



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

แผนงานวิจัย

การศึกษาจุดศูนย์กลางมวลและสัดส่วนการเบรกที่ส่งผล
กระทบต่อเสถียรภาพการบังคับยานยนต์

A study of center of mass and brake proportional
referred to vehicle handling performance

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 การศึกษาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลที่มีผลต่อเสถียรภาพการ
บังคับรถ

A Study of the position of center on Vehicle
Handling

กฤษศ สุธันท์โรจน์

พลรัชต์ บุญมี

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๗
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

แผนงานวิจัย

การศึกษาจุดศูนย์กลางมวลและสัดส่วนการเบรกที่ส่งผล
กระทบต่อเสถียรภาพการบังคับยานยนต์

A study of center of mass and brake proportional
referred to vehicle handling performance

โครงการวิจัยย่อยที่ 2 การศึกษาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลที่มีผลต่อเสถียรภาพการ
บังคับรถ

A Study of the position of center on Vehicle
Handling

กุลยศ สุวันทโรจน์
(หัวหน้าโครงการวิจัยย่อยที่ 2)

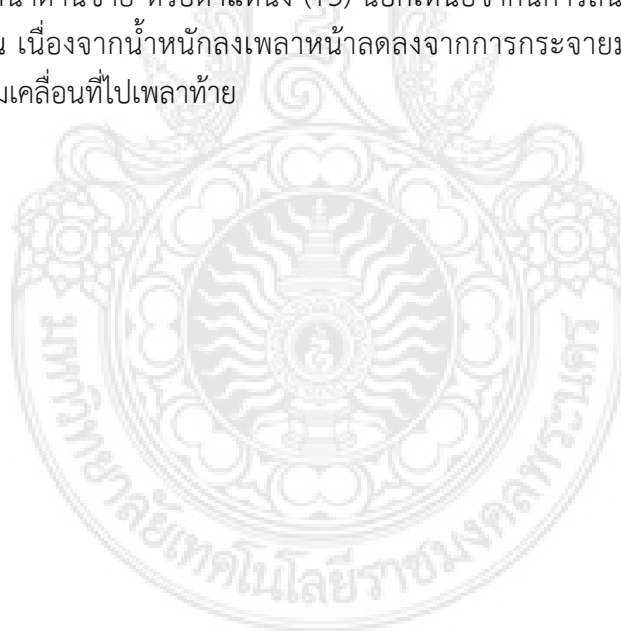
พลรัชต์ บุญมี
(ผู้ร่วมวิจัย)

ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี
(ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาการกระจายความหนาแน่นรูปแบบต่าง ๆ บนรถที่มีผลต่อจุดศูนย์กลางมวลและเสถียรภาพการบังคับรถ โดยการออกแบบชุดทดสอบการกระจายความหนาแน่นของมวลของบนรถยนต์ทดสอบที่สามารถแปรเปลี่ยนเป็นรูปแบบต่าง ๆ ได้ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญต่อเสถียรภาพของรถยนต์ นอกเหนือจากนี้ความสามารถในการเบรกด้วยการทดสอบบนถนนจริงตามมาตรฐาน FMCSA ถูกเลือกมาทดสอบและทำการประยุกต์เพื่อชี้วัดค่าเสถียรภาพของรถยนต์ภายใต้การแปรเปลี่ยนจุดศูนย์กลางมวล

ผลการวิจัยพบว่าตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง ส่งผลต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลทำให้จุดศูนย์กลางมวลเปลี่ยนแปลง โดยมีผลกระทบมากที่สุดที่เพลาน้ำขา ส่วนความสามารถในการเบรกขึ้นอยู่กับตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวและแนวขวางใกล้กับเพลาน้ำหรือตำแหน่ง (Y2) สำหรับเสถียรภาพการบังคับรถยนต์ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวและแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาน้ำหรือตำแหน่ง (Y2) มีผลกระทบมากที่สุดต่ออัตราการส่ายและการลื่นไถลด้านข้าง กรณีของอัตราการกระดกของรถยนต์มีความสัมพันธ์ร่วมกับการติดตั้งมวลตามแนวขวางและอยู่ใกล้กับเพลาน้ำด้านซ้าย หรือตำแหน่ง (Y3) นอกเหนือจากนี้การลื่นไถลของล้อเกิดขึ้นเฉพาะที่เพลาน้ำเท่านั้น เนื่องจากน้ำหนักลงเพลาน้ำลดลงจากการกระจายมวลตามแนวขวาง หรือจุดศูนย์กลางมวลเริ่มเคลื่อนที่ไปเพลาท้าย



ABSTRACT

The aim of this research is to study the varieties of weight density distribution affect to the center of mass and vehicle stability. The weight density distribution tester was designed and changed the position of mass. Base on the center of mass is main points of vehicle stability. On the other hand, FMCSA standard was applied to field test for considering of the brake performance and vehicle stability.

The results of research discovered to the mass distribution on longitudinal plane are affected to the center of mass and absolutely influence at the right wheel on the front axle. In term of the braking performance, it's depends on the lateral mass distribution especially the center position of mass installed on longitudinal and horizontal plane and close up on the front axle (Y2). For the vehicle stability results, the position (Y2) is the highest influence for yaw rate and sideslip. Otherwise, the position (Y3) or the position of mass installed on longitudinal plane and nearly at the left wheel on the rear axle. Additionally, wheel lock-up condition was appeared on the front axle only. Because the behavior of weight distribution on the front axle was decreased lead to mass distribution on longitudinal plane.



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ท่านที่อำนวยความสะดวกในการประสานงานทั้งหมดจนบรรลุผลสำเร็จอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของคณะผู้วิจัยทุกท่าน ที่สร้างแรงผลักดันอันก่อให้เกิดกำลังใจในการทำงาน และต่อสู้กับอุปสรรคและสิ่งบั่นทอนกำลังใจต่าง ๆ ให้ผ่านพ้นมาได้ด้วยดีตลอดทุกครั้ง

ขอกราบขอบพระคุณท่านอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้ซึ่งให้โอกาสและสนับสนุนงานวิจัยสำหรับครั้งนี้และทุก ๆ ครั้งที่ผ่านมาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคุณนิธิพล เอกบุญญฤทธิ์ ที่ปรึกษาแผนงานวิจัย แห่งสถาบันยานยนต์ ผู้ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อการวิจัย ตลอดจนเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลวิจัยต่อผู้สนใจรวมทั้งผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ในสายงานด้านวิศวกรรมยานยนต์ต่อไป

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และกำลังใจตลอดการระยะเวลาการวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สัญลักษณ์และความหมาย	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3. ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	11
3.1 การออกแบบชุดกระจายมวล	12
3.2 หลักการทำงานของชุดกระจายมวล	13
3.3 การทดสอบ	14
3.4 การคำนวณ	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิจารณ์	23
4.1 สมมุติฐานการวิจัย	23
4.2 สมมุติฐานการทดสอบ	23
4.3 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล	24
4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการเบรก	29
4.5 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์	32
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการวิจัย	36
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย	37
5.3 ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก ก	39

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การทดลองระบบการควบคุมรถยนต์บนสนาม	3
รูปที่ 2.2 รถยนต์ที่ถูกทดสอบบนสนาม	4
รูปที่ 2.3 การจำลองการเคลื่อนที่โมเดลรถ 5 วินาที	4
รูปที่ 2.4 โมเดลยานยนต์	6
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวยาวรถ	7
รูปที่ 2.6 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวขวางรถ	8
รูปที่ 2.7 วิธีการหาระยะแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวลแบบยกเพลาท้ายขึ้น	8
รูปที่ 2.8 การส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบขณะทำการเบรก	9
รูปที่ 2.9 การพิจารณาตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวระนาบของรถยนต์	9
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	11
รูปที่ 3.2 ชุดกระจายมวลที่ออกแบบ	12
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการกระจายมวล	13
รูปที่ 3.4 ก้อนมวลที่ออกแบบ	13
รูปที่ 3.5 กระจกด้านหน้าและด้านหลัง	14
รูปที่ 3.6 เพลาสกรูยึดก้อนมวล	14
รูปที่ 3.7 การปรับเปลี่ยนรถยนต์เป็นแบบ Rigid body	15
รูปที่ 3.8 การชั่งน้ำหนักลงเพล	15
รูปที่ 3.9 บริเวณติดตั้งชุดกระจายมวล	17
รูปที่ 3.10 การติดตั้งชุดกระจายมวล	17
รูปที่ 3.11 การปรับตั้งพิกัดการกระจายมวล	18
รูปที่ 3.12 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัย	19

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 การเปรียบเทียบค่าของมุมลื่นไถลด้านข้าง	19
รูปที่ 3.14 การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วง	20
รูปที่ 3.15 การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์	20
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลของรถยนต์ทดสอบ	35



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การทดสอบสมรรถนะการเบรกของรถยนต์ตามมาตรฐาน FMCSA	5
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ	16
ตารางที่ 3.2 สรุปผลการคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวางของรถยนต์ทดสอบ	21
ตารางที่ 3.3 สรุปผลการคำนวณค่าการลื่นไถลด้านข้าง	22
ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขการทดสอบ	23
ตารางที่ 4.2 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 50 กิโลกรัม	24
ตารางที่ 4.3 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 100 กิโลกรัม	25
ตารางที่ 4.4 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 150 กิโลกรัม	26
ตารางที่ 4.5 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 200 กิโลกรัม	27
ตารางที่ 4.6 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 250 กิโลกรัม	28
ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล	28
ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 50 กิโลกรัม	29
ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 100 กิโลกรัม	30
ตารางที่ 4.10 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 150 กิโลกรัม	30
ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 200 กิโลกรัม	31
ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 250 กิโลกรัม	31
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการส่ายของรถภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล	32
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการกระดกของรถภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล	33
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการลื่นไถลด้านข้างของรถภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล	33
ตารางที่ 4.16 ผลการลื่นไถลของล้อที่การเพิ่มขึ้นของมวลและตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลต่าง ๆ	34

สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	ความหน่วง	m/s^2
g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	m/s^2
h	ความสูงจุดศูนย์ถ่วงรถยนต์ในแนวตั้ง	m
m	มวลของรถยนต์	kg
L	ระยะฐานล้อ	m
F_F	แรงปฏิกิริยาที่เพลลาหน้า	N
F_R	แรงปฏิกิริยาที่เพลลาท้าย	N
F_{BF}	แรงเบรกที่เพลลาหน้า	N
F_{BR}	แรงเบรกที่เพลลาท้าย	N
L_1	ระยะห่างจากเพลลาหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	m
L_2	ระยะห่างจากเพลลาท้ายถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	m
ΔF	Dynamic Load Transfer	N
θ	มุมพวงมาลัย	-
β	มุม Sideslip	-

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการเติบโตและเข้ามามีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย รถยนต์ที่ผลิตจากประเทศไทยในปี 2553 ทั้งตลาดภายในประเทศและตลาดส่งออกขยายตัวสูงทำให้ยอดจำหน่ายรวมสูงถึง 1.7 ล้านคัน ซึ่งดูจากยอดการจำหน่าย ประเทศไทยถือเป็นฐานผลิตรถยนต์ใหญ่ที่สุดในอาเซียน ขณะเดียวกัน ประเทศไทยยังขาดองค์ความรู้และการวิจัยเทคโนโลยีพื้นฐาน โดยเฉพาะเสถียรภาพการบังคับรถ ซึ่งองค์ประกอบหลักของเสถียรภาพการบังคับรถนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ 1) การกระจายตัวของน้ำหนักของรถ 2) ระบบรองรับ ซึ่งทั้งสองมีความสำคัญไม่ด้อยกว่ากัน ในความเป็นจริงนั้น ในการใช้งานโดยทั่วไประบบรองรับของรถยนต์ส่วนใหญ่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระบบรองรับ แต่การกระจายตัวของน้ำหนักของรถการใช้งานนั้น มีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่รู้ตัว ไม่ว่าจะเป็นการต่อเติมตัดแปลงในส่วนกระบะเพื่อใช้ในการบรรทุก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในส่วนต่างๆของรถไม่ว่าจะเป็น ความสูงของจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass height) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อแรงภาระไปยังล้อหน้าและล้อหลัง , จุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) ในอุดมคติจุดศูนย์กลางมวลจะแบ่งอัตราส่วนของมวลไปยังล้อหน้าและล้อหลังเท่ากันหากมวลหรือน้ำหนักทั้งหมดมีอัตราส่วนมากในล้อหน้า ในสภาวะคงตัวในจะเกิดการดื้อโค้ง (Understeer) ในทางตรงข้ามมีมวลอัตราส่วนมากในล้อหลังจะเกิดการไวโค้ง (Oversteer) ความเฉื่อยของมุมการโคลง (Roll angular inertia), มุมหันเห (Yaw angular inertia) และมุมปิกและเงย (pitch angular inertia) ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาทั้งหมดผลต่อเสถียรภาพการบังคับรถทั้งสิ้น ปัจจัยเหล่านี้จึงเป็นพื้นฐานความรู้ที่ยังขาดอยู่ในประเทศไทย และประกอบกับมีผู้วิจัยด้านนี้ในประเทศน้อยมาก ทำให้องค์ความรู้พื้นฐานด้านยานยนต์ในประเทศไทยขาดหายไป

จากปัญหาข้างต้นจึงทำให้งานวิจัยเรื่องการศึกษาตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลที่มีผลต่อเสถียรภาพการบังคับรถเป็นก้าวหนึ่งที่จะช่วยให้เพิ่มองค์ความรู้ในด้านยานยนต์ ไม่ว่าจะเป็นการต่อเติมตัวถังรถยนต์ของอุตสาหกรรม SME และเป็นก้าวหนึ่งเพื่อให้ประเทศไทยนำไปสู่ฐานการผลิตรถยนต์ยังคงอันดับหนึ่งในอาเซียนต่อไปและพร้อมขยับขึ้นไปบนเวทีโลกต่อไป รวมไปถึงการลดผลอันตรายในการขับขี่ในส่วนของตัวรถ (อันตรายในการขับขี่ประกอบด้วยหลายส่วน เช่น 1. สภาพของตัวรถ 2. สภาพและความสามารถตัวผู้ขับขี่ 3. สภาพถนนและอากาศในขณะขับขี่ และอื่น ๆ) ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ประเทศไทยจะได้รับ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการกระจายความหนาแน่นรูปแบบต่าง ๆ บนรถที่มีผลต่อจุดศูนย์กลางมวล
- 1.2.2 เพื่อศึกษาจุดศูนย์กลางมวลที่มีผลต่อเสถียรภาพการบังคับรถ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 รถทดสอบที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดไม่เกิน 2 ตัน
- 1.3.2 ขั้นตอนการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน FMCSA [7]

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบปัจจัยของการกระจายความหนาแน่นรูปแบบต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อจุดศูนย์กลางมวล
- 1.4.2 องค์ความรู้พื้นฐานทางวิชาการของเสถียรภาพการบังคับรถยนต์



บทที่ 2

วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การศึกษาด้านระบบควบคุมของเสถียรภาพการบังคับรถ

โดยทั่วไปการศึกษาระบบควบคุมของเสถียรภาพการบังคับรถที่จำเป็นในการเป็นระบบช่วยเหลือคนขับ [1] เสถียรภาพการขับรถได้รับผลกระทบโดย (i) เทคโนโลยี (เครื่องยนต์, ช่วงล่าง, เบรก, ยาง, ล้อ, พวงมาลัย ฯลฯ) (ii) สิ่งแวดล้อม เช่น สภาพถนน สภาพอากาศ และการจราจร เป็นต้น (iii) ตัวผู้ขับ สำหรับ Andreas Riener และคณะ [2] ได้ศึกษาปัจจัยความเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวผู้ขับกับรถ และ รถกับถนน ในกรณีที่รถขับขับโค้ง พวงมาลัยมีการรบกวนด้วยความเร่งในขณะทางด้านข้างรถ โดยขึ้นกับอัตราส่วนพวงมาลัยและความเร็วของรถขณะเข้าโค้ง สามารถมีการชดเชยแรงทางด้านข้างรถ อาศัยร่างกายของตัวขับโดยการติดตั้งแผงวัดความดัน 2 แผงแต่ละแผงมีตัวรับรู้ความดัน 32x32 ตัว(ติดตั้งที่ที่นั่งและพนักพิง) เป็นการจำแนกตามคุณลักษณะที่กำหนดขึ้นอยู่กับสถานการณ์การขับขี่เข้าโค้งดังรูปที่ 2.1 การทดลองผลการตรวจสอบความดันเพิ่มขึ้นจะมีการชดเชยความเร่งด้านข้างทำให้มีความเร็วเพิ่มขึ้น ทำให้เพิ่มความแม่นยำของพวงมาลัย ซึ่งระบบควบคุมอัจฉริยะที่ช่วยเหลือ สามารถลดการดีดโค้งและไวโค้งของรถได้หรือช่วยแจ้งในการควบคุมเสถียรภาพทางอิเล็กทรอนิกส์ electronic stability control (ESC) ต่อมา Alrik L. Svenson [3] ได้ศึกษาผลกระทบจากระบบควบคุมแฮชซีต่อเสถียรภาพการบังคับรถและความเสถียรของการโคลงเกิน โดยทดสอบกับรถยนต์ดังรูปที่ 2.2 ประสิทธิภาพของ ESC มีผลต่อความเสถียรภาพการโคลงเกิน ส่วนระบบการแอคทีฟ การบังคับเลี้ยวล้อหลัง Active Rear Steer (ARS) มีผลต่อประสิทธิภาพต่อเสถียรภาพการบังคับเลี้ยวซึ่งทั้งสองระบบนี้จะช่วยในการปลอดภัยในการขับขี่



รูปที่ 2.1 การทดลองระบบการควบคุมรถยนต์บนสนาม [2]



รูปที่ 2.2 รถยนต์ที่ถูกทดสอบบนสนาม [3]

2.1.2 การศึกษาด้านการจำลองโมเดลรถที่มีผลเสถียรภาพการบังคับรถ

โดยทั่วไปการจำลองโมเดลรถมีความสำคัญเช่นกัน เป็นการจำลองปรากฏการณ์ของรถในรูปแบบต่างๆได้ ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า Micheal W. Sayers และคณะ [4] การทำการศึกษาโมเดลที่มี 18 ระดับชั้นความเร็ว ซึ่งมีรายละเอียดเพียงพอสำหรับวิศวกร โดยการเปรียบกับโมเดลสมบูรณ์ บนโปรแกรมจำลองหลายวัตถุ (multi body) เน้นการศึกษาการเบรกและเสถียรภาพการบังคับรถผลจากการวิเคราะห์พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนกรณีของ S Hegazy, H Rahnejat และคณะ [5] ทำการศึกษาโมเดลที่มี 18 ระดับชั้นความเร็วโดยจำลองการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนแปลง เปลี่ยนเลนที่ละสองเลน และการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางดังรูปที่ 2.3 โดยปราศจากการเบรกมีสนใจผลของแรงในแนวตั้งที่ทำกับยางรถยนต์, ความเร่งในแนวตามยาว, มุมโคลง และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีการจำลองเกี่ยวกับรถสี่ตีนตะขาบ Keiji Watanabe และคณะ [6] ได้ศึกษาเสถียรภาพการบังคับรถและสมรรถนะความเสถียรของรถสี่ตีนตะขาบโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างโมเดลทางคณิตศาสตร์กับโมเดลจำลองรถเพื่อเปรียบเทียบกัน พบว่าโมเดลทางคณิตศาสตร์มีความแม่นยำค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.3 การจำลองการเคลื่อนที่โมเดลรถ 5 วินาที [5]

ตารางที่ 2.1 การทดสอบสมรรถนะการเบรกของรถยนต์ตามมาตรฐาน FMCSA [7]

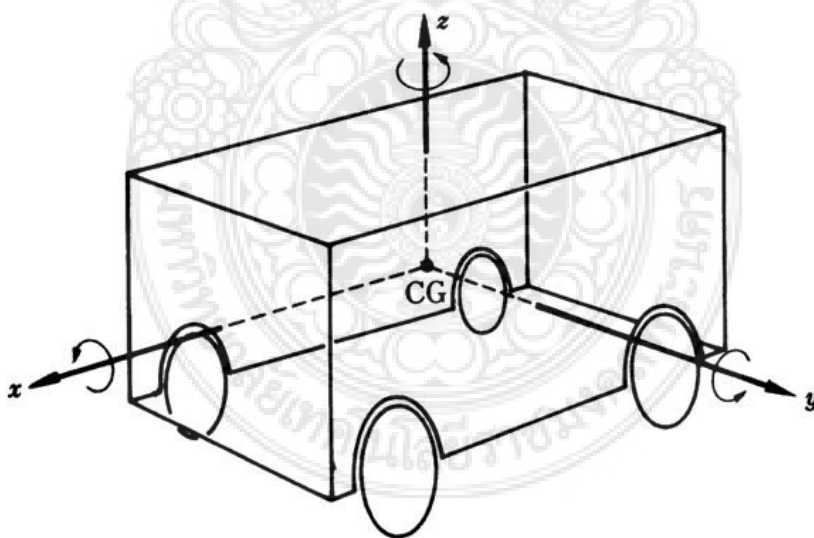
Type of motor vehicle	Service brake systems		
	Braking force as a percentage of gross vehicle or combination weight [%]	Deceleration in [m/s ²]	Application and braking distance in meter from initial speed at 32.16 km/hr
A. Passenger-carrying vehicles:			
(1) Vehicles with a seating capacity of 10 persons 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
B. Property-carrying vehicles:			
(1) Single unit vehicles having a manufacturer's GVWR of 10,000 pounds or less.	52.8	5.181	7.62
(2) Single unit vehicles having a manufacturer's GVWR of more than 10,000 pounds, except truck tractors	52.8	5.181	7.62

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 โมเดลยานยนต์สี่ล้อเสมือนจริง (virtual four-wheel vehicle model) [1]

สำหรับการศึกษาดพลศาสตร์ยานยนต์และการควบคุม โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่สมมุติเพื่อเป็นตัวแทนของยานยนต์ โดยจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity) หรือจุด C.G เป็นจุดที่บอกตำแหน่งของน้ำหนักลัพธ์ของระบบของอนุภาคหรือระบบของวัตถุ สำหรับจุดศูนย์กลางมวล (Center of mass) คือ จุดที่แสดงตำแหน่งของมวลลัพธ์ของระบบของอนุภาคโดยที่ $W = mg$ แล้ว จุดศูนย์กลางถ่วงของระบบจะเป็นจุดเดียวกับจุดศูนย์กลางมวลของระบบ เมื่อมวลของระบบถูกกระทำโดย g ที่เท่ากัน สำหรับระบบของวัตถุโมเดลยานยนต์ประกอบด้วยล้อที่สามารถควบคุมได้ ล้อหน้า 2 ล้อและล้อหลัง 2 ล้อ ถูกยึดติดกับวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) ดังรูปที่ 2.4 ล้อรถไม่คิดน้ำหนัก และวัตถุแข็งเกร็งเป็นตัวแทนของน้ำหนักรถ โดยกำหนดระบบพิกัดที่ติดกับโมเดล แกน x อยู่ในทิศทางตามยาว, แกน y อยู่ในทิศทางด้านข้าง และแกน z อยู่ในทิศทางแนวตั้ง จุดเริ่มต้นอยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง ภายในระบบพิกัด การเคลื่อนที่ของยานยนต์ประกอบ 6 ระดับขั้นความเสรี (degrees of freedom) คือ

- 1) การเคลื่อนที่ในแนวตั้งในทิศทาง z
- 2) การเคลื่อนที่ในแนวซ้ายหรือขวาในทิศทาง y
- 3) การเคลื่อนที่ในแนวยาวในทิศทาง x
- 4) การเคลื่อนที่ในแนวการโคลง ทิศทางหมุนรอบแกน x
- 5) การเคลื่อนที่ในแนวปีกและเงย ทิศทางหมุนรอบแกน y
- 6) การเคลื่อนที่ในแนวหันเห ทิศทางหมุนรอบแกน z



รูปที่ 2.4 โมเดลยานยนต์ [1]

2.2.2 เสถียรภาพการบังคับรถยนต์

เสถียรภาพการบังคับรถยนต์ คือ การบังคับรถยนต์ให้เป็นไปตามที่ผู้ขับขี่ต้องการ ในสภาวะการขับขี่จริง ทั้งในขณะขับขี่ทางตรง การเข้าโค้งหรือแม้กระทั่งผ่านสภาวะของถนนรูปแบบ

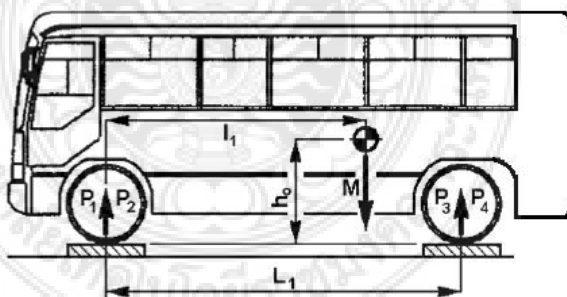
ต่างๆ ซึ่งเสถียรภาพการบังคับรถยนต์และการเบรกถือได้ว่าเป็นการกระทำของรถยนต์ที่ทำหน้าที่ให้เกิดความปลอดภัยต่อการขับขี่ก่อนที่จะเกิดอุบัติเหตุ (Active safety) กระนั้นเสถียรภาพการบังคับรถยนต์อาจหมายถึงการทรงตัวของรถยนต์ได้ดีในทุกๆ สถานการณ์การทรงตัวขณะจอดนิ่งบนพื้นระดับหรือทางชัน การทรงตัวในขณะที่เลี้ยวเข้าโค้ง ฯลฯ [8] องค์ประกอบหลักที่จะรักษาเสถียรภาพของรถยนต์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักต่อไปนี้

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

2.2.2.1 จุดศูนย์กลางมวลของรถยนต์ (Centre of gravity of vehicle)

จุดศูนย์กลางมวลเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องตระหนักถึงเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการควบคุมการขับขี่โดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งยานยนต์ที่มีสมรรถนะสูง เพราะต้องการการทรงตัวที่ดีและในขณะที่ใช้ความเร็วสูงเพื่อความปลอดภัยความสูงของจุดศูนย์กลางมวลที่น้อยที่สุดเป็นสิ่งที่ยอมรับสำหรับการออกแบบยานยนต์ในทุกประเภท ด้วยเหตุผลในด้านการควบคุมรถ การยึดเกาะถนน การเลี้ยว รวมไปถึงการขึ้นทางลาดชัน อย่างไรก็ตามตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลขึ้นอยู่กับขนาดของภาระการโดยสารและตำแหน่งที่ตั้งของมวลที่บรรทุก ด้วยหลักการทางวิศวกรรมยานยนต์ จุดศูนย์กลางมวลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวตามระบบพิกัดฉากดังนี้

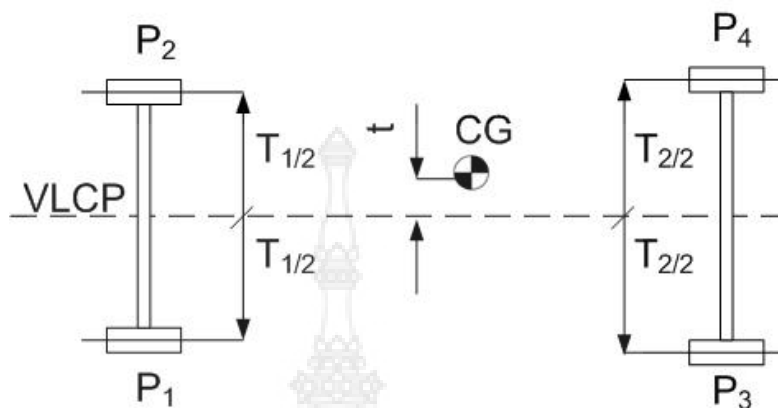
ตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางมวล เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะฐานล้อ (Wheel base) โดยมองจากด้านข้างตำแหน่งตามยาวของจุดศูนย์กลางจะอยู่ในแนวระนาบ (Horizontal) ภายใต้ระยะของฐานล้อ สำหรับตำแหน่งตามแนวยาวของจุดศูนย์กลางมวลแสดงดังรูปที่ 2.5



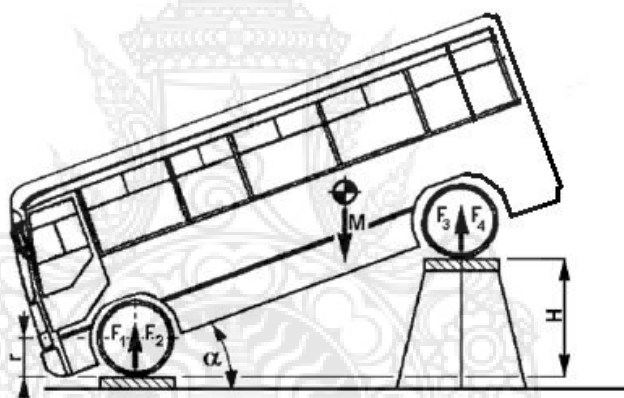
รูปที่ 2.5 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวยาวรถ [9]

ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางมวล เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะของจุดศูนย์กลางล้อซ้ายถึงจุดศูนย์กลางล้อขวา (Tracking) โดยการมองรถจากด้านหน้า หรือด้านหลัง ในขณะที่ระยะของจุดศูนย์กลางล้อซ้ายถึงจุดศูนย์กลางล้อขวาของเพลลาหน้า และเพลลาท้ายของรถยนต์อาจมีค่าไม่เท่ากันเช่นรถบรรทุก 6 ล้อ ที่ออกแบบให้มีล้อคู่อยู่ที่เพลลาท้ายโดยที่เพลลาท้ายจะมีค่ามากกว่าเนื่องจากเหตุผลเรื่องรัศมีการเลี้ยว (Turning

radius) และการเข้าโค้ง ส่วนในกรณีรถยนต์ 4 ล้อโดยปกติมีค่าเท่ากัน ตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางมวลแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลตามแนวขวางรถ [9]



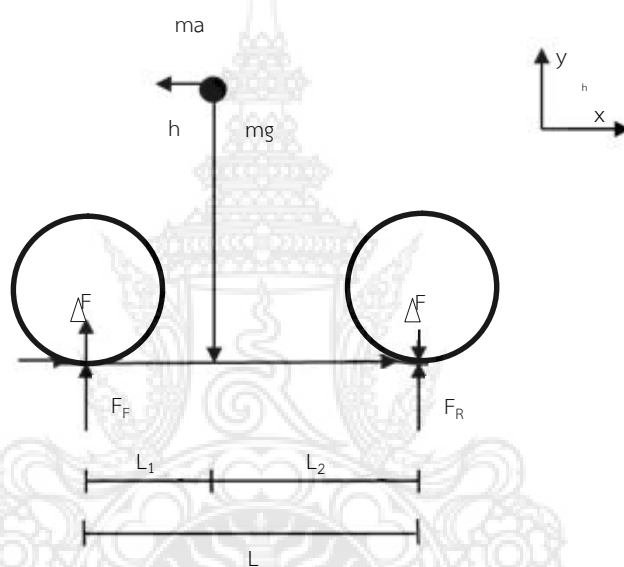
รูปที่ 2.7 วิธีการหาระยะแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวลแบบยกเพลาท้ายขึ้น [9]

ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวล เป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์ที่พิจารณาจากระยะที่ล้อสัมผัสกับผิวถนนซึ่งตำแหน่งตามแนวตั้งถึงจุดศูนย์กลางมวลนี้ เป็นตำแหน่งที่พิจารณาได้ยากที่สุด เนื่องจากต้องมาจากการทดสอบเท่านั้น การทดสอบสามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ วิธีแขวนรถวิธียกเพลาท้ายขึ้นในแนวตั้งและวิธีพลิกคว่ำ อย่างไรก็ตามการทดสอบทั้ง 3 วิธีนี้ค่าที่ได้ถูกนำมาใช้คำนวณหาตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวล วิธีการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.7

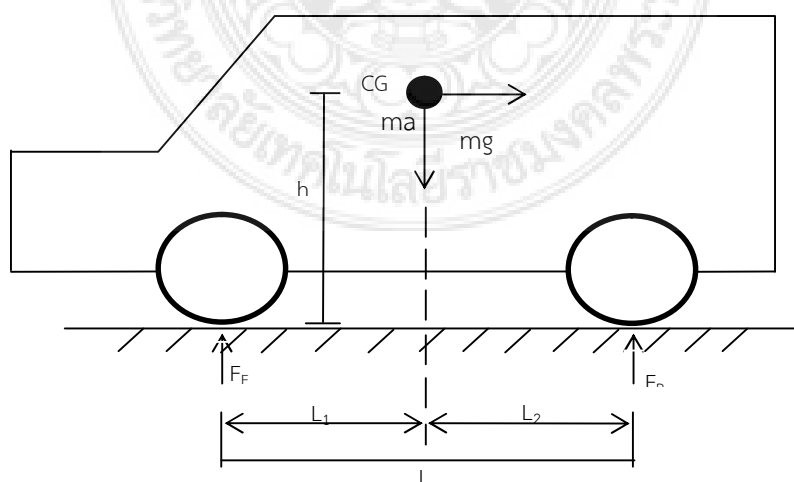
2.2.2.2 แรงเบรกและการกระจายแรงเบรก (Braking force and brake force distribution)

แรงเบรกเป็นองค์ประกอบหลักของการสร้างแรงเสียดทานที่กระทำต่อผ้าเบรกและจานเบรก ซึ่งส่งผลกระทบทางการเบรกเพื่อการชะลอหรือหยุดรถยนต์ ปริมาณแรงเบรคนั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ขับขี่หรือปริมาณแรงเบรกที่อยู่ในระบบไฮดรอลิก หากแรงเบรกมีปริมาณสูงเกินไป yang ที่สัมผัสกับผิวของถนนนั้นจะเกิดการลื่นไถลของล้อหรือที่เรียกว่า ล้อล็อก (Wheel lock-up) การ

ลื่นไถลของล้อเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ ปริมาณของแรงเบรกที่ผู้ขับขี่เหยียบเบรกมีค่ามากเกินไปและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนนจริงมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนนจากการที่ผู้ขับขี่ทำการเหยียบเบรกด้วยการลื่นไถลของล้อนี้จะส่งผลกระทบต่ออย่างมากกับการบังคับหรือการควบคุมรถยนต์ให้ทิศทางเป็นไปตามต้องการ หากพิจารณาพฤติกรรมของรถยนต์ในขณะที่ทำการเบรคนั้นจะเกิดการส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบและแนวตั้งไปที่บริเวณเพลาหน้าของรถยนต์ (Dynamic load transfer) ดังแสดงตามรูปที่ 2.8 อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ การเปลี่ยนตำแหน่งมวลเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นหลัก ดังนั้นการหาจุดศูนย์กลางของรถยนต์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.9 สำหรับสมการที่ใช้หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางในแนวระนาบแสดงดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 การส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบขณะทำการเบรก



รูปที่ 2.9 การพิจารณตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงในแนวระนาบของรถยนต์

การหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบของรถยนต์

$$L_1 = \frac{L \times F_R}{mg}$$

สมการที่ 2.1

$$L_2 = L - L_1$$

สมการที่ 2.2

กำหนดให้

F_{BF}	คือ	แรงเบรกที่เพลาน้ำ	[N]
F_{BR}	คือ	แรงเบรกที่เพลาท้าย	[N]
F_F	คือ	แรงปฏิกิริยาที่เพลาน้ำ	[N]
F_R	คือ	แรงปฏิกิริยาที่เพลาท้าย	[N]
L	คือ	ระยะฐานล้อ	[m]
L_1	คือ	ระยะห่างจากเพลาน้ำถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	[m]
L_2	คือ	ระยะห่างจากเพลาท้ายถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวระนาบ	[m]
a	คือ	ความหน่วงในการเบรก	$[m/s^2]$
g	คือ	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	$[m/s^2]$
h	คือ	ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงรถในแนวตั้ง	[m]
m	คือ	มวลรถยนต์	[kg]
ΔF	คือ	Dynamic load transfer	[N]

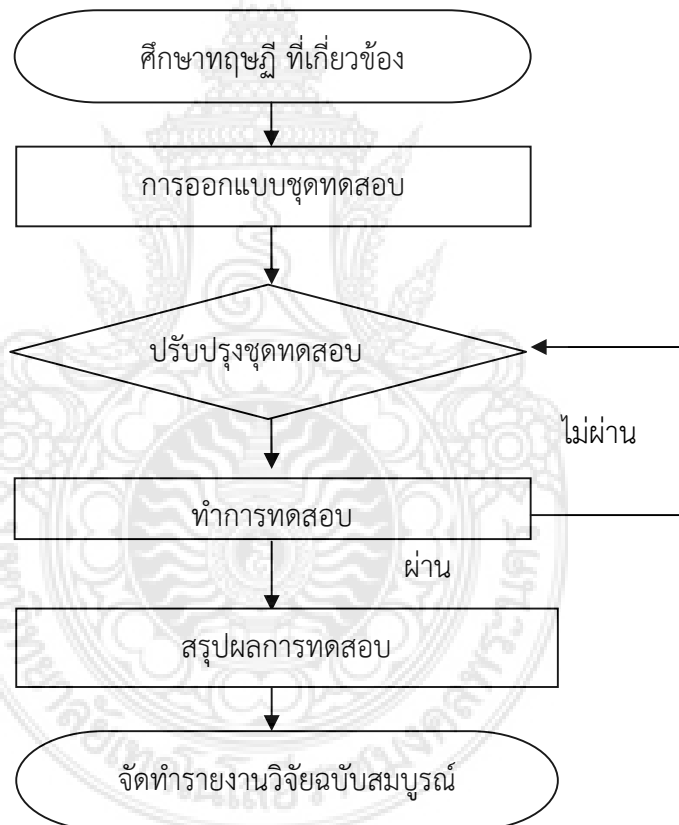
2.2.2.3 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน (Friction coefficient of road surface)

การเคลื่อนที่ของรถยนต์ไปตามที่ผู้ขับขี่ต้องการนั้น เรากล่าวได้ว่าไม่สามารถเลือกไปตามถนนที่ต้องการได้เสมอไป ดังนั้นรถยนต์ที่เคลื่อนที่ไปทุกสภาพถนนในทุกพฤติกรรมการขับขี่ อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพการบังคับรถยนต์ได้ เช่นในกรณีทำการเบรกหรือเข้าโค้งในขณะที่พื้นถนนลื่นทำให้มีโอกาสที่รถยนต์เกิดปัญหาการควบคุม ซึ่งอาจมีความรุนแรงจนเกิดการพลิกคว่ำ จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เปิดเผยให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับยานยนต์

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

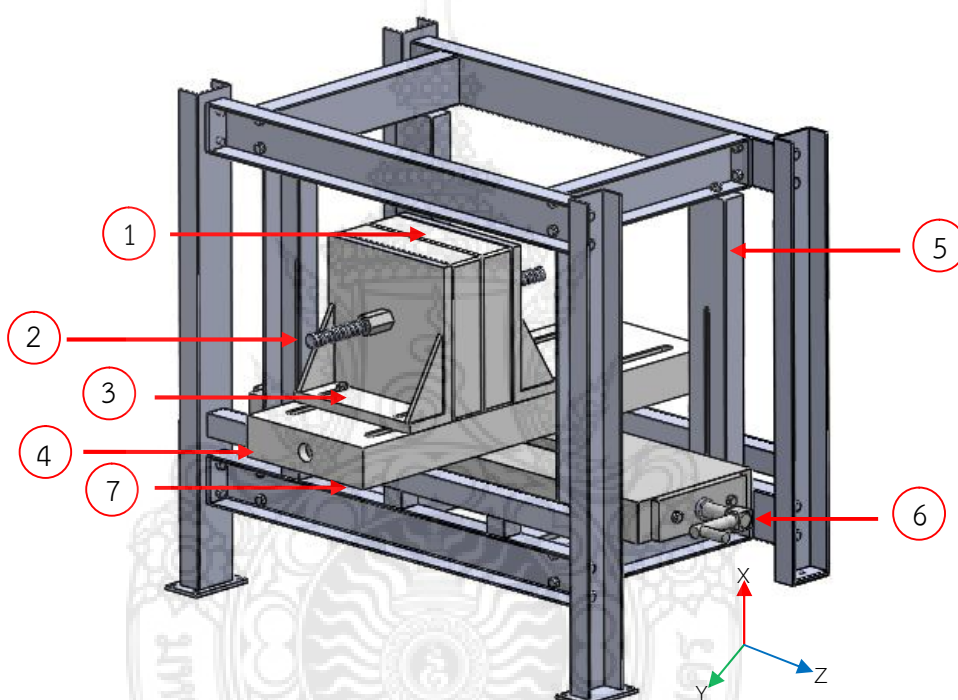
การจัดทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายความหนาแน่นรูปแบบต่าง ๆ ที่มีผลต่อจุดศูนย์กลางมวล และส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับรถ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนการลงมือปฏิบัติและทดสอบ อีกทั้งเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบชุดกระจายมวล

การทดสอบใช้รถยนต์นั่ง 4 ล้อ มาพิจารณาจุดศูนย์กลางมวลและเสถียรภาพการควบคุม จากผลของการกระจายความหนาแน่นรูปแบบต่าง ๆ หรือการกระจายมวลบนรถยนต์ ดังนั้นการออกแบบการกระจายมวล เป็นสิ่งที่สำคัญ เนื่องจากโดยปกติแล้วรถยนต์ที่ใช้งานทั่วไปถูกออกแบบการกระจายมวลแบบไม่คงที่ (Non-Distribution Weight) ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบชุดกระจายมวลขึ้นมาใหม่ เพื่อให้สามารถศึกษาการกระจายมวลในรูปแบบต่าง ๆ โดยชุดกระจายมวลที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.2 ยิ่งไปกว่านั้นความปลอดภัยในการทดสอบเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการจัดทำวิจัยนี้ ดังนั้นชุดกระจายมวลจึงถูกยึดติดกับตัวถังของรถยนต์ทดสอบบริเวณห้องโดยสารโดยใช้ลวดสลิงขนาด 3 / 8" เป็นอุปกรณ์ในการจับยึดระหว่างโครงสร้างของชุดกระจายมวลกับตัวถังของรถยนต์



รูปที่ 3.2 ชุดกระจายมวลที่ออกแบบ

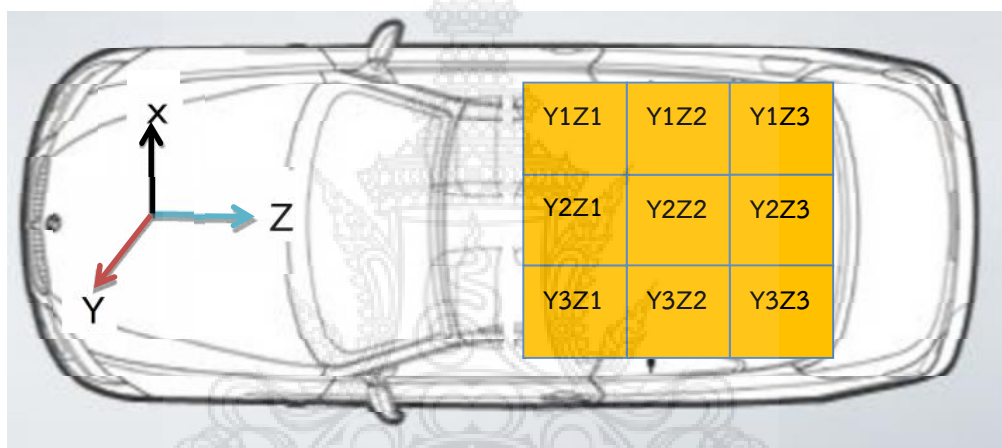
ส่วนประกอบของชุดกระจายมวลมีดังต่อไปนี้

1. ก้อนมวล ใช้เพื่อกระจายความหนาแน่น
2. เพลาสกรู ใช้เพื่อยึดก้อนมวลให้ติดกับประกับหน้าและหลัง
3. ประกับ ใช้เพื่อบรรจุและยึดก้อนมวลเข้ากับเพลาสกรู
4. แผ่นยึดมวล ใช้เพื่อรองรับและปรับตั้งระยะก้อนมวลในแนวขวาง (แกน Y)
5. โครงสร้าง ใช้เพื่อเป็นที่รองรับส่วนประกอบต่าง ๆ โดยถูกยึดติดกับโครงสร้างรถทดสอบ
6. เกลียวปรับพิกัด ใช้เพื่อปรับพิกัดตำแหน่งมวลในแนวยาว (แกน Z)
7. เกลียวทองเหลือง ใช้เพื่อปรับพิกัดตำแหน่งมวลในแนวตั้ง (แกน X)

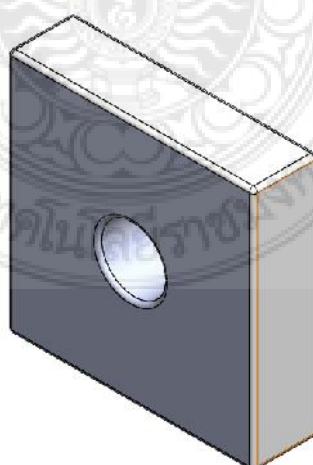
3.2 หลักการทำงานของชุดกระจายมวล

สำหรับหลักการทำงานของชุดกระจายมวลนี้ ซึ่งจะสามารถปรับตำแหน่งการกระจายมวลได้ 3 แนวแกน คือ แนวตั้ง (แกน X) แนวยาว (แกน Z) และแนวขวาง (แกน Y) โดยการปรับระยะของชุดมวลใช้สกรูเกลียวในการปรับตั้งตำแหน่งในแนวตั้ง และแนวขวาง ดังแสดงตามรูปที่ 3.3 ส่วนในกรณีแนวขวางใช้การเลื่อนตำแหน่งของก้อนมวลตามพิกัดที่กำหนดไว้ ซึ่งก้อนมวลที่ใช้ในการทดสอบแบ่งเป็น 5 พิกัด คือ 50, 100, 150, 200 และ 250 กิโลกรัม ก้อนมวลมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งมีอยู่บริเวณกึ่งกลางของก้อนมวล เพื่อใช้สำหรับยึดติดกับชุดกระจายมวลดังแสดงตามรูปที่ 3.4

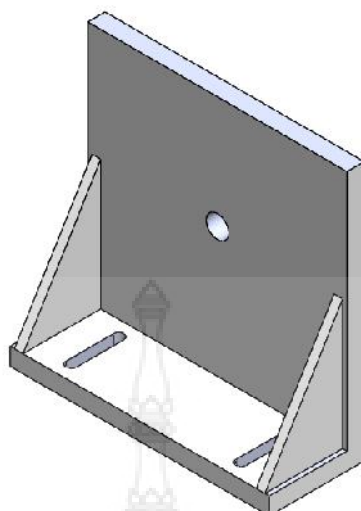
อย่างไรก็ตามก้อนมวลถูกยึดด้วยแผ่นประกบด้านหน้าและด้านหลังโดยมีเพลาสกรูขนาด สวมผ่านรูของก้อนมวลตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับแผ่นประกบด้านหน้าและด้านหลัง และเพลาสกรูแสดงตามรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ



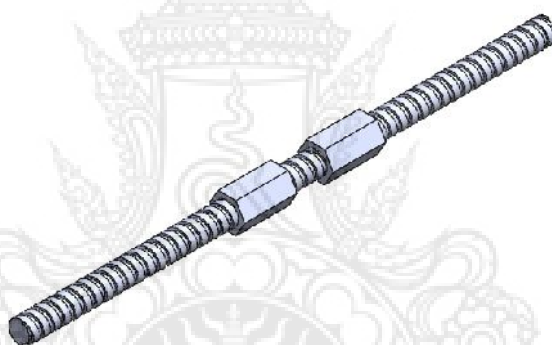
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการกระจายมวล



รูปที่ 3.4 ก้อนมวลที่ออกแบบ



รูปที่ 3.5 ประกอบด้านหน้าและด้านหลัง



รูปที่ 3.6 เฟลลอสกรูยึดก้อนมวล

3.3 การทดสอบ

การทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของพิกัดการกระจายมวลนั้น ทางคณะผู้วิจัยเลือกใช้กระบวนการทดสอบตามมาตรฐาน FMCSA เนื่องจากผลของเสถียรภาพของรถยนต์นั้นในกรณีการขับขี่ปกติ การเปลี่ยนแปลงของพิกัดการกระจายมวลอาจไม่ส่งผลต่อเสถียรภาพได้อย่างชัดเจนเป็นรูปธรรม ดังนั้นหากในกรณีทดสอบด้วยมาตรฐาน FMCSA ที่มุ่งเน้นไปที่การทดสอบความสามารถในการเบรก โดยการจำลองการเบรกแบบกะทันหัน ทำให้สามารถทราบถึงพฤติกรรมเสถียรภาพของรถยนต์ได้อย่างชัดเจน สำหรับขั้นตอนต่าง ๆ ในการทดสอบถูกอธิบายในลำดับถัดไป

3.3.1 การเตรียมรถยนต์ทดสอบ

การเตรียมรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เริ่มต้นจากการนำรถยนต์ไปเปลี่ยนระบบรองรับน้ำหนักให้เป็นแบบ Rigid body โดยการถอดโช้คที่เพลาหน้าและเพลาท้าย (Shock absorber) โดยกรณีของเพลาหน้าใช้เหล็กกล่องแทนที่โช้คบริเวณปีกนกหน้าดังรูปที่ 3.7 (ก) ส่วนเพลาท้ายใช้สตรัทแทนที่โช้คดังรูปที่ 3.7 (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 การปรับเปลี่ยนรถยนต์เป็นแบบ Rigid body (ก) เพลาหน้า (ข) เพลาท้าย

นอกจากนี้ทำการชั่งน้ำหนักลงเพลาหน้าและเพลาท้าย ด้วยเครื่องมือชั่งน้ำหนักรุ่น PTXI-300 ตามรูปที่ 3.8 เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา โดยข้อมูลของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3.1 ยิ่งไปกว่านั้นทางคณะผู้วิจัยได้นำรถยนต์ดังกล่าวไปทำการตั้งศูนย์ เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความแม่นยำมากที่สุด



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 การชั่งน้ำหนักลงเพลา (ก) เพลาหน้า (ข) เครื่องชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ

รายการ	ค่าและข้อมูลจากการวัด		
ระบบรองรับน้ำหนัก	หน้า:หลัง	Rigid body : Rigid body	
ระบบเบรก	หน้า:หลัง	ดิสก์เบรก:ดรัมเบรก	
ล้อและยาง	ล้อ	อัลลอยด์ 13"	อัลลอยด์
	ขนาดล้อ	13"×5.5J	13"×5.5J
	ขนาดยาง	175/70 R13	175/70
ระดับความดันลมยาง (psi)	หน้า:หลัง	32:32	
ขนาดและมิติ (mm)	ความยาวทั้งหมด	4,400	
	ความกว้างทั้งหมด	1,600	
	ความสูงทั้งหมด	1,400	
	ระยะฐานล้อ	2,530	
	ระยะห่างระหว่างล้อคู่หน้า/หลัง (mm)	1,400	1,395
น้ำหนักลงเพลารวม kg/N 1,080/10,595	เพลาน้ำ (ซ้าย:ขวา)	(309 : 330) (3,032 : 3,237)	639 kg 6,269 N
	เพลาท้าย (ซ้าย:ขวา)	(210 : 231) (2,060 : 2,266)	441 kg 4,326 N
น้ำหนักลงเพลารวม โครงสร้าง kg/N 1,436/14,087	เพลาน้ำ (ซ้าย:ขวา)	(356 : 389) (3,492 : 3,816)	745 kg 7,308 N
	เพลาท้าย (ซ้าย:ขวา)	(327 :364) (3,207 : 2,570)	691 kg 6,778 N
รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลพิจารณาตามน้ำหนักลงเพลาน้ำ	กรณีไม่มีโครงสร้าง	เพลาน้ำซ้าย:เพลาน้ำขวา	1:1.07
		เพลาท้ายซ้าย:เพลาท้ายขวา	1:1.1
		เพลาน้ำซ้าย:เพลาท้ายซ้าย	1.47:1
		เพลาน้ำขวา:เพลาท้ายขวา	1.43:1
	กรณีมีโครงสร้าง	เพลาน้ำซ้าย:เพลาน้ำขวา	1:1.09
		เพลาท้ายซ้าย:เพลาท้ายขวา	1:1.1
		เพลาน้ำซ้าย:เพลาท้ายซ้าย	1.09:1
		เพลาน้ำขวา:เพลาท้ายขวา	1.07:1

หมายเหตุ : ข้อมูลจำเพาะของรถทดสอบได้จากการวัด

3.3.2 การติดตั้งชุดกระจายมวล

ชุดกระจายมวลถูกติดตั้งบริเวณห้องโดยสารด้านหลัง เนื่องจากการใช้งานของรถยนต์ทดสอบนี้เป็นประเภทรถยนต์นั่ง ดังนั้นโดยปกติของการใช้งาน ผู้ใช้ส่วนใหญ่ทำการใส่สัมภาระที่บริเวณห้องโดยสารหลัง จึงเป็นเหตุผลสำคัญในการออกแบบชุดกระจายมวล สำหรับการออกแบบการติดตั้งชุดกระจายมวลแสดงดังรูปที่ 3.9 ส่วนการติดตั้งชุดกระจายมวลกระทำโดยการถอดเบาะโดยสารด้านหลังออกทั้งหมด เพื่อนำโครงสร้างชุดกระจายมวลเข้าไปติดตั้ง โดยใช้ลวดสลิงขนาด 3/8" จำนวน 2 เส้น ยึดจากด้านซ้ายไปทางด้านขวาเพื่อยึดติดระหว่างชุดโครงสร้างกับตัวถังของรถยนต์ ทำให้ในขณะทดสอบชุดโครงสร้างจะไม่สามารถเลื่อนไปได้ในทุกทิศทาง ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับความปลอดภัยในการทดสอบ การติดตั้งชุดกระจายมวลแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 บริเวณติดตั้งชุดกระจายมวล



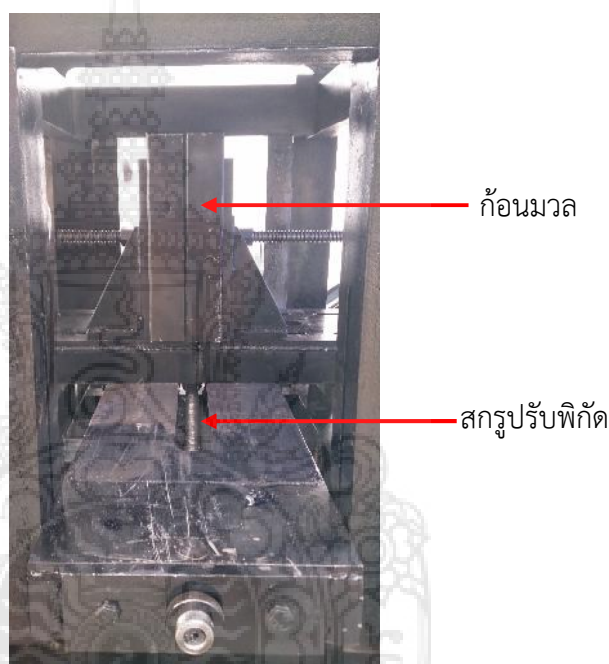
รูปที่ 3.10 การติดตั้งชุดกระจายมวล

3.3.3 การติดตั้งก้อนมวลทดสอบ

มวลทดสอบจะถูกติดตั้งเข้ากับโครงสร้างของชุดกระจายมวล โดยก้อนมวลถูกวางอยู่บนแผ่นรองรับน้ำหนัก จากนั้นกระทำการยึดก้อนมวลติดกับประกับด้านหน้าและด้านหลัง โดยใช้เพลาสกรูขันยึดให้ก้อนมวลและประกับติดเข้าด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 3.11

3.3.4 การปรับตั้งพิกัดการกระจายมวล

ก้อนมวลที่ทำการติดตั้งลงในชุดโครงสร้างนั้นสามารถปรับตำแหน่งพิกัดต่าง ๆ ได้โดยการหมุนสกรูปรับพิกัดเพื่อให้ก้อนมวลทดสอบเปลี่ยนไปในแนวขวาง (แกน Y) และยังสามารถปรับก้อนมวลทดสอบในแนวขวาง (แกน Z) ได้โดยการเลื่อนตำแหน่งของประกับไปทางด้านหน้าหรือด้านหลังไปตามแผ่นยึดมวลเพื่อกำหนดพิกัดต่าง ๆ ได้เช่นกัน แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การปรับตั้งพิกัดการกระจายมวล

3.3.5 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัย

เครื่องมือวัดมุมพวงมาลัยเป็นสิ่งที่จำเป็นอีกประการหนึ่งในการพิจารณาเสถียรภาพของรถยนต์ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการเคลื่อนที่ของมุมพวงมาลัยถูกนำไปเปรียบเทียบกับมุมล้อที่แปรผันตามการหมุนของพวงมาลัย และถูกใช้มาคำนวณหาค่ามุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) ที่เป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการชี้วัดความเสถียรของรถยนต์ขณะทดสอบ โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัยและการเปรียบเทียบค่าของมุมลื่นไถลด้านข้างแสดงดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ



รูปที่ 3.12 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมพวงมาลัย



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.13 การเปรียบเทียบค่าของมุมลื่นไถลด้านข้าง

(ก) มุมพวงมาลัยที่เปลี่ยนไป (ข) ระยะของมุมล้อ

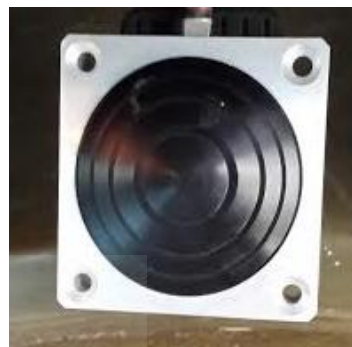
3.3.6 การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วง

เครื่องมือวัดความหน่วง (VC4000DAQ) ถูกติดตั้งบริเวณกระจกหน้าด้านในของรถ เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลความหน่วงที่เกิดขึ้นระหว่างการเบรก นอกจากนี้ยังสามารถใช้เก็บข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของรถ เช่น ระยะทางการเบรก เวลาที่ใช้ในการเบรก มุมสาย (Yaw angle) และ มุมกระดก (Pitch angle) การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วงแสดงดังรูปที่ 3.13 (ก)

อย่างไรก็ตามคู่มือการใช้งานของ (VC4000DAQ) แสดงถึงค่าช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (Sampling rate) ที่ 100 Hz หรือมีความถี่ในการเก็บผลข้อมูล 100 ครั้งต่อวินาที ซึ่งผลที่ได้จากแรงเหยียบเบรกที่ส่งผ่านตัวตรวจจับแรงเหยียบเบรกตามรูปที่ 3.13 (ข) ส่งผลให้เกิด ความหน่วง ดังนั้นผลของระยะทางการเบรก เวลาที่ใช้ในการเบรก และความเร็ว ที่แสดงในข้อมูลการทดสอบเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของเครื่องมือ ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องมือ (VC4000DAQ) ยังสามารถเปรียบเทียบความเร็วของรถยนต์ ขณะการทดสอบด้วยระบบระบุพิกัดตำแหน่งดาวเทียม (GPS) อีกด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.14 การติดตั้งเครื่องมือวัดความหน่วง (ก) เครื่อง VC 4000DAQ
(ข) ตัวตรวจจับแรงเหวี่ยงเบรก

3.3.7 การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์ (VDO)

กล้องบันทึกภาพยนตร์ถูกใช้เพื่อประกอบการพิจารณาถึงพฤติกรรมคนขับ มุมพวงมาลัย และการสิ้นเปลืองของล้อ โดยกล้องบันทึกภาพยนตร์ที่ใช้มีจำนวนทั้งสิ้น 4 ตัว ซึ่งกล้องบันทึกพฤติกรรมคนขับและพวงมาลัยถูกติดตั้งบริเวณห้องโดยสาร ส่วนกล้องบันทึกการสิ้นเปลืองของล้อถูกติดตั้งบริเวณภายนอกของรถ ดังแสดงตามรูปที่ 3.15



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.15 การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์ (ก) พฤติกรรมคนขับและมุมพวงมาลัย
(ข) การสิ้นเปลืองของล้อหน้า (ค) การสิ้นเปลืองของล้อหลัง

3.4 การคำนวณ

3.4.1 การหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวางของรถยนต์
จากสมการที่ (2.1) การหาระยะห่างจากเพลาหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวาง

$$L_1 = \frac{L \times F_R}{mg}$$

จากตารางที่ 3.1 กำหนดให้

L (ระยะฐานล้อ) มีค่า 2.53 m.

F_R (แรงปฏิกิริยาที่เพลาท้าย) มีค่า 8,054 N.

mg (มวลรถยนต์) มีค่า 15,058 N.

แทนค่า

$$L_1 = \frac{2.53 \times 8,054}{15,058}$$

$$L_1 = 1.35 \text{ m.}$$

ดังนั้นระยะห่างจากเพลาหน้าถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวาง มีค่า 1.35 เมตร

จากสมการที่ (2.2) การหาระยะห่างจากเพลาท้ายถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวาง

$$L_2 = L - L_1$$

แทนค่า

$$L_2 = 2.53 - 1.35 = 1.18 \text{ m.}$$

ดังนั้นระยะห่างจากเพลาท้ายถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวาง มีค่า 1.18 เมตร

อย่างไรก็ตามการคำนวณหาการระยะห่างจากเพลาหน้าและเพลาท้ายถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวางในทุก ๆ มวลแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปผลการคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวางของรถยนต์ทดสอบ

ตำแหน่ง พิกัดการ กระจาย มวล	ระยะห่างถึงจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวาง (m)									
	50 kg		100 kg		150 kg		200 kg		250 kg	
	L_1	L_2	L_1	L_2	L_1	L_2	L_1	L_2	L_1	L_2
Y1Z1	1.325	1.205	1.354	1.176	1.375	1.155	1.392	1.138	1.411	1.119
Y1Z2	1.325	1.205	1.356	1.174	1.372	1.158	1.393	1.137	1.411	1.119
Y1Z3	1.323	1.207	1.356	1.174	1.372	1.158	1.400	1.130	1.414	1.116
Y2Z1	1.306	1.224	1.324	1.206	1.337	1.193	1.358	1.172	1.376	1.154
Y2Z2	1.308	1.222	1.324	1.206	1.337	1.193	1.359	1.171	1.376	1.154
Y2Z3	1.304	1.226	1.323	1.207	1.338	1.192	1.358	1.172	1.378	1.152
Y3Z1	1.294	1.236	1.308	1.222	1.327	1.203	1.344	1.186	1.370	1.160
Y3Z2	1.294	1.236	1.309	1.221	1.327	1.203	1.341	1.189	1.363	1.167
Y3Z3	1.292	1.238	1.306	1.224	1.327	1.203	1.347	1.183	1.369	1.161

จากตารางที่ 3.2 สรุปผลการคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงในแนวขวางของรถยนต์ทดสอบ พบว่า เมื่อมีการเพิ่มพิกัดมวลจาก 50 ไปจนถึง 250 กิโลกรัม บริเวณชุดกระจายมวลที่ติดตั้งบริเวณห้องโดยสารด้านหลัง ระยะทางจากจุดศูนย์ถ่วงถึงเพลาท้ายในแนวขวาง (L_2) มีค่าลดลงจากการเพิ่มมวล ซึ่งกล่าวได้ว่าเมื่อมวลเพิ่มส่งผลให้น้ำหนักลงเพลาท้ายเพิ่มสูงขึ้น หากกรณีพิจารณาตามพิกัดการกระจายมวลมีการเปลี่ยนแปลงพบว่าในทุก ๆ การเพิ่มขึ้นของมวล ทำให้ระยะทางจากจุดศูนย์ถ่วงถึงเพลาท้ายในแนวขวาง (L_2) มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามีการส่งถ่ายมวลไปที่เพลาหน้าตามการเปลี่ยนแปลงของพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง (แกน Y) ลดน้อยลง

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เรื่องการคำนวณหาค่า Sideslip angle (β) ที่ผลจากการเปลี่ยนแปลงมุมพวงมาลัย (θ) และมุมพวงมาลัยดังกล่าวส่งผลให้ค่า Sideslip (z) เปลี่ยนแปลงโดยค่าจากสมการที่ (2.3) Sideslip angle (β) = $\sin^{-1}(z/x)$ การคำนวณหาค่า Sideslip (z) แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สรุปผลการคำนวณค่าการลื่นไถลด้านข้าง

ตำแหน่ง พิกัดการ กระจาย มวล	พฤติกรรมเสถียรภาพของรถยนต์ภายใต้การกระจายมวล									
	50 kg		100 kg		150 kg		200 kg		250 kg	
	Sideslip (Z)	Sideslip angle (β)	Sideslip (Z)	Sideslip angle (β)	Sideslip (Z)	Sideslip angle (β)	Sideslip (Z)	Sideslip angle (β)	Sideslip (Z)	Sideslip angle (β)
Y1Z1	6.5	9.35	7.2	10.37	3.6	5.16	4.3	7.18	5.7	8.19
Y1Z2	5.9	8.48	4.4	6.24	5.3	7.61	5.9	8.48	6.3	9
Y1Z3	5.9	8.48	4.1	6.02	3.9	5.62	3.4	4.93	3.6	5.16
Y2Z1	6.5	9.35	10.9	15.62	5.7	8.25	7.2	10.37	6.5	9.35
Y2Z2	3.8	5.45	4.4	6.31	6.4	9.17	4.1	6.02	5.6	8.01
Y2Z3	3.4	4.93	3.7	5.27	6.3	9	3.4	4.93	4.4	6.31
Y3Z1	5.7	8.19	6.3	9.17	9.8	14.1	6.3	9.17	5.9	8.48
Y3Z2	4.3	7.18	5.6	8.01	3.9	5.36	4.4	6.31	4.1	6.02
Y3Z3	4.7	7.89	3.4	4.93	4.7	7.89	6.4	9.17	5.3	7.61

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

4.1 สมมุติฐานการวิจัย

- 4.1.1 ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลใดบ้างส่งผลต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล
- 4.1.2 บริเวณห้องโดยสารด้านหลังมีโอกาสในการเปลี่ยนแปลงมวลมากที่สุดสำหรับรถยนต์นั่ง
- 4.1.3 ตัวแปรที่ใช้ในการชี้วัดความสามารถของการเบรก คือ ความหน่วง (Deceleration) ระยะทางการเบรก (Braking distance) และเวลาที่ใช้ในการเบรก (Time of braking) หรืออื่น ๆ
- 4.1.4 ตัวแปรที่ใช้ในการชี้วัดเสถียรภาพของรถยนต์ คือ มุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) มุมส่าย (Yaw angle) มุมกระดก (Pitch angle) และการลื่นไถลของล้อ (Wheel lock-up) หรืออื่น ๆ
- 4.1.5 ตัวแปรใดบ้างที่มีความสัมพันธ์สอดคล้องกัน
- 4.1.6 ความหนาแน่นรูปแบบใดส่งผลกระทบท่อเสถียรภาพของรถยนต์ เพราะเหตุใด

4.2 สมมุติฐานการทดสอบ

- 4.2.1 มีมาตรฐานใดบ้างที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเบรก
- 4.2.2 มีเครื่องมือใดบ้างที่ใช้ในการตรวจสอบหรือเก็บค่าตัวแปรที่ต้องการ
- 4.2.3 ออกแบบการทดสอบอย่างไรให้สอดคล้องกับมาตรฐานการทดสอบ
- 4.2.4 ประยุกต์แนวทางการทดสอบกับมาตรฐานอย่างไรภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ
- 4.2.5 มีเงื่อนไขการทดสอบอย่างไร

ตารางที่ 4.1 เงื่อนไขการทดสอบ

ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล	ความเร็วเริ่มต้นเบรก	ความสามารถการเบรก			เสถียรภาพการบังคับรถยนต์			
		ตัวชี้วัด			ตัวชี้วัด			
		ความหน่วง	ระยะทาง	เวลา	Sideslip	Yaw	Pitch	Wheel lock-up
Y1Z1 ถึง Y3Z3	32 km/hr ตาม มาตรฐาน FMCSA	?	?	?	?	?	?	?

4.3 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล

รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 50, 100, 150, 200 และ 250 กิโลกรัม ของพิกัดการกระจายมวลที่เป็นผลจากความสัมพันธ์ของน้ำหนักของเพลาน้ำและเพลาท้าย อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลของเพลาน้ำและเพลาท้าย สามารถแยกการพิจารณาได้ 6 กรณี คือ เพลาน้ำซ้าย:เพลาน้ำขวา, เพลาน้ำซ้าย:เพลาท้ายซ้าย, เพลาน้ำซ้าย:เพลาท้ายขวา, เพลาน้ำขวา:เพลาท้าย, เพลาน้ำขวา:เพลาลังขวา และ เพลาท้ายซ้าย:เพลาท้ายขวา รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลงมีค่า 50, 100, 150, 200 และ 250 กิโลกรัม ของพิกัดการกระจายมวลแสดงดังตามตารางที่ 4.2 ถึง 4.6

ตารางที่ 4.2 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 50 กิโลกรัม

ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล	น้ำหนักของเพลาน้ำ				รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลพิจารณาตามน้ำหนักของเพลาน้ำ					
	เพลาน้ำ		เพลาท้าย		เพลาน้ำซ้าย:เพลาน้ำขวา	เพลาน้ำซ้าย:เพลาท้ายซ้าย	เพลาน้ำซ้าย:เพลาท้ายขวา	เพลาน้ำขวา:เพลาท้ายซ้าย	เพลาน้ำขวา:เพลาท้ายขวา	เพลาท้ายซ้าย:เพลาท้ายขวา
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา						
Y1Z1	309	399	427	351	1:1.29	1:1.38	1:1.14	1:1.07	1:0.88	1:0.82
Y1Z2	306	402	416	362	1:1.31	1:1.36	1:1.18	1:1.03	1:0.90	1:0.87
Y1Z3	300	409	401	376	1:1.36	1:1.34	1:1.25	1:0.98	1:0.92	1:0.94
Y2Z1	311	408	417	350	1:1.31	1:1.34	1:1.13	1:1.02	1:0.86	1:0.84
Y2Z2	307	411	412	356	1:1.34	1:1.34	1:1.16	1:1	1:0.87	1:0.86
Y2Z3	303	417	394	372	1:1.38	1:1.30	1:1.23	1:0.94	1:0.89	1:0.94
Y3Z1	318	408	413	347	1:1.28	1:1.30	1:1.09	1:1.01	1:0.85	1:0.84
Y3Z2	310	416	404	356	1:1.34	1:1.30	1:1.15	1:0.97	1:0.86	1:0.88
Y3Z3	306	421	393	366	1:1.38	1:1.28	1:1.20	1:0.93	1:0.87	1:0.93

จากตารางที่ 4.2 พบว่าหากกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวยาวคงที่ (Z1, Z2 และ Z3) ทำให้รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลของเพลาน้ำซ้ายและเพลาน้ำขวาเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากแปรผันการกระจายมวลตามแนวยาว เพลาน้ำขวา และเพลาท้ายขวาเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 50 กิโลกรัม การแปรผันของตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลทั้งตามแนวยาวและแนวขวางส่งผลกระทบต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่เพลาน้ำขวามากที่สุด

ตารางที่ 4.3 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 100 กิโลกรัม

ตำแหน่ง พิกัดการ กระจาย มวล	น้ำหนักลงเพลลา				รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล พิจารณาตามน้ำหนักลงเพลลา					
	เพลลาหน้า		เพลลาท้าย		เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาท้าย
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย:เพลลา หน้าขวา	ซ้าย:เพลลา ท้ายซ้าย	ซ้าย:เพลลา ท้ายขวา	ขวา:เพลลา ท้ายซ้าย	ขวา:เพลลา ท้ายขวา	ซ้าย:เพลลา ท้ายขวา
Y1Z1	312	402	447	375	1:1.29	1:1.43	1:1.20	1:1.11	1:0.93	1:0.84
Y1Z2	307	406	431	392	1:1.32	1:1.40	1:1.28	1:1.06	1:0.97	1:0.91
Y1Z3	301	412	414	409	1:1.37	1:1.38	1:1.36	1:1	1:0.99	1:0.99
Y2Z1	317	415	436	368	1:1.31	1:1.38	1:1.16	1:1.05	1:0.89	1:0.84
Y2Z2	311	421	421	383	1:1.35	1.35	1:1.23	1:1	1:0.91	1:0.91
Y2Z3	305	428	411	392	1:1.40	1:1.35	1:1.29	1:0.96	1:0.92	1:0.95
Y3Z1	309	433	396	398	1:1.40	1:1.28	1:1.29	1:0.91	1:0.92	1:1.01
Y3Z2	313	428	418	377	1:1.37	1:1.34	1:1.20	1:0.98	1:0.88	1:0.90
Y3Z3	321	422	431	362	1:1.31	1:1.34	1:1.13	1:1.02	1:0.86	1:0.84

จากตารางที่ 4.3 พบว่าหากกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางที่ (Z1, Z2 และ Z3) ทำให้รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลของเพลลาหน้าซ้ายและเพลลาหน้าขวาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มมวลที่ 50 กิโลกรัม ส่วนกรณีกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางที่ (Y1, Y2 และ Y3) รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่เพลลาหน้าขวา และเพลลาท้ายขวาเพิ่มขึ้นที่ตำแหน่ง Y1 และ Y2 เท่านั้น หากแต่ในตำแหน่ง Y3 ให้ผลในทิศทางตรงข้าม โดยรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่เพลลาหน้าขวา และเพลลาท้ายขวาลดลง ดังนั้นภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 100 กิโลกรัม ตำแหน่งการกระจายมวล Y3 แปรผันต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เพลลาหน้าซ้าย

ตารางที่ 4.4 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 150 กิโลกรัม

ตำแหน่ง พิกัดการ กระจาย มวล	น้ำหนักรวม				รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล พิจารณาตามน้ำหนักรวม					
	เพลาน้ำ		เพลาท้าย		เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาท้าย
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย:เพลาน้ำ	ซ้าย:เพลาน้ำ	ซ้าย:เพลาน้ำ	ขวา:เพลาน้ำ	ขวา:เพลาน้ำ	ซ้าย:เพลาน้ำ
Y1Z1	302	422	441	421	1:1.40	1:1.46	1:1.39	1:1.05	1:1	1:0.95
Y1Z2	311	415	456	404	1:1.33	1:1.47	1:1.30	1:1.10	1:0.97	1:0.89
Y1Z3	316	410	473	387	1:1.30	1:1.50	1:1.22	1:1.15	1:0.94	1:0.82
Y2Z1	326	422	464	374	1:1.29	1:1.42	1:1.15	1:1.10	1:0.89	1:0.81
Y2Z2	319	429	442	396	1:1.34	1:1.39	1:1.24	1:1.03	1:0.92	1:0.90
Y2Z3	311	436	422	417	1:1.40	1:1.36	1:1.34	1:0.97	1:0.96	1:0.99
Y3Z1	308	446	417	415	1:1.45	1:1.35	1:1.35	1:0.93	1:0.93	1:1
Y3Z2	319	435	441	391	1:1.36	1:1.38	1:1.23	1:1.01	1:0.90	1:0.89
Y3Z3	325	429	454	378	1:1.32	1:1.40	1:1.16	1:1.06	1:0.88	1:0.83

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงหากกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวยาวคงที่ (Z1, Z2 และ Z3) ทำให้รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลของเพลาน้ำซ้ายและเพลาน้ำขวาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มมวลที่ 50 และ 100 กิโลกรัม ส่วนกรณีกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางคงที่ (Y1, Y2 และ Y3) รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลตำแหน่ง Y2 ให้ผลในทิศทางตรงข้ามกับการเพิ่มมวลที่ 50 และ 100 กิโลกรัม ดังนั้นภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 150 กิโลกรัม ตำแหน่งการกระจายมวล Y2 แปรผันต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เพลาน้ำขวา

ตารางที่ 4.5 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 200 กิโลกรัม

ตำแหน่ง พิกัดการ กระจาย มวล	น้ำหนักลงเพลลา				รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล พิจารณาตามน้ำหนักลงเพลลา					
	เพลลาหน้า		เพลลาท้าย		เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาหน้า	เพลลาท้าย
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย:เพลลา หน้าขวา	ซ้าย:เพลลา ท้ายซ้าย	ซ้าย:เพลลา ท้ายขวา	ขวา:เพลลา ท้ายซ้าย	ขวา:เพลลา ท้ายขวา	ซ้าย:เพลลา ท้ายขวา
Y1Z1	325	411	501	399	1:1.26	1:1.54	1:1.23	1:1.22	1:0.97	1:0.80
Y1Z2	315	420	478	423	1:1.33	1:1.52	1:1.34	1:1.14	1:1.01	1:0.88
Y1Z3	305	426	460	445	1:1.40	1:1.51	1:1.46	1:1.08	1:1.04	1:0.97
Y2Z1	331	427	490	388	1:1.29	1:1.48	1:1.17	1:1.15	1:0.91	1:0.79
Y2Z2	319	438	468	411	1:1.37	1:1.47	1:1.29	1:1.07	1:0.94	1:0.88
Y2Z3	311	447	444	434	1:1.44	1:1.43	1:1.40	1:0.99	1:0.97	1:0.98
Y3Z1	329	438	476	393	1:1.33	1:1.45	1:1.19	1:1.09	1:0.90	1:0.83
Y3Z2	320	449	452	415	1:1.40	1:1.41	1:1.30	1:1.01	1:0.92	1:0.92
Y3Z3	312	453	439	432	1:1.45	1:1.41	1:1.38	1:0.97	1:0.95	1:0.98

จากตารางที่ 4.5 เปิดเผยให้เห็นถึงหากกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวยาวคงที่ (Z1, Z2 และ Z3) ทำให้รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลของเพลลาหน้าซ้ายและเพลลาหน้าขวาเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มมวลที่ 50 100 และ 150 กิโลกรัม ส่วนกรณีกำหนดให้ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางคงที่ (Y1, Y2 และ Y3) รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลของเพลลาหน้าขวา และเพลลาท้ายขวาเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 200 กิโลกรัม การแปรผันของตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่เพลลาหน้าขวามากที่สุด

ตารางที่ 4.6 รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่มีการเปลี่ยนแปลง 250 กิโลกรัม

ตำแหน่ง พิกัดการ กระจาย มวล	น้ำหนักรวม				รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล พิจารณาตามน้ำหนักรวม					
	เพลาน้ำ		เพลาท้าย		เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาน้ำ	เพลาท้าย
	ซ้าย	ขวา	ซ้าย	ขวา	ซ้าย:เพลาน้ำ	ซ้าย:เพลาน้ำ	ซ้าย:เพลาน้ำ	ขวา:เพลาน้ำ	ขวา:เพลาน้ำ	ซ้าย:เพลาน้ำ
Y1Z1	338	408	564	376	1:1.21	1:1.67	1:1.11	1:1.38	1:0.92	1:0.67
Y1Z2	328	418	530	410	1:1.27	1:1.62	1:1.25	1:1.27	1:0.98	1:0.77
Y1Z3	314	430	497	445	1:1.37	1:1.58	1:1.42	1:1.16	1:1.03	1:0.90
Y2Z1	348	421	555	362	1:1.21	1:1.59	1:1.04	1:1.32	1:0.86	1:0.65
Y2Z2	332	437	524	393	1:1.32	1:1.58	1:1.18	1:1.20	1:0.90	1:0.75
Y2Z3	321	447	488	430	1:1.39	1:1.52	1:1.34	1:1.09	1:0.96	1:0.88
Y3Z1	352	421	556	357	1:1.20	1:1.58	1:1.01	1:1.32	1:0.85	1:0.64
Y3Z2	340	438	523	385	1:1.29	1:1.54	1:1.13	1:1.19	1:0.88	1:0.74
Y3Z3	323	451	491	421	1:1.40	1:1.52	1:1.30	1:1.09	1:0.93	1:0.86

จากตารางที่ 4.6 การแปรผันของตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง ส่งผลกระทบต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลที่เพลาน้ำขวามากที่สุด ภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 250 กิโลกรัม เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของมวล 50 และ 200 กิโลกรัม สรุปผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวล

การเปลี่ยนแปลง ของมวล (กิโลกรัม)	ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลที่ส่งผลต่อรูปแบบการกระจาย ความหนาแน่นของมวล
50	ตำแหน่งทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง (ส่งผลมากที่สุดที่เพลาน้ำขวา)
100	เฉพาะตำแหน่ง Y3 (ส่งผลมากที่สุดที่เพลาน้ำซ้าย)
150	เฉพาะตำแหน่ง Y2 (ส่งผลมากที่สุดที่เพลาน้ำขวา)
200	ตำแหน่งทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง (ส่งผลมากที่สุดที่เพลาน้ำขวา)
250	ตำแหน่งทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง (ส่งผลมากที่สุดที่เพลาน้ำขวา)

4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการเบรก

ความสามารถในการเบรกเป็นความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างความหน่วง ระยะทางในการเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรก ซึ่งเป็นผลมาจากค่าแรงจากการเหยียบเบรกของผู้ขับขี่ โดยความสามารถในการเบรกจากการกระจายมวล 50, 100, 150, 200 และ 250 กิโลกรัม ดังแสดงตามตารางที่ 4.8 ถึง 4.12 ตามลำดับ โดยความสามารถของการเบรกเป็นค่าที่ได้จากเครื่องมือวัด VC 4000DAQ ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 3

ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 50 กิโลกรัม

ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	ความหน่วง (m/s^2)			ระยะทางการเบรก (m)	เวลาที่ใช้ใน การเบรก (s)
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย		
Y1Z1	-2.2	-8.6	-5.1	11.59	2.16
Y1Z2	-2.1	-8.2	-5.1	12.83	2.19
Y1Z3	-2.2	-8.1	-5.2	12.45	2.22
Y2Z1	-1.8	8.2	-5.1	12.56	2.16
Y2Z2	-1.4	-9.1	-5.0	13.1	2.18
Y2Z3	-1.6	-8.1	-4.9	14.24	2.33
Y3Z1	-0.9	-7.8	-4.9	14.02	2.34
Y3Z2	-1.7	-8.1	-4.8	14.38	2.36
Y3Z3	-1.9	-9.3	-5.1	12.82	2.19
เฉลี่ย	-1.75	-6.57	-5.02	13.11	2.24

ตารางที่ 4.9 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 100 กิโลกรัม

ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	ความหน่วง (m/s^2)			ระยะทางการเบรก (m)	เวลาที่ใช้ในการเบรก (s)
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย		
Y1Z1	-1.9	-8.9	-5.1	12.56	2.20
Y1Z2	-1.6	-8.1	-5.0	13.41	2.26
Y1Z3	-2.1	-8.4	-5.1	12.44	2.18
Y2Z1	-1.1	-8.6	-5.1	12.88	2.17
Y2Z2	-1.3	-8.8	-4.9	14.04	2.30
Y2Z3	-2.1	-8.7	-5.0	13.63	2.26
Y3Z1	-2.2	-7.8	-5.1	11.79	2.09
Y3Z2	-2.3	-8.6	-5.3	11.46	2.09
Y3Z3	-1.9	-8.6	-5.0	13.04	2.23
เฉลี่ย	-1.83	-8.50	-5.07	12.81	2.20

ตารางที่ 4.10 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 150 กิโลกรัม

ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	ความหน่วง (m/s^2)			ระยะทางการเบรก (m)	เวลาที่ใช้ในการเบรก (s)
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย		
Y1Z1	-2.1	-8.8	-5.3	11.51	2.03
Y1Z2	-2.6	-8.8	-5.4	13.16	2.20
Y1Z3	-2.7	-8.7	-5.3	12.66	2.20
Y2Z1	-1.8	-9.1	-5.1	13.68	2.34
Y2Z2	-3.0	-8.8	-5.5	12.7	2.18
Y2Z3	2.2	-8.2	-5.1	12.12	2.18
Y3Z1	-1.4	-8.6	-5.0	13.44	2.28
Y3Z2	-2.4	-8.8	-5.5	13.46	2.25
Y3Z3	-2.1	-8.8	-5.3	11.51	2.03
เฉลี่ย	-1.81	-8.70	-5.28	12.63	2.19

ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 200 กิโลกรัม

ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	ความหน่วง (m/s^2)			ระยะทางการเบรก (m)	เวลาที่ใช้ในการเบรก (s)
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย		
Y1Z1	-2.4	-8.7	-5.3	12.71	2.20
Y1Z2	-2.6	-8.9	-5.2	11.99	2.16
Y1Z3	-2.9	-8.5	-5.1	14.34	2.39
Y2Z1	-2.5	-9.2	-5.4	12.68	2.16
Y2Z2	-2.6	-8.6	-5.4	12.43	2.16
Y2Z3	-2.0	-8.5	-5.1	12.74	2.23
Y3Z1	-2.4	-8.6	-5.2	13.52	2.32
Y3Z2	-1.8	-8.6	-4.9	13.21	2.32
Y3Z3	-2.3	-8.9	-5.0	13.04	2.29
เฉลี่ย	-2.39	-8.72	-5.18	12.96	2.25

ตารางที่ 4.12 ความสามารถในการเบรกภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล 250 กิโลกรัม

ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	ความหน่วง (m/s^2)			ระยะทางการเบรก (m)	เวลาที่ใช้ในการเบรก (s)
	ต่ำสุด	สูงสุด	ค่าเฉลี่ย		
Y1Z1	-2.6	-9.0	-5.2	12.78	2.23
Y1Z2	-2.2	-8.3	-5.1	14.33	2.36
Y1Z3	-2.7	-8.8	-5.3	13.96	2.31
Y2Z1	-2.7	-9.3	-5.4	13.11	2.20
Y2Z2	-2.7	-8.5	-5.1	14.35	2.34
Y2Z3	-2.1	-8.7	-5.2	13.74	2.32
Y3Z1	-2.0	-9.3	-5.2	14.27	2.35
Y3Z2	-2.2	-8.7	-5.0	13.14	2.31
Y3Z3	-0.95	-8.4	-4.9	15.54	2.50
เฉลี่ย	-2.34	-8.78	-5.16	13.91	2.32

ผลของการทดสอบจากตารางที่ 4.8 ถึง 4.12 แสดงให้เห็นว่า ความหน่วงเฉลี่ยสูงสุด $5.28 m/s^2$ เกิดขึ้นที่การเพิ่มขึ้นของมวล 150 กิโลกรัม โดยมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับเวลาที่ใช้ในการเบรกและระยะทางการเบรกที่น้อยลงด้วย ส่วนกรณีความหน่วงเฉลี่ยต่ำสุด $5.02 m/s^2$ เกิดขึ้นที่การเพิ่มขึ้นของมวล 50 กิโลกรัม ยิ่งไปกว่านั้นหากพิจารณาตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลพบว่า ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง โดยตำแหน่ง Y3 ส่งผลกระทบน้อยที่สุดต่อค่าความหน่วง ในทาง

กลับกันตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลที่ส่งผลมากที่สุด คือตำแหน่ง Y2 โดยตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวยาว Z1, Z2 และ Z3 ไม่เป็นตัวแปรที่ส่งผลใด ๆ กับค่าความหน่วง ระยะทางการเบรก และเวลาที่ใช้ในการเบรก เนื่องจากหากกำหนดให้พิกัดการกระจายมวลตามแนวยาวคงที่และแปรผันตำแหน่งตามแนวขวาง ค่าของความหน่วงมีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ การเพิ่มขึ้นของมวล ดังนั้นกล่าวได้ว่าตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเบรก

4.5 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์

ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์เป็นวัตถุประสงค์หลักในการจัดทำวิจัย จากพิกัดการกระจายมวลที่ส่งผลให้เกิดการกระจายความหนาแน่นของมวลรูปแบบต่าง ๆ อันเป็นผลให้จุดศูนย์กลางมวลของรถเปลี่ยนแปลงไป ทำให้รถยนต์มีเสถียรภาพแตกต่างกัน นอกเหนือจากนี้การทดสอบความสามารถในการเบรก สามารถแสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพการบังคับรถอย่างชัดเจนเนื่องจากในสภาวะการขับขี่จริงขับขี่อย่างช้า ๆ มีการชะลอหรือหยุดรถยนต์แบบกะทันหันซึ่งมีโอกาสสูงที่ทำให้รถยนต์สูญเสียการควบคุม ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถยนต์แสดงดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.15 ส่วนในกรณีผลของการลื่นไถลของล้อทั้ง 4 ล้อแสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการส่ายของรถภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล

ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	การเพิ่มขึ้นของมวล (กิโลกรัม)				
	50	100	150	200	250
Y1Z1	3.5	3.35	2.75	2.2	3.22
Y1Z2	2.2	2.55	2.9	3.85	4.67
Y1Z3	2.65	2.5	3.6	5.11	5.44
Y2Z1	3.5	6.35	7.75	9.35	6.5
Y2Z2	2.1	2.2	3.85	4.23	3.8
Y2Z3	5.05	2.6	2.4	5.34	8.77
Y3Z1	3.85	2.1	2.75	3.44	5.7
Y3Z2	2.5	2.9	3.35	2.57	4.3
Y3Z3	3	3.25	2.6	2.31	4.7

จากตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการส่ายของรถภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลและตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล พบว่าค่าการส่ายของรถยนต์ทดสอบมีค่าสูงสุดภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลที่ 200 กิโลกรัม ที่ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล Y2Z1 หรือตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาหน้า ยิ่งไปกว่านั้นหากพิจารณาภาพรวมของการเกิดการส่ายมากที่สุดเกิดขึ้นบริเวณพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง Y2 ดังนั้นอัตราการส่ายของรถยนต์มีความสัมพันธ์ร่วมกับตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวและแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาหน้า

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการกระดกของรถยนต์ภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล

ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	การเพิ่มขึ้นของมวล (กิโลกรัม)				
	50	100	150	200	250
Y1Z1	10.3	12.5	6	8.33	7.67
Y1Z2	9.75	10.5	12.5	7.45	6.89
Y1Z3	10.25	9	11.25	9.76	9.23
Y2Z1	11.5	12.5	12.25	10.56	11.45
Y2Z2	8.5	9	12.75	11.45	10.42
Y2Z3	8.25	8.12	6.75	7.88	7.95
Y3Z1	12	8.25	7.65	9.21	10.13
Y3Z2	8.5	15.25	12.75	13.57	13.87
Y3Z3	7.25	8	5.5	9.55	8.98

จากตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการกระดกของรถยนต์ภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลและตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล พบว่าค่าการกระดกของรถยนต์ทดสอบมีค่าสูงสุดภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลที่ 100 กิโลกรัม ที่ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล Y3Z2 หรือตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวที่อยู่ระหว่างเพลาน้ำด้านขวาและเพลาย้ายด้านขวาและอยู่ใกล้กับเพลาน้ำด้านซ้าย หากพิจารณาภาพรวมของการเกิดการส่ายมากที่สุด เกิดขึ้นบริเวณพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง Y3 ดังนั้นอัตราการกระดกของรถยนต์มีความสัมพันธ์ร่วมกับพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางและอยู่ใกล้กับเพลาน้ำด้านซ้าย

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการลื่นไถลด้านข้างของรถยนต์ภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวล

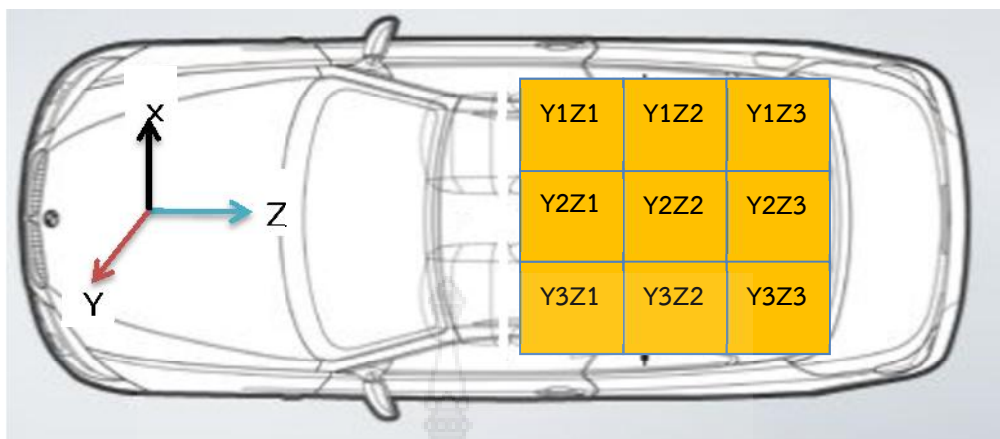
ตำแหน่งพิกัด การกระจาย มวล	การเพิ่มขึ้นของมวล (กิโลกรัม)				
	50	100	150	200	250
Y1Z1	6.5	7.2	3.6	4.3	5.7
Y1Z2	5.9	4.4	5.3	5.9	6.3
Y1Z3	5.9	4.1	3.9	3.4	3.6
Y2Z1	6.5	10.9	5.7	7.2	6.5
Y2Z2	3.8	4.4	6.4	4.1	5.6
Y2Z3	3.4	3.7	6.3	3.4	4.4
Y3Z1	5.7	6.3	9.8	6.3	5.9
Y3Z2	4.3	5.6	3.9	4.4	4.1
Y3Z3	4.7	3.4	4.7	6.4	5.3

จากตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการลื่นไถลด้านข้างของรถยนต์ พบว่าค่าการลื่นไถลด้านข้างของรถยนต์ทดสอบมีค่าสูงสุดภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลที่ 100 กิโลกรัม ที่ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล Y2Z1 หรือตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาหน้า หากพิจารณาภาพรวมของการเกิดการลื่นไถลด้านข้างมากที่สุด เกิดขึ้นบริเวณพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง Y2 ดังนั้นอัตราการส่ายของรถยนต์มีความสัมพันธ์ร่วมกับพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางและอยู่กึ่งกลางใกล้กับเพลาหน้า อย่างไรก็ตามหากรถยนต์เกิดการลื่นไถลด้านข้างที่เกินค่าวิกฤต (5.5 m/km) เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ารถยนต์สูญเสียเสถียรภาพการควบคุมแล้ว ซึ่งภายใต้คุณลักษณะจำเพาะของรถยนต์ทดสอบ และขั้นตอนการทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดนี้ สะท้อนให้เห็นถึงว่าในทุก ๆ การกระจายมวลและรูปแบบการกระจายความหนาแน่นที่เป็นอยู่มีความเสี่ยงต่อการขับขี่เป็นอย่างยิ่ง

ตารางที่ 4.16 ผลการลื่นไถลของล้อที่การเพิ่มขึ้นมวลและตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลต่าง ๆ

การเพิ่มขึ้นของมวล	ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล	การลื่นไถลของล้อ			
		หน้าซ้าย	หน้าขวา	หลังซ้าย	หลังขวา
50, 100, 150, 200 และ 250 กิโลกรัม	Y1Z1	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y1Z2	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y1Z3	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y2Z1	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y2Z2	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y2Z3	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y3Z1	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y3Z2	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล
	Y3Z3	ลื่นไถล	ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล	ไม่ลื่นไถล

จากตารางที่ 4.15 เปิดเผยให้เห็นถึงในทุก ๆ การเพิ่มของมวลและพิกัดตำแหน่งการกระจายมวลต่าง ๆ การลื่นไถลของล้อเกิดขึ้นบริเวณเพลาหน้าหรือเฉพาะบริเวณล้อหน้าซ้ายและล้อหน้าขวาเท่านั้น ซึ่งเป็นเพราะการเพิ่มขึ้นของมวล ทำให้ระยะทางจากจุดศูนย์ถ่วงถึงเพลาท้ายในแนวระนาบ (L_2) มีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามีการส่งถ่ายมวลไปที่เพลาหน้าตามการเปลี่ยนแปลงของพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง (แกน Y) ลดน้อยลง (ดูรายละเอียดที่ตารางที่ 3.2) ดังนั้นน้ำหนักลงเพลาท้ายจึงมีค่าสูง ทำให้มีแรงกิริยาที่กดให้ล้อทั้งสองของเพลาท้ายมากขึ้นกว่าเดิม ถึงแม้ว่าจะมีการถ่ายโอนมวลขณะเบรก (Dynamic Load Transfer) ไปที่เพลาหน้าก็ตาม หากแต่ไม่เพียงพอที่ชนะแรงปฏิกิริยาที่บริเวณเพลาหน้า ส่งผลให้ล้อเกิดการลื่นไถลเฉพาะที่เพลาหน้าเท่านั้น



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลของรถยนต์ทดสอบ

แกน X คือ พิกัดการกระจายมวลตามแนวดิ่งของรถยนต์ทดสอบ

แกน Y คือ พิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางของรถยนต์ทดสอบ

แกน Z คือ พิกัดการกระจายมวลตามแนวยาวของรถยนต์ทดสอบ

ตำแหน่ง Y1Z1 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณด้านขวาที่อยู่ใกล้กับเพลาหน้าด้านขวา

ตำแหน่ง Y1Z2 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณด้านขวาที่อยู่ระหว่างเพลาหน้าด้านขวาและเพลาท้ายด้านขวา

ตำแหน่ง Y1Z3 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณด้านขวาที่อยู่ใกล้กับเพลาท้ายด้านขวา

ตำแหน่ง Y2Z1 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาหน้า

ตำแหน่ง Y2Z2 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวและแนวขวางที่อยู่กึ่งกลางระหว่างเพลาหน้าและเพลาท้าย

ตำแหน่ง Y2Z3 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาท้าย

ตำแหน่ง Y3Z1 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณด้านซ้ายที่อยู่ใกล้กับเพลาหน้าด้านซ้าย

ตำแหน่ง Y3Z2 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวที่อยู่ระหว่างเพลาหน้าด้านขวาและเพลาท้ายด้านขวาและอยู่ใกล้กับเพลาหน้าด้านซ้าย

ตำแหน่ง Y3Z3 คือ ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณด้านซ้ายที่อยู่ใกล้กับเพลาท้ายด้านซ้าย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ เพื่อศึกษาการกระจายความหนาแน่นรูปแบบต่าง ๆ บนรถที่มีผลต่อจุดศูนย์กลางมวล และเพื่อศึกษาจุดศูนย์กลางมวลที่มีผลต่อเสถียรภาพการบังคับรถ โดยคณะผู้วิจัยทำการออกแบบชุดทดสอบการกระจายความหนาแน่นของมวลของรถยนต์ทดสอบที่สามารถแปรเปลี่ยนเป็นรูปแบบต่าง ๆ ได้ นอกเหนือจากนี้รูปแบบการกระจายมวลใช้เพื่อหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาเสถียรภาพของรถยนต์ ยิ่งไปกว่านั้นการทดสอบเพื่อหาเสถียรภาพของรถยนต์เป็นการทดสอบบนถนนจริง (Filed test) โดยการทดสอบความสามารถในการเบรกตามมาตรฐาน FMCSA ถูกเลือกมาทดสอบและทำการประยุกต์เพื่อให้สามารถชี้วัดค่าเสถียรภาพของรถยนต์ภายใต้การแปรเปลี่ยนจุดศูนย์กลางถ่วง อย่างไรก็ตามการสรุปผลการวิจัยสามารถแยกได้ตามประเด็นต่อไปนี้

5.1.1 การกระจายความหนาแน่นของมวลและจุดศูนย์กลางมวลของรถยนต์

ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวาง (แกน Y) ส่งผลต่อรูปแบบการกระจายความหนาแน่นของมวลทำให้จุดศูนย์กลางมวลของรถยนต์เปลี่ยนแปลง โดยมีผลกระทบมากที่สุดที่เพลาด้านหน้า เนื่องจากมีการส่งถ่ายมวลไปที่เพลาด้านหน้าลดน้อยลงและน้ำหนักลงเพลาท้ายมีค่าเพิ่ม ส่วนจุดศูนย์กลางถ่วงของรถยนต์เปลี่ยนแปลงเข้าใกล้เพลาด้านหน้าตามการเพิ่มขึ้นของมวล

5.1.2 ความสามารถในการเบรก

ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางเท่านั้นที่มีผลกับความสามารถในการเบรก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวและแนวขวางใกล้กับเพลาด้านหน้าหรือตำแหน่ง (Y2) ที่ทำให้ความสามารถในการเบรกสูงที่สุด

5.1.3 เสถียรภาพการบังคับรถยนต์

1) การส่ายของรถยนต์ มีค่าสูงสุดภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลที่ 200 กิโลกรัม ที่ตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาด้านหน้าหรือตำแหน่ง (Y2Z1) โดยอัตราการส่ายของรถยนต์มีความสัมพันธ์ร่วมกับตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวและแนวขวางที่อยู่ใกล้กับเพลาด้านหน้าหรือตำแหน่ง (Y2)

2) การกระดกของรถยนต์ มีค่าสูงสุดภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลที่ 100 กิโลกรัม ที่ตำแหน่งพิกัดการกระจายมวล (Y3Z2) หรือตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวยาวที่อยู่ระหว่างเพลาด้านหน้าด้านขวาและเพลาด้านซ้ายและอยู่ใกล้กับเพลาด้านซ้าย โดยอัตราการกระดกของรถยนต์มีความสัมพันธ์ร่วมกับพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางและอยู่ใกล้กับเพลาด้านหน้าด้านซ้ายหรือตำแหน่ง (Y3)

3) การสั่นไถลด้านข้าง มีค่าสูงสุดภายใต้การเพิ่มขึ้นของมวลที่ 100 กิโลกรัม ที่ตำแหน่ง พิกัดการกระจายมวล (Y2Z1) หรือตำแหน่งการติดตั้งมวลบริเวณกึ่งกลางตามแนวขวางที่อยู่ใกล้กับ เลาหน้า โดยอัตราการส่ายของรถยนต์มีความสัมพันธ์ร่วมกับพิกัดการกระจายมวลตามแนวขวางและ อยู่กึ่งกลางที่อยู่ใกล้กับเพลาน้ำหรือตำแหน่ง (Y2)

4) การสั่นไถลของล้อ ล้อเกิดการสั่นไถลเฉพาะที่เพลาน้ำเท่านั้น เนื่องจากน้ำหนักลง เลาหน้าลดลงจากการกระจายมวลตามแนวขวาง (แกน Y) หรือจุดศูนย์กลางมวลเริ่มเคลื่อนที่ไปเพลาน้ำ ทำให้ที่เพลาน้ำมีแรงกิริยาไม่เพียงพอที่ขณะแรงปฏิกิริยา ถึงแม้ว่าจะมีการถ่ายโอนมวลขณะ เบรก (Dynamic Load Transfer) ไปที่เพลาน้ำก็ตาม

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

โครงสร้างของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักมากเป็นปัญหาหลัก เนื่องจากเมื่อถูกติดตั้งบน รถยนต์นั่งทำให้รถยนต์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ทำให้มีอุปสรรคในกระบวนการทดสอบในด้านการติดตั้งมวล และพื้นที่ ส่วนการทดสอบความสามารถในการเบรกมีความจำเป็นต้องใช้ผู้ชำนาญในการขับขี่และ สถานที่ทำการทดสอบที่เหมาะสม เนื่องจากส่งผลต่อความปลอดภัยและผลการทดสอบ โดยการขับขี่ ต้องมีการซ้อมก่อนทดสอบจริงและหากค่าที่ได้ไม่เป็นตามสมมุติฐาน มีความจำเป็นต้องทำการทดสอบ ใหม่ ทำให้ใช้เวลาในการทดสอบยาวนานและอาจกระทบต่อกระบวนการวิจัยอื่น ๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการกระจายรูปแบบความหนาแน่นของมวลถูกออกแบบและติดตั้งใน พื้นที่ห้องโดยสารด้านหลังเท่านั้นเป็นผลจากการกำหนดสมมุติฐานการวิจัย อีกทั้งคุณลักษณะจำเพาะ ของรถยนต์เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการวิจัย ดังนั้นผลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นเพียงแนวทางใน การศึกษา หากแต่สามารถทำการพัฒนาโดยการเปลี่ยนแปลงให้มีหลากหลายเพื่อสะท้อนผลได้ ครบถ้วนในทุก ๆ มิติ ของการใช้งานรถยนต์จริง

บรรณานุกรม

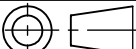
- [1] Masato Abe, “**Vehicle handling Dynamics Theory and Application**”, First ed, Butterworth-Heinemann, (2009).
- [2] Riener S., “**Intelligent vehicle handling: Steering and body posture while cornering**”, Architecture of Computer System, Vol.4934 (2008), pp.14.
- [3] Sveson L. and Hac A., “**Influence of Chassis Control Systems on Vehicle Handling and Rollover Stability**”, Enhanced safety of vehicles, NHTSA. No. 05-0324, (2005).
- [4] Michael W. Sayers and Dongsuk Han., “**A Generic Multibody Vehicle Model for Simulating Handling and Braking**”, Symposium of the International Association of Vehicle System Dynamics, Ann Arbor, USA.
- [5] Hegazy S., Rahnejatand H, and Hussain K., “**Multi-body in full-vehicle handling analysis**”, ProInstnMechEngrs, Vol. 213 Part K, (1999).
- [6] Keiji Watanabe and el., “**Handling and Stability Performance of Four-Track Steering Vehicles**”, Journal of Terramechanics, Vol. 32, No.6, pp.285-302, (1995).
- [7] Federal Motor Carrier Safety Administration, “**Rules and Regulations for brake Performance**”, FMCSA No. 121 part 49 CFR 393.52 (2002).
- [8] Suwanprateep T., “**Automotive Engineering**”, Witthayaphat Co., Ltd., Bangkok (2003), pp 151-176.
- [9] Allen R.W., Klyde D.H., Rosenthal T.J. and Smith D.M., “**Estimation of Passenger Vehicle Inertial Properties and Their Effect on Stability and Handling**”, Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems, SAE Paper, Vol. 112, No.2003-01-0966, (2003).

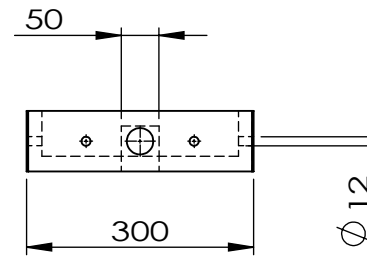
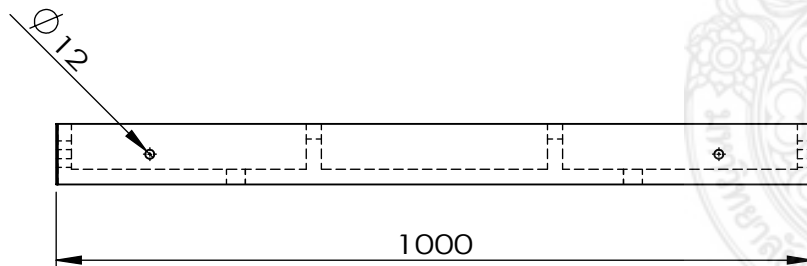
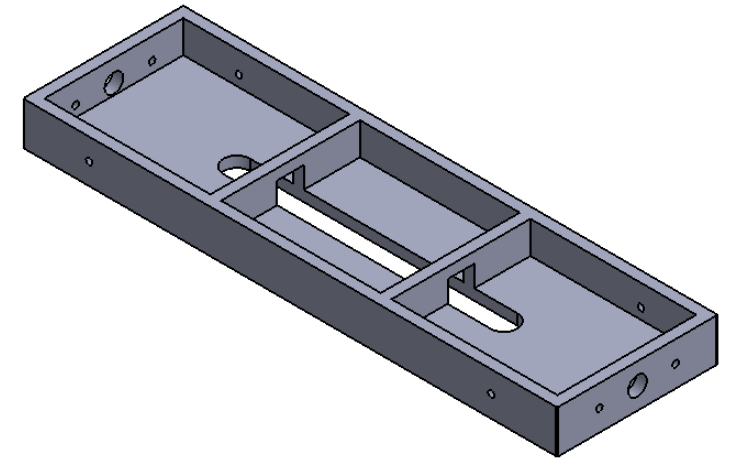
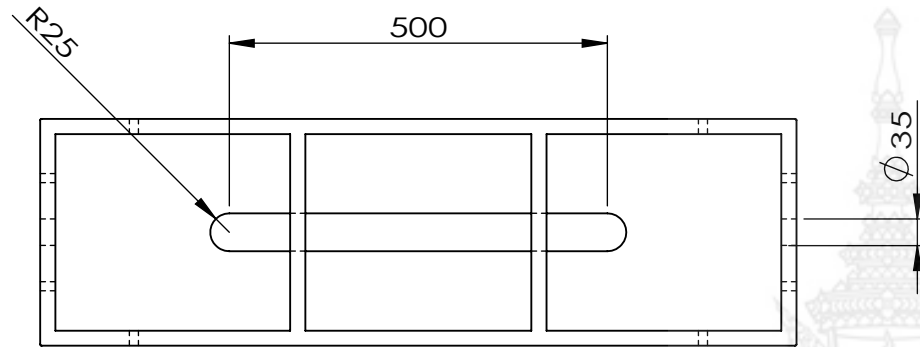
ภาคผนวก




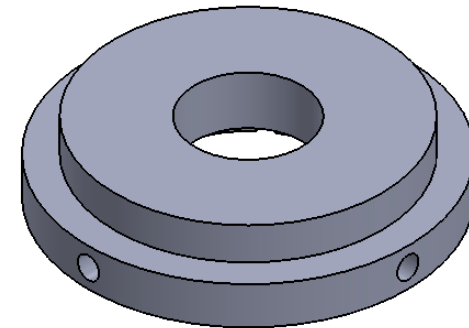
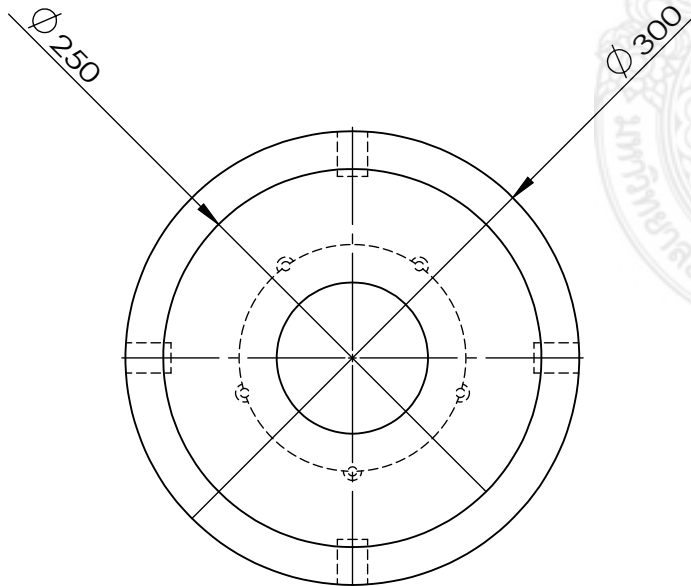
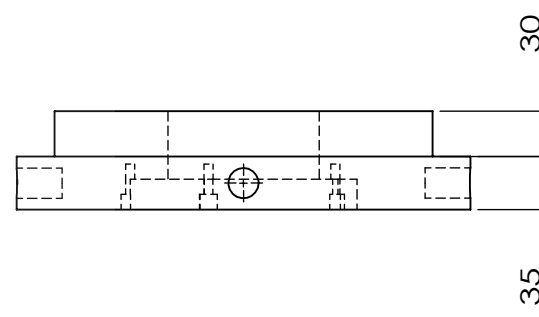
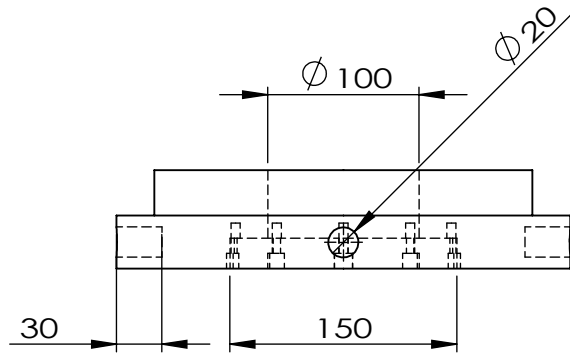
ภาคผนวก ก
แบบชุดทดสอบ

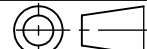


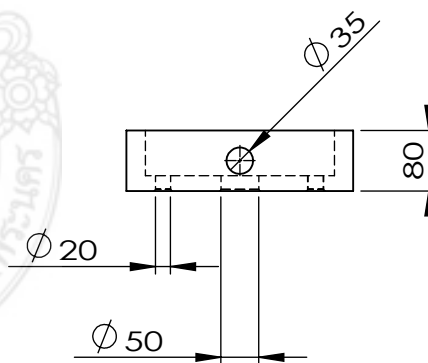
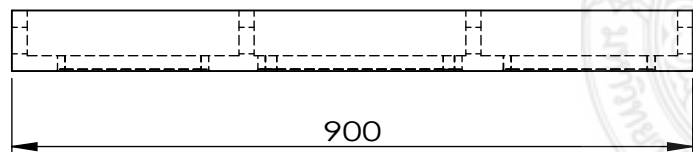
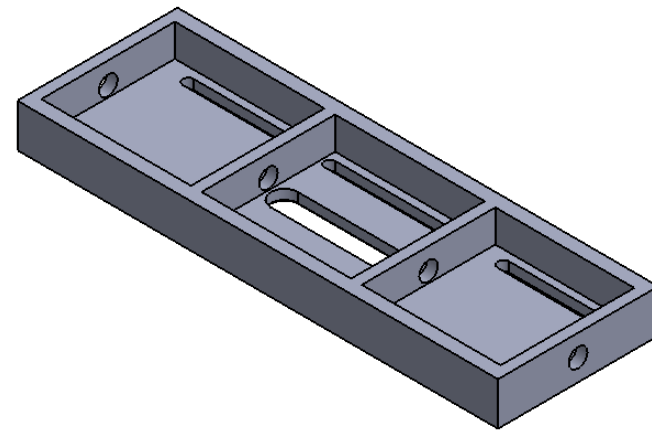
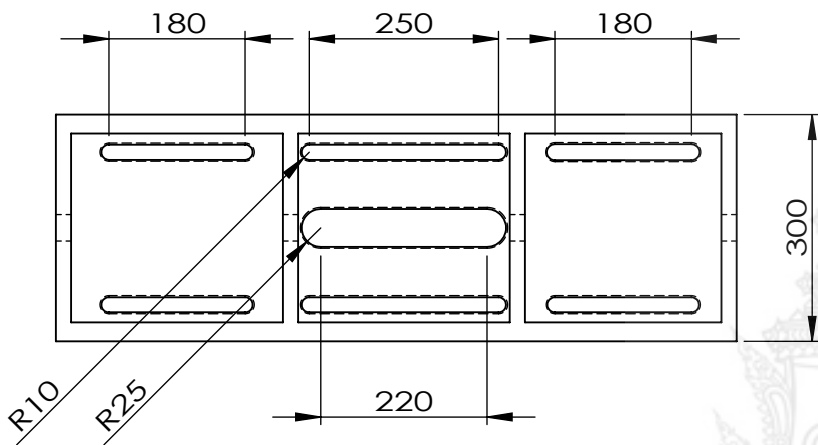
17	SCREW ADJUSTABLE POSITION	1090x40x40	AISI 1020 STEEL	ME-17	1	
16	COLUMN WEINGT SUPPORTED HOLDING	45x30x580	AISI 1020 STEEL	ME-16	4	
15	REAR PILLAR	50x90x945	AISI 1020 STEEL	ME-15	2	
14	FRONT PILLAR	50x90x945	AISI 1020 STEEL	ME-14	2	
13	MASS SOPPTING UNIT	110x300x300	AISI 1020 STEEL	ME-13	2	
12	BOTTOM BAR	50x952.50x185	AISI 1020 STEEL	ME-12	2	
11	TOP BAR	50x952.50x90	AISI 1020 STEEL	ME-11	2	
10	HORIZONTAL HOLDING SCREW	26x600x26	AISI 1020 STEEL	ME-10	1	
9	BEASS ADJUSTABLE SCREW	100x120x10	BEASS	ME-09	1	
8	VERTICAL BASE SCREW	300x300x40	AISI 1020 STEEL	ME-08	1	
7	HORIZOTAL MASS LIMITED POSITION	80x230x20	AISI 1020 STEEL	ME-07	2	
6	MASS	300x300x80	AISI 1020 STEEL	ME-06	1	
5	VERTICAL SCREW	70x120x70	AISI 1020 STEEL	ME-05	1	
4	VERTIONL TOP WRLGHT SUPPORTING	300x900x80	AISI 1020 STEEL	ME-04	1	
3	VENTICL SCREW HOUSING	300x300x40	AISI 1020 STEEL	ME-03	1	
2	VERTICAL BOTTOM WELGHT SUPPORTING	300x1000x80	AISI 1020 STEEL	ME-02	1	
1	WEIGHT DISTRIBUTION UNIT	580x945x952	AISI 1020 STEEL	ME-01	1	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:20	TITLE:	WEIGHT DISTRIBUTION UNIT			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					1 OF 17	16/9/2557

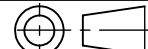


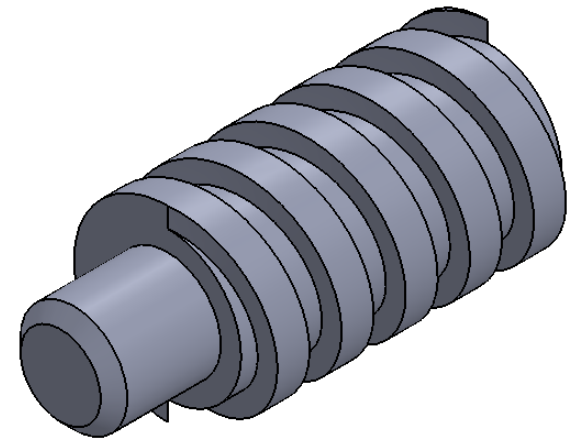
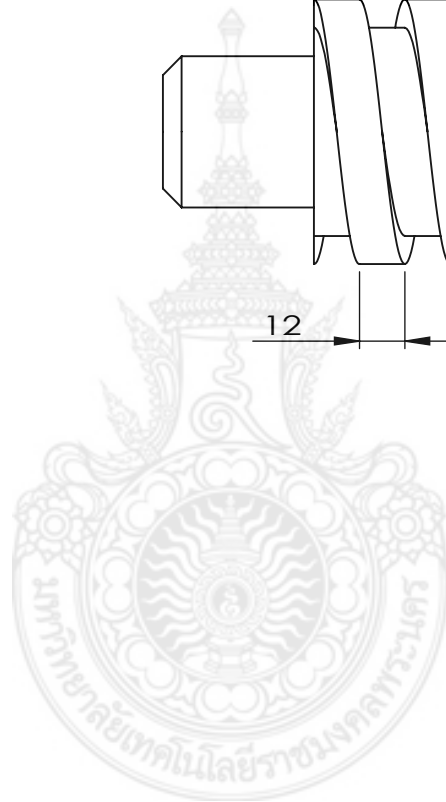
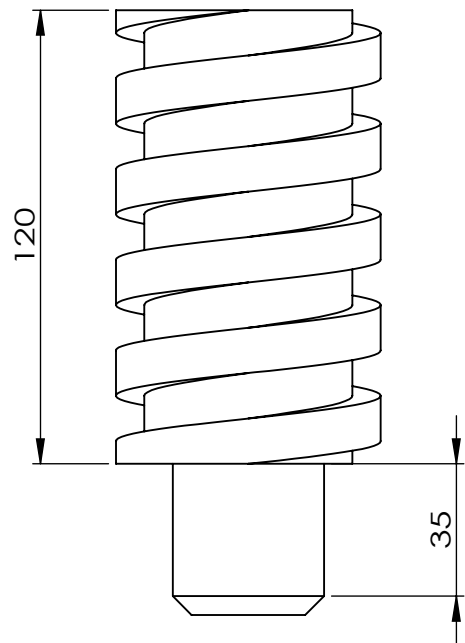
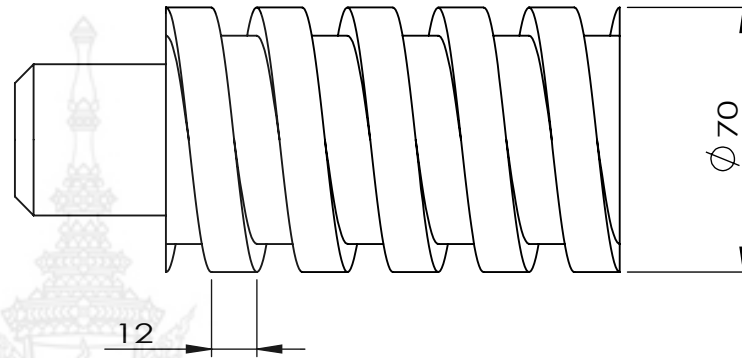
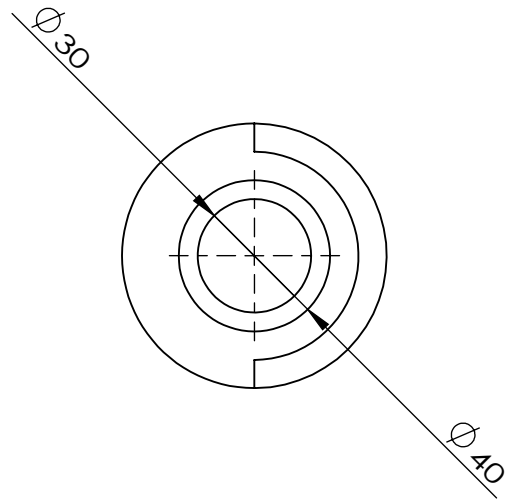
2	VERTICAL BOTTOM WELGHT SUPPORTING	300x1000x80	AISI 1020 STEEL	ME-02	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:10	TITLE: VERTICAL BOTTOM WELGHT SUPPORTING			SHEET: 2 OF 17	DATE: 16/9/2557
UNIT: mm					

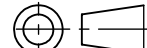


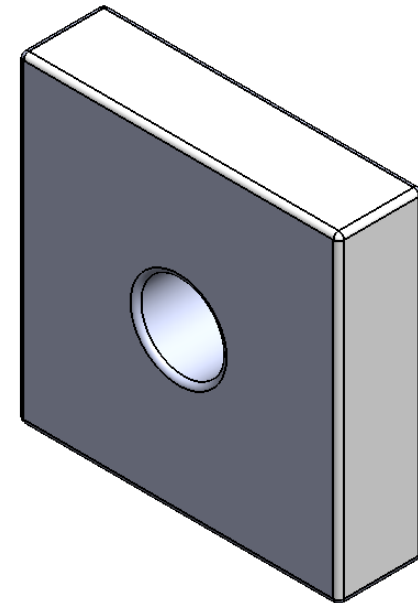
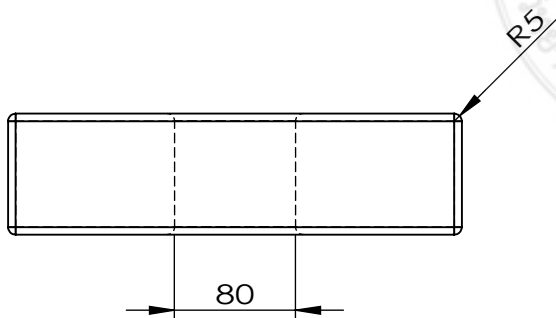
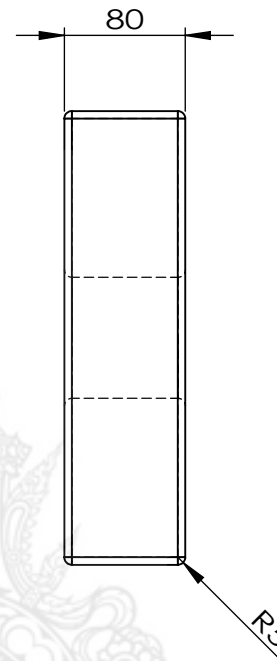
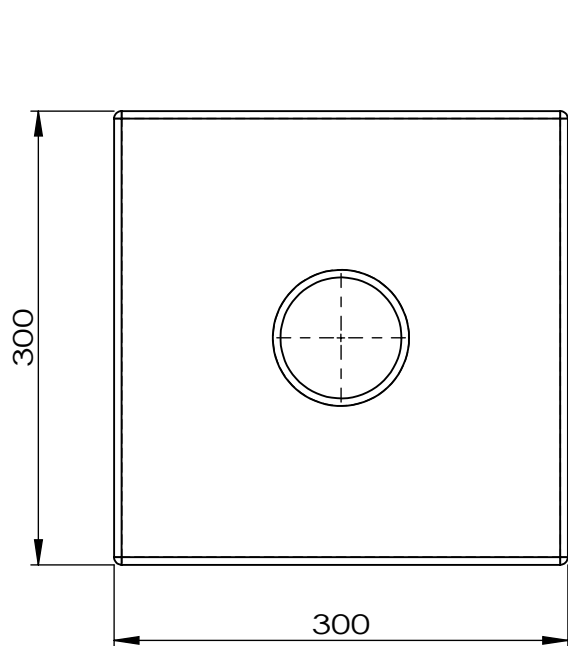
3	VENTICL SCREW HOUSING	300x300x40	AISI 1020 STEEL	ME-03	1	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:5	TITLE:	VENTICL SCREW HOUSING			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					3 OF 17	16/9/2557

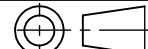


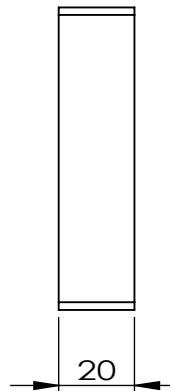
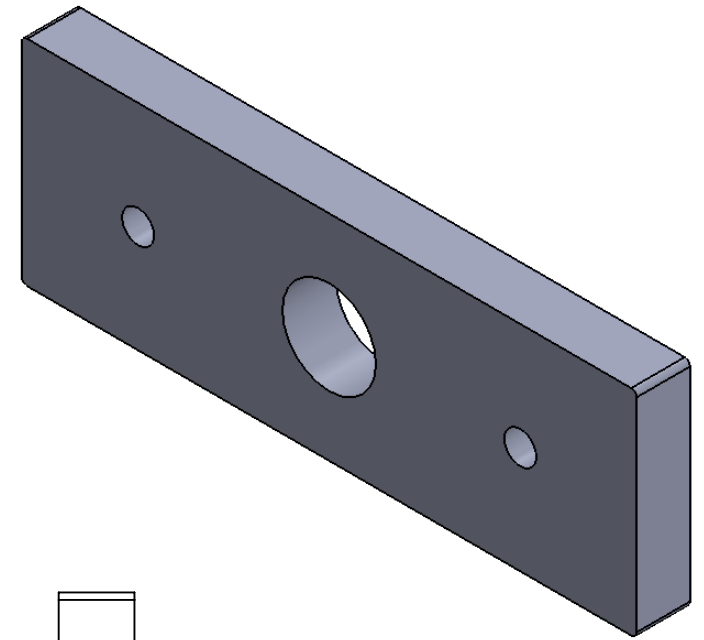
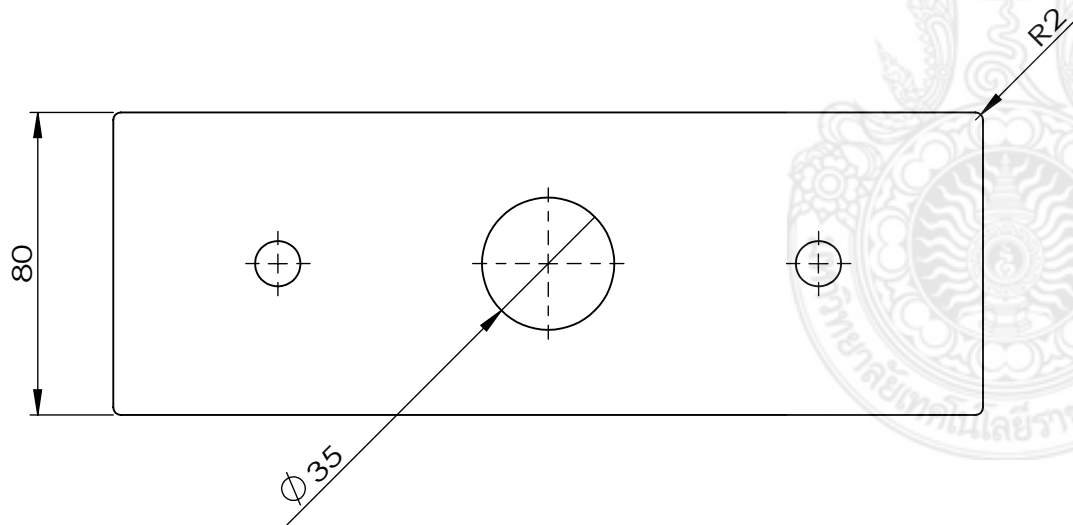
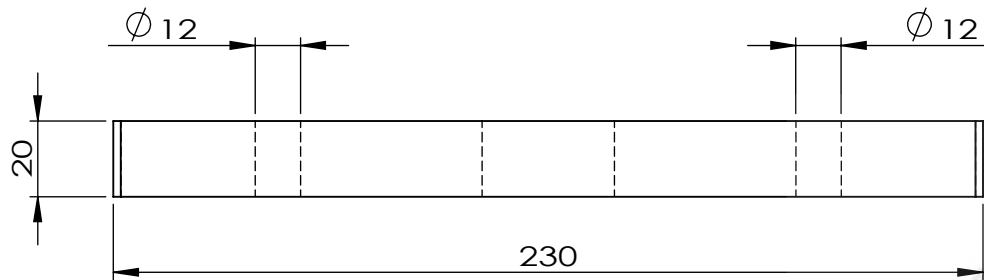
4	VERTIONL TOP WRIGHT SUPPORTING	300x900x80	AISI 1020 STEEL	ME-04	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:10	TITLE: VERTIONL TOP WRIGHT SUPPORTING			SHEET: 4 OF 17	DATE: 16/9/2557
UNIT: mm					



5	VERTICAL SCREW	70x120x70	AISI 1020 STEEL	ME-05	1	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:5	TITLE:	VERTICAL SCREW			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					5 OF 17	16/9/2557

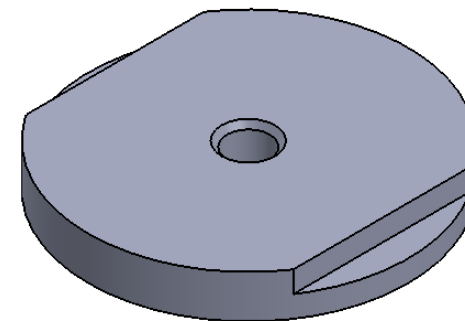
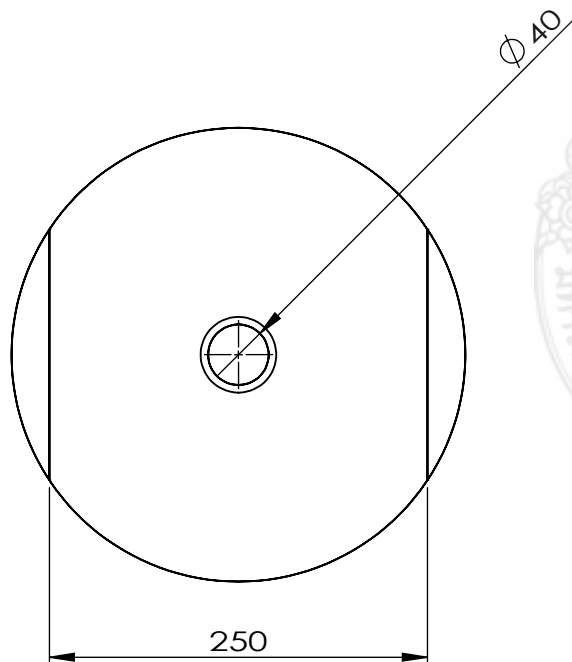
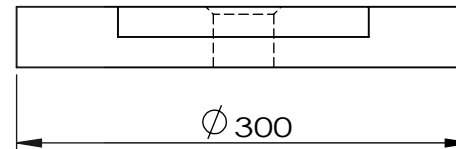
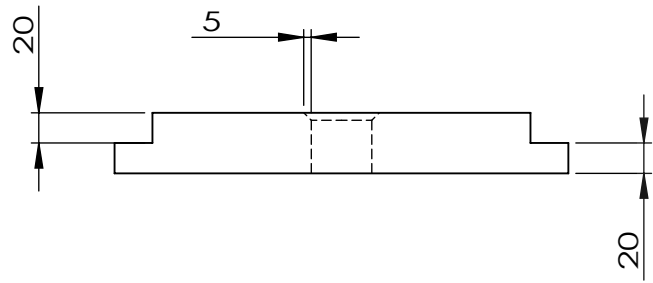


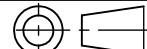
6	MASS	300x300x80	AISI 1020 STEEL	ME-06	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:5	TITLE:	MASS		 SHEET: 6 OF 17	DATE: 16/9/2557
UNIT: mm					

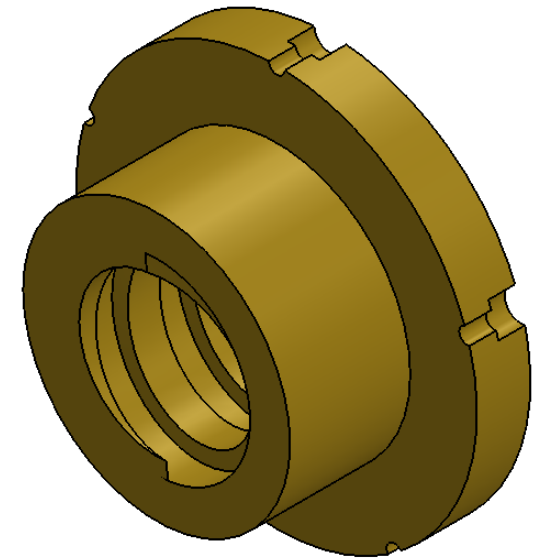
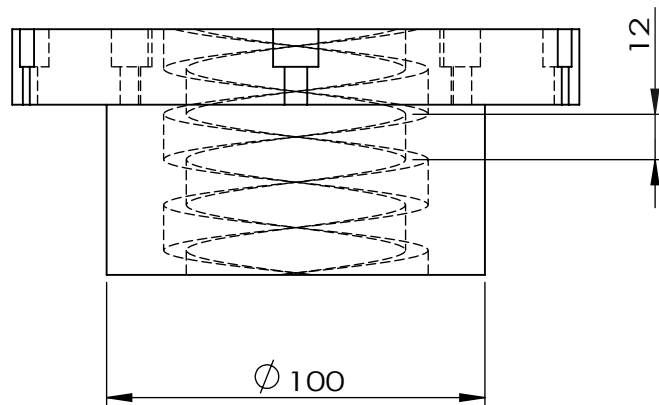
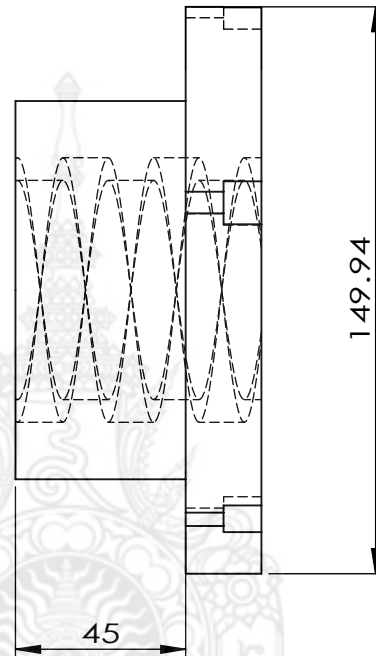
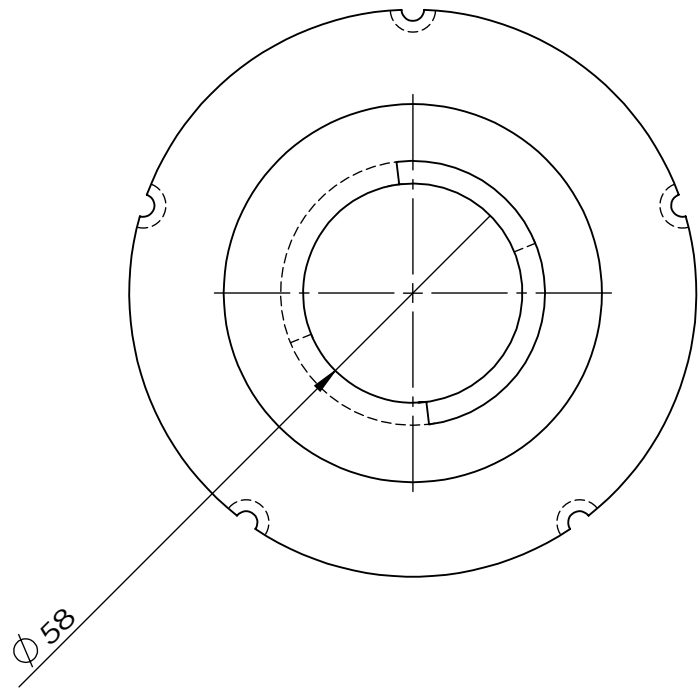


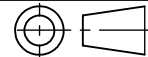
7	HORIZONTAL MASS LIMITED POSITION	80x230x20	AISI 1020 STEEL	ME-07	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:2	TITLE:	HORIZONTAL MASS LIMITED POSITION		SHEET:	DATE:
UNIT: mm				7 OF 17	16/9/2557

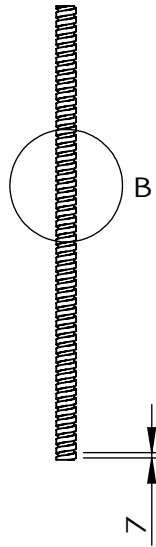




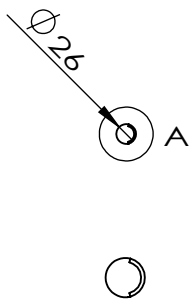
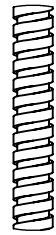
8	VERTICAL BASE SCREW	300x300x40	AISI 1020 STEEL	ME-08	1	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:5	TITLE:	VERTICAL BASE SCREW			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					8 OF 17	16/9/2557



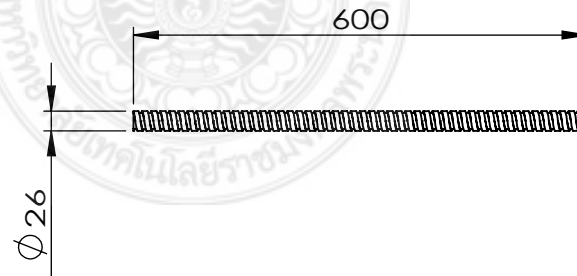
9	BRASS ADJUSTABLE SCREW	100x120x10	BRASS	ME-09	1	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:2	TITLE:	BRASS ADJUSTABLE SCREW			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					9 OF 17	21/9/2557

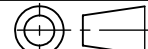


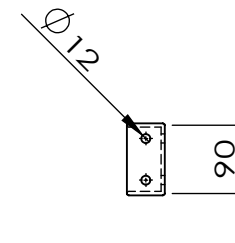
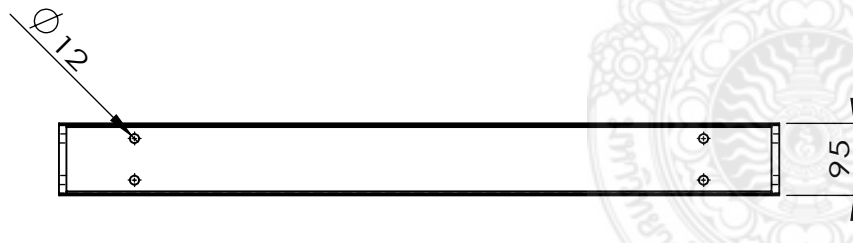
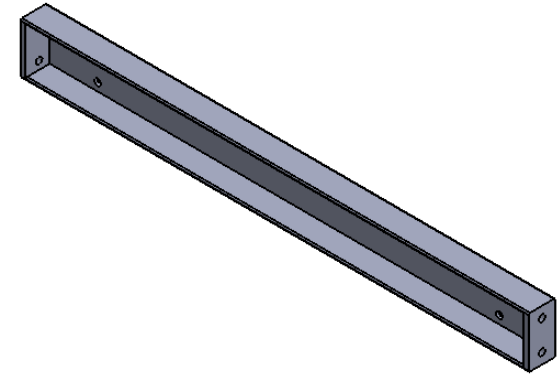
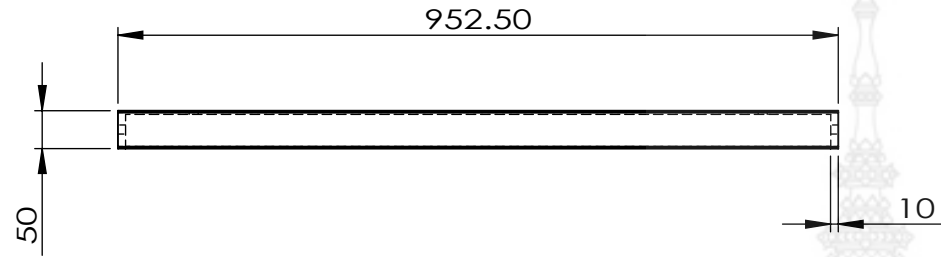
DETAIL B
SCALE 1 : 5

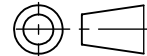


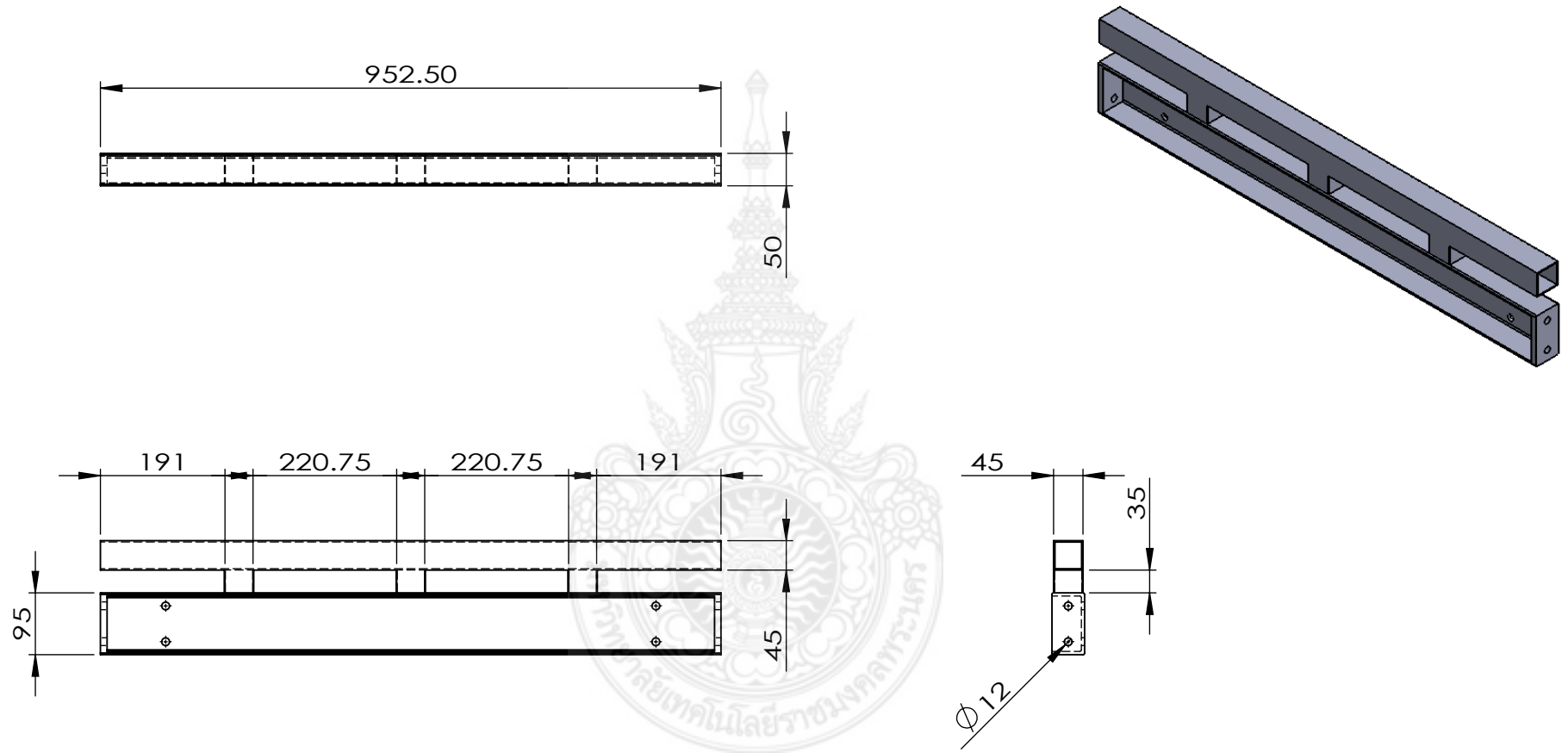
DETAIL A
SCALE 1 : 5

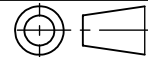


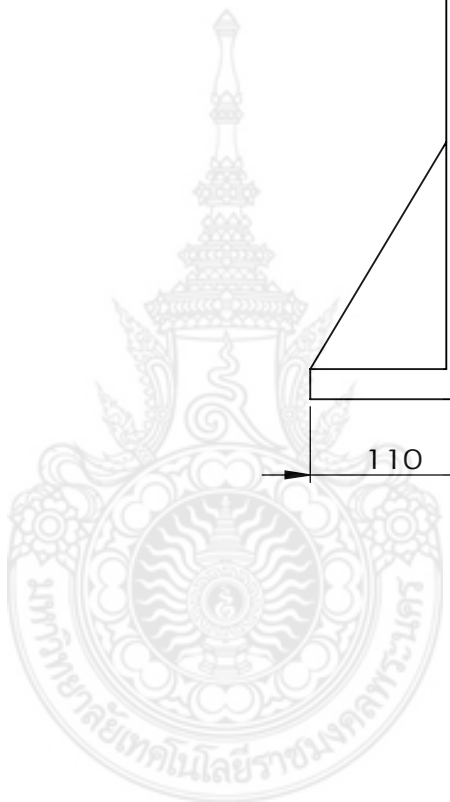
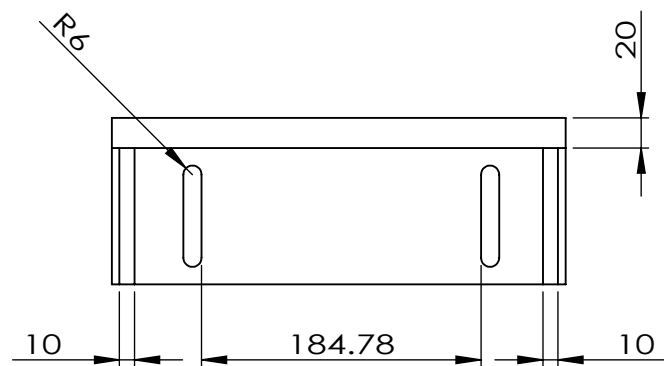
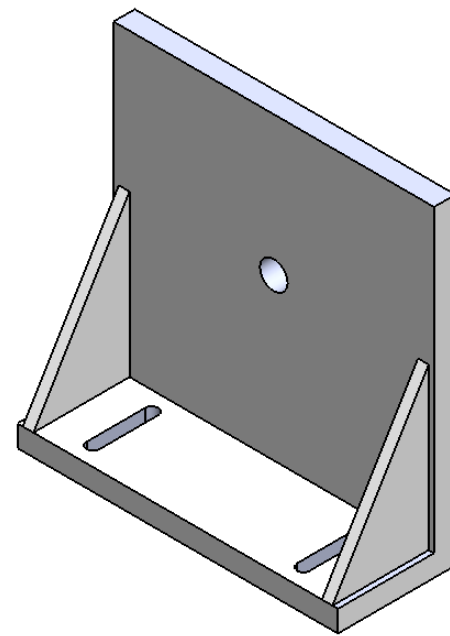
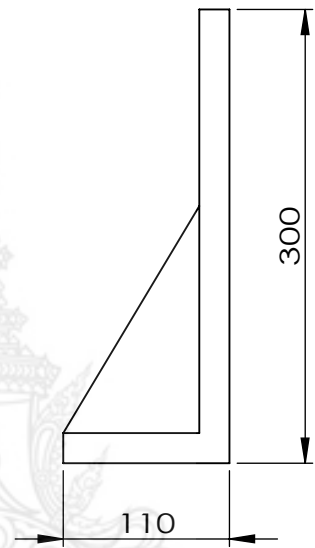
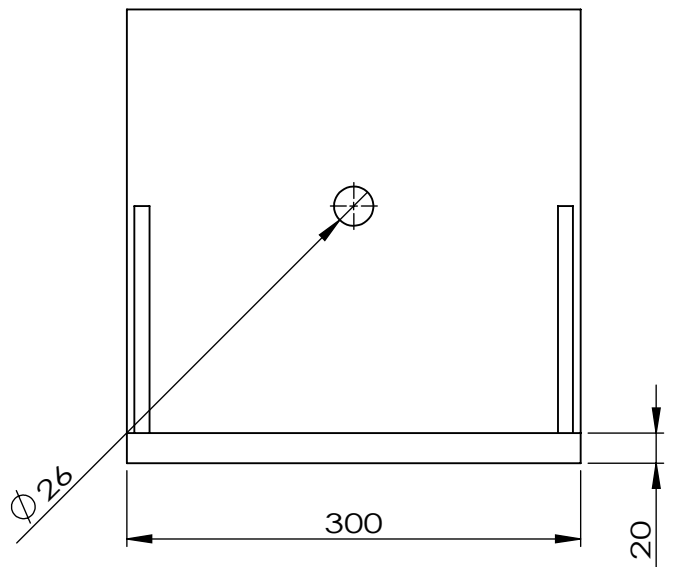
10	HORIZONTAL HOLDING SCREW	26x600x26	AISI 1020 STEEL	ME-10	1	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:5	TITLE:	HORIZONTAL HOLDING SCREW			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					10 OF 17	21/9/2557



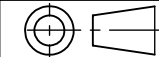
11	TOP BAR	50x952.50x90	AISI 1020 STEEL	ME-11	2	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:10	TITLE:	TOP BAR			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					11 OF 17	16/9/2557

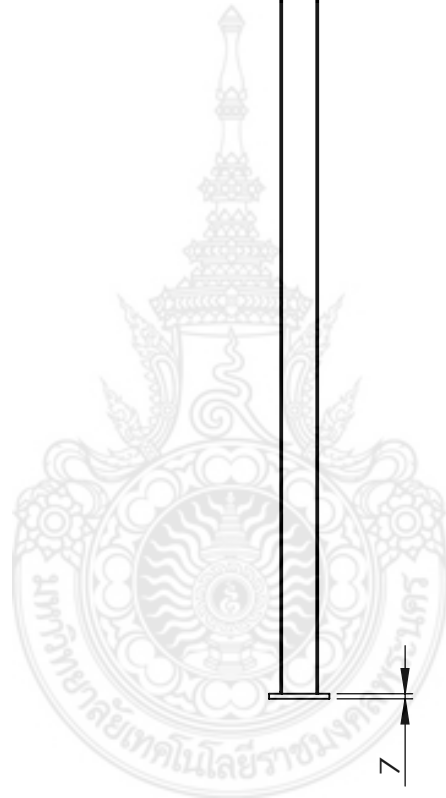
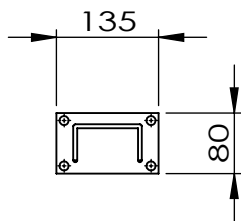
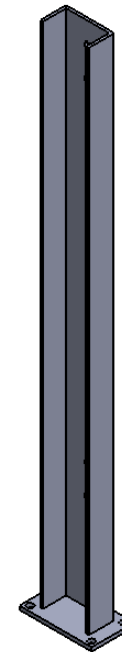
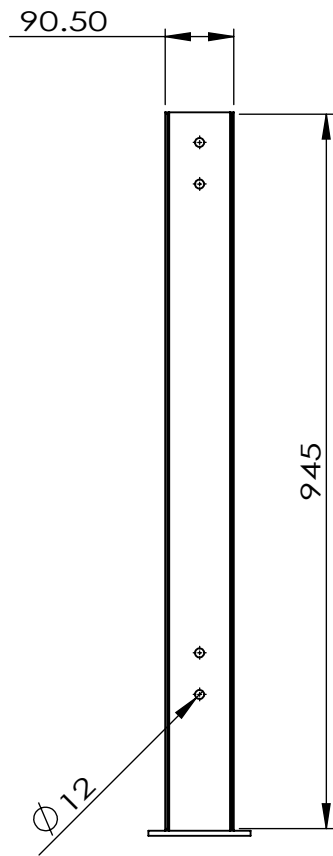


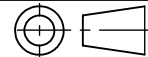
12	BOTTOM BAR	50x952.50x185	AISI 1020 STEEL	ME-12	2	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:10	TITLE:	BOTTOM BAR			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					12 OF 17	16/9/2557

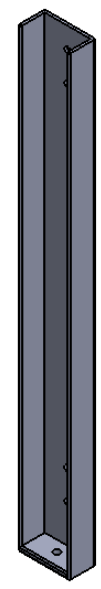
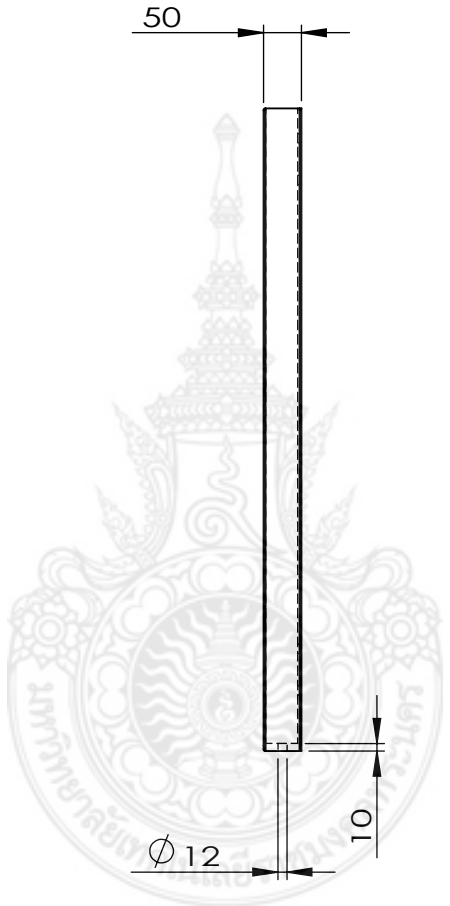
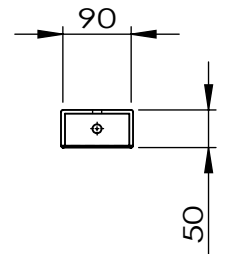
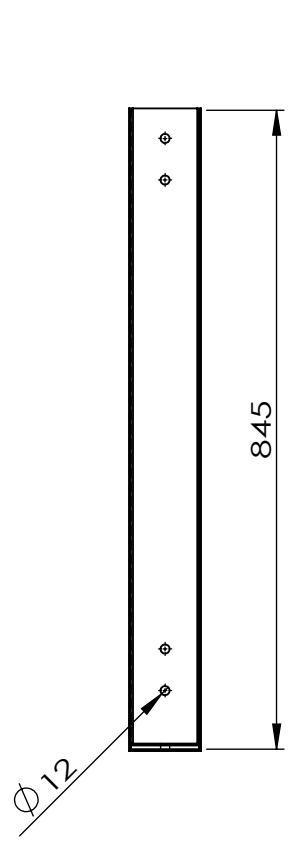


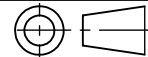
13	MASS SOPPRTING UNIT	110x300x300	AISI 1020 STEEL	ME-13	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:5	TITLE:	MASS SOPPRTING UNIT		SHEET: 13 OF 17	DATE: 21/9/2557
UNIT: mm					

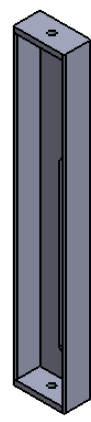
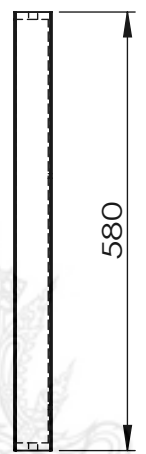
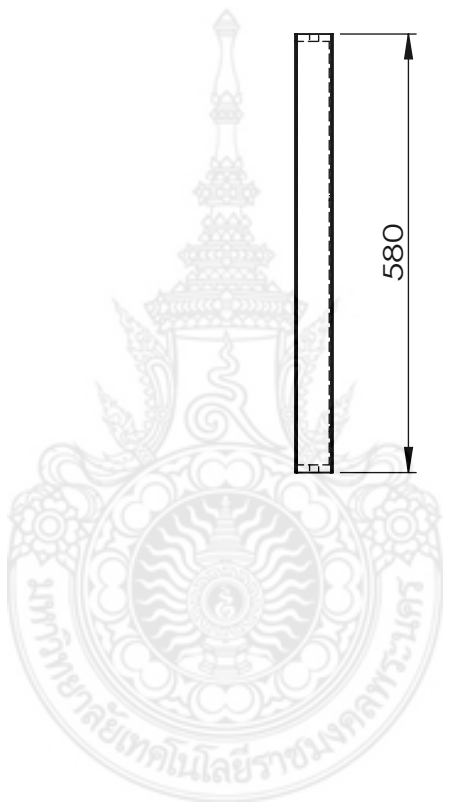
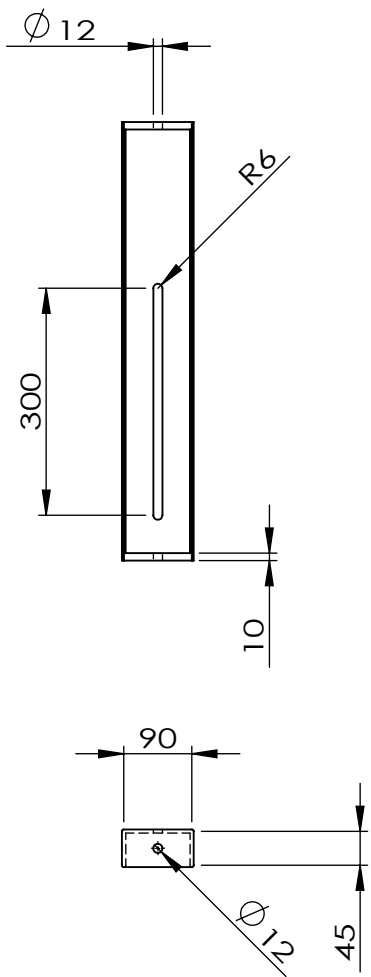




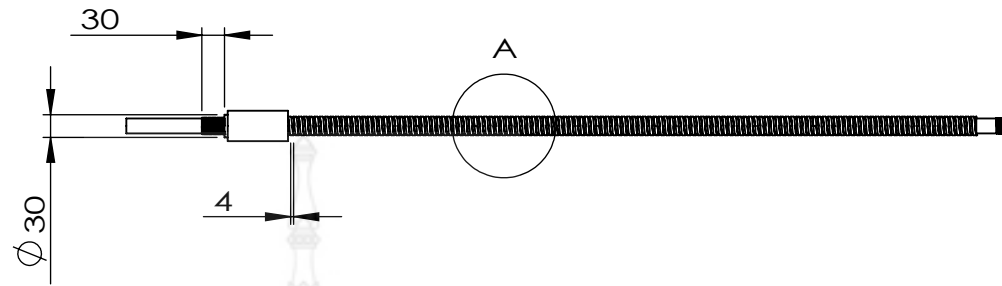
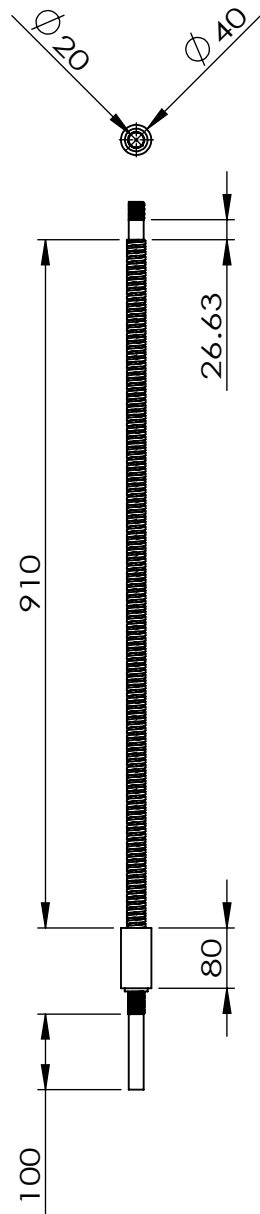
14	FRONT PILLAR	50x90.50x945	AISI 1020 STEEL	ME-14	2	
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.	
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON			
CHECKED	T. SUTTISONG					
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE					
SCALE:1:10	TITLE:	FRONT PILLAR			SHEET:	DATE:
UNIT: mm					14 OF 17	16/9/2557



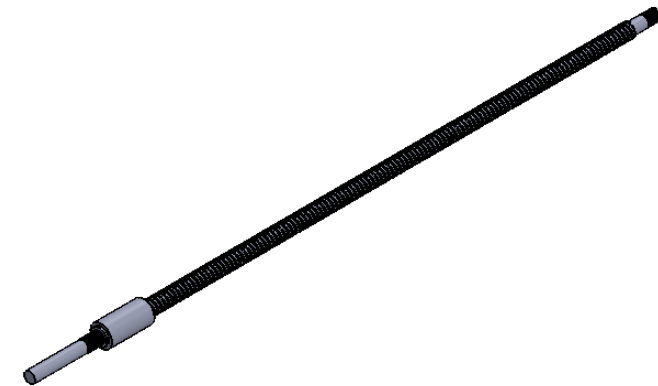
15	REAR PILLAR	50x90.50x945	AISI 1020 STEEL	ME-15	2
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:10	TITLE:	REAR PILLAR		 SHEET: 15 OF 17	DATE: 21/9/2557
UNIT: mm					



16	COLUMN WEIGHT SUPPORTED HOLDING	45x90x580	AISI 1020 STEEL	ME-16	4
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:10	TITLE: COLUMN WEIGHT SUPPORTED HOLDING			SHEET: 16 OF 17	DATE: 16/9/2557
UNIT: mm					



DETAIL A
SCALE 1 : 5



17	SCREW ADJUSTABLE POSITION	1090x40x40	AISI 1020 STEEL	ME-17	1
PART No.	PART NAME	DIMENSION	MATERIAL	DRAWING NO.	QTY.
DRAWN	S. SURASAK		RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRA NAKHON		
CHECKED	T. SUTTISONG				
APPROVED	S. MONGKONLERDMANEE				
SCALE:1:20	TITLE:	SCREW ADJUSTABLE POSITION		SHEET:	DATE:
UNIT: mm				17 OF 17	16/9/2557