรงเบรกของรถยนต์ทุกชนิดต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักลงเพลา การตอบสนองของระบบเบรกต้องมีค่าน้อยกว่า 5 วินาที โดยส่วนใหญ่จะทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงเบรก (Roller test bench) ส่วนกรณีมาตรฐานของ FMCSA แสดงดังตารางที่ 2.2

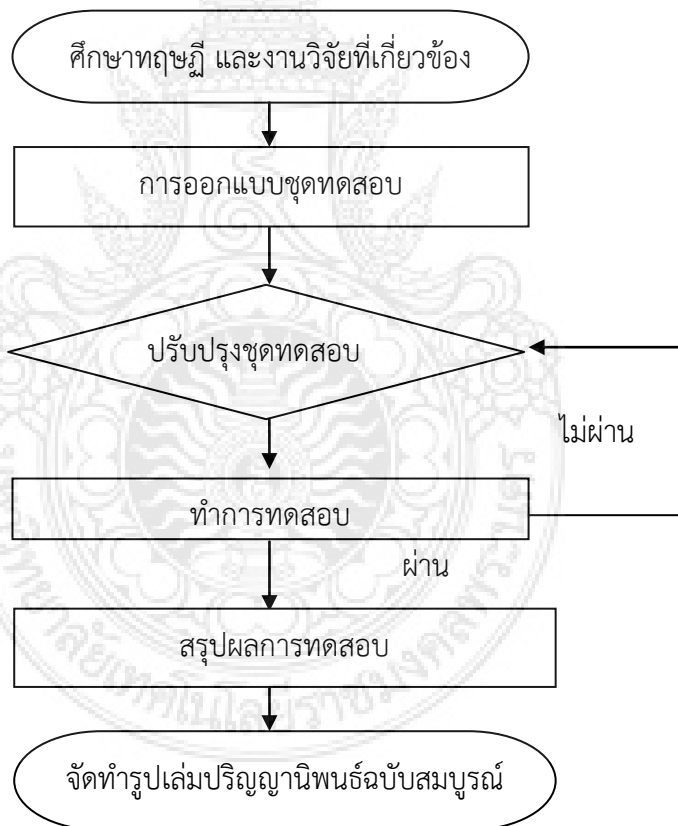
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดการทดสอบสมรรถนะการเบรกของรถยนต์ตามมาตรฐาน FMCSA [9]

Type of motor vehicle	Service brake systems		
	Braking force as a percentage of gross vehicle or combination weight [%]	Deceleration in [m/s ²]	Application and braking distance in meter from initial speed at 32.16 km/hr
A. Passenger-carrying vehicles:			
(1) Vehicles with a seating capacity of 10 persons or less, including driver and built on a passenger car chassis	65.2	6.4	6.09
(2) Vehicles with a seating capacity of more than 10 persons, including driver and built on a passenger car chassis ; vehicles built on a truck or bus chassis and having a manufacturer's GVWR of 10,000 pounds or less	52.8	5.181	7.62
(3) All other passenger-carrying vehicles	43.5	4.267	10.67

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

การจัดทำโครงการครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการควบคุมรถยนต์ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี และมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนการลงมือปฏิบัติและทดสอบ อีกทั้งเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้ สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานแสดงดังรูปที่ 3.1



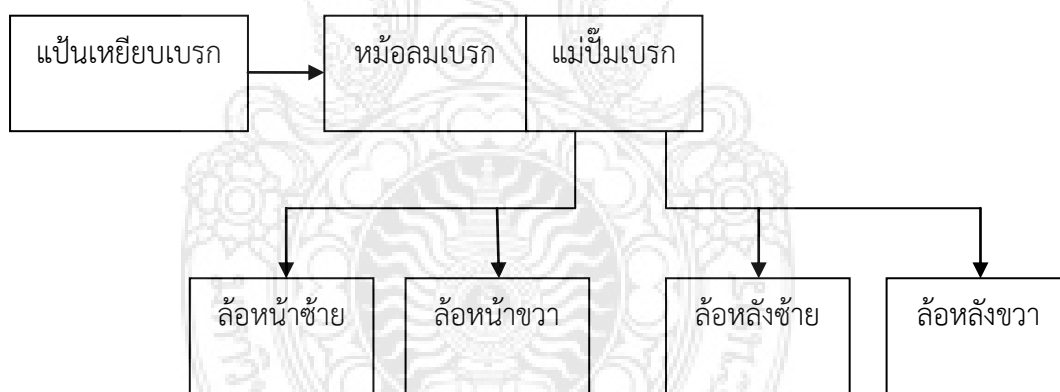
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบวงจรแบ่งแรงเบรก

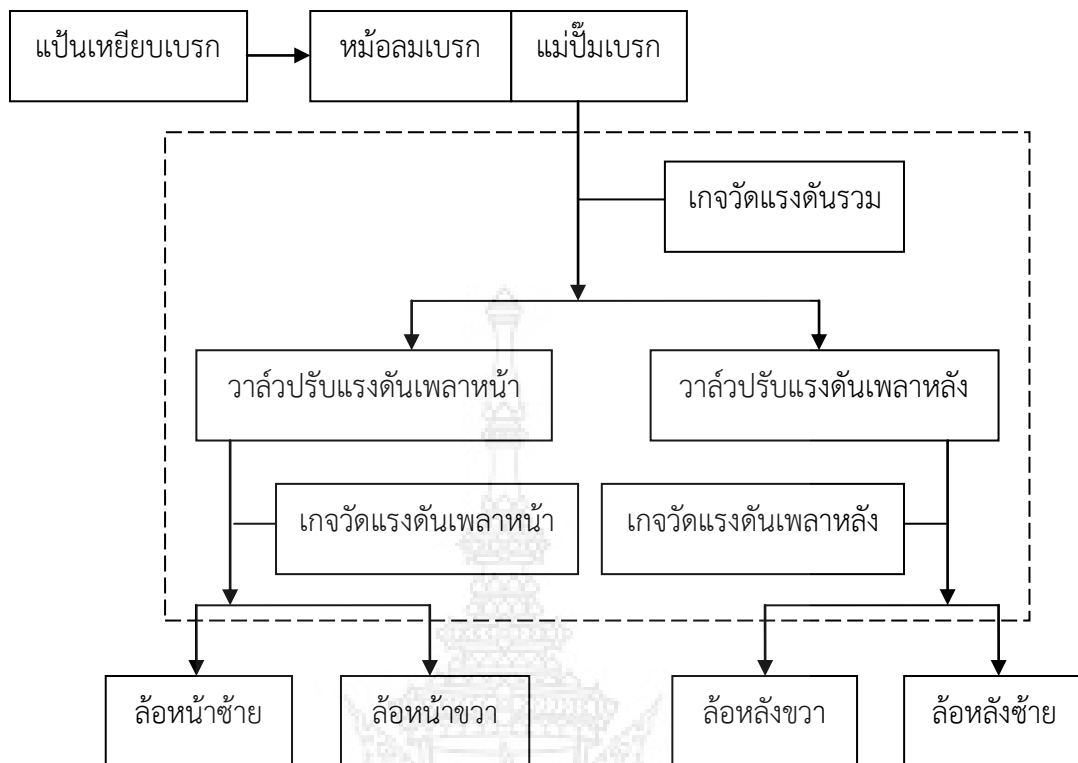
การออกแบบการกระจายแรงเบรก เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการจัดทำโครงการนี้ เนื่องจากโดยปกติแล้วรถยนต์ที่ใช้งานทั่วไปถูกออกแบบการกระจายแรงเบรกแบบคงที่ (Rigid Brake Force Distribution) ดังแสดงตามรูปที่ 3.2 ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบวงจรถ่ายแรงดันเบรกขึ้นมาใหม่ เพื่อให้สามารถศึกษาการกระจายแรงเบรกในสัดส่วนต่าง ๆ โดยวงจรถ่ายแรงดันของระบบเบรกที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.3

สำหรับวงจรถ่ายแรงดันเบรกของรถยนต์ปกติมีอุปกรณ์การทำงานหลัก คือ แป้นเหยียบเบรก หม้อลมเบรก กระจุกน้ำมันเบรก น้ำมันเบรก แม่ปั้มเบรก ท่อส่งน้ำมันเบรก ชุดเบรกหน้าและหลัง ดังแสดงตามรูปที่ 3.2

ส่วนกรณีของวงจรถ่ายแรงดันเบรกของรถยนต์ที่ออกแบบมาใช้ในการทดสอบของโครงการนี้มีอุปกรณ์การทำงาน คือ แป้นเหยียบเบรก หม้อลมเบรก กระจุกน้ำมันเบรก น้ำมันเบรก แม่ปั้มเบรก ท่อส่งน้ำมันเบรก ชุดเบรกหน้าและหลัง โดยมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์จากวงจรถ่ายปกติ คือ เกจวัดแรงดัน วาล์วปรับเปลี่ยนแรงดันเบรก แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 วงจรถ่ายแรงดันเบรกของรถยนต์ปกติ



รูปที่ 3.3 วงจรกระจายแรงดันเบรกของรถยนต์ที่ออกแบบและทดสอบ

หมายเหตุ : [] เป็นวงจรที่ผู้จัดทำโครงการออกแบบเพิ่มเติม

3.2 การออกแบบการทดสอบ

สำหรับการออกแบบการทดสอบในโครงการนี้ใช้กระบวนการทดสอบตามมาตรฐาน FMCSA No.121 part 49CFR 393.52 (สหรัฐอเมริกา) เป็นหลัก เพื่อใช้ในการศึกษาผลของเสถียรภาพการบังคับรถยนต์ อันเป็นผลจากการปรับเปลี่ยนสัดส่วนแรงเบรก ดังนั้นก่อนการทดสอบจำเป็นต้องมีการเตรียมการทั้งในส่วนของรถยนต์ อุปกรณ์ สถานที่ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับขั้นตอนการเตรียมการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การเตรียมรถยนต์ทดสอบ

การเตรียมรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เริ่มต้นจากการนำรถยนต์ไปเปลี่ยนระบบรองรับน้ำหนักให้เป็นแบบ Rigid body โดยการถอดโช้คที่เพลาหน้าและเพลาหลัง (Shock absorber) โดยกรณีของเพลาหน้าใช้เหล็กกล่องแทนที่โช้คบริเวณปีกนกหน้าดังรูปที่ 3.4 (ก) ส่วนเพลาหลังใช้สตรัทแทนที่โช้คดังรูปที่ 3.4 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 การปรับเปลี่ยนรถยนต์เป็นแบบ Rigid body (ก) เฟลาหน้า (ข) เฟลาหลัง

นอกจากนี้ทำการชั่งน้ำหนักลงเฟลาหน้าและเฟลาหลัง ด้วยเครื่องมือชั่งน้ำหนักรุ่น TXI-300 ตามรูปที่ 3.5 เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา โดยข้อมูลของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.1 ยิ่งไปกว่านั้นทางคณะผู้จัดทำได้นำรถยนต์ดังกล่าวไปทำการตั้งศูนย์ เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความแม่นยำมากที่สุด



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 การชั่งน้ำหนักลงเฟลา (ก) เฟลาหน้า (ข) เครื่องชั่งน้ำหนัก

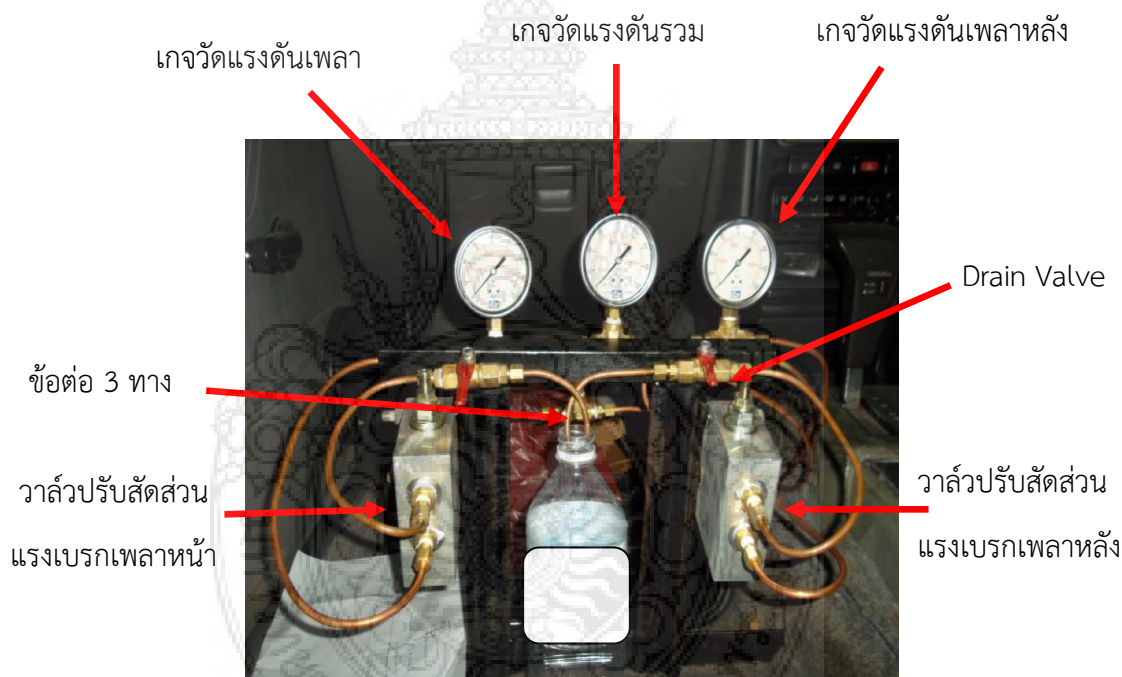
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ

รายการ	ค่าและข้อมูลจากการวัด		
ระบบเกียร์	อัตโนมัติ 4 สปีด		
ระบบพวงมาลัย	แบบ	เพาเวอร์	
ระบบกันสะเทือน	หน้า	แบบ Rigid body	
	หลัง	แบบ Rigid body	
ระบบเบรก	หน้า	ดิสก์เบรก	
	หลัง	ดรัมเบรก	
ล้อและยาง	ล้อ	อัลลอยด์ 13"	อัลลอยด์ 13"
	ขนาดล้อ	13"×5.5J	13"×5.5J
	ขนาดยาง	185/70R13	165/70R13
ขนาดและมิติ	ความยาวทั้งหมด (mm)	4,400	
	ความกว้างทั้งหมด (mm)	1,600	
	ความสูงทั้งหมด (mm.)	1,400	
	ระยะฐานล้อ (mm)	2,530	
	ระยะห่างระหว่างล้อคู่หน้า/หลัง (mm)	1,400	1,395
	น้ำหนักลงเพลา (kg)/(N)	1,080/10,595	
	หน้า (ซ้าย:ขวา)	(309 : 330)	639
		(3,032 : 3,237)	6,269
	หลัง (ซ้าย:ขวา)	(210 : 231)	441
		(2,060 : 2,266)	4,326
สัดส่วนแรงเบรก	หน้า : หลัง	(60 : 40)	

หมายเหตุ : ข้อมูลจำเพาะของรถทดสอบได้จากการวัด

3.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ปรับตั้งแรงดันเบรก

การติดตั้งอุปกรณ์ปรับตั้งแรงดันเบรกบริเวณเบาผู้โดยสารด้านหน้า ซึ่งมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์แบ่งแรงดันน้ำมันเบรกระหว่างเพลาหน้าและเพลาหลัง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิกส์ ทำให้เกิดปัญหาเรื่องคุณสมบัติการกัดกร่อนจากการใช้น้ำมันเบรกซิลิโคนบริเวณชุดแม่ปั๊ม กระบอกเบรก (เฉพาะดรัมเบรกหลัง) และคาลิปเปอร์ (เฉพาะดิสก์เบรกหน้า) ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงเปลี่ยนสารตัวกลางในระบบเบรกจากน้ำมันเบรกตามมาตรฐานด้านความปลอดภัยสำหรับน้ำมันเบรกของกรมการขนส่งแห่งสหรัฐอเมริกา Department of Transportation (DOT) ทั้งนี้ผู้จัดทำเปลี่ยนจากมาตรฐาน DOT 3 ไปเป็นน้ำมันไฮดรอลิกส์เบอร์ 32 (AW Hydraulic oil ISO 32) อย่างไรก็ตามสามารถยืดอายุการใช้งานของซิลิโคนดังกล่าว สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ปรับตั้งแรงดันเบรกแสดงดังรูปที่ 3.6



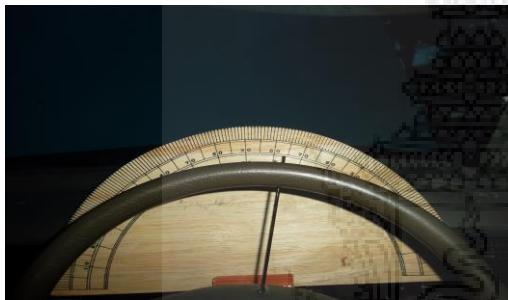
รูปที่ 3.6 การติดตั้งอุปกรณ์ปรับสัดส่วนแรงเบรก

3.2.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัย

เครื่องมือวัดมุมพวงมาลัยเป็นสิ่งจำเป็นอีกประการหนึ่งในการพิจารณาเสถียรภาพของรถยนต์ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการเคลื่อนที่ของมุมพวงมาลัยถูกนำไปเปรียบเทียบกับมุมล้อที่แปรผันตามการหมุนของพวงมาลัย และถูกใช้มาคำนวณหาค่ามุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) ที่เป็นอย่างอื่นปัจจัยในการชี้วัดความเสถียรของรถยนต์ขณะทดสอบ โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัยและการเปรียบเทียบค่าของมุมลื่นไถลด้านข้างแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบค่าของมุมลื่นไถลด้านข้าง

(ก) มุมพวงมาลัยที่เปลี่ยนไป (ข) ระยะของมุมล้อ

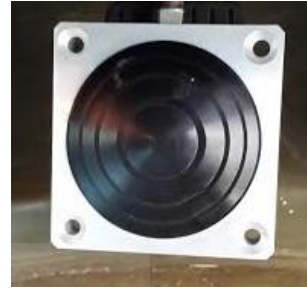
3.2.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วง

เครื่องมือวัดความหน่วง (VC 4000DAQ) ถูกติดตั้งบริเวณกระจกหน้าด้านในของรถ เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลความหน่วงที่เกิดขึ้นระหว่างการเบรก นอกจากนี้ยังสามารถใช้เก็บข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาเสถียรภาพของรถ เช่น ระยะทางการเบรก เวลาที่ใช้ในการเบรก มุมสาย (Yaw angle) และ มุมกระดก (Pitch angle) การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วงแสดงดังรูปที่ 3.9 (ก)

อย่างไรก็ตามคู่มือการใช้งานของ (VC 4000DAQ) แสดงถึงค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (Sampling rate) ที่ 100 Hz หรือมีความถี่ในการเก็บผลข้อมูล 100 ครั้งต่อวินาที ซึ่งผลที่ได้จากแรงเหยียบเบรกที่ส่งผ่านตัวตรวจจับแรงเหยียบเบรกตามรูปที่ 3.9 (ข) ส่งผลให้เกิด ความหน่วง ดังนั้นผลของระยะทางการเบรก เวลาที่ใช้ในการเบรก และความเร็ว ที่แสดงในข้อมูลการทดสอบเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของเครื่องมือ ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องมือ (VC 4000DAQ) ยังสามารถเปรียบเทียบความเร็วของรถยนต์ ขณะการทดสอบด้วยระบบระบุพิกัดตำแหน่งดาวเทียม (GPS) อีกด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วง

(ก) เครื่อง VC 4000DAQ (ข) ตัวตรวจจับแรงเหวี่ยงเบรก

3.2.5 การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์ (VDO)

กล้องบันทึกภาพยนตร์ถูกใช้เพื่อประกอบการพิจารณาถึงพฤติกรรมคนขับ มุมพวงมาลัย และการสิ้นไกลของล้อ โดยกล้องบันทึกภาพยนตร์ที่ใช้มีจำนวนทั้งสิ้น 4 ตัว ซึ่งกล้องบันทึกพฤติกรรมคนขับและพวงมาลัยถูกติดตั้งบริเวณห้องโดยสาร ส่วนกล้องบันทึกการสิ้นไกลของล้อถูกติดตั้งบริเวณภายนอกของรถ ดังแสดงตามรูปที่ 3.10



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.10 การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์

(ก) พฤติกรรมคนขับ (ข) มุมพวงมาลัย (ค) การสิ้นไกลของล้อหน้า (ง) การสิ้นไกลของล้อหลัง

3.3 การคำนวณ

3.3.1 การคำนวณหาแรงเบรกที่เพลาหน้าและเพลาหลัง
จากสมการที่ (2.2)

$$F_{BF} = F_F \times \mu_{road}$$

กำหนดให้ μ_{road} มีค่า 0.85 (เป็นถนนคอนกรีตแห้งจากตารางที่ 2.1)

$$F_F \text{ มีค่า } 309 + 330 = 639 \text{ kg หรือ } 6,269 \text{ N (จากตารางที่ 3.1)}$$

แทนค่า $F_{BF} = 6,269 \times 0.85 = 5,328 \text{ N}$

ดังนั้นแรงเบรกที่เพลาหน้ามีค่า 5,328 N ซึ่งที่มามีค่ามากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักลงเพลตาม
มาตรฐานกรมการขนส่งแห่งประเทศไทย
จากสมการที่ (2.3)

$$F_{BR} = F_R \times \mu_{road}$$

กำหนดให้ μ_{road} มีค่า 0.85 (เป็นถนนคอนกรีตแห้งจากตารางที่ 2.1)

$$F_R \text{ มีค่า } 210 + 231 = 441 \text{ kg หรือ } 4,326 \text{ N (จากตารางที่ 3.1)}$$

แทนค่า $F_{BR} = 4,326 \times 0.85 = 3,677 \text{ N}$

ดังนั้นแรงเบรกที่เพลาหลังมีค่า 3,677 N ซึ่งที่มามีค่ามากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักลงเพลตาม
มาตรฐานกรมการขนส่งแห่งประเทศไทย

3.3.2 การคำนวณหาแรงเบรกรวมของรถยนต์
จากสมการที่ (2.1)

$$F_B = F_{BF} + F_{BR}$$

แทนค่า $F_B = 5,328 + 3,677 = 9,005 \text{ N}$

ดังนั้นแรงเบรกรวมของรถยนต์มีค่า 9,005 N

3.3.3 การคำนวณแรงเบรกตามสัดส่วนแรงเบรก (เพลาหน้า : เพลหลัง)
กรณีสัดส่วนแรงเบรกเพลาหน้า 10 : เพลหลัง 90
จากสมการที่ (2.4)

$$\begin{aligned} F'_{BF} &= \mu_{road} \times m \times g \times i_F \\ &= 0.85 \times 1,080 \times 9.81 \times 0.1 = 900.558 \text{ N} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.5)

$$\begin{aligned} F'_{BR} &= \mu_{road} \times m \times g \times i_R \\ &= 0.85 \times 1,080 \times 9.81 \times 0.9 = 8,105.022 \text{ N} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตามผลการคำนวณแรงเบรกตามสัดส่วนทุก ๆ สัดส่วนแรงเบรกแสดงไว้ที่ตารางที่ 4.2

3.3.4 การคำนวณหา Dynamic load transfer

จากสมการที่ (2.4)

$$\Delta F = mah/L$$

กำหนดให้ a มีค่า 0.35 (เป็นค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ VC 4000DAQ)

m มีค่า 1080 kg หรือ 10595 N (จากตารางที่ 3.1)

h มีค่า 0.42 (เป็นการตั้งสมมุติฐานว่าระยะจุดศูนย์ถ่วงในแนวตั้งคิดเป็นร้อยละ 30)

L มีค่า 2.53 m (จากตารางที่ 3.1)

แทนค่า $\Delta F = 10,595 \times 0.35 \times 0.42 / 2.53 = 616 \text{ N}$

ดังนั้นค่า Dynamic load transfer มีค่า 616 N

3.3.5 การคำนวณหา Sideslip angle

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เรื่องการคำนวณหาค่า Sideslip angle (β) ที่ผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมพวงมาลัย (θ) และมุมพวงมาลัยดังกล่าวส่งผลให้ค่า Sideslip (z) เปลี่ยนแปลงโดยค่าจากสมการที่ (2.7) Sideslip angle (β) = $\sin^{-1}(z/x)$ การคำนวณหาค่า Sideslip angle แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การคำนวณหาค่า Sideslip angle (β)

มุมพวงมาลัย (θ)	ระยะ (cm)		Sideslip (z) (m/km)	Sideslip angle (β)
	x	Y		
0	40	40	0	0
10	40	40	1.8	2.5791
20	40	40	2.8	4.0139
30	40	40	3.6	5.1636
40	40	40	4	5.7391
50	40	40	4.5	6.4594
60	40	40	5.5	7.9032
70	40	40	5.9	8.4820
80	40	40	6.5	9.3520
90	40	40	7.5	10.8069

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

การทดสอบในโครงการนี้มี 2 หัวข้อหลัก คือ ความสามารถของระบบเบรกและเสถียรภาพของรถยนต์ ซึ่งเป็นผลมาจากแรงเบรกในสัดส่วนต่าง ๆ สำหรับความสามารถของระบบเบรกรู้สึกว่าได้จาก ความหน่วง (Deceleration) ระยะทางการเบรก (Braking distance) และเวลาที่ใช้ในการเบรก (Time of braking) ส่วนกรณีของเสถียรภาพของรถยนต์ที่วัดได้จาก มุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) มุมส่าย (Yaw angle) มุมกระดก (Pitch angle) และการลื่นไถลของล้อ (Wheel lock-up) สำหรับเงื่อนไขการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขการทดสอบ

สัดส่วน แรงเบรก	ความเร็ว เริ่มต้น เบรก	ความสามารถ			เสถียรภาพ			
		ความหน่วง	ระยะทาง	เวลา	Sideslip	Yaw	Pitch	Wheel lock-up
0:100	32 km/hr ตาม มาตรฐาน FMCSA							
10:90								
20:80								
30:70								
40:60								
50:50		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
60:40								
70:30								
80:20								
90:10								
100:0								

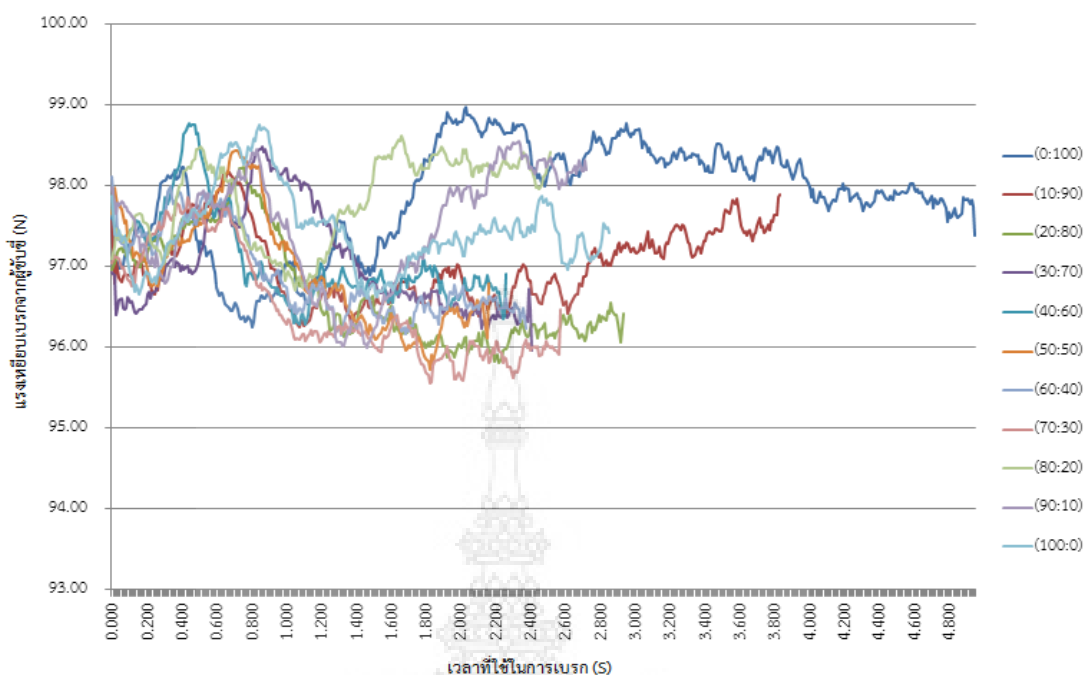
4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการเบรก

ความสามารถในการเบรกเป็นความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความหน่วง ระยะทางในการเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรก ซึ่งเป็นผลมาจากค่าแรงจากการเหยียบเบรกของผู้ขับขี่ โดยความสามารถในการเบรกแสดงดังตารางที่ 4.2 เพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูลการทดสอบ ทางคณะผู้จัดทำจึงได้นำเสนอความสัมพันธ์ของพฤติกรรมกรรมการเหยียบเบรกในแต่ละสัดส่วนดังแสดงตามรูปที่ 4.1 โดยความสัมพันธ์ของพฤติกรรมกรรมการเหยียบเบรกมีรายละเอียดในการพิจารณา คือ แรงเหยียบที่เกิดขึ้นจากคนขับ ความหน่วง ระยะเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรกเป็นค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด VC 4000DAQ ซึ่งค่าของความหน่วงนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลง พฤติกรรมของรถยนต์ อันเป็นผลจากแรงเหยียบของคนขับ ส่วนระยะเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรกเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของเครื่องมือ VC 4000DAQ ดังกล่าว

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความหน่วง ระยะทาง และเวลาที่ใช้ในการเบรก ซึ่งมีผลมาจากการเหยียบเบรกของผู้ขับขี่

สัดส่วน แรงเบรก หน้า : หลัง	แรงเหยียบ (N)		ความหน่วง (m/s^2)		แรงเบรก (N)		ระยะ เบรก (m)	เวลาที่ใช้ ในการ เบรก (S)
	เฉลี่ย	สูงสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	หน้า	หลัง		
0:100	97.67	98.98	-0.0858	-0.1592	0	9,005.58	31.97	4.810
10:90	96.78	98.18	-0.1010	-0.1789	900.55	8,105.02	23.52	3.690
20:80	96.37	98.23	-0.1241	-0.1944	1,801.11	7,204.46	17.83	2.820
30:70	96.65	98.48	-0.1487	-0.1967	2,701.67	6,303.90	15.03	2.330
40:60	96.67	98.77	-0.1713	-0.2706	3,602.23	5,403.34	14.85	2.320
50:50	96.51	98.43	-0.1738	-0.2589	4,502.69	4,502.79	13.69	2.180
60:40	96.49	98.11	-0.1600	-0.2444	5,403.34	3,602.23	14.83	2.240
70:30	96.12	97.86	-0.1483	-0.2622	6,303.90	2,701.67	15.38	2.470
80:20	97.43	98.61	-0.1432	-0.2744	7,204.46	1,801.11	13.67	2.050
90:10	97.14	98.56	-0.1402	-0.2633	8,105.02	900.55	16.21	2.560
100:0	97.12	98.76	-0.1309	-0.2597	9,005.58	0	16.93	2.720

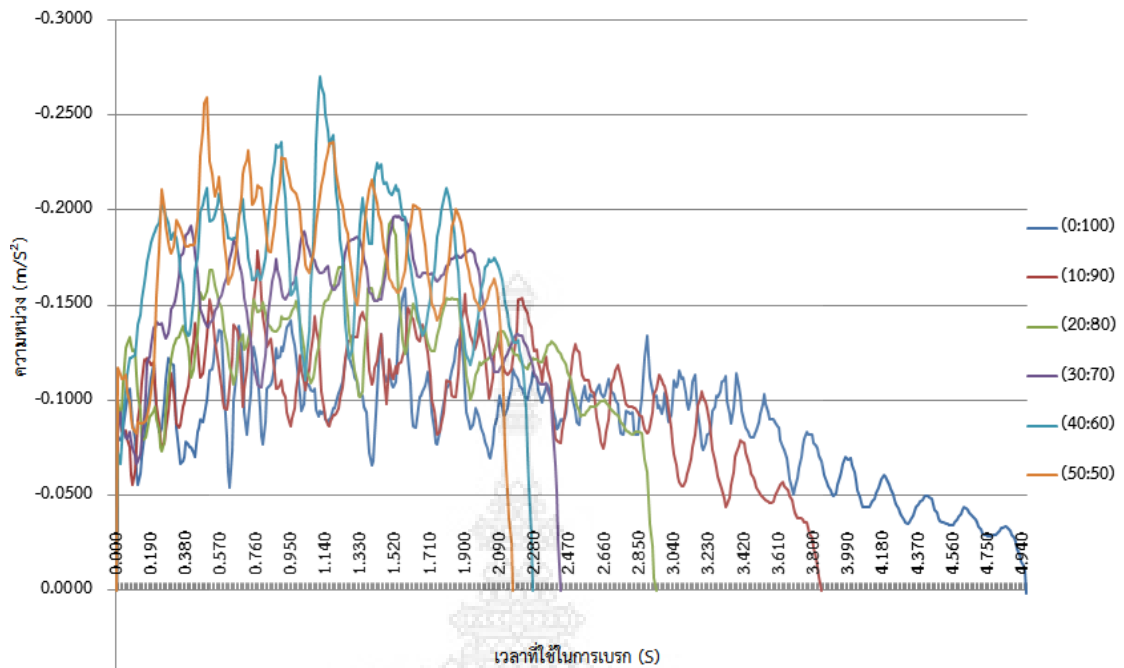
ผลของการทดสอบจากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่า ความหน่วงสูงสุด เกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 80:20 โดยส่งผลให้ระยะเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรกต่ำที่สุด ในขณะที่ความหน่วงจากการเบรกต่ำที่สุด เกิดขึ้นที่สัดส่วน 0:100 ทำให้ระยะเบรกและเวลาที่ใช้ในการเบรกสูงสุด อย่างไรก็ตามพฤติกรรมแรงเหยียบเบรกจากผู้ขับขี่ ในทุก ๆ สัดส่วน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเหยิบและเวลาที่ใช้ของสัดส่วน 0:100 ถึง 100:0

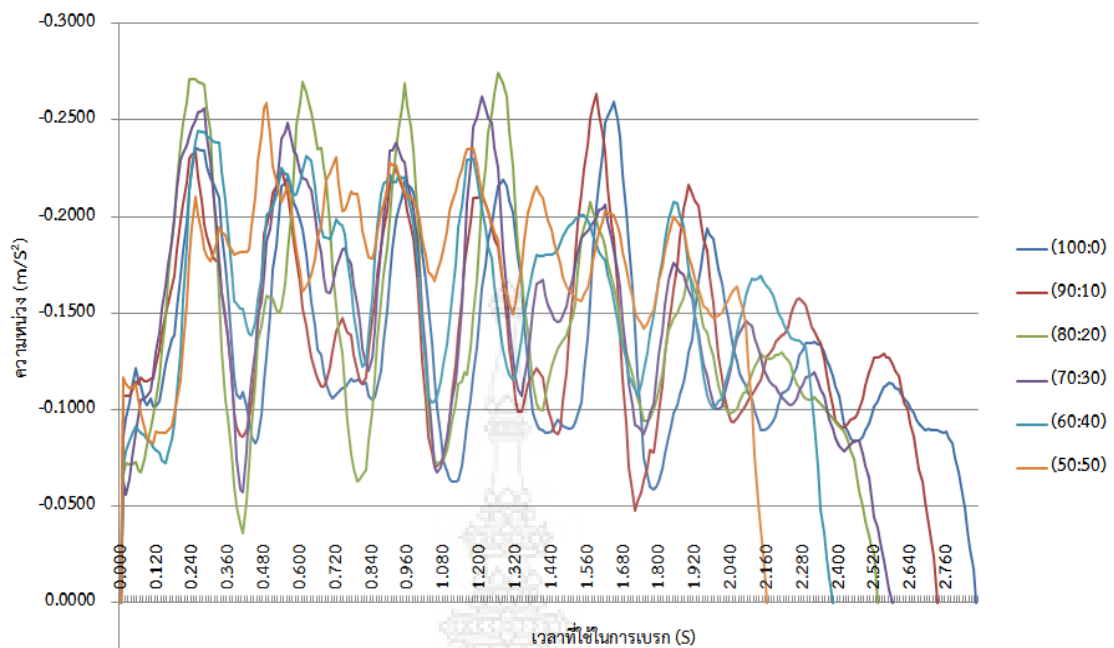
จากรูปที่ 4.1 เปิดเผยให้เห็นว่าในทุก ๆ สัดส่วนแรงเบรก ค่าแรงเบรกอันเกิดมาจากผู้ขับซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพฤติกรรมของผู้ขับซึ่งที่มีการกด ปล่อย และรักษาแป้นเบรกไว้ ยิ่งไปกว่านั้นผลของแรงเหยิบเฉลี่ยในทุก ๆ สัดส่วนแรงเบรกมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ผลที่ได้จากการทดสอบจึงมีความน่าเชื่อถือ

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ในกรณีของความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรก เพื่อก่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้น ทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว 3 กรณี คือ สัดส่วนแรงเบรกหน้าที่มีค่าน้อยกว่าถึงเท่ากับสัดส่วนแรงเบรกหลัง (0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 50:50) ดังแสดงรูปที่ 4.2 สัดส่วนแรงเบรกหน้าที่มีค่ามากกว่าถึงเท่ากับสัดส่วนแรงเบรกหลัง (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50) ตามรูปที่ 4.3 และกรณีการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแรงเบรกมากที่สุดที่เพลหน้า (0:100) ค่าสัดส่วนแรงเบรกลดที่เพลหน้า (100:0) ค่าสัดส่วนแรงเบรกที่เพลหน้าเท่ากับเพลหลัง (50:50) และค่าสัดส่วนแรงเบรกตามน้ำหนักลงเพลของรถยนต์ทดสอบ (60:40) ตามลำดับ โดยการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงตามรูปที่ 4.4



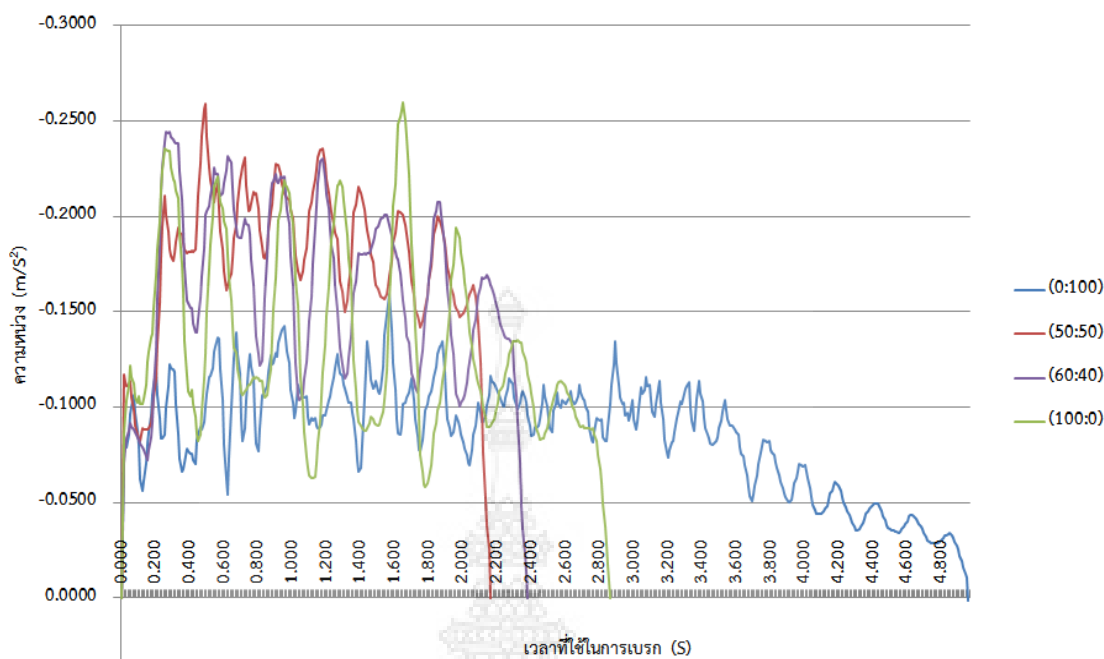
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรกกรณีสัดส่วนแรงเบรกหน้าที่มีค่าน้อยกว่าถึงเท่ากับสัดส่วนแรงเบรกหลัง

จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความหน่วงสูงสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 40:60 และความหน่วงต่ำสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วน 0:100 โดยภายใต้สัดส่วนดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการเบรกมากที่สุดและส่งผลกระทบต่อระยะเบรกยาวที่สุดอีกด้วย ส่วนกรณีของเวลาที่ใช้ในการเบรคน้อยสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 50:50 ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเบรคน้อยสุดควรจะปรากฏขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 40:60 เนื่องจากค่าความหน่วงสูงสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนนี้ อย่างไรก็ตามผลของเวลาในการเบรคนที่น้อยที่สุด เป็นผลสืบเนื่องมาจากค่าความหน่วงภายใต้สัดส่วนแรงเบรก 50:50 มีความสม่ำเสมอมากกว่าในสัดส่วนอื่น ๆ อันเป็นผลจากพฤติกรรมของผู้ขับขี่



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรกกรณีสัดส่วนแรงเบรกหน้าที่มีค่ามากกว่าถึงเท่ากับสัดส่วนแรงเบรกหลัง

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่าความหน่วงต่ำสุดและสูงสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 60:40 และ 80:20 ตามลำดับ ส่วนกรณีของเวลาที่ใช้ในการเบรกลดน้อยสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 50:50 เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรกกรณีสัดส่วนแรงเบรกหน้าที่มีค่าน้อยกว่าถึงเท่ากับสัดส่วนแรงเบรกหลังตามรูปที่ 4.2 ซึ่งหากสังเกตค่าความแตกต่างของความหน่วงภายใต้สัดส่วนแรงเบรก 50:50 ทั้งรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่ามีความแตกต่างน้อยกว่าสัดส่วนแรงเบรกอื่น ๆ ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการเบรกมากที่สุดคือสัดส่วนแรงเบรก 100:0 จากผลของความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สามารถตั้งข้อสังเกตหรือสมมุติฐานได้ว่า หากไม่มีแรงเบรกมากกระทำที่เพลาใด ๆ ผลของเวลาที่ใช้ในการเบรกจะมีค่ามาก ซึ่งส่งผลให้ระยะทางเบรกยาวตามไปด้วย



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรก

ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นถึงกรณีการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและที่ใช้ในการเบรกในสัดส่วนต่าง ๆ คือ สัดส่วนแรงเบรกมากที่สุดที่เพลาน้ำ (100:0) สัดส่วนแรงเบรกลดน้อยที่สุดที่เพลาน้ำ (0:100) สัดส่วนแรงเบรกที่เพลาน้ำเท่ากับเพลาลัง (50:50) และสัดส่วนแรงเบรกตามน้ำหนักของเพลาน้ำของรถยนต์ทดสอบ (60:40) ตามลำดับ โดยการเปรียบเทียบสัดส่วนที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4.4

ผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหน่วงและเวลาที่ใช้ในการเบรกพบว่าเวลาที่ใช้ในการเบรกลดน้อยที่สุดจนกระทั่งมากที่สุดเป็นของสัดส่วนแรงเบรก 50:50, 60:40, 100:0 และ 0:100 ตามลำดับ ซึ่งผลของความสัมพันธ์ที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลจำเพาะในด้านน้ำหนักของเพลาน้ำของรถยนต์ทดสอบที่น้ำหนักของเพลาน้ำมีค่ามากกว่าน้ำหนักของเพลาลัง ดังนั้นหากสัดส่วนแรงเบรกที่เพลาน้ำมีค่ามากกว่าเพลาลัง ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเบรกและระยะเบรกลดน้อยกว่าสัดส่วนแรงเบรกที่เพลาลังมีค่ามากกว่าเพลาน้ำ อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการเบรกของสัดส่วนแรงเบรก 60:40 ควรมีค่าต่ำกว่าสัดส่วนแรงเบรก 50:50 จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งนี้หากพิจารณาถึงค่าของเวลาในการเบรกของทั้ง 2 สัดส่วนมีค่าต่างกันเพียง 0.2 วินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 8.3 เท่านั้น

4.2 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์

ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์เป็นวัตถุประสงค์หลักในการจัดทำโครงการนี้ ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์เป็นความสัมพันธ์ต่อเนื่องจากการทดสอบความสามารถในการเบรกจากสัดส่วนแรงเบรกต่าง ๆ โดยพิจารณาถึงตัวแปรหลักต่อไปนี้ คือ มุมส่าย (Yaw angle) มุมกระดก (Pitch angle) การลื่นไถลของล้อ (Wheel lock-up) รวมไปถึงค่าการลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip) อันเป็นผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงมุมพวงมาลัยของรถยนต์ขณะทำการทดสอบ (θ) ที่ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นมุมบิดของล้อ (β) สำหรับผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์แสดงดังตารางที่ 4.3 ส่วนในกรณีผลของการลื่นไถลของล้อทั้ง 4 ล้อแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์

สัดส่วนแรงเบรก หน้า:หลัง	Max. Yaw angle (deg/s)		Max. Pitch angle (deg/s)		มุมพวงมาลัย		
	(+)	(-)	(+)	(-)	θ	β	Sideslip (m/km)
0:100	3.8	5.1	11.0	12.1	5	1.2895	0.9
10:90	3.0	2.7	9.4	14.9	8	2.0632	1.4
20:80	3.6	8.9	7.4	18.7	10	2.5791	1.8
30:70	2.7	6.7	6.0	9.7	15	3.2965	2.3
40:60	4.9	3.8	8.1	11.2	32	5.2787	3.7
50:50	6.6	3.9	9.7	8.3	2	0.5158	0.4
60:40	6.1	2.6	8.4	8.8	7	1.8053	1.3
70:30	4.2	2.1	9.6	13.5	2	0.5158	0.4
80:20	4.3	9.5	10.5	8.2	23	4.3588	3.0
90:10	6.9	3.6	9.3	7.7	48	6.3153	4.4
100:0	4.2	6.5	8.5	10.4	60	7.9032	5.5

หมายเหตุ : Yaw angle (+) คือ การส่ายของรถไปทางด้านขวาจากตำแหน่งศูนย์กลาง

Yaw angle (-) คือ การส่ายของรถไปทางด้านซ้ายจากตำแหน่งศูนย์กลาง

Pitch angle (+) คือ การกระดกขึ้นของรถจากตำแหน่งศูนย์กลาง

Pitch angle (-) คือ การกดตัวลงของรถจากตำแหน่งศูนย์กลาง

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าการส่ายของรถยนต์ไปด้านขวา (+) สูงสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 90:10 ส่วนการส่ายของรถยนต์ไปด้านซ้าย (-) สูงสุดเกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 80:20 สำหรับการกระดกขึ้นของรถสูงสุด (+) และการกดตัวลงของรถ (-) เกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 0:100 และ 20:80 ตามลำดับ ทั้งนี้พฤติกรรมของ Yaw angle และ Pitch angle สามารถใช้ในการประเมินเสถียรภาพการควบคุมรถยนต์ในสภาวะการขับขี่แบบต่าง ๆ ได้ ซึ่งหากค่า Yaw angle และ Pitch angle มีค่าอยู่ในระดับวิกฤตส่งผลให้การควบคุมการทรงตัวของรถยนต์ยากขึ้น และอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่รวมถึงผู้โดยสารและสิ่งแวดล้อมรอบข้าง สำหรับพฤติกรรมการส่ายของรถยนต์ และพฤติกรรมการกระดกแสดงดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.15

กรณีของการเปลี่ยนแปลงมุมพวงมาลัย (θ) เป็นผลทำให้การบิดของมุมล้อเปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งหากมีค่าสูงเกินกว่าค่าวิกฤต ทั้งนี้นิยมใช้เป็นค่า Sideslip มีหน่วยเป็น m/km โดยค่าปกติของ Sideslip มีค่าระหว่าง 0.6 - 5 m/km [10] อย่างไรก็ตามในการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์ในสัดส่วนแรงเบรก 100:0 มีค่า Sideslip สูงสุดที่ 5.5 m/km ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงต่อผู้ขับขี่ รวมไปถึงสิ่งแวดล้อมรอบข้าง เช่น ผู้โดยสาร คนเดินถนน และผู้ขับขี่รถคันอื่น ๆ เป็นต้น

ตารางที่ 4.4 ผลการลื่นไถลของล้อที่สัดส่วนแรงเบรกต่าง ๆ

สัดส่วนแรงเบรก	การลื่นไถลของล้อ			
	หน้าซ้าย	หน้าขวา	หลังซ้าย	หลังขวา
0:100	x	x	x	x
10:90	x	x	x	x
20:80	x	x	x	x
30:70	x	x	x	x
40:60	x	x	x	x
50:50	x	x	x	x
60:40	√	x	x	x
70:30	√	x	x	x
80:20	√	x	x	x
90:10	√	x	x	x
100:0	x	x	x	x

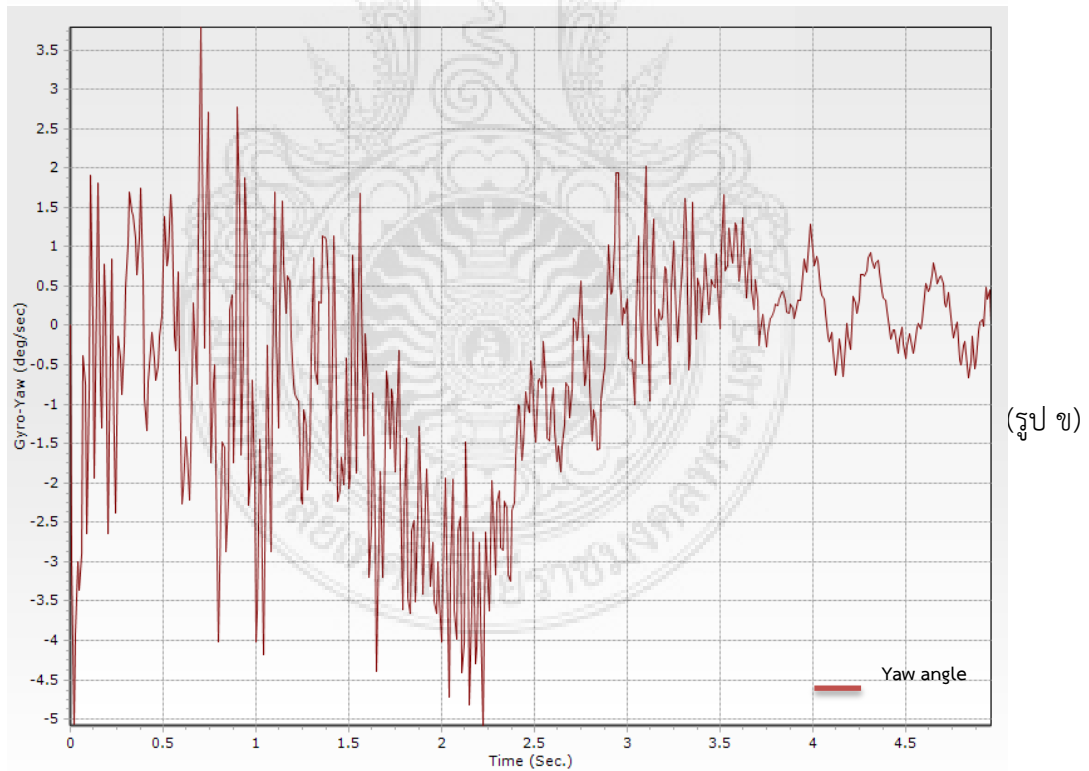
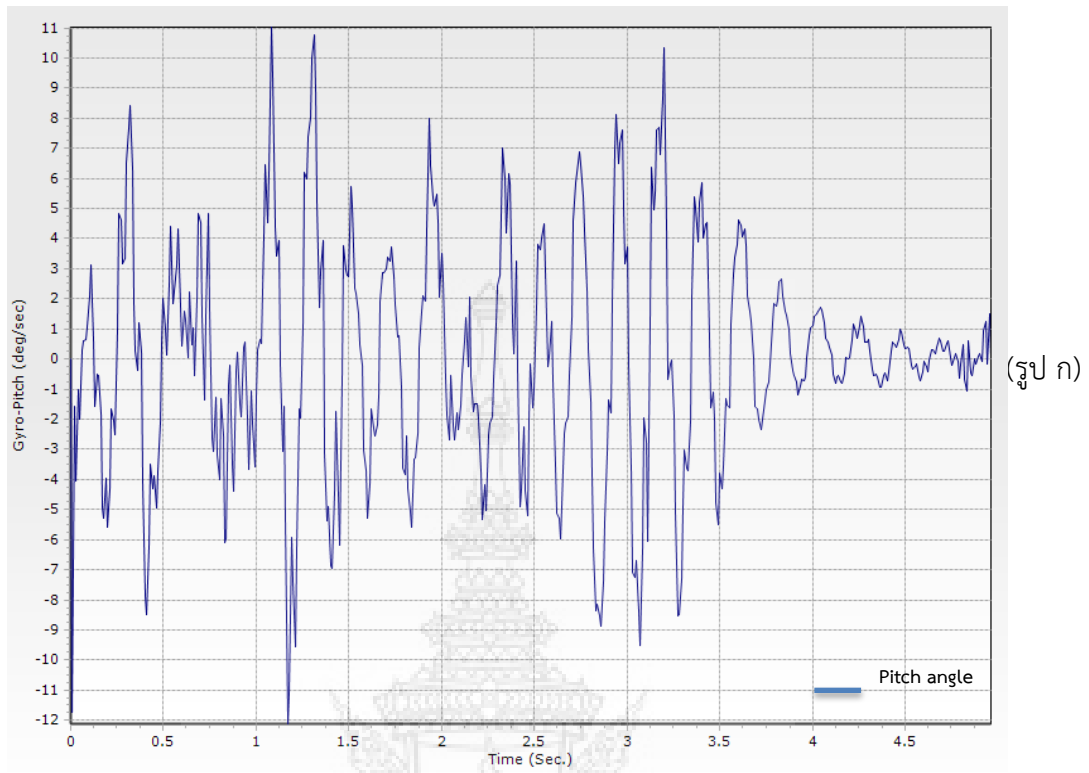
หมายเหตุ : x คือ เกิดการลื่นไถลของล้อ

√ คือ ไม่เกิดการลื่นไถลของล้อ

สำหรับผลการลื่นไถลของล้อที่สัดส่วนแรงเบรกต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.4 สะท้อนให้เห็นถึงว่าในทุก ๆ สัดส่วนแรงเบรกที่ทำการทดสอบ ล้อมีการลื่นไถลทั้งสิ้น โดยที่สัดส่วนแรงเบรก 0:100, 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50 และ 100:0 เกิดการลื่นไถลในทุก ๆ ล้อ ส่วนสัดส่วนแรงเบรก 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ไม่เกิดการลื่นไถลเฉพาะล้อหน้าด้านซ้ายเท่านั้น อย่างไรก็ตามผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าล้อเกิดการลื่นไถลในทุก ๆ สัดส่วนแรงเบรก เป็นผลมาจากระบบเบรกที่ถูกออกแบบไว้เป็นระบบปิดจึงมีความดันในระบบค้างอยู่ (Storage pressure) แม้ว่าการแบ่งสัดส่วนการเบรกให้มีค่าเป็นศูนย์ ในกรณี 0:100 และ 100:0 แล้วก็ตาม หากแต่ในทางปฏิบัติยังมีความดันในระบบที่ค้างอยู่ซึ่งถูกใช้เพื่อเตรียมความดันให้พร้อมกับการใช้งาน ดังนั้น ในกรณีการแบ่งสัดส่วนแรงเบรก 0:100 และ 100:0 จึงยังคงมีแรงดันค้างในระบบส่งผลให้ล้อเกิดการลื่นไถลได้ จากแรงเบรกที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบเบรก ซึ่งในกรณีนี้สัดส่วนแรงเบรก 0:100 และ 100:0 กลไกของชุดเบรกจะไม่ทำงานก็ตาม หากแต่สัดส่วนแรงเบรก 100:0 จะส่งผลต่อความเสี่ยงของผู้ขับขี่ เนื่องจากค่า Sideslip เกินค่าวิกฤตตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามการลื่นไถลของล้อควรเกิดขึ้นในทุก ๆ สัดส่วนแรงเบรก และทุก ๆ ล้อหากถนนที่ทำการทดสอบมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเดียวกัน ซึ่งในกรณีนี้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน อาจมีความแตกต่างกันบางในการทดสอบแต่ละครั้ง ดังนั้นผลการลื่นไถลของล้อจึงเป็นไปตาม ตารางที่ 4.4

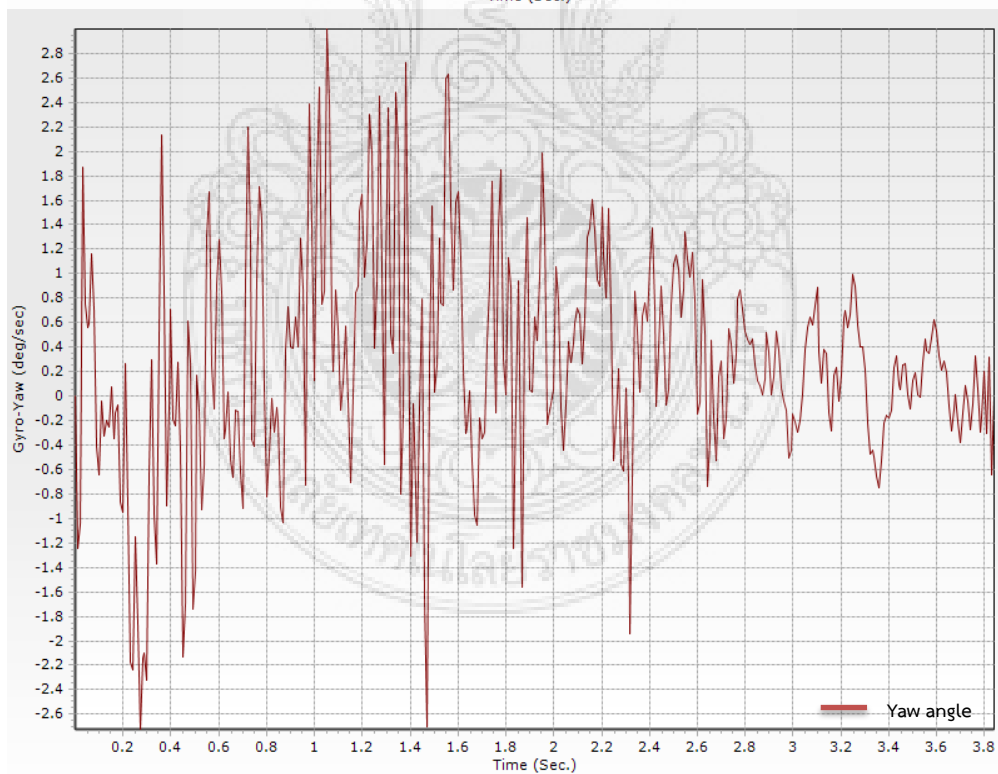
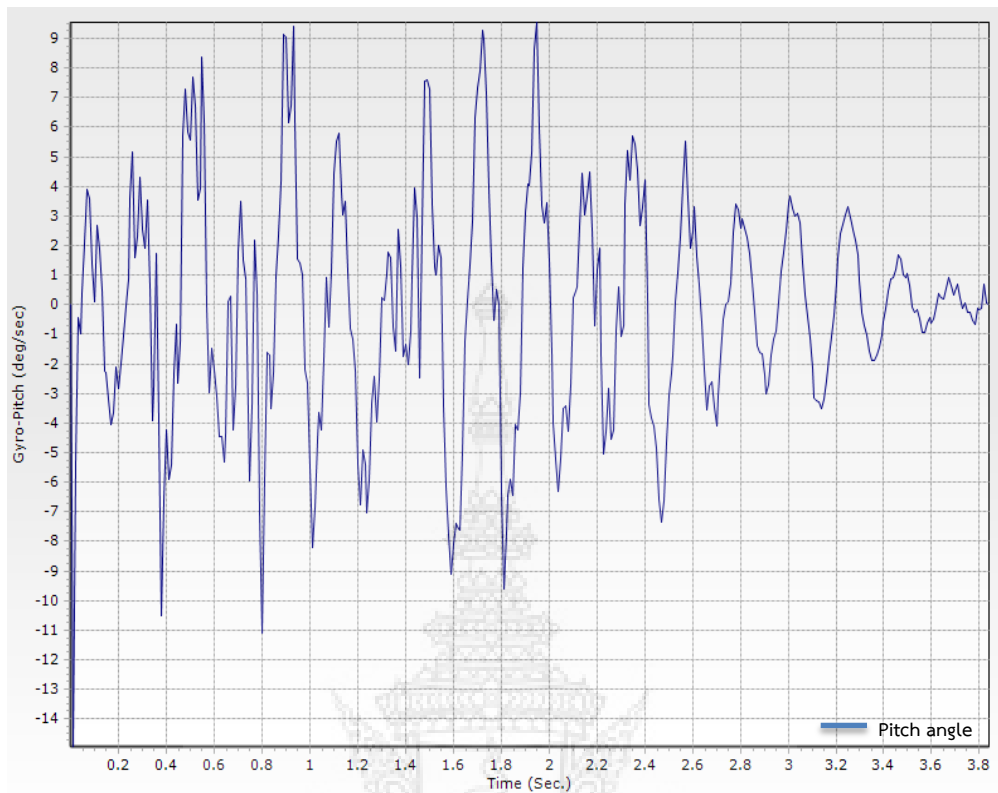
4.2.1 ผลการทดสอบค่า Pitch angle และ Yaw angle

สำหรับการทดสอบหาค่า Pitch angle และ Yaw angle ผู้จัดทำโครงการได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการกระดก และการส่ายของรถควบคู่กันไป ที่พิจารณาต่อหน่วยของมุม (deg/s) เนื่องจากพฤติกรรมทั้งสองกรณีนี้เป็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กัน ที่เป็นองค์ประกอบในการพิจารณาถึงเสถียรภาพของรถยนต์ในช่วงเวลานั้น ๆ โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Pitch angle และ Yaw angle ในทุก ๆ สัดส่วนแรงเบรกแสดงดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.15 ตามลำดับ



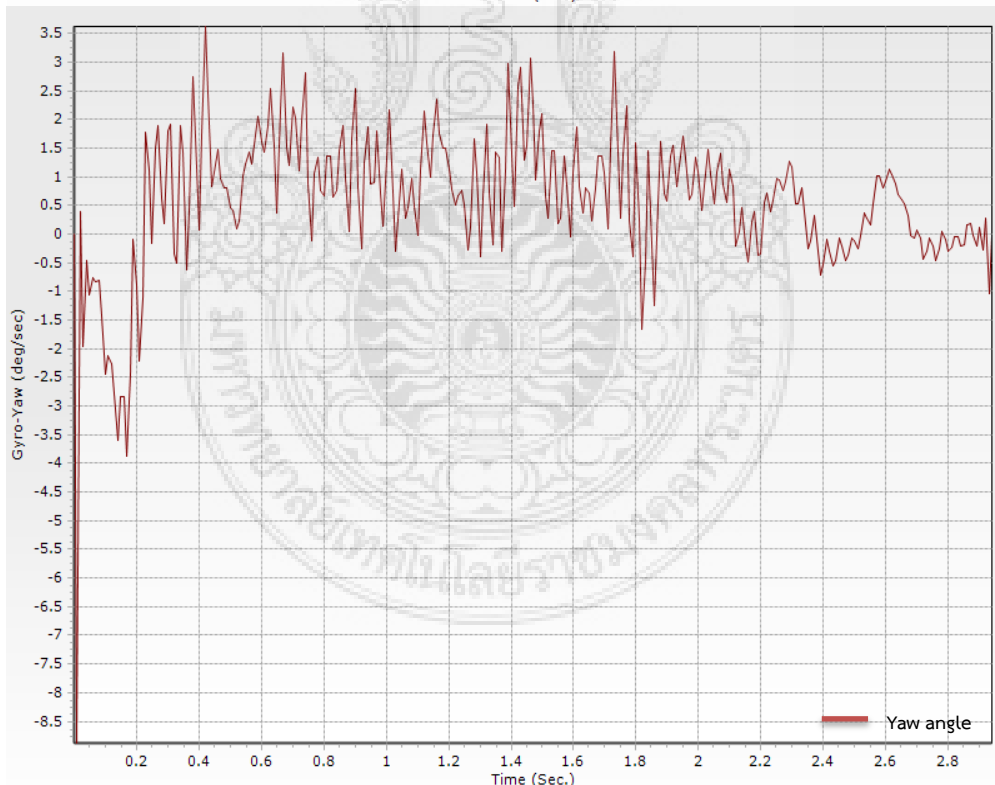
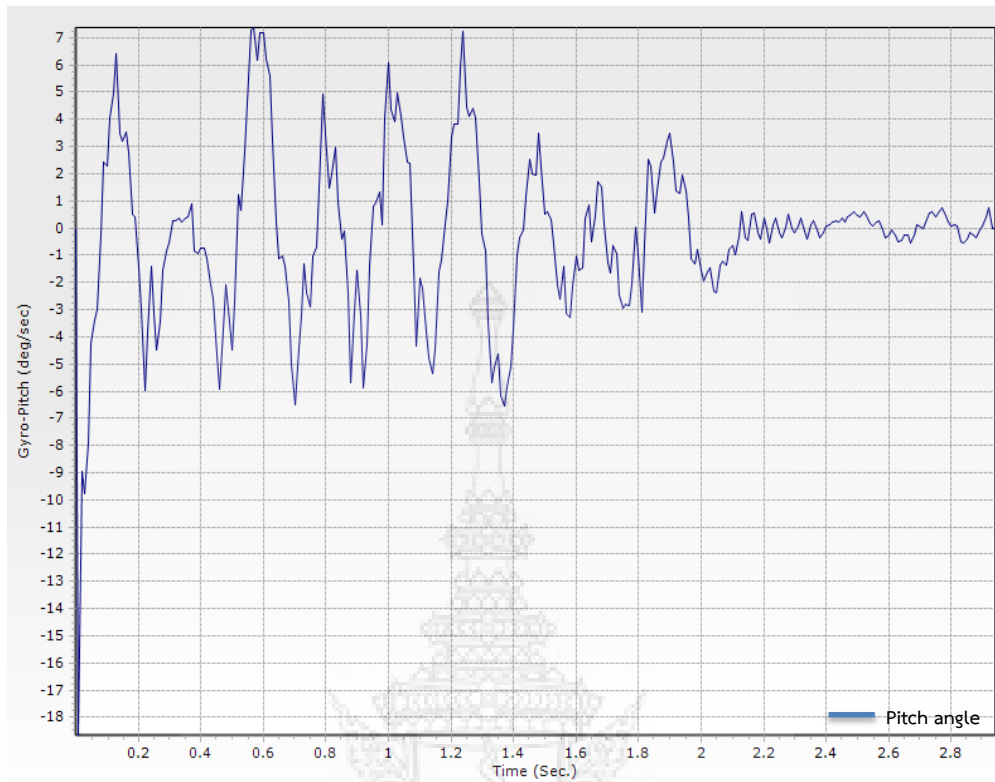
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ ของสัดส่วนแรงเบรก (0:100)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



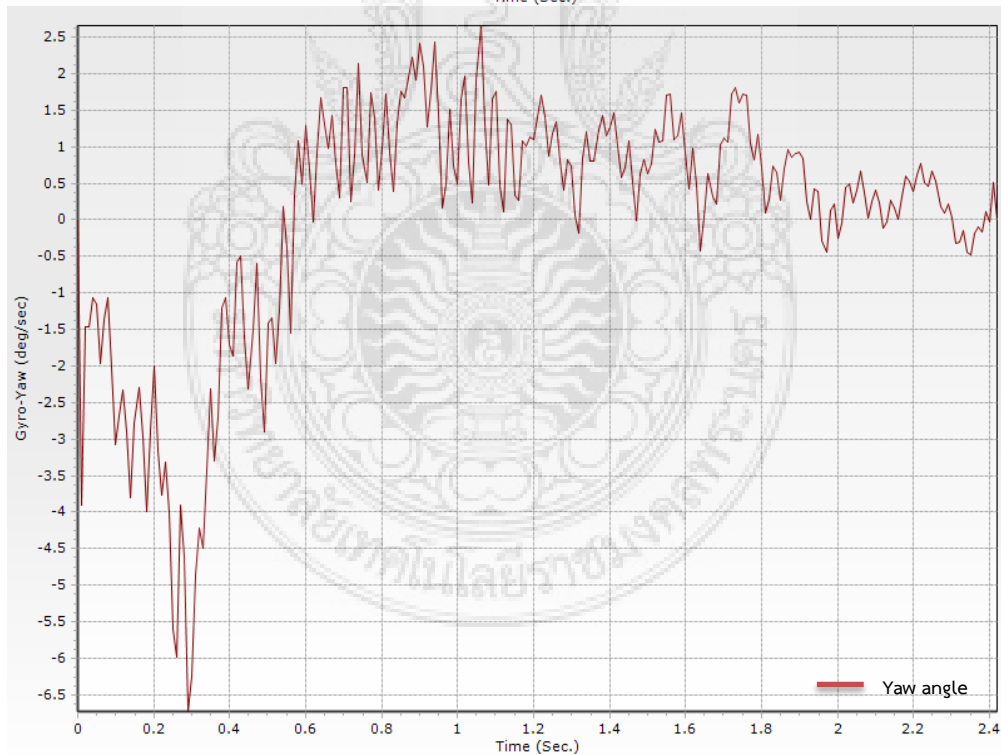
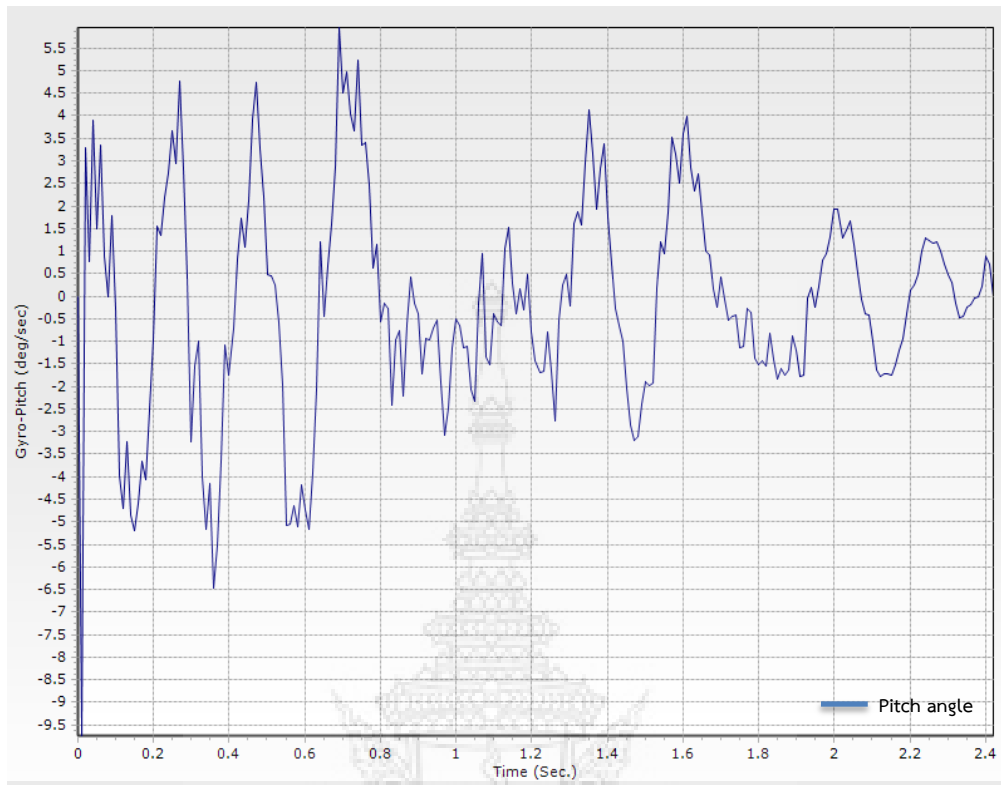
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (10:90)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



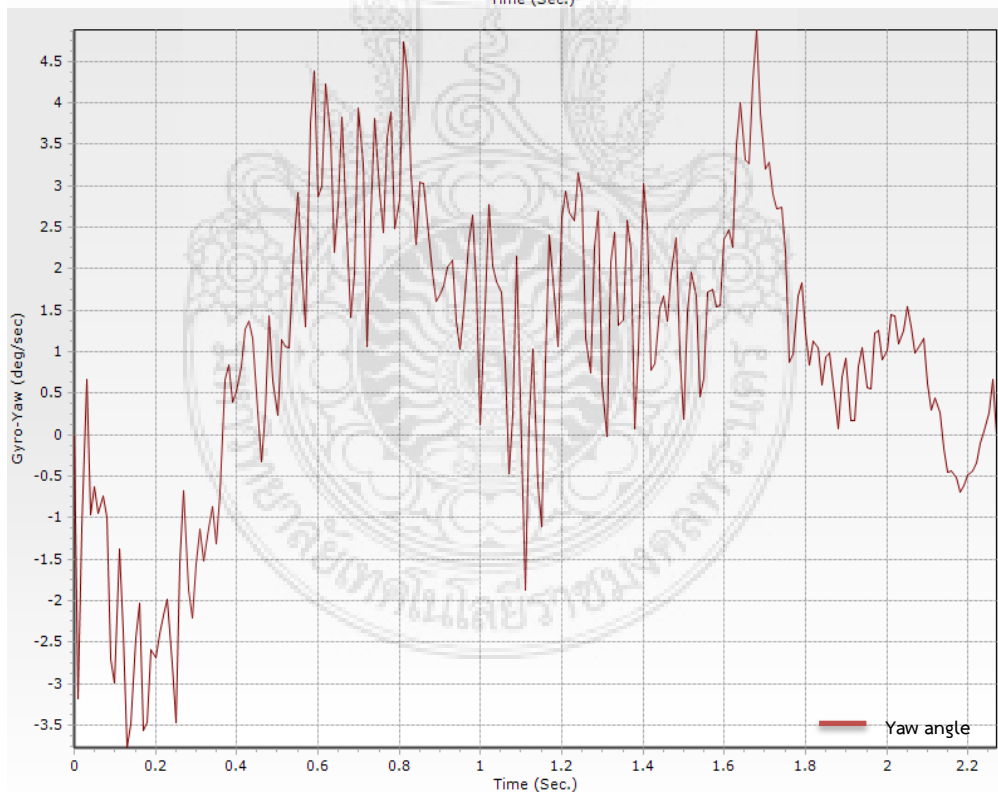
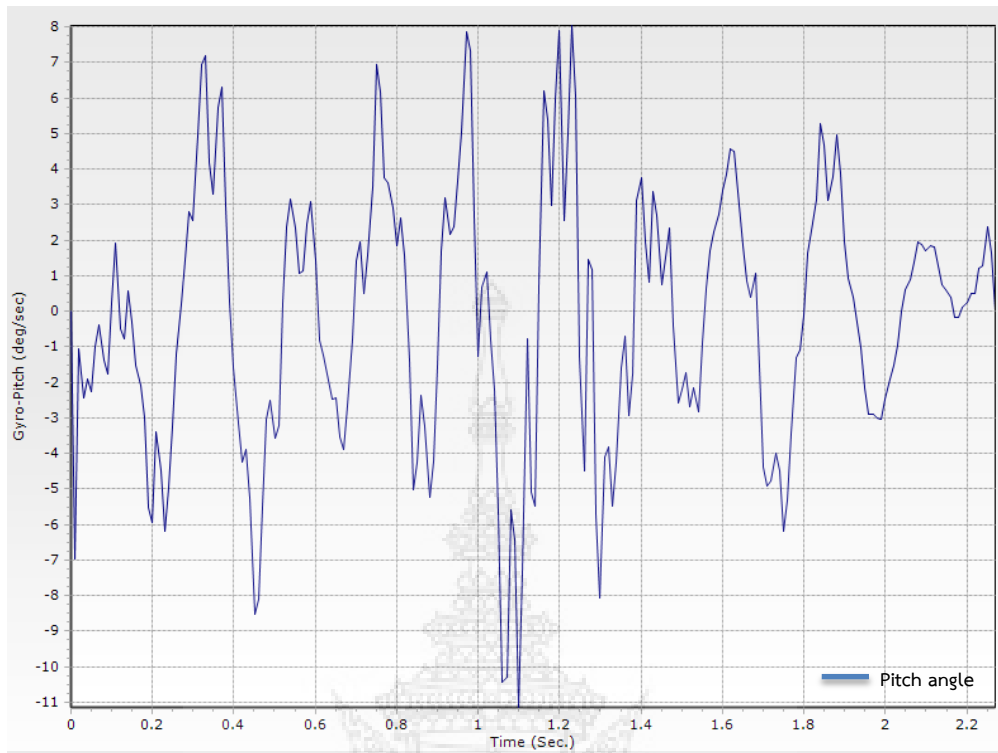
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (20:80)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



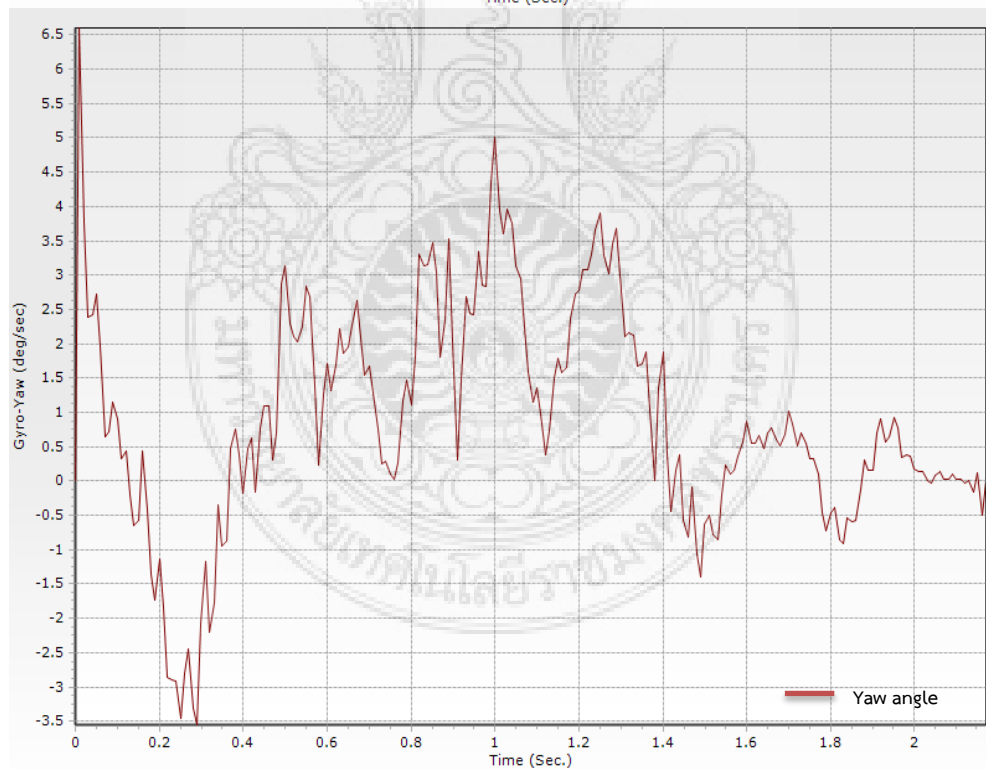
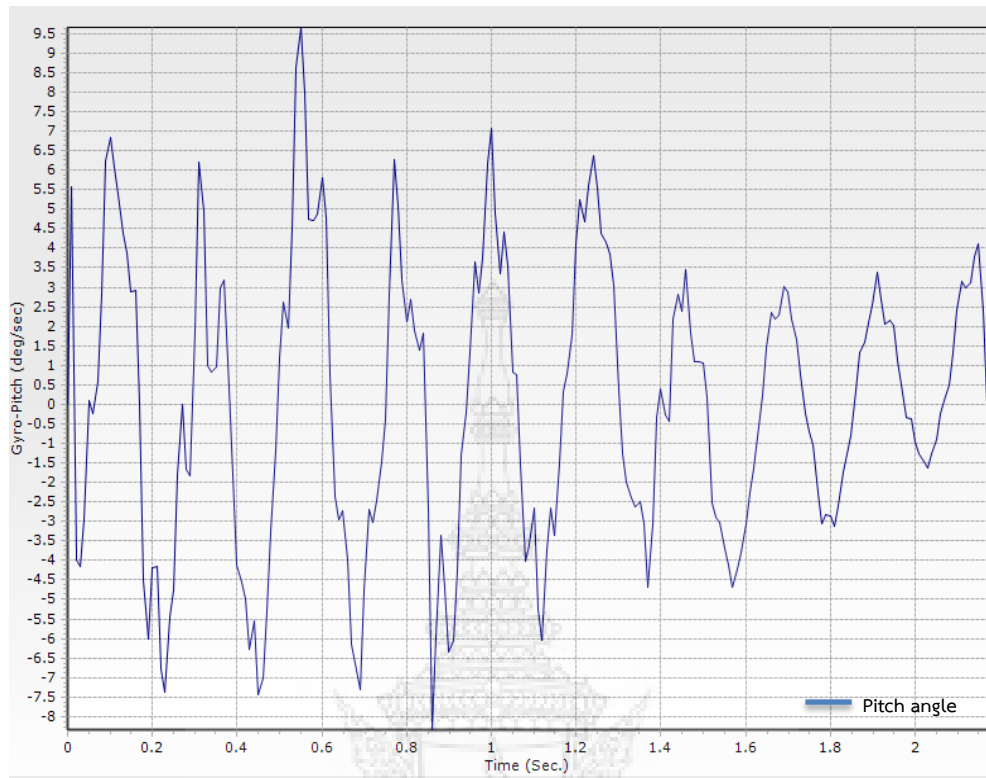
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (30:70)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



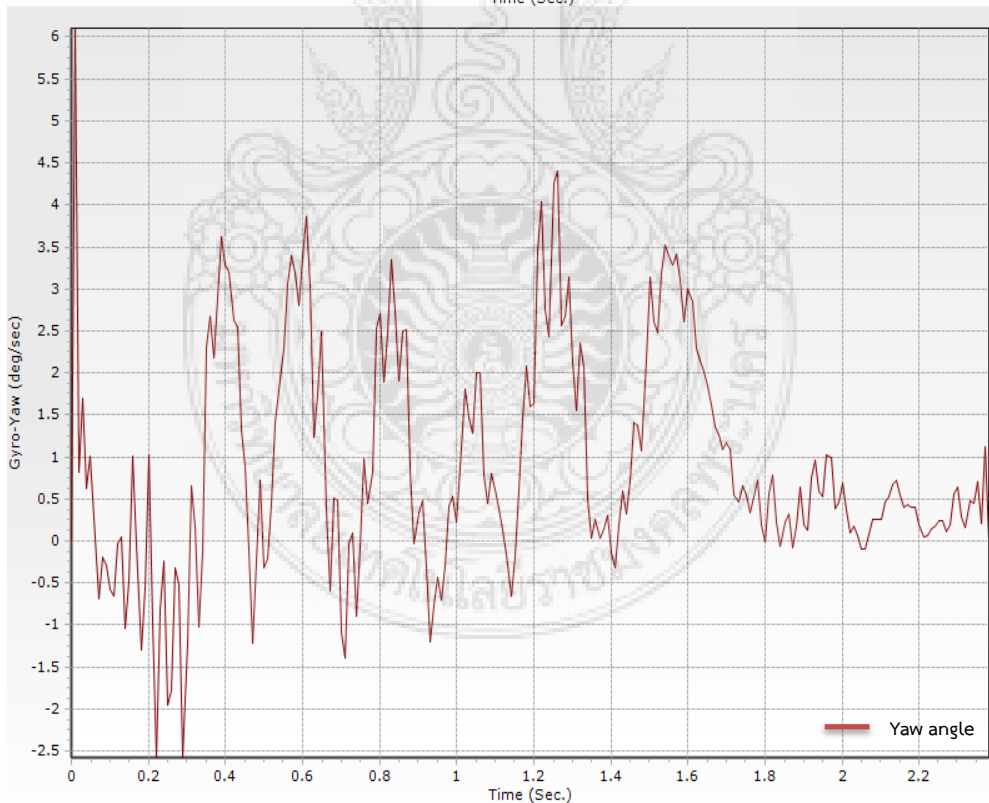
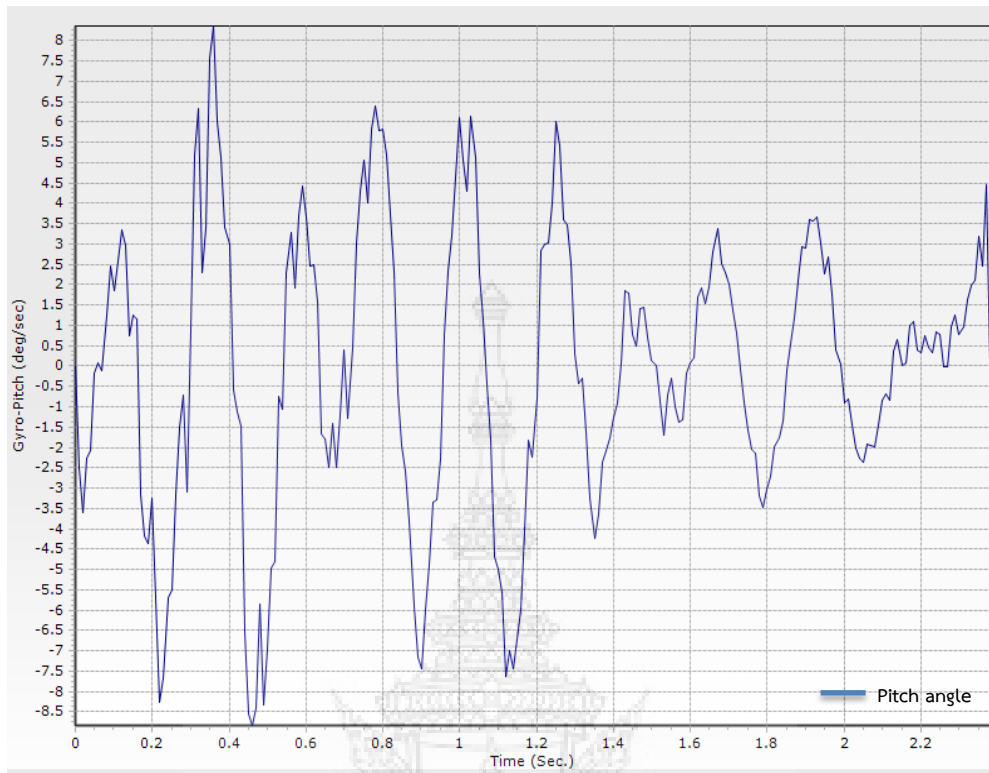
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (40:60)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



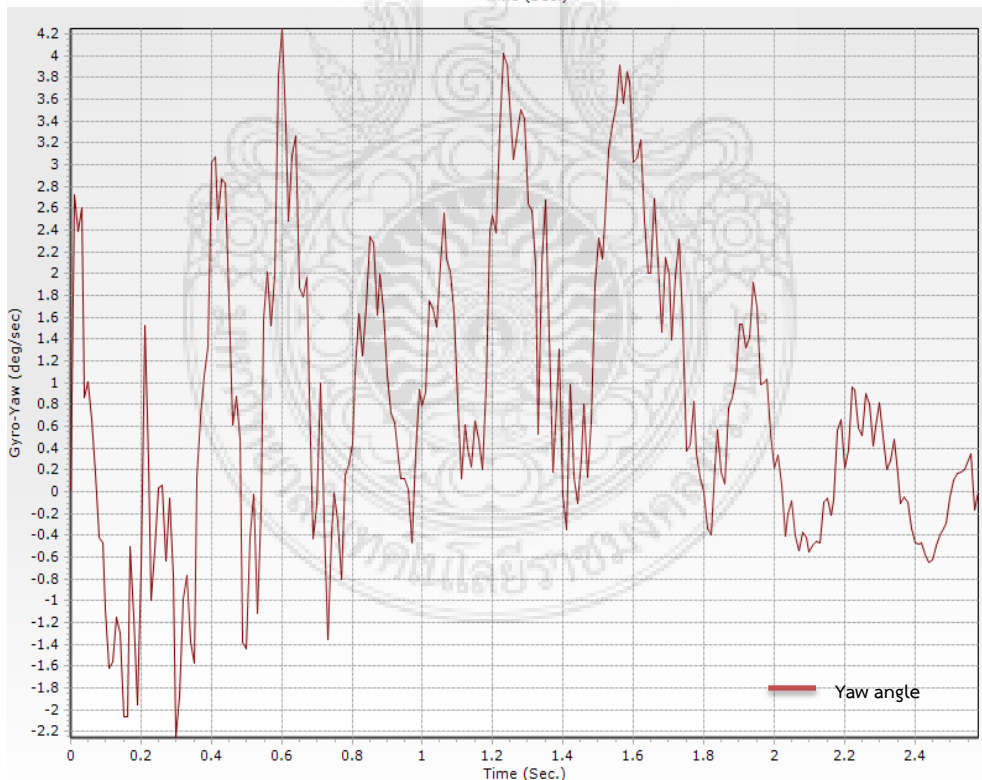
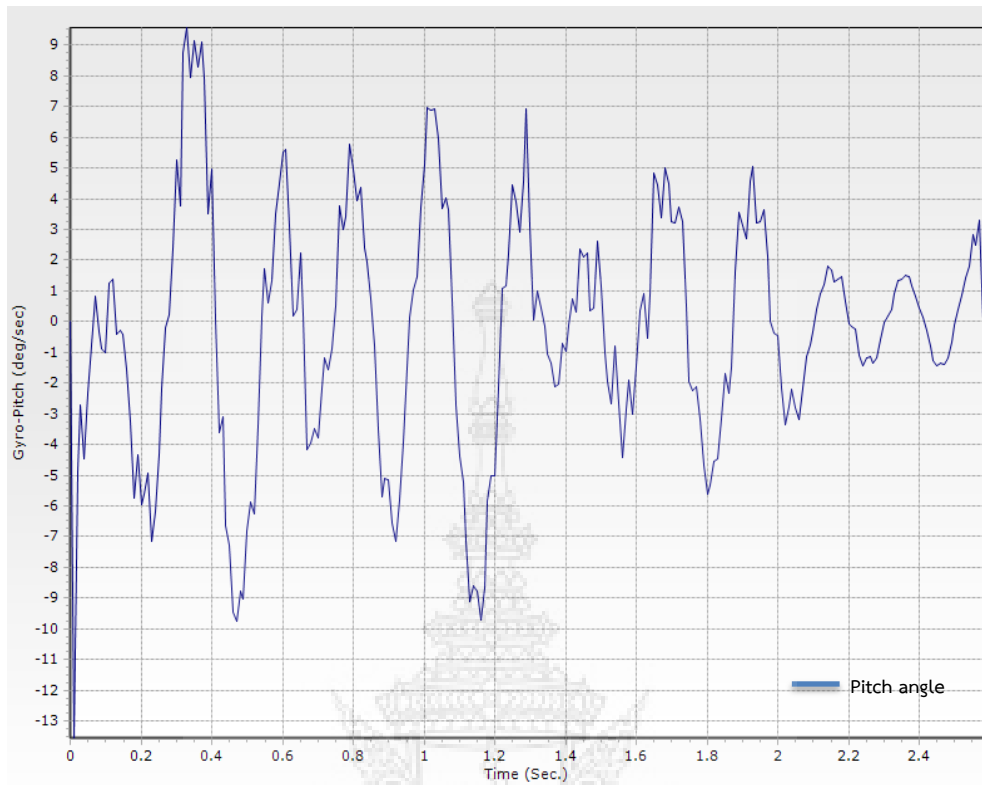
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (50:50)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



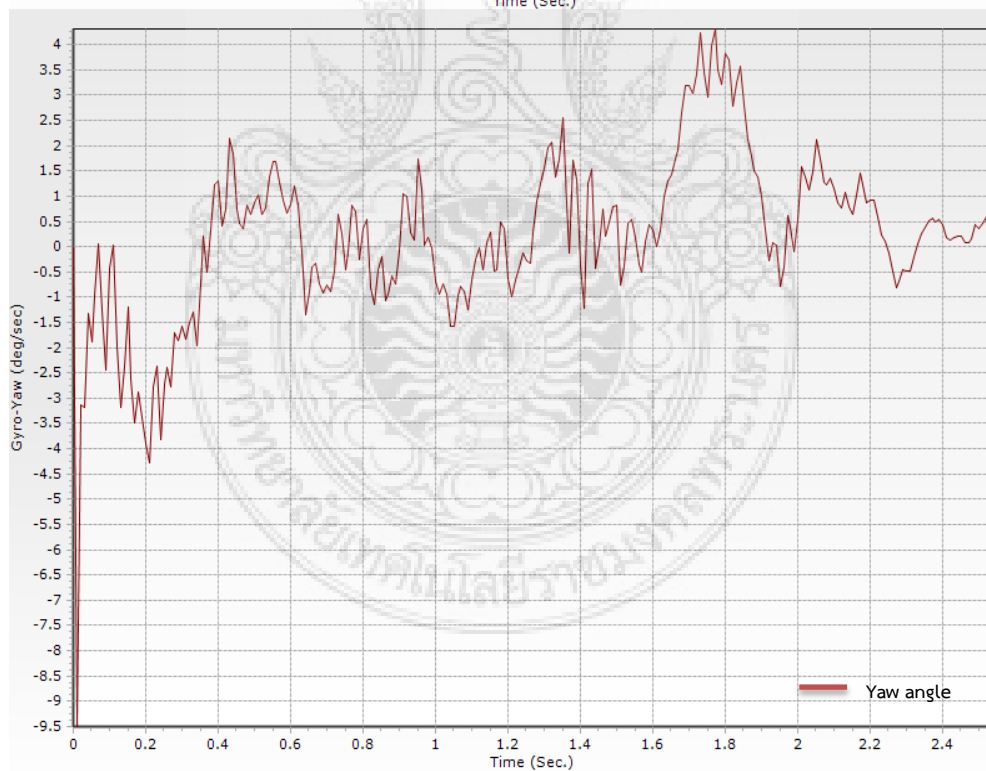
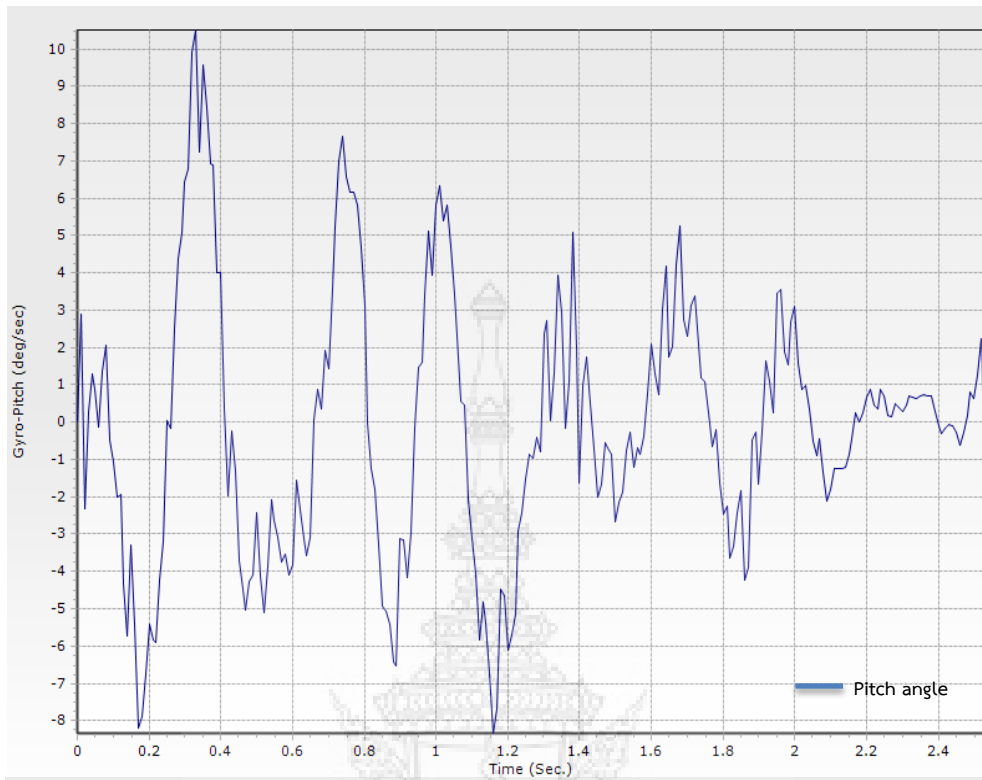
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (60:40)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



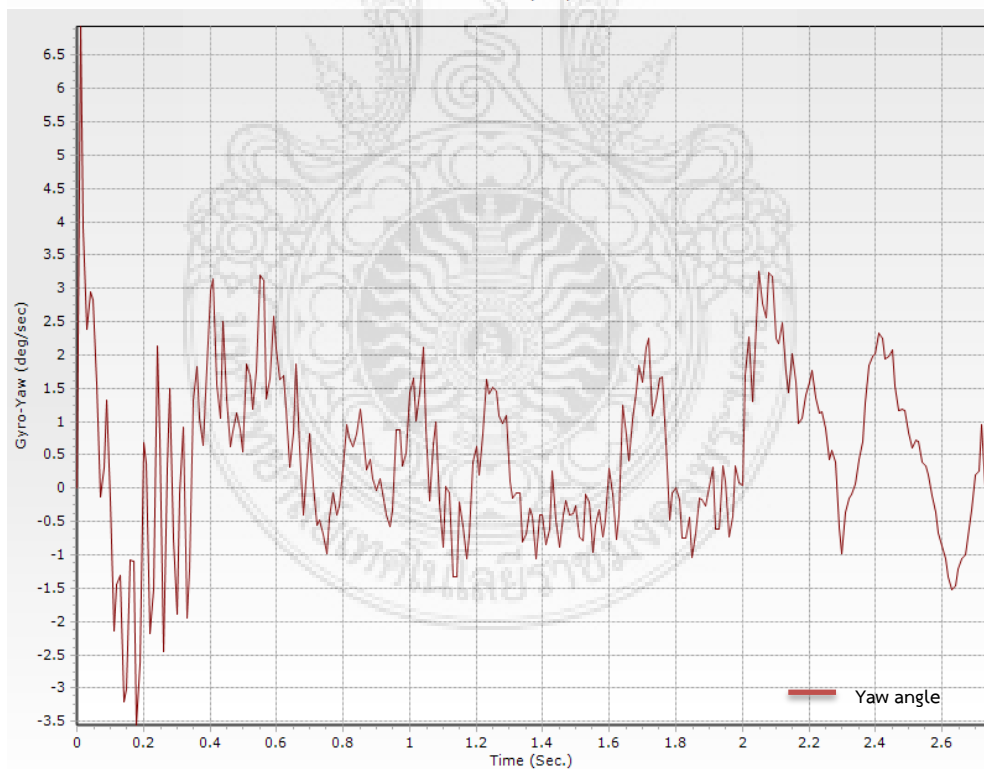
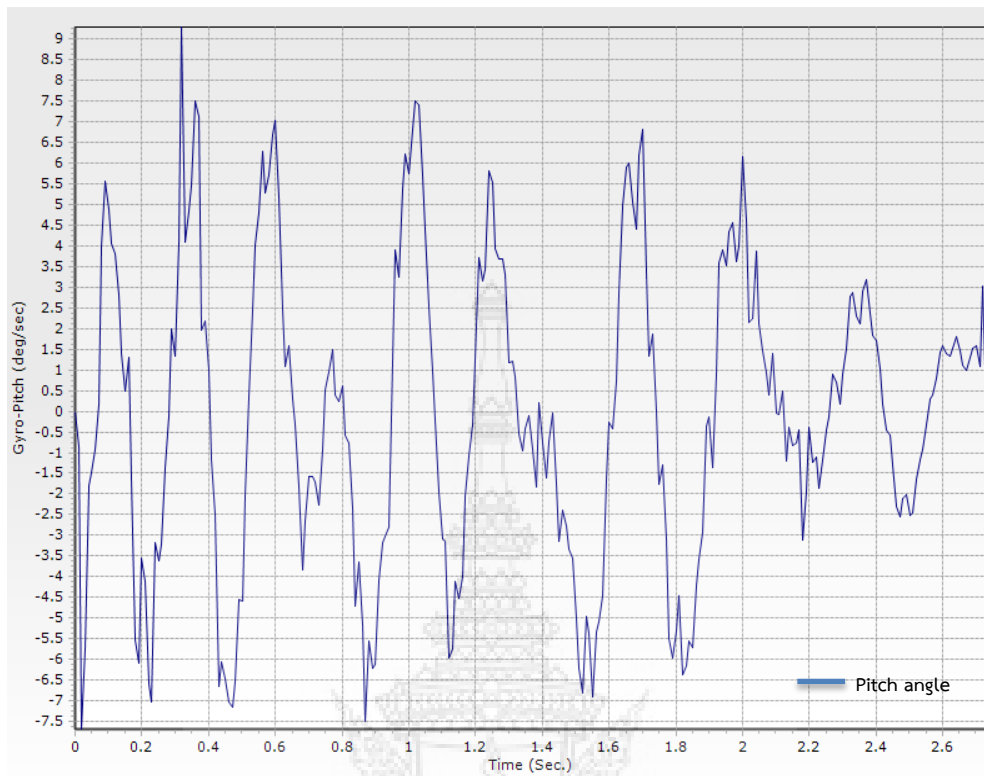
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (70:30)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



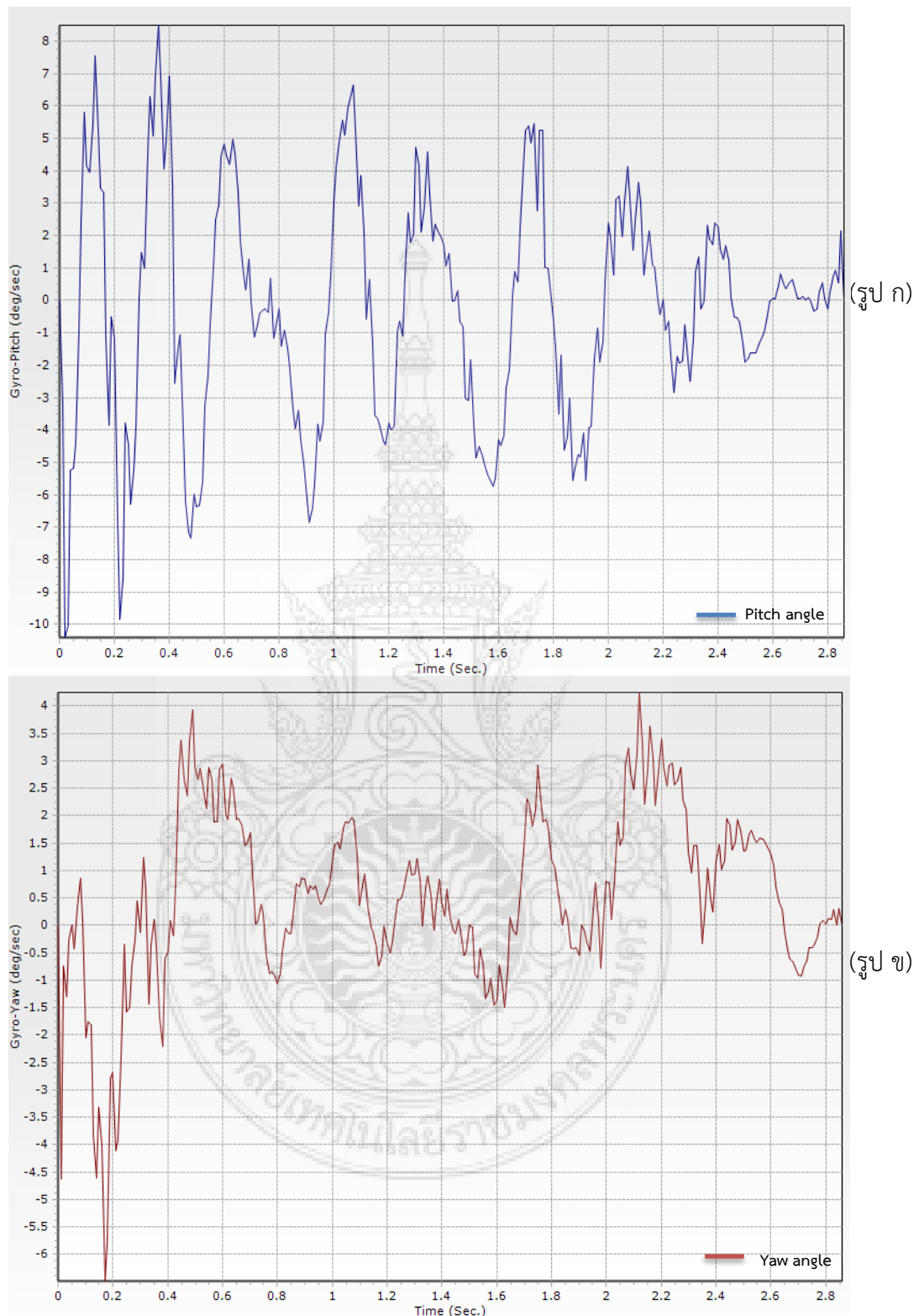
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (80:20)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (90:10)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของสัดส่วนแรงเบรก (100:0)

(ก) Pitch angle (ข) Yaw angle

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดสอบ ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากวัตถุประสงค์ของโครงการฯ เพื่อศึกษาสัดส่วนแรงเบรกที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับรถยนต์ โดยการทดสอบแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ การทดสอบความสามารถในการเบรกและการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์ โดยเงื่อนไขการทดสอบใช้มาตรฐาน FMCSA ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเบรกแบบการทดสอบภาคสนาม (Road test) สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาความสามารถในการเบรกมีดังนี้ คือ ความหน่วง ระยะทางเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรก ส่วนการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์มีตัวแปรดังนี้ คือ มุมสาย มุมกระดก มุมการลื่นไถล และการลื่นไถลของล้อ ซึ่งผลการทดสอบทั้ง 2 ส่วน อยู่ภายใต้เงื่อนไขการปรับสัดส่วนแรงเบรกจากการปรับความดันในระบบที่เปลี่ยนแปลงระหว่างเพลาหน้าและเพลาหลังของรถยนต์ โดยโครงสร้างของรถยนต์เป็นแบบ Rigid body และพื้นถนนที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเดียวกันนอกเหนือจากนี้ ผลการศึกษารวมของข้อมูล และการทดสอบขณะเข้าโค้งไม่ถูกมาพิจารณาในการทดสอบนี้

5.1.1 สรุปผลการทดสอบความสามารถในการเบรก

ความหน่วงสูงสุด เกิดขึ้นที่สัดส่วนแรงเบรก 80:20 โดยส่งผลให้ระยะเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรกต่ำที่สุด ในขณะที่ความหน่วงจากการเบรกต่ำที่สุด เกิดขึ้นที่สัดส่วน 0:100 ทำให้ระยะเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรกสูงสุด ดังนั้น ความหน่วง ระยะทางการเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรก ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ขับขี่ อย่างไรก็ตามการออกแบบสัดส่วนแรงเบรกควรมีความสอดคล้องกับข้อมูลจำเพาะในด้านน้ำหนักลงเพลา เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในทุก ๆ รูปแบบของการขับขี่

5.1.2 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์

การเกิดการส่ายและการกระดกจะเกิดขึ้นปกติหากผู้ขับขี่ทำการเบรกไม่ว่าสัดส่วนแรงเบรคนั้นจะมีค่าเท่าใดก็ตาม หากแต่ตัวแปรที่ใช้วัดความเสี่ยงต่อการรักษาเสถียรภาพของรถยนต์นั้นขึ้นอยู่กับมุมการลื่นไถล (Sideslip) รวมไปถึงการล็อกของล้อที่เพลาหลัง เนื่องจากการล็อกของล้อที่เพลาหลังส่งผลให้รถยนต์สูญเสียการควบคุมโดยสิ้นเชิง ในทางกลับกันหากเกิดการล็อกที่เพลาหน้า รถยนต์จะสูญเสียการควบคุมชั่วขณะเท่านั้น ซึ่งในกรณีนี้ภายใต้สัดส่วนแรงเบรกทุก ๆ สัดส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัดส่วนแรงเบรก 100:0 จะส่งผลอย่างมากต่อความเสี่ยงของผู้ขับขี่ เนื่องจากค่า Sideslip เกินค่าวิกฤตและเกิดการล็อกที่เพลาหลัง

5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำโครงการ

การออกแบบระบบเบรกที่ใช้ในการทดสอบเกิดข้อจำกัดในด้านสารตัวกลาง ซึ่งระบบทั่วไปใช้น้ำมันเบรก หากแต่ในโครงการนี้ใช้น้ำมันไฮดรอลิก เนื่องจากวาล์วที่ใช้ในการทดสอบเป็นวาล์วที่ใช้ในระบบไฮดรอลิก ดังนั้นจึงเกิดปัญหาเรื่องการเปื้อยของซิล อย่างไรก็ตามทางคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการทดสอบอายุการใช้งานของซิลก่อนการทดสอบจริง เพื่อหลีกเลี่ยงการรั่วซึมของระบบ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การทดสอบควรตระหนักถึงความปลอดภัยเป็นหลัก ผู้ขับขี่รถทดสอบควรเป็นผู้ที่มีความชำนาญในการขับรถยนต์

5.3.2 การเลือกสถานที่ทำการทดสอบ ควรเป็นสนามทดสอบที่มีมาตรฐาน เนื่องจากผลของความถูกต้องของข้อมูล อีกทั้งปลอดภัยจากบุคคลภายนอก

บรรณานุกรม

- [1] Riener, A., Ferscha, A. and Matscheko, M., 2008, "Intelligent vehicle handling: Steering and body posture while cornering," Proceedings of the International Conference on Architecture of Computer System 2008 Architecture and Adaptivity, ARCS. Vol. 4934 pp. 14.
- [2] Anwar, S., 2005, "Generalized Predictive Control of yaw dynamics of a hybrid brake-by-wire equipped vehicle," Journal of Mechatronics, Vol. 15, No. 9 pp. 1089-1108.
- [3] Svenson, L., and Hac, A. 2005, "Influence of Chassis Control Systems on Vehicle Handling and Rollover Stability," Proceedings on the enhanced safety of vehicles, NHTSA.Paper No. 05-0324.
- [4] Miège, A.J.P., and Cebon, D., 2005, "Active roll control of an experimental articulated vehicle," Journal of Automotive Engineering, Vol. 219, No. 6 pp. 791-806.
- [5] Department of land Transport, 2005, "The criteria and method of experiment for service brake and parking brake," Department of land Transport, Issues 9th December 2005, Thailand, pp.1-3.
- [6] Federal Motor Carrier Safety Administration, 2002, "Rules and Regulations for brake performance," U.S. Department of land Transport, United State of America, Part 393.52.
- [7] Suwanprateep, T., 2003, *Automotive Engineering*, WitthayaphatCo.,Ltd., Bangkok, pp. 151-176.
- [8] Allen, R.W., Klyde, D.H., Rosenthal, T.J., and Smith, D.M., 2003, "Estimation of Passenger Vehicle Inertial Properties and Their Effect on Stability and Handling," Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, Vol. 112, SAE Paper No. 2003-01-0966.
- [9] Hamm, G., and Burk, G., 1992, "Tables for the Automotive Trade," New Age International P. Ltd., ISBN: 9780852263501.
- [10] <http://www.f1technical.net>

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการทดสอบ



ขั้นตอนการทดสอบ

1. จัดเตรียมสถานที่ในการทดสอบ
2. ติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนต์ (VDO) ตามจุดต่าง ๆ เพื่อบันทึกพฤติกรรมการสิ้นเปลืองของล้อ
3. ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความหน่วง (VC 4000DAQ)
4. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วของรถทดสอบ
5. ทดสอบอุปกรณ์การปรับตั้งสัดส่วนแรงเบรก
6. เตรียมคอมพิวเตอร์เพื่อไว้เก็บค่าข้อมูลการทดสอบแต่ละครั้ง
7. เตรียมอุปกรณ์ป้องกันของผู้ขับขี่
8. ทำการตรวจเช็คอุปกรณ์ให้พร้อมก่อนการทดสอบ
9. ทำการทดสอบ และเก็บค่าผลการทดสอบ

ข้อควรระวังในการใช้งาน

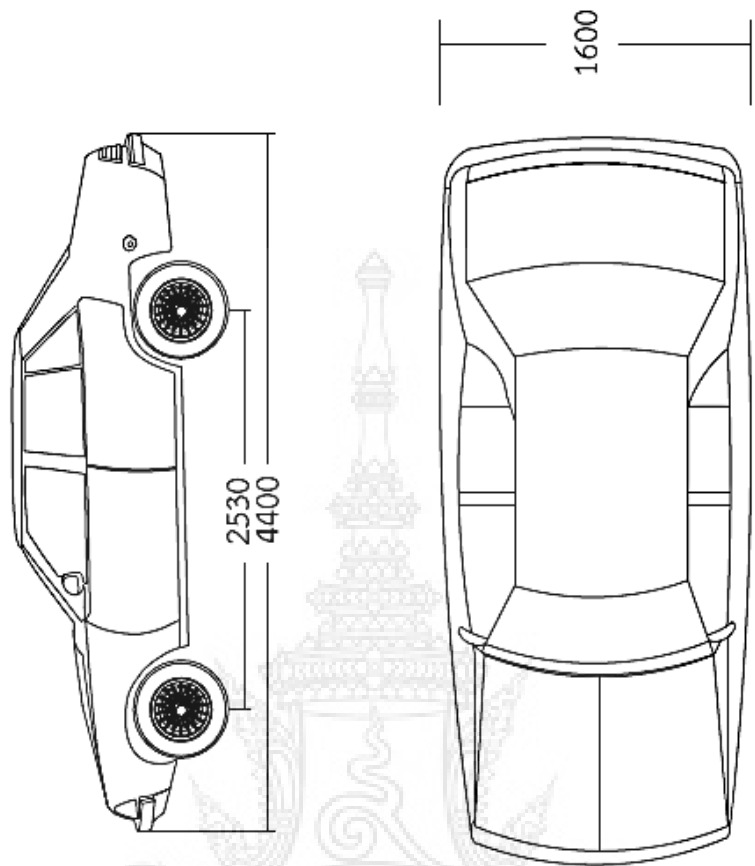
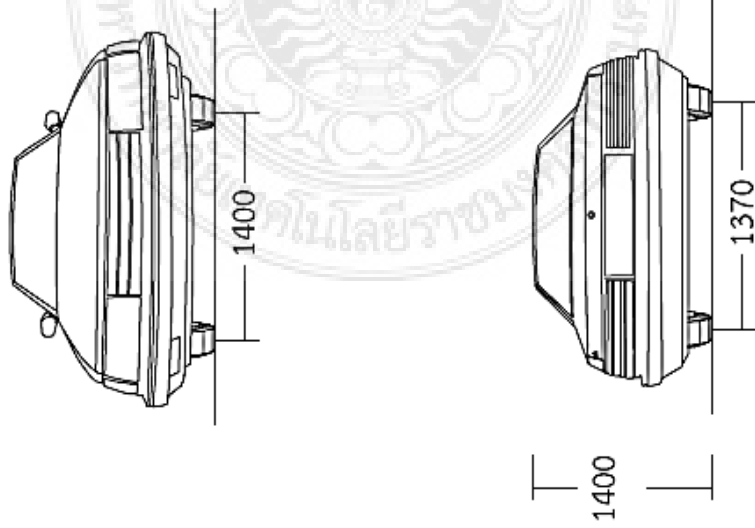
1. ควรตระหนักถึงความปลอดภัยเป็นอันดับแรก
2. ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
3. การเก็บผลการทดสอบควรให้รถทดสอบจอดสนิทเสียก่อน
4. ควรเปลี่ยนซีลในระบบเบรกทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ เนื่องจากซีลเป็นซีลที่ใช้กับระบบไฮดรอลิกส์ ดังนั้นควรเปลี่ยนทุกครั้ง เพื่อป้องกันการรั่วซึม และความแม่นยำของผลการทดสอบ


การบำรุงรักษา

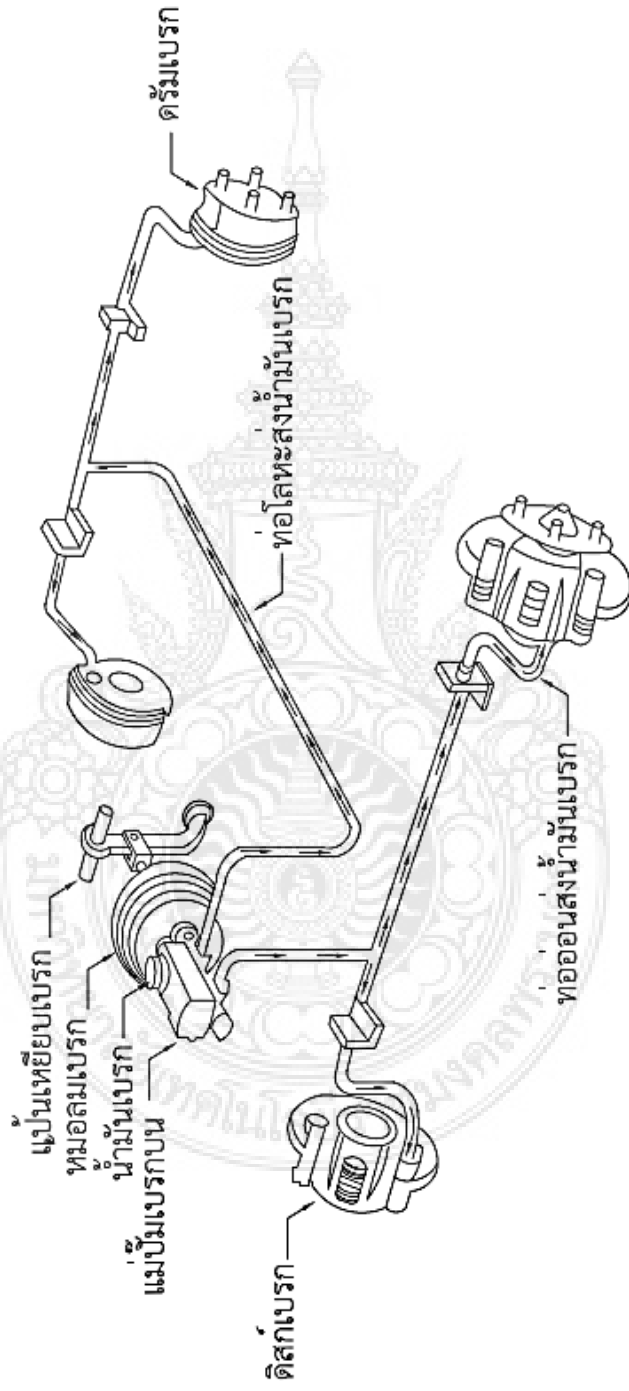
1. ทำการตรวจเช็คอุปกรณ์ต่าง ๆ ของรถทดสอบให้พร้อมใช้งานเสมอ
2. ทำการถ่ายน้ำมันไฮดรอลิกส์ ออกจากระบบเบรกเพื่อป้องกันซีลในชุดระบบเบรกสึกหรอ

ภาคผนวก ข
แบบสัปดาห์รถทดสอบ

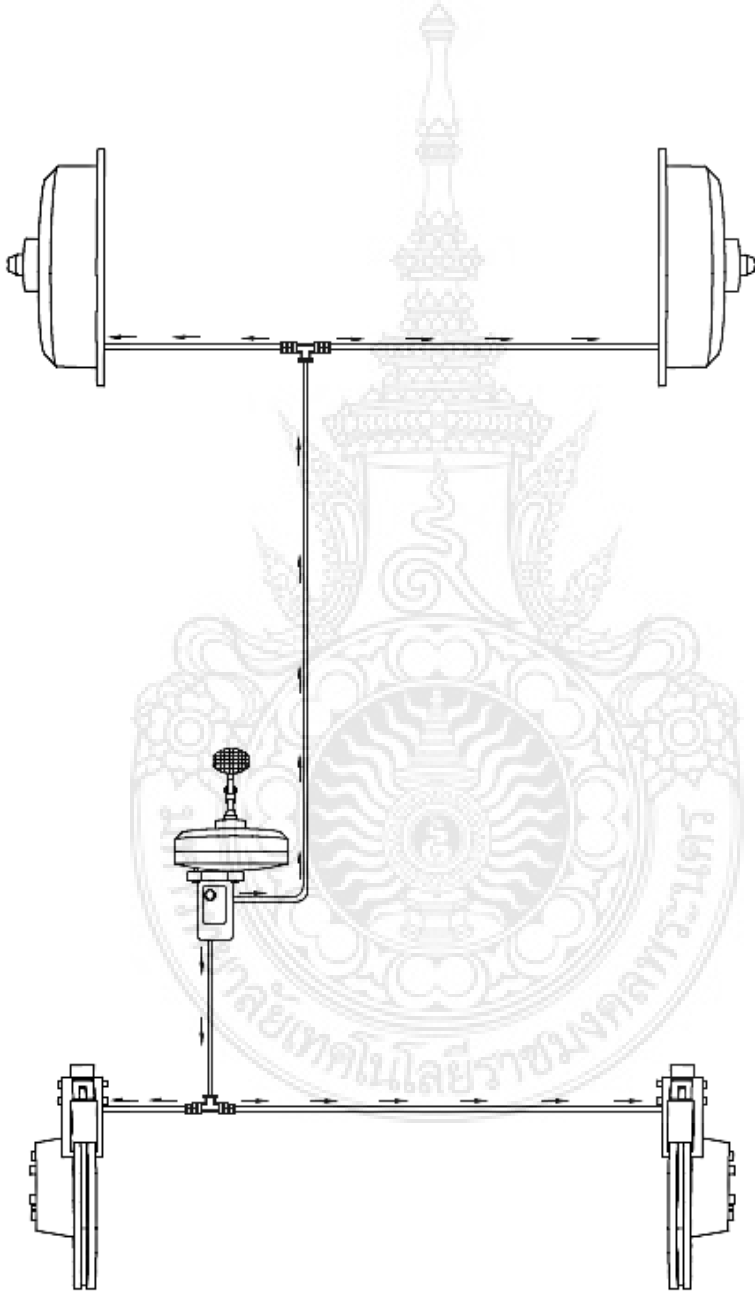





DESIGNER	ITTIKORN BOODKONG	4 NOV 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGAL A UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	
DRAW	ITTIKORN BOODKONG	4 NOV 2013	ASSEMBLY : Testing Vehicle	SCALE : NOT TO SCALE SHEET : 1 of 7
APPROVED	SONGWUT MONGKONLERDMANEE	7 NOV 2013		
DIMENSION : mm	NAME	DATE	 First Angle Projection	
			TITLE : A STUDY OF BRAKE PROPORTIONAL EFFECTED TO VEHICLE CONTROL	

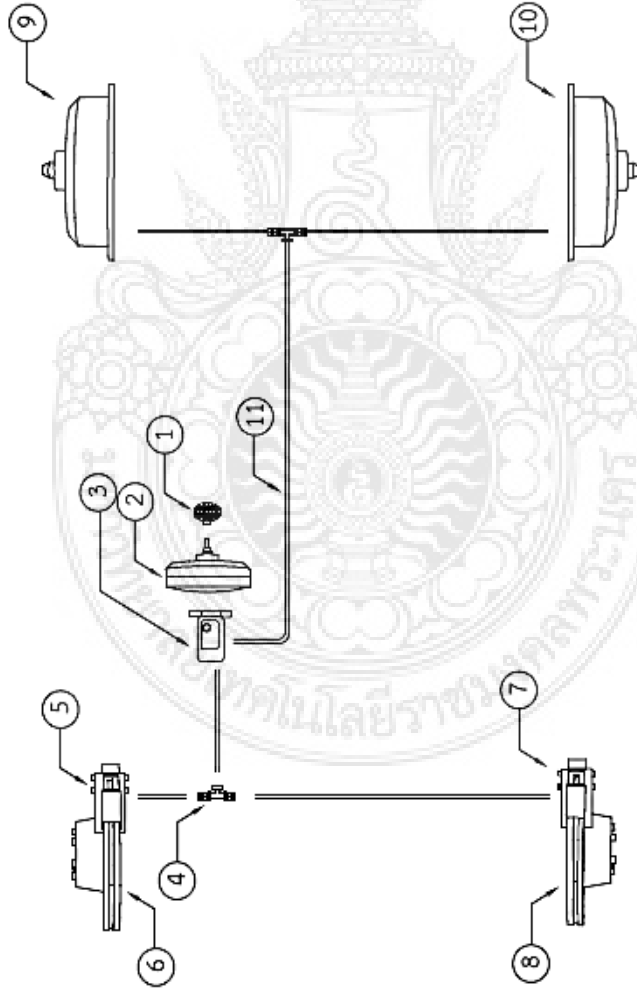


DESIGNER	ITTIKORN BOODKONG	4 NOV 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALAJA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON
DRAW	ITTIKORN BOODKONG	4 NOV 2013	
APPROVED	SORCWUT MONGKONLEHDMARHEE	7 NOV 2013	ASSEMBLY : Normal Braking System 1
DIMENSION : -	NAME	DATE	SCALE : NOT TO SCALE SHEET : 2 of 7



DESIGNER	ITTIKORN BOONKORNG	8 NOV 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING PAJANGANGLA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NANHON	
DRAW	ITTIKORN BOONKORNG	8 NOV 2013	SCALE : NOT TO SCALE	
APPROVED	SONGWUT MONSKOHLERMAHEE	13 NOV 2013	ASSEMBLY : Normal Braking System 2	SHEET : 3 of 7
DIMENSION : -	NAME	DATE	 Third Angle Projection	
			TITLE : A STUDY OF BRAKE PROPORTIONAL EFFECTED TO VEHICLE CONTROL	

1	แป้นเหยียบเบรก
2	หมอลมเบรก
3	แม่ปั้มเบรก
4	ท่อสามทาง
5	ดีสก์เบรกลอลงขวา
6	จานเบรกลอลงขวา
7	ดีสก์เบรกลอลงซ้าย
8	จานเบรกลอลงซ้าย
9	ตรัมเบรกลอลงขวา
10	ตรัมเบรกลอลงซ้าย
11	ท่อไหลทะลุน้ำมันเบรก



DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING
 RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON

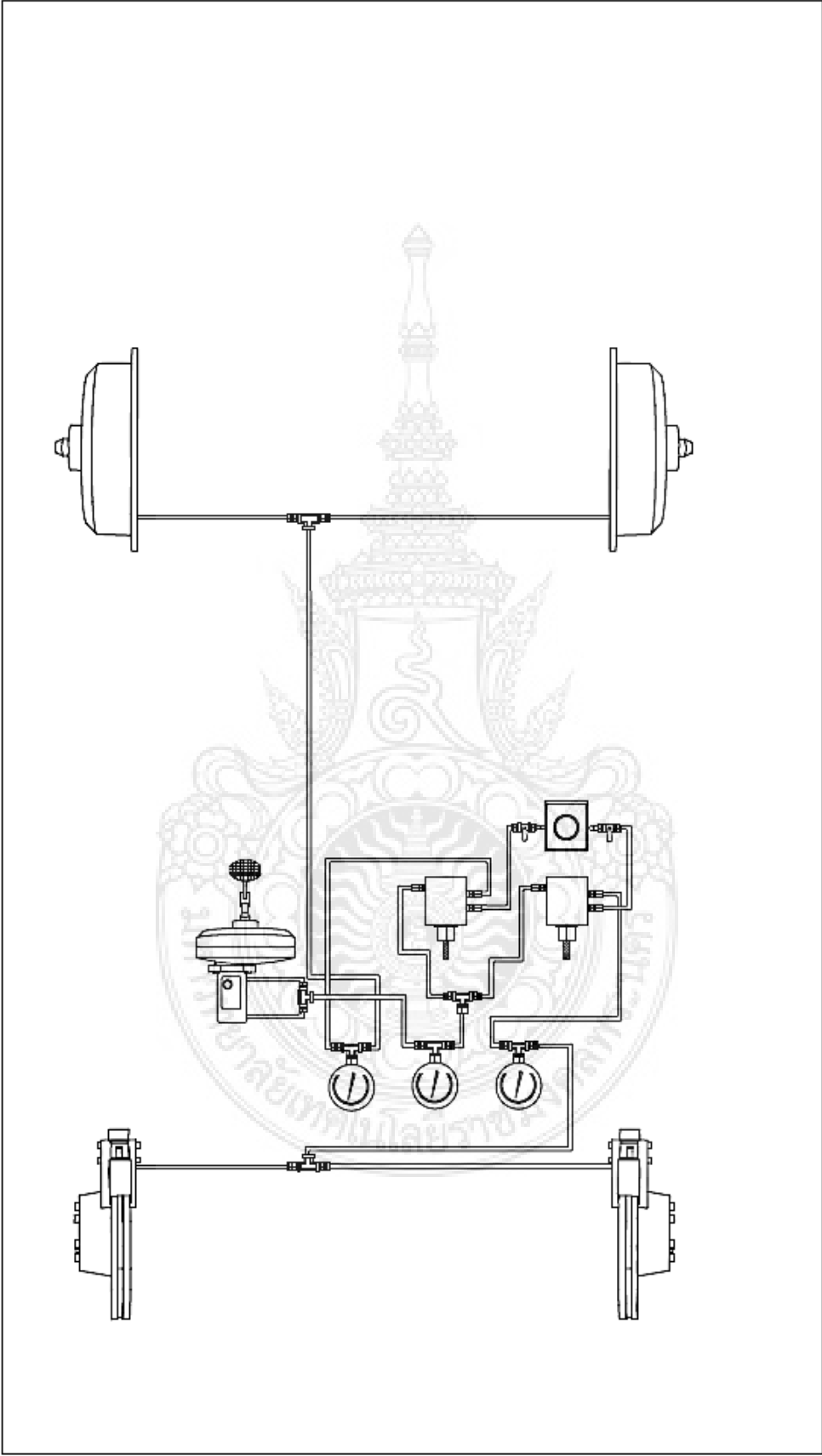
ASSEMBLY : Equipment of Normal
 Braking System

TITLE : A STUDY OF BRAKE PROPORTIONAL
 EFFECTED TO VEHICLE CONTROL

DESIGNER	ITTIKORN BOOCKKROHNG	8 NOV 2013
DRAW	ITTIKORN BOOCKKROHNG	3 NOV 2013
APPROVED	SONGNUT MONGKOLERDMANEE	13 NOV 2013
DIMENSION :-	NAME	DATE

SCALE : NOT TO SCALE
 SHEET : 4 of 7

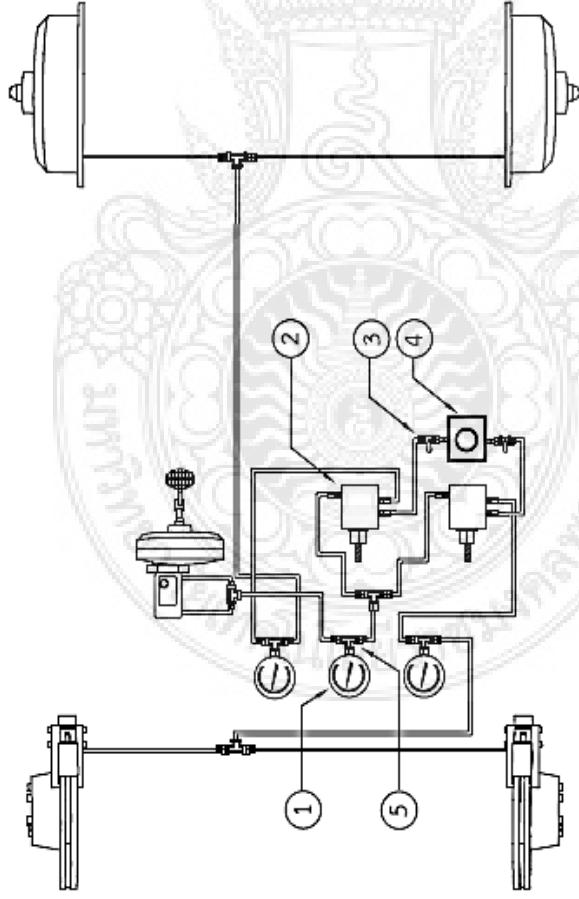




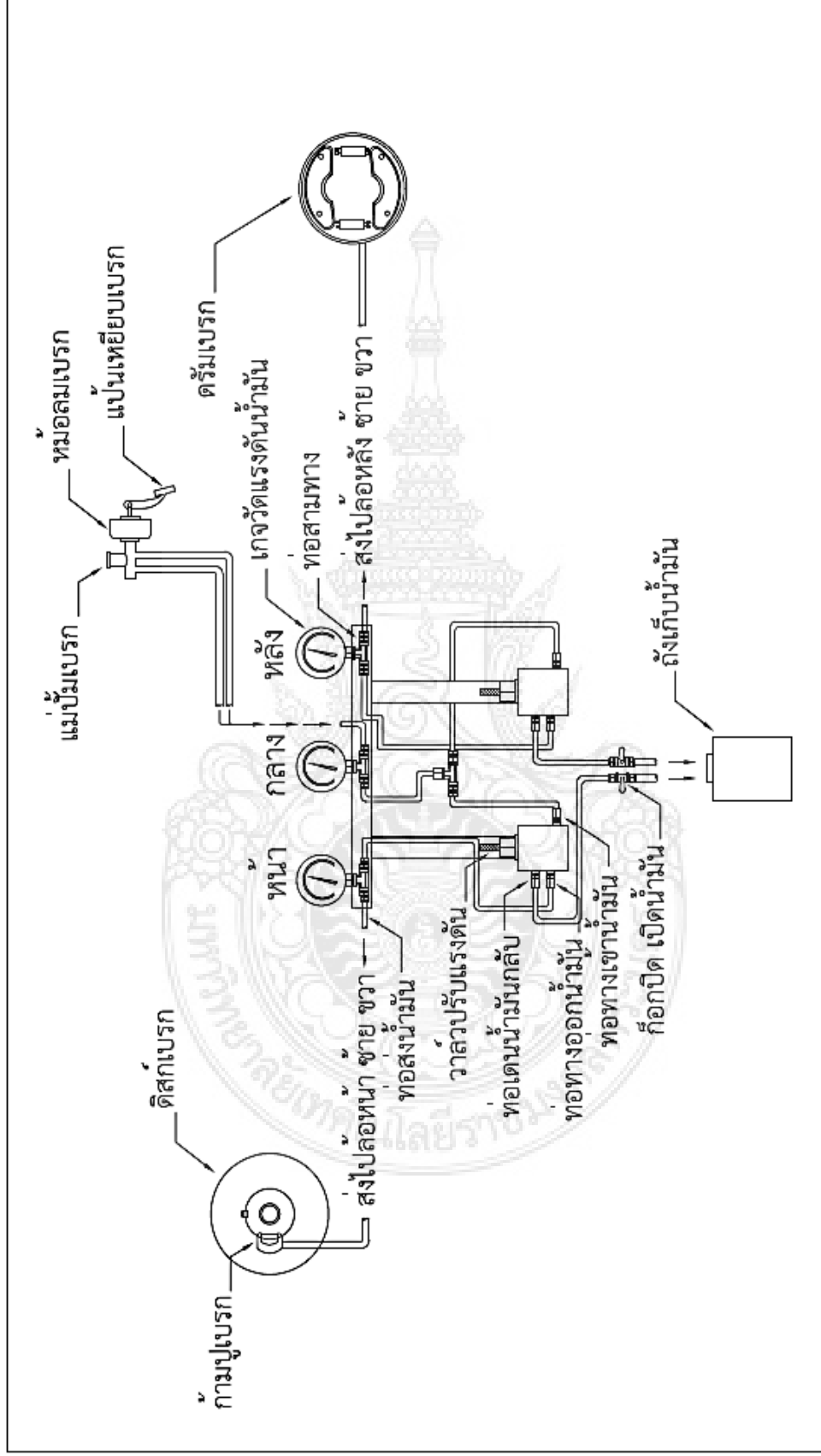
DESIGNER	ITTIKORN BOODKONG	8 DEC 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALAJA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	
DRAW	ITTIKORN BOODKONG	8 DEC 2013	ASSEMBLY : New Design Braking System	
APPROVED	SONCAWUT MONGKOLLEDMANEE	12 DEC 2013		
DIMENSION : -	NAME	DATE	SCALE : NOT TO SCALE SHEET : 5 of 7	



1	เกอวัดแรงดันน้ำมัน 3 ตัว
2	วาล์วรับแรงดัน 2 ตัว
3	กอกปิด เบ็ดน้ำมัน 2 ตัว
4	ถังเก็บน้ำมัน
5	ท่อลมทาง 7 ตัว



DESIGNER	ITTIKORN BOODKONG	8 DEC 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGALAJA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON
DRAW	ITTIKORN BOODKONG	8 DEC 2013	
APPROVED	SONGWUT MORIKOKKILHIDMAHEE	12 DEC 2013	ASSEMBLY : Equipment of New Design Braking System 1
DIMENSION : -	NAME	DATE	SCALE : NOT TO SCALE SHEET : 6 of 7



DESIGNER	ITTIKORN BOODKONG	8 DEC 2013	DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING IN FACULTY OF ENGINEERING RAJAMANGKAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA-NAKHON	
DRAW	ITTIKORN BOODKONG	8 DEC 2013		
APPROVED	SONGWUT MONGKONLEHMAHEE	12 DEC 2013	ASSEMBLY : Equipment of New Design Braking System 2	
DIMENSION : -	NAME	DATE	SCALE : NOT TO SCALE SHEET : 7 of 7	

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล	ปฐวี ภาคาเดช	
วัน-เดือน-ปีเกิด	26 เมษายน 2533	
ที่อยู่	17 หมู่ 5 ต.ท่าหล่อ อ.เมือง จ.พิจิตร 66000	
ประวัติการทำงาน	บ. สตาร์ลิงค์ (StarLink) ประเทศไทยจำกัด พ.ศ.2556-ปัจจุบัน	
ประวัติการศึกษา		
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคพิจิตร พ.ศ.2551	
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคพิจิตร พ.ศ.2553	
วศ.บ.	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ.2556	
โทรศัพท์	08-1413-2506	
E-mail address	tos.patawee@gmail.com	



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล	ชูศักดิ์ วงษ์สถิต	
วัน-เดือน-ปีเกิด	2 กรกฎาคม 2532	
ที่อยู่	14 หมู่ 1 ต.หาดพันไกร อ.เมือง จ.ชุมพร 86000	
ประวัติการทำงาน	บ. SMC Property Soft จำกัด พ.ศ.2556-ปัจจุบัน	
ประวัติการศึกษา		
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคชุมพร พ.ศ.2551	
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคชุมพร พ.ศ.2553	
วศ.บ.	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ.2556	
โทรศัพท์	08-0605-4556	
E-mail address	deaw_wongsatit@hotmail.com	



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล อธิกร บุตรครอง
วัน-เดือน-ปีเกิด 15 สิงหาคม 2533
ที่อยู่ 102/72 หมู่บ้านสวนผึ้ง
ถ.ประเสริฐมุนีกิจ ต.ลาดพร้าว
อ.ลาดพร้าว จ.กรุงเทพมหานคร 10230

ประวัติการศึกษา

ปวช. สาขาวิชา ช่างยนต์
โรงเรียนช่างฝีมือทหาร พ.ศ.2551

ปวส. สาขาวิชา ช่างยนต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ.2553

วศ.บ. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ.2556

โทรศัพท์ 08-3496-3822
E-mail address tammy_mu@hotmail.com

