



ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง  
EFFECT OF LOADING ON SIDE-CAR MOTORCYCLE PULLS OFF

ธนาวุธ หนูพุ่ม

TANAWUT NOOPHUM

นาวิน คชสวัสดิ์

NAWIN KHODSAWAS

ณัฐพงษ์ สอนนong

NUTTHAPONG SONNONG

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง  
EFFECT OF LOADING ON SIDE-CAR MOTORCYCLE PULLS OFF



ธนาวุธ หนูพุ่ม  
TANAWUT NOOPHUM  
นาวิน คชสวัสดิ์  
NAWIN KHODSAWAS  
ณัฐพงษ์ สอนนong  
NUTTHAPONG SONNONG

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# EFFECT OF LOADING ON SIDE-CAR MOTORCYCLE PULLS OFF

TANAWUT NOOPHUM  
NAWIN KHODSAWAS  
NUTTHAPONG SONNONG



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
PRINCE OF CHUMPHON  
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

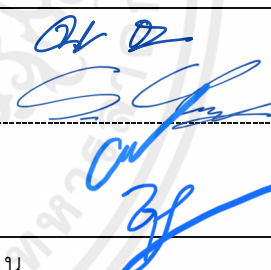
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง  
PROJECT TITLE EFFECT OF LOADING ON SIDE-CAR MOTORCYCLE PULLS OFF  
ชื่อนักศึกษา นายธนาวุธ หนูพุ่ม รหัสประจำตัว 60512062  
นายนาวิน คชสวัสดิ์ รหัสประจำตัว 60512066  
นายณัฐพงษ์ สอนนง รหัสประจำตัว 60513006  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตวงศ์  
ปริญญาานิพนธ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์  
ปริญญาานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.จรัสชัย	เย็นพยับ	กรรมการสอบ	
อ.ดร.ศรีรัตน์	ช่วยบุญ	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ดิษฐพร	ตุงโสธานนท์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	
ผศ.ดร.ชมพูนุช	กุลเกตวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2564 เวลา 14:00-15:00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์ Modern Science and Technology for Sustainable Development

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ มิถุนายน พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดก่แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	
ชื่อนักศึกษา	นายธนาวุธ หนูพุ่ม	รหัสประจำตัว 60512062
	นายนาวิน คชสวัสดิ์	รหัสประจำตัว 60512066
	นายณัฐพงษ์ สอนนอง	รหัสประจำตัว 60513006
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์	
ปริญญานิพนธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโกลานนท์	
ปริญญานิพนธ์ร่วม		

### บทคัดย่อ

รถจักรยานยนต์พ่วงข้างเป็นยานพาหนะดัดแปลงที่ไม่ได้มาตรฐานแน่นอนมักส่งผลให้เสถียรภาพของตัวรถลดลง โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอัตราเร่งหนีจุดศูนย์กลาง และการเคลื่อนตัวของระบบกันสะเทือนขณะรถจักรยานยนต์พ่วงข้างออกตัวด้วยน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน ในการทดลองได้ให้อาสาสมัครชายเป็นผู้ขับช้ออกตัวรถจักรยานยนต์พ่วงข้างที่มีน้ำหนักบรรทุก 0-150 kg ผลการทดลองพบว่าเมื่อรถจักรยานยนต์พ่วงข้างออกตัวจะทำให้ระยะยุบของโช้คล้อหน้าและล้อข้างมีการยุบตัวมากขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในทางกลับกันระยะยุบของโช้คล้อหลังและค่าอัตราเร่งในแนวแกน x จะลดลงเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้การส่ายของรถขณะออกตัวลดลง อย่างไรก็ตามการที่น้ำหนักบรรทุกมากขึ้นจะส่งผลให้ระบบกันสะเทือนของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างเกิดความเสียหายมากขึ้นด้วย

**คำสำคัญ:** รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง, อัตราเร่งหนีจุดศูนย์กลาง, ระยะยุบของโช้ค

<b>Project Title</b>	Effect of Loading on Side-car Motorcycle Pulls off	
<b>Student</b>	Mr.Tanawut Noophum	<b>Student ID</b> 60512062
	Mr.Nawin Khodsawas	<b>Student ID</b> 60512066
	Mr.Nutthapong Sonnong	<b>Student ID</b> 60513006
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Mechanical Engineering	
<b>Project Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Chompoonud Kulketwong	
<b>Project Co-Advisor</b>	Asst.Prof.Dr. Dithaporn Thungsotanon	

## ABSTRACT

A side-car motorcycle is a modified vehicle without the standard that leads to stability downs. The project aimed to study and compare the centripetal acceleration and the displacement of the suspension system during the side-car motorcycle with varying loads pulls off. In testing, a male rider pulled off the side-car motorcycle that was carried loads in ranges of 0-150 kg. The results were found that when the vehicle was pulled off, the compression displacement of front-wheel and side-wheel shocks were increased following the increasing mass. On the other hand, the rear-wheel shock and the acceleration at the x-axis were decreased as the loads increased and indicated that the increased load caused the yawing of the vehicle was reduced while pulling off. However, the increasing load affected the suspension system of the side-car motorcycle was more failure too.

**Keywords:** Side-car motorcycle, Centripetal acceleration, Compression displacement of shock

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ และอาจารย์ดิษฐพร ตุงโสมานนท์ ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่ยกย่องรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์ฟางข้าง

ธนาวุธ หนูพุ่ม  
นาวิน ศษสวัสดิ์  
ณัฐพงษ์ สอนนอง  
พฤษภาคม 2564

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.7 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 ความเสียดทานของผิวทาง	4
2.1.2 แรงเสียดทาน	5
2.1.3 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	5
2.1.4 จุดศูนย์ถ่วง	6
2.1.5 Load Transfer	6
2.1.6 Weight Transfer	7
2.1.7 เสถียรภาพการบังคับรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	12
3.1 การหาจุดศูนย์ถ่วงของรถมอเตอร์ไซค์พ่วงข้าง	12
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์	12
3.1.2 วิธีดำเนินการ	14
3.2 วิธีการสร้างชิ้นส่วนจุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง	16
3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์	16
3.2.2 วิธีดำเนินการ	17
3.3 วิธีดำเนินการหาค่าเสถียรภาพในการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้ น้ำหนักรถที่ต่างกัน	19
3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์	19
3.3.2 วิธีดำเนินการ	21
3.4 วิธีการวัดค่าน้ำหนักของแรงที่มากกระทำบนล้อทั้งสามล้อบนแผ่นวัดแรง	23
3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์	23
3.4.2 วิธีดำเนินการ	23
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	25
4.1 ผลการทดสอบการหาจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	25
4.2 ผลการทดสอบการหาเสถียรภาพการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้ น้ำหนักรถที่ต่างกัน	27
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ปัญหาที่พบ	38
5.3 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	42
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบการหาจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	43
ภาคผนวก ข ข้อมูลระยะเวลาการเคลื่อนตัวของโซ้คและค่าอัตราเร่ง	45
ภาคผนวก ค ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์	50
ประวัติผู้จัดทำ	52



## สารบัญตาราง

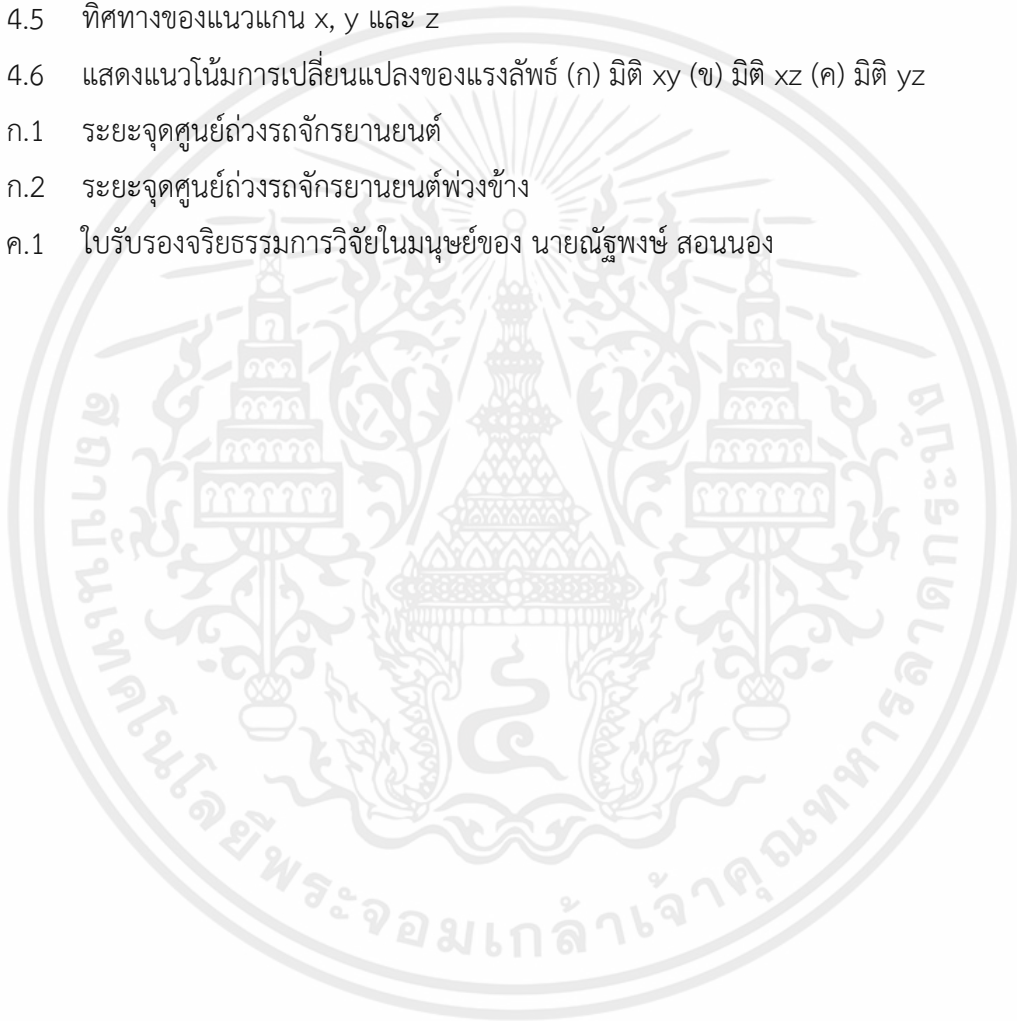
ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	3
4.1	จุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์เทียบกับรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	25
4.2	ระยะการเคลื่อนตัวของโช๊คที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ	27
4.3	ค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางสูงสุดเมื่อน้ำหนักบรรทุกต่างกัน	31
4.4	ค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางต่ำสุดเมื่อน้ำหนักบรรทุกต่างกัน	32
4.5	ค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางเฉลี่ยเมื่อน้ำหนักบรรทุกต่างกัน	33
ก.1	แสดงจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์เทียบกับรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	44
ข.1	ระยะยึดของโช๊คหน้าด้านซ้าย	46
ข.2	ระยะยึดของโช๊คหน้าด้านขวา	46
ข.3	ระยะยุบของโช๊คหลังด้านซ้าย	46
ข.4	ระยะยุบของโช๊คหลังด้านขวา	47
ข.5	ระยะยุบของโช๊คพ่วงข้าง	47
ข.6	ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวแกน x	47
ข.7	ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวแกน y	48
ข.8	ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวแกน z	48
ข.9	ค่าอัตราเร่งต่ำสุดในแนวแกน x	48
ข.10	ค่าอัตราเร่งต่ำสุดในแนวแกน y	49
ข.11	ค่าอัตราเร่งต่ำสุดในแนวแกน z	49
ข.12	ค่าอัตราเร่งเฉลี่ย	49

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	แผนผังการดำเนินการศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	2
2.1	แรงที่กระทำต่อล้อขณะมีการเคลื่อนที่	4
2.2	แรงเสียดทานมีทิศทางตรงข้ามกับแรงที่กระทำกับวัตถุเสมอ	5
2.3	ภาพรวมการทดสอบการลื่นไถลของ Skidder	9
3.1	แผ่นวัดแรง	12
3.2	เครื่องเลเซอร์วัดระดับ	13
3.3	รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	13
3.4	ตำแหน่งการวางแผ่นวัดแรง (ก) แนวระดับ (ข) แนวตั้ง	14
3.5	การตั้งระดับแผ่นวัดแรงด้วยเครื่องเลเซอร์วัดระดับ	15
3.6	ตำแหน่งการวางรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง (ก) แนวระดับ (ข) แนวเอียง	16
3.7	Acceleration Sensor	17
3.8	ชิ้นส่วนแผ่นเหล็กที่ใช้สำหรับยึดพ่วงข้าง	17
3.9	ชิ้นส่วนจุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง	18
3.10	การติดตั้งจุดยึดเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง	18
3.11	การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง	19
3.12	Linear displacement Sensor	19
3.13	Linear position transduce	20
3.14	Laser Displacement Sensor	20
3.15	NI CDAQ-9191	21
3.16	จัดเตรียมพื้นที่และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ	22
3.17	การทดสอบการออกตัว	22
3.18	การออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	23
3.19	การจัดวางตำแหน่งของแผ่นวัดแรงและรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	23
3.20	การตั้งระดับแผ่นวัดแรงด้วยเครื่องเลเซอร์วัดระดับ	24
3.21	การวัดค่าน้ำหนักของแรงที่มากกระทำบนล้อทั้งสามล้อบนแผ่นวัดแรง	24

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ระยะจุดศูนย์กลางของ (ก) รถจักรยานยนต์ (ข) รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	26
4.2	กราฟแสดงระยะการเคลื่อนตัวของไซค์ (ก) ล้อหน้า (ข) ล้อหลัง (ค) ล้อข้าง	29
4.3	ลักษณะการติดตั้งพ่วงข้างด้านข้าง	30
4.4	การออกแบบรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	30
4.5	ทิศทางของแนวแกน $x$ , $y$ และ $z$	34
4.6	แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแรงลัพธ์ (ก) มิติ $xy$ (ข) มิติ $xz$ (ค) มิติ $yz$	36
ก.1	ระยะจุดศูนย์กลางรถจักรยานยนต์	44
ก.2	ระยะจุดศูนย์กลางรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	44
ค.1	ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของ นายณัฐพงษ์ สอนนง	51



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญญานิพนธ์

รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของคนไทยมาช้านาน ในปัจจุบันนี้รถจักรยานยนต์ถูกนำมาทำการดัดแปลงเป็นรถจักรยานยนต์พ่วงข้างเพื่อตอบสนองต่อการใช้งานที่หลากหลายเช่น ใช้เป็นยานพาหนะและใช้ในการคมนาคมขนส่งต่าง ๆ [1-2] อย่างไรก็ตาม ปัญหาส่วนใหญ่ของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างคือความไม่เสถียรของตัวรถ [3] อันเนื่องมาจากการทำการดัดแปลงจากรถจักรยานยนต์แบบปกติที่ผู้ผลิตได้ทำการออกแบบให้มีความเสถียรอยู่แล้ว [4] และในประเทศไทยการออกแบบพ่วงข้างนั้นมีหลายขนาดหลายแบบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่าง ทำให้ไม่มีมาตรฐานในการออกแบบ และเมื่อบรรทุกน้ำหนักที่มากขึ้นทำให้ค่าความเสถียรของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างนั้นลดลงทำให้รถเกิดการส่ายไปมาตั้งแต่การออกตัวรถไปจนถึงการขับขี่ในระยะทางที่ไกล ๆ อันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของจุดศูนย์ถ่วง ซึ่งจุดศูนย์ถ่วงนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ๆ เช่น Load transfer และ Weight transfer [5] ตัวแปร 2 ค่านี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเนื่องจากความไม่สมดุลของแรง [6] ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของระบบกันสั่นสะเทือน [7] ซึ่งจะส่งผลต่อแรงเสียดทานของยางด้วย [8-10] และมีอีกหนึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือค่าอัตราเร่งหนีศูนย์ เมื่อรถพ่วงข้างไม่มีความเสถียรจะส่งผลให้เกิดการส่ายที่นำมาซึ่งการสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ อันเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุในการขับขี่ได้

จากสาเหตุข้างต้นทางคณะผู้จัดทำโครงการงานจึงมีแนวคิดศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง ที่พิจารณาถึงอัตราเร่งหนีศูนย์กลางและการเคลื่อนตัวของระบบกันสั่นสะเทือนขณะรถจักรยานยนต์พ่วงข้างขณะออกตัวที่น้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน ซึ่งมีความจำเป็นต่อการกำหนดคุณลักษณะและขอบเขตของการใช้งานในการขับขี่ที่ปลอดภัยและลดอัตราการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ของจักรยานยนต์พ่วงข้างด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปัญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอัตราเร่งหนีศูนย์กลางและการเคลื่อนตัวของระบบกันสั่นสะเทือนขณะรถจักรยานยนต์พ่วงข้างออกตัวด้วยน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1.3.1 รถจักรยานยนต์พ่วงจะเกิดการส่ายเพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำบรรทุกน้ำหนักเพิ่มขึ้น

### 1.4 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

1.4.1 ใช้รถมอเตอร์ไซด์พ่วงข้างที่มีน้ำหนัก 168.9 kg และใช้แรงดันลมยางของล้อหน้า ล้อหลัง และล้อข้าง อยู่ที่ 29 psi (199.95 kPa), 41 psi (282.69 kPa) และ 41 psi (282.69 kPa) ตามลำดับ

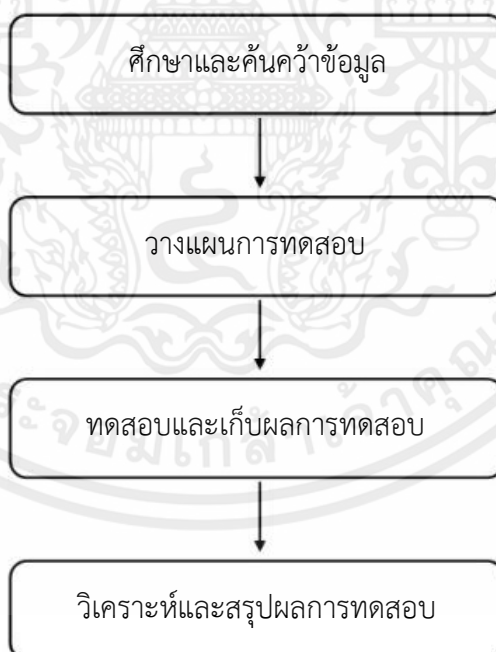
1.4.2 ใช้เซ็นเซอร์วัดระยะและเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง 3 แกน

1.4.3 ช่วงของน้ำหนักบรรทุกอยู่ที่ 0-150 kg

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบข้อมูลผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

### 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินการศึกษผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการศึกษาผลกระทบของน้ำหนักรบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน									
	2563					2564				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←→									
2. วางแผนการทดสอบ			←→							
3. ทดสอบและเก็บข้อมูล					←→					
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ							←→			
5. ทำเล่มปริญญานิพนธ์									←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

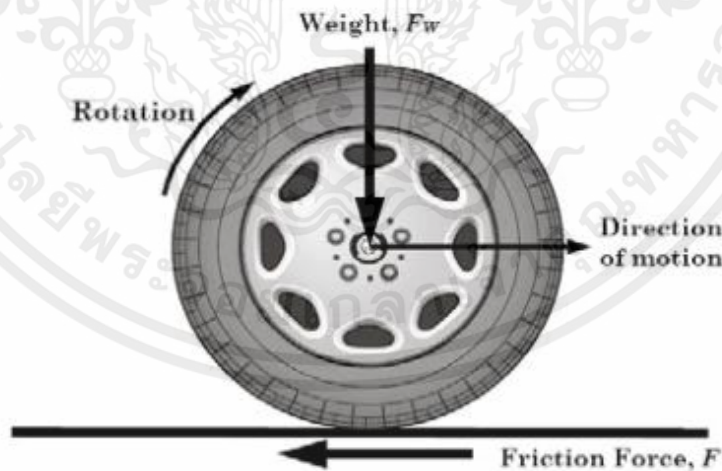
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่มีผลต่อเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกต่อการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 ความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction)

เป็นการอธิบายถึงแรงต้านทานบริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อและผิวทาง หรือแรงต้านไม่ให้ล้อลื่นไถลไปบนผิวทาง (รูปที่ 2.1) โดยผิวทางที่มีความเสียดทานของผิวทางต่ำ ส่งผลให้สายทางเกิดความไม่ปลอดภัย ซึ่งเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่ออุบัติเหตุ ในลักษณะการชนแบบออกนอกเส้นทาง (Run-off road crash) โดยมีปัจจัยมาจากการขับรถเร็วร่วมกับสภาพของถนนที่มีค่าความเสียดทานของผิวทางต่ำ จะพบได้อย่างยิ่งในบริเวณทางโค้งซึ่งพบอุบัติเหตุบ่อย นอกจากนี้สายทางที่มีค่าความเสียดทานของผิวทางสูงจะช่วยให้ระยะการเบรกของรถสั้นลง รถสามารถชะลอความเร็วได้ดีขึ้น ช่วยลดอุบัติเหตุหรือทำให้อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยลงได้ [11]

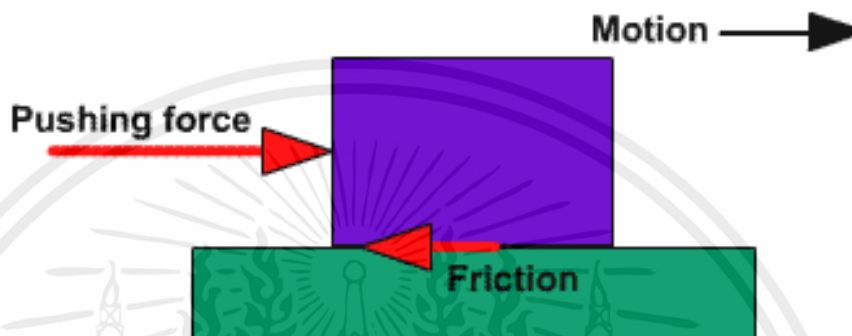


รูปที่ 2.1 แรงที่กระทำต่อล้อขณะมีการเคลื่อนที่ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 แรงเสียดทาน (Friction force)

เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นผิวที่ผิวโดยผ่านตัวกลางที่มีความหนืดเช่นน้ำ น้ำมัน ฝุ่นละออง จะทำให้เกิดแรงเสียดทานขึ้น (รูปที่ 2.2) ซึ่งแรงเสียดทานเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวัน แรงเสียดทานทำให้วัตถุหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการยิ่งแรงเสียดทานน้อยยิ่งทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปได้ไกล [12] ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.2 แรงเสียดทานมีทิศตรงข้ามกับแรงที่กระทำกับวัตถุเสมอ [12]

$$F = \mu N \quad (2.1)$$

เมื่อ

$F$  คือ แรงเสียดทานที่เกิดระหว่างผิวสัมผัส (N)

$\mu$  คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส (ไร้นหน่วย)

$N$  คือ แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุกระทำต่อพื้นขณะนั้น (N)

### 2.1.3 แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การที่รถเลี้ยวโค้งบนถนนได้นั้นเนื่องมาจากแรงมากระทำด้านข้าง แรงหนีศูนย์กลางกระทำที่ศูนย์กลางของการเลี้ยวตามแนวรัศมีเรียกว่า แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง (Centripetal force) และอัตราเร่งที่เกิดขึ้นนั้นเรียกว่า อัตราเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง (Centripetal acceleration) ขณะเดียวกันผู้ที่นั่งบนรถจะรู้สึกถูกลากเหวี่ยงออกจากศูนย์กลาง แรงนี้คือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) [13] ดังสมการที่ 2.2

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$F_c$  คือ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (N)

$m$  คือ มวล (kg)

$v$  คือ ความเร็ว (m/s)

$r$  คือ รัศมีวงเลี้ยว (m)

#### 2.1.4 จุดศูนย์กลางถ่วง

จุดศูนย์กลางถ่วง (Center of gravity, CG) คือ จุดที่น้ำหนักมีการกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอและทุกด้านอยู่ในสมดุล ศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงเป็นแนวคิดที่สำคัญในการพิจารณาความมั่นคงของโครงสร้างรถมอเตอร์ไซด์พวงข้าง ความเสถียรจะมีค่ามากที่สุดในที่ที่มีจุดศูนย์กลางต่ำและฐานกว้าง ยิ่งรถมีความสูงและน้ำหนักมากจะยิ่งมีโอกาสที่รถเกิดพลิกคว่ำ [14] เมื่อถูกแรงโน้มถ่วงหรือพฤติกรรมการขับขี่ที่เปลี่ยนไป แสดงให้เห็นถึงการขับขี่ที่แตกต่างกันของรถมอเตอร์ไซด์พวงข้าง จุดศูนย์กลางถ่วงก็จะเปลี่ยนตำแหน่งเช่นกัน

#### 2.1.5 Load Transfer

Load Transfer คือ การเปลี่ยนถ่ายน้ำหนักในอุดมคติ รอบ ๆ ยานยนต์ในระหว่างการเร่งความเร็ว (ทั้งในแนวตั้งและแนวราบ) ซึ่งรวมถึงการเบรกหรือการลดความเร็ว (การเร่งความเร็วที่อัตราติดลบ) [15] ดังสมการที่ 2.5

$$F = ma \quad (2.3)$$

$$\text{Inertial Force} = \frac{\text{Vehicle Weight} \times a}{g} \quad (2.4)$$

$$\text{Load Transfer} = \frac{\text{Inertial Force} \times CG_{\text{height}}}{\text{Wheelbase}} \quad (2.5)$$

เมื่อ

$F$  คือ แรง (N)

$m$  คือ มวล (kg)

$a$  คือ ความเร่ง (m/s<sup>2</sup>)

$g$  คือ แรงโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s<sup>2</sup>

$\text{Weight}$  คือ น้ำหนักของยานพาหนะ (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.6 Weight Transfer

Weight Transfer คือ การเคลื่อนที่จริงของ CG ของรถที่สัมพันธ์กับแกนล้อจากการกระจัดของของเหลวภายในรถ ซึ่งส่งผลให้มีการกระจายน้ำหนักของรถทั้งหมดในระหว่งยางแต่ละเส้น [15]

### 2.1.7 เสถียรภาพการบังคับรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง (Vehicle stability control)

เสถียรภาพการบังคับรถจักรยานยนต์พ่วงข้างเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ผู้โดยสาร และสิ่งของที่บรรทุก การรักษาเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างสามารถพิจารณาได้จากมุม 4 มุม ดังนี้

1. มุมส่าย (Yaw angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากด้านหน้าของรถจักรยานยนต์ล้อพ่วงข้างเป็นผลจากการสูญเสียการควบคุม ทำให้รถจักรยานยนต์พ่วงข้างเกิดอาการส่ายไปมาทั้งด้านซ้ายและด้านขวา และมุมส่ายจะเกิดขึ้นในแนวแกน X
2. มุมโคลงหรือมุมพลิกคว่ำ (Roll angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากด้านหน้าของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างจากความไม่สมดุลของแรงยกตัวในด้านซ้ายและด้านขวาของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง
3. มุมกระดก (Pitch angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากด้านหน้าและด้านข้างของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง อันเป็นผลจากสภาพของพื้นถนนที่มีระดับต่างกัน เกิดจากการเบรกและการบรรทุก และมุมกระดกจะเกิดขึ้นในแนวแกน Z
4. มุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากด้านข้างของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างในขณะที่เข้าโค้ง อันเป็นผลจากล้อของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างพยายามที่จะดึงหรือผลักรถจักรยานยนต์พ่วงข้างให้เข้าและออกจากโค้งรถ [3]

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dike [1] ได้กล่าวถึงบทบาทของรถสามล้อเมื่อเทียบกับพาหนะขนส่งสาธารณะอื่น ๆ ในประเทศไนจีเรีย โดยได้ให้ผู้โดยสารรถสาธารณะทั้งหมด 200 คนในเมือง Owerri ทำแบบสอบถามเกี่ยวกับตัวเลือกในการเดินทางด้วยรถสาธารณะ 3 ประเภท ได้แก่รถแท็กซี่ รถเมล์ และรถสามล้อ ซึ่งจากคำตอบที่รวบรวมมาได้ ทางผู้เขียนได้นำมาตั้งสมมุติฐานและสรุปค่าทางสถิติ พบว่าชาวเมืองส่วนใหญ่เลือกที่จะให้รถสามล้อเป็นพาหนะที่มีความสะดวกรวดเร็วในการเดินทาง และสามารถใช้บริการได้บ่อยเนื่องจากราคาที่สมเหตุสมผล แต่ว่ารถสามล้อกลับขาดในเรื่องความปลอดภัยจากการขับขี่ เช่นการเดินทางบนทางด่วน การรับอากาศนอกรถขณะนั่ง รวมไปถึงปัญหาไซเฟอร์ที่อาจมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสบการณ์ในการขับบนท้องถนนน้อยหรือไม่มีใบขับขี่ ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญจึงได้แนะนำให้รัฐบาลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาดูแลและแก้ปัญหาดังกล่าว เพื่อให้ชาวเมืองไนจีเรียได้ใช้รถสามล้ออย่างปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

Dorado et al. [2] ได้ใช้วิธีการต่าง ๆ ตามหลักสรีรศาสตร์ในการประเมินปัจจัยที่ก่อให้เกิดความรู้สึกไม่สบายตัวของผู้โดยสารในขณะที่ใช้บริการรถสามล้อสาธารณะ โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ ความไม่สบายในขณะที่เข้ารถสามล้อ ขณะนั่งอยู่บนรถสามล้อ และขณะออกจากรถสามล้อ ซึ่งผลทดลองจาก 95 ตัวอย่างและการใช้ค่าทางสถิติรวมไปถึงการทำแบบสำรวจ พบว่าปัจจัย 2 ประการที่ทำให้เกิดการไม่สบายตัวระหว่างโดยสาร ได้แก่ ความสูงของเพดานในขณะนั่งและความสูงของการขึ้นเขาที่ทำให้ปวดข้อขา มากไปกว่านั้นการขึ้นและลงจากรถเองอาจส่งผลให้ผู้โดยสารรู้สึกไม่สบายตัวมากกว่าขณะนั่งบนรถด้วยซ้ำ เนื่องจากการออกแบบรถสามล้อที่ไม่ได้คำนึงถึงผู้โดยสารที่มีร่างกายสูงหรือมีร่างกายที่ใหญ่กว่ามาตรฐาน ดังนั้นรถสามล้อเพื่อสาธารณะจึงควรที่จะมีการออกแบบใหม่ โดยคำนึงถึงผู้โดยสารในทุก ๆ สรีระ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยจากการใช้รถสามล้อและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานรวมไปถึงลดการเกิดภาวะเสี่ยงต่าง ๆ ในร่างกายของผู้โดยสารอีกด้วย

วรชาติ และคณะ [3] ได้ศึกษาและปรับปรุงรถจักรยานยนต์พ่วงข้างให้มีความเสถียรมากขึ้นทำการทดลองโดยการปรับระยะความกว้าง 3 ระยะ พบว่าในกรณีที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกทุกเมื่อมีการเพิ่มระยะกว้างฐานล้อ (Wheel track) ส่งผลโดยตรงให้มุมสายมีค่าเพิ่มขึ้นและในทางกลับกันมุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) มีค่าลดลง กรณีที่มีการบรรทุกทุกแบบโดยสาร พบว่าการเพิ่มขึ้นของมวลส่งผลโดยตรงกับแรงต้าน กรณีที่มีการบรรทุกเชิงพาณิชย์ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน เพราะมีการกระจายน้ำหนักเข้าใกล้ล้อหน้าคล้ายกันพบว่าการเพิ่มขึ้นของฐานล้อส่งผลโดยตรงกับมุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) ที่เพิ่มขึ้นและในทางกลับกันมุมกระดก (Pitch angle) มีค่าลดลง ส่วนพฤติกรรมการทดสอบแบบทางโค้งโดยเบรกเฉพาะเบรกหลังระยะกว้างฐานล้อ 1.1 m ให้ค่ามุมกระดก มุมสาย และมุมลื่นไถลด้านข้างมีค่าน้อย พบว่าเป็นพฤติกรรมที่รักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถได้ดีที่สุด จากการทดลองนี้จะได้ออกค่าเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างที่ดีที่สุดซึ่งจะนำไปใช้ในการพัฒนาและออกแบบรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานให้ดียิ่งขึ้น

Singhanian et al. [4] ได้ศึกษาความเสถียรของจักรยานยนต์สกีเตอร์ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีเพื่อพิจารณาความเสถียรของรถ และวิธีการเชิงทดลองโดยการขับบนเส้นทางตรงด้วยความเร็ว 3, 5 และ 10 km/h โดยผลการทดลองยืนยันได้ว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีสามารถใช้เพื่อหาเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์ขณะความเร็วต่ำได้ ซึ่งมุมบังคับเลี้ยวเป็น Input parameter และมุมการพลิกคว่ำเป็น Output parameter ที่สำคัญ

Starr [5] ได้กล่าวถึงการสร้างความเสถียรในรถยนต์สามล้อจากการเลือกตำแหน่ง CG ที่เหมาะสม โดยใช้การคำนวณกฎฟิสิกส์และโมเดลพื้นฐานระดับมหาวิทยาลัย (ไม่มีการใช้ระบบรองรับการสั่นสะเทือนในโมเดล) ได้อธิบายถึง การตอบสนองการเลี้ยว, Neutral steer point, Static

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Margin (SM), Understeer Gradient (K) และ Tipping thresholds โดยสรุปได้ว่ายานพาหนะที่มี  $K \geq 0$  หรือ  $SM \geq 0$  จะมีการตอบสนองการเลี้ยวที่มั่นคง ถ้าใช้ยางชนิดเดียวกันในแต่ละตำแหน่ง เงื่อนไขเกณฑ์ของ  $K=0$ ,  $SM=0$  สามารถพิสูจน์ได้จากการเลือกตำแหน่งส่วนหน้าของ CG คือเมื่อ CG เคลื่อนที่ไปข้างหน้า  $K > 0$  และ  $SM > 0$  จะทำให้เกิด Understeer ในส่วนของรถยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแล้วยางจะถูกเลือกจากคุณสมบัติด้านทานการหมุนที่ต่ำ ดังนั้นจึงมักใช้ยางชนิดเดียวกันในแต่ละตำแหน่ง การหาค่า K จากการทดลองได้มาจาก Constant Radius Test โดยอธิบายไว้ว่ารถยนต์ที่มีความเสถียรจะมีค่า K ที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเร่งในแนวตั้งเพิ่มขึ้น และปรากฏการณ์นี้เกิดจากการเข้าโค้งที่ได้รับผลกระทบจาก Weight transfer ในตัวรถยนต์ ซึ่งช่วยให้มีการคลายน้ำหนักที่ต้องการได้ 33% ถึง 36%

Stoilov and Kostadinov [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายน้ำหนักต่อประสิทธิภาพการลื่น โดยการทดสอบได้ดำเนินการบนถนนออฟโรดและเครื่องมือทดสอบใช้โหลดเซลล์ขนาด 100 kN สำหรับวัดแรงดึงโดยสัญญาณมี 3 ช่วง และใช้เครื่องบันทึก TSS-101 เป็นเครื่องมือเกี่ยวกับแรงดึง คานสองระดับได้แก่ 18 kN และ 26 kN ในการยกโหลดจะนำท่อนไม้มาผูกติดไว้กับสลิงที่เชื่อมต่อกับ Skidder แล้วปล่อยปลายอีกฝั่งของท่อนไม้ลากไว้กับพื้น ดังรูปที่ 2.3 แรงดันลมยางของล้อหน้าและล้อหลัง คือ 180 kPa และ 200 kPa ได้ผลออกมาว่าเมื่อเพิ่มโหลดการกระจายน้ำหนักระหว่าง Skidder และพื้นจะลดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายน้ำหนักระหว่างเพลาน้ำหนักและเพลาล้อหลังและทำให้การโก่งตัวของยางเพิ่มขึ้น กรณีนี้ประสิทธิภาพของการลื่นไกลจะลดลงที่ความดันลมยางที่เท่ากัน รวมถึงการลดลงของรัศมีการหมุนของล้อหลัง และเมื่อความดันของล้อทั้งหน้าและหลังเท่ากัน น้ำหนักสัมพัทธ์ของยางจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากดินในสภาพออฟโรดจึงมีการยุบตัว



รูปที่ 2.3 ภาพรวมการทดสอบการลื่นไกลของ Skidder [6]

Pawar and Desale [7] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของคอยล์สปริงในระบบรองรับด้านหน้าในพาหนะสามล้อ เพื่อลดปัญหาน้ำหนักรถที่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่งเนื่องจากระบบรองรับด้านหน้ามีน้ำหนักมาก จากการทดลองและการสร้างและดัดแปลงโมเดลสปริงใหม่โดยใช้วัสดุ IS 4454 พบว่าเมื่อทดสอบสปริงกับ Universal testing machine ขนาด 10 ton พร้อมด้วยโหลด

เซลล์ที่รับน้ำหนักได้ 1,000 kg ความแข็งของสปริงจะลดลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความสามารถในการรับน้ำหนักของสปริงที่ดัดแปลงใหม่นั้นเพิ่มขึ้น 7% นอกจากนี้ การทดลอง Quarter - Car Test Rig เพื่อหาความเร่งในแนวตั้งของชุดสปริง ที่ใช้ตัววัดความเร่ง 100.8 mv/g และความถี่ของการกระตุ้น 1.81 Hz พบว่าความเร่งในแนวตั้งสำหรับสปริงดัดแปลงใหม่นั้นใกล้เคียงกันกับสปริงเก่า ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มากในด้านความสะทกสวายในการขับขี่และลักษณะการควบคุมของรถ นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบสปริงเก่ากับโมเดลสปริงใหม่ที่พัฒนาขึ้น พบว่าความยาวของสายสปริงที่จำเป็นสำหรับสปริงใหม่ลดลง 10% และจากความยาวของสายสปริงลดลงทำให้มวลของสปริงใหม่ลดลง 10%

Eto et al. [8] ได้ทำการศึกษาการกระจายแรงของยางรถยนต์เพื่อป้องกันล้อจากการลื่นไถลเมื่อแรงบิดมากเกินไป จึงได้พัฒนาระบบควบคุมการยึดเกาะถนน (TCS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบรกในพื้นที่ขรุขระ ในการป้องกันการลื่นของล้อไม่จำเป็นต้องใช้แรงจากเบรก เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการขับเคลื่อน ได้มีการพัฒนาการกระจายแรงสำหรับรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลังอิสระ โดยการกระจายแรงจะขึ้นอยู่กับภาระงานของยาง วิธีการกระจายช่วยลดการสูญเสียพลังงาน อันเนื่องมาจากการลื่นของยางสำหรับรถขับเคลื่อนเพลาล้ออิสระ โดยการจำลองการกระจายผลักดันและจำลองเชิงตัวเลข ซึ่งจะจำลองการสัญจรของยานพาหนะ โดยใช้ TruckSim ซึ่งได้ผลออกมาว่าวิธีการที่เสนอนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุดบนพื้นดินประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ใช้วิธีที่นำเสนอ นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าที่การใช้การกระจายแบบทั่วไป

Beal [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของล้ออิสระและการประมาณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของยางจากการบิดของพวงมาลัย เพื่อแสดงพฤติกรรมที่แตกต่างกันระหว่างล้อด้านในและด้านนอกเมื่อเข้าโค้ง กำลังยางรถยนต์จะถูกแสดงโดยใช้สัมประสิทธิ์เดียวกันคือ แรงเสียดทานระหว่างแรงตามยาวและแรงด้านข้าง ทำการประเมินโดยไม่มีแรงบิดจากการขับขี่หรือการเบรก สำหรับแรงบิดพวงมาลัยจะถูกกำหนดเป็นผลรวมของแรงบิดรอบแกนพวงมาลัยของล้อหน้า แรงบิดเหล่านี้รวมถึงความเฉื่อยของล้อ และแรงเสียดทานในระบบ ปฏิกริยาของน้ำหนักตัวถึง ค่ามุมการลื่นไถลจะต้องต่ำในระหว่างขับขี่ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ขับขี่มีความปลอดภัย ค่าแรงบันทึกลงจากโหลดเซลล์ที่ติดไว้กับพวงมาลัยและนำไปคำนวณและปรับปรุงยานพาหนะให้อยู่ในมุมที่เหมาะสม ซึ่งได้ผลออกมาว่า การประมาณค่าเหล่านี้สามารถทำได้แต่จะทำได้ยาก เนื่องจากความแปรปรวนจากการวัดแรงบิดในพวงมาลัยและปฏิกริยาของการถ่ายโอนน้ำหนักการกระจายของแรงอื่น ๆ และสิ่งสำคัญคือค่ามาตรฐานเนื่องจากขาดเซ็นเซอร์แยกสำหรับด้านซ้ายและแรงที่เหมาะสม

Wang et al. [10] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของแรงเสียดทานของผิวยางกับพื้นถนนและความเค้นระหว่างการลื่นของยานพาหนะ ได้ทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างยางกับพื้นถนนแบบสามมิติ (3D) ทั้งการหมุนฟรีจากการเบรก การเร่งความเร็วและการเข้าโค้ง ผลที่ได้คือแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างยางกับถนนที่พัฒนาขึ้นสามารถคาดการณ์การกระจายความเค้นสัมผัสของยาง พื้นถนนในสภาวะการกิ้งต่างๆ ขนาดและความไม่สม่ำเสมอของความเค้นสัมผัสที่ได้รับผลกระทบจากการลื่นของยานพาหนะและแรงเสียดทานของพื้นผิวหน้ายางกับพื้นถนน และเมื่อเข้าโค้งความเค้นสัมผัสทั้งแนวตั้งและหน้าสัมผัสจะเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเพิ่มขึ้น สิ่งนี้บ่งชี้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เหมาะสมมีความสำคัญต่อการพยากรณ์ความเค้นสัมผัสของยางกับพื้นถนนอย่างแม่นยำ ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะใช้แบบจำลองแรงเสียดทานนี้เพื่อคาดการณ์ความเค้นหน้าสัมผัสของยางกับพื้นถนนในสภาพการหมุนฟรีหรือในสภาพการเข้าโค้งที่มีมุมสลีปเล็กน้อย



## บทที่ 3

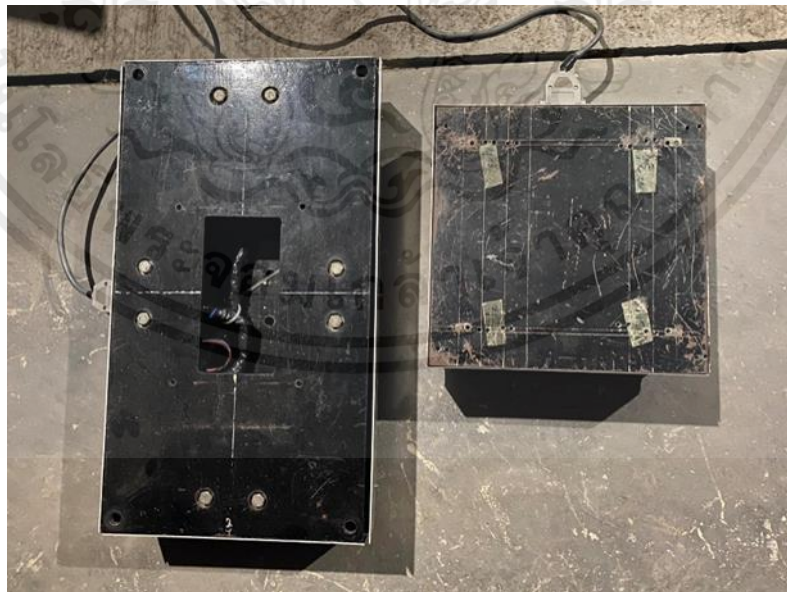
# อุปกรณ์และวิธีการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการหาจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง วิธีการสร้างชิ้นส่วนจุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง และวิธีดำเนินการหาค่าเสถียรภาพในการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้น้ำหนักที่ต่างกันเทียบกับรถจักรยานยนต์ทั่วไป และวิธีการวัดค่าน้ำหนักของแรงที่มากระทำบนล้อทั้งสามล้อบนแผ่นวัดแรง

### 3.1 การหาจุดศูนย์ถ่วงของรถมอเตอร์ไซค์พ่วงข้าง

#### 3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. โปรแกรม SignalExpress version 2014
2. โปรแกรม SOLIDWORKS 2020
3. คอมพิวเตอร์ HP PAVILION รุ่น HP 15-EC1117AX
4. ตลับเมตร Conso 5 m
5. ฉากเหล็ก
6. แผ่นวัดแรงชนิด Flat bad scale (รูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 แผ่นวัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องเลเซอร์วัดระดับ รุ่น EUROX PL-V5 (รูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 เครื่องเลเซอร์วัดระดับ

8. รถจักรยานยนต์พ่วงข้างตัดแปลงจาก Honda รุ่น dream excels 100 (รูปที่ 3.3)

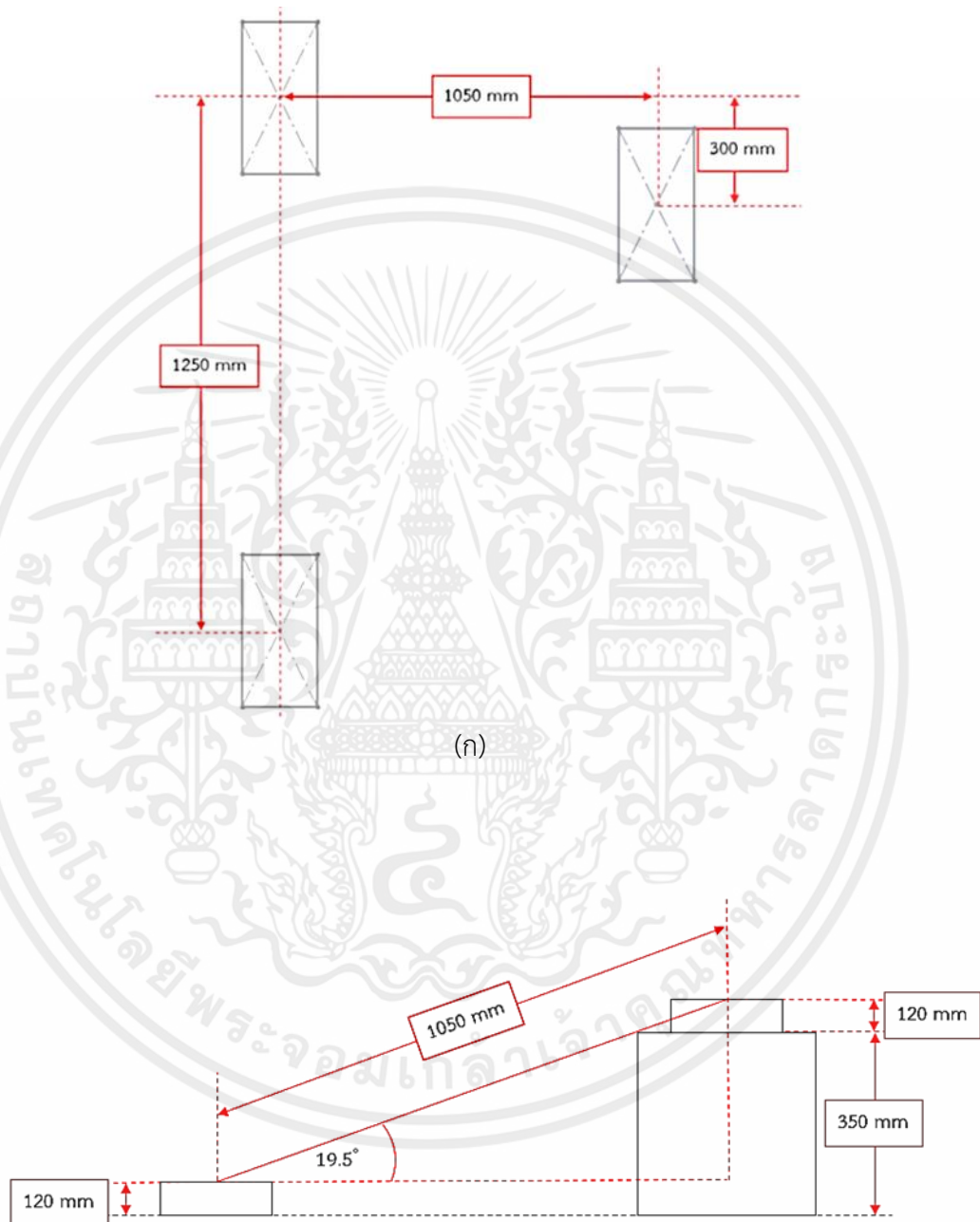


รูปที่ 3.3 รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 วิธีดำเนินการ

1. ออกแบบตำแหน่งการจัดวางแผ่นวัดแรงให้อยู่พอดีกับตัวรถจักรยานยนต์ฟ่งข้างในแนวระดับ (รูปที่ 3.4 ก) และแนวเอียง (รูปที่ 3.4 ข) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS

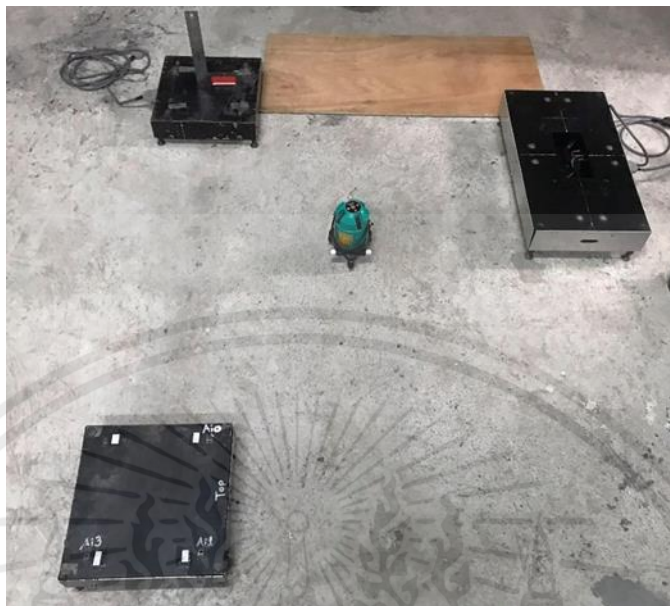


(ข)

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการวางแผ่นวัดแรง (ก) แนวระดับ (ข) แนวเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตั้งระดับแผ่นวัดแรงด้วยเครื่องเลเซอร์วัดระดับ (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 การตั้งระดับแผ่นวัดแรงด้วยเครื่องเลเซอร์วัดระดับ

3. เชื่อมต่อแผ่นวัดแรงกับคอมพิวเตอร์และเปิดโปรแกรม SignalExpress ที่ได้ตั้งค่าไว้
4. นำรถจักรยานยนต์ฟ่วงข้างวางบนแผ่นวัดแรงทั้งแนวระดับ (รูปที่ 3.6 ก) และแนวเอียง (รูปที่ 3.6 ข) เพื่อหาน้ำหนักของรถจักรยานยนต์ฟ่วงข้าง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการวางรถจักรยานยนต์ฟ่งข้าง (ก) แนวระดับ (ข) แนวเอียง

5. บันทึกค่าที่ได้จากโปรแกรม SignalExpress และนำไปคำนวณหาระยะจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์ฟ่งข้าง

### 3.2 วิธีการสร้างชิ้นส่วนจุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง

#### 3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เหล็กเส้นกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 mm
2. เหล็กแบน ขนาดความหนา 2.5 mm
3. สกรูหัวหกเหลี่ยมตัวผู้ M8
4. สกรูหัวหกเหลี่ยมตัวเมีย M8
5. เครื่องเชื่อมไฟฟ้า MOD-300 220 V
6. ลวดเชื่อม KOBE-26 ขนาด 2.6 mm
7. แท่นตัดไฟเบอร์ WINNER 16 In
8. ตลับเมตร Conso 5 m
9. เครื่องเจาะเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 10. Acceleration Sensor GRAPHTEC Petit LOGGER รุ่น GL100 (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 Acceleration Sensor

## 3.2.2 วิธีดำเนินการ

1. ตัดเหล็กเส้นกลมให้ได้ขนาด 3, 7, 34 cm จำนวน 2, 2, 1 ชิ้น ตามลำดับ เพื่อเป็นตัวยึดเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง
2. ตัดเหล็กแบนให้ได้ขนาด 22 cm จำนวน 4 ชิ้น เพื่อยึดเหล็กเส้นกลมให้ติดกับฟุ้งข้าง
3. เจาะรูเหล็กแบนให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm จำนวน 3 รู และตัดเหล็กแบนให้มีขนาดรูปร่างเหมาะสมกับขนาดรูปร่างของร้วฟุ้งข้าง จำนวน 2 ชิ้น (รูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 ชิ้นส่วนแผ่นเหล็กที่ใช้สำหรับยึดฟุ้งข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เชื่อมชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันจะได้จุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่งดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ชิ้นส่วนจุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง

5. นำชิ้นส่วนจุดติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง ไปติดตั้งไว้ที่จุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 การติดตั้งจุดยึดเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่งบนจุดยึดที่ได้ออกแบบไว้ (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอัตราเร่ง

3.3 วิธีดำเนินการหาค่าเสถียรภาพในการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้  
น้ำหนักที่ต่างกันเทียบกับรถจักรยานยนต์ปกติ

3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. Linear displacement sensor รุ่น Eye RodT-PTS12 (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 Linear displacement sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Linear position transduce KTM รุ่น 750 mm (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 Linear position transduce

3. Laser Displacement Sensor ยี่ห้อ KEYENCE รุ่น LB-70 และรุ่น LB-11 (รูปที่ 3.14)



รูปที่ 3.14 Laser Displacement Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. Data Acquisition NI CDAQ-9191 (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.15 NI CDAQ-9191

5. Acceleration Sensor GRAPHTEC Petit LOGGER รุ่น GL100
6. น้ำหนักถ่วงถูละ 25 kg
7. โปรแกรม LabVIEW version 2014
8. คอมพิวเตอร์ HP PAVILION รุ่น HP 15-EC1117AX
9. รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง Honda รุ่น dream excels 100

#### 3.2.2 วิธีดำเนินการ

1. จัดเตรียมอุปกรณ์และพื้นที่สำหรับการทดสอบ (รูปที่ 3.16)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 จัดเตรียมพื้นที่และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

2. ให้อาสาสมัครเพศชายน้ำหนัก 78 kg ส่วนสูง 165 cm (รูปที่ 3.17) ทำการขับรถออกจากจุดที่กำหนดจนกระทั่งล้อหมุนจึงหยุด (รูปที่ 3.18) โดยมีน้ำหนักบรรทุกบนพวงข้าง 7 ค่า ได้แก่ 0, 25, 50, 75, 100, 125 และ 150 kg จากนั้นทำการบันทึกผลการทดสอบ เพื่อนำมาวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.17 การทดสอบการออกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

### 3.4 วิธีการวัดค่าน้ำหนักของแรงที่มากกระทำบนล้อทั้งสามล้อบนแผ่นวัดแรง

#### 3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. แผ่นวัดแรงชนิด Flat bad scale
2. เครื่องเลเซอร์วัดระดับ รุ่น EUROX PL-V5
3. รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง Honda รุ่น dream exes 100
4. โปรแกรม SignalExpress version 2014
5. คอมพิวเตอร์ HP PAVILION รุ่น HP 15-EC1117AX
6. น้ำหนักถ่วงกลุ่ละ 25 kg

#### 3.4.2 วิธีดำเนินการ

1. จัดวางตำแหน่งของแผ่นวัดแรงให้เหมาะสมกับรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 3.19 การจัดวางตำแหน่งของแผ่นวัดแรงและรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

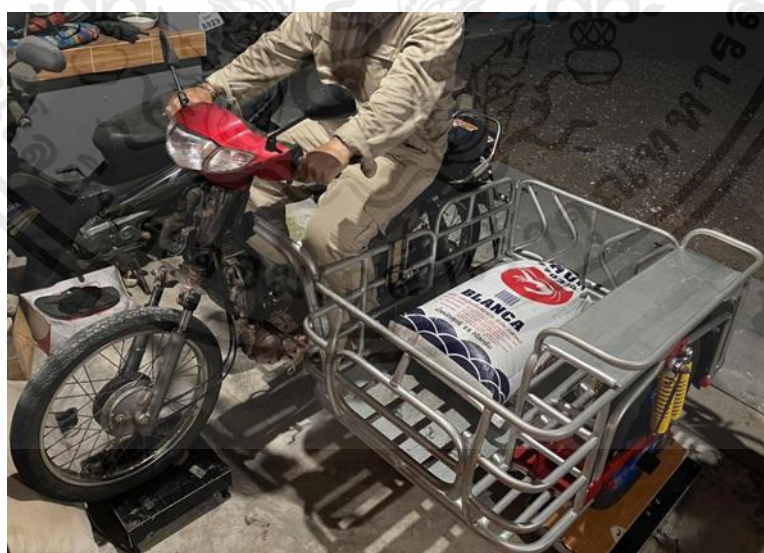
## 2. ตั้งระดับแผ่นวัดแรงด้วยเครื่องเลเซอร์วัดระดับ (รูปที่ 3.20)



รูปที่ 3.20 การตั้งระดับแผ่นวัดแรงด้วยเครื่องเลเซอร์วัดระดับ

## 3. เชื่อมต่อแผ่นวัดแรงกับคอมพิวเตอร์และเปิดโปรแกรม SignalExpress ที่ได้ตั้งค่าไว้

4. นำรถจักรยานยนต์พ่วงข้างที่มีอาสาสมัครนั่งอยู่ ไปวัดค่าน้ำหนักของแรงที่มากระทำบนล้อทั้งสามล้อบนแผ่นวัดแรง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของแรงที่มากระทำในแต่ละล้อ เมื่อเพิ่มน้ำหนัก (รูปที่ 3.21) โดยมีน้ำหนักบรรทุกทุกบนพ่วงข้าง 7 ค่า ได้แก่ 0, 25, 50, 75, 100, 125 และ 150 kg จากนั้นบันทึกผลการทดสอบและนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบตอนรถออกตัว



รูปที่ 3.21 การวัดค่าน้ำหนักของแรงที่มากระทำบนล้อทั้งสามล้อบนแผ่นวัดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลและการวิจารณ์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบการหาจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง ผลการทดสอบการหาเสถียรภาพการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้น้ำหนักที่แตกต่างกัน และผลการวัดค่าน้ำหนักของแรงที่มากกระทำบนล้อทั้งสามล้อบนแผ่นวัดแรง

#### 4.1 ผลการทดสอบการหาจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

จากการทดสอบการหาค่าจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างโดยนำขึ้นชั่งน้ำหนักด้วยแผ่นวัดแรงที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม SignalExpress และนำค่าที่ได้มาคำนวณและวิเคราะห์ผลจะได้ระยะจุดศูนย์ถ่วงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์เทียบกับรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

Dimension	Distance of motorcycle (mm)		Differential Percentage (%)
	Motorcycle	Side-Car Motorcycle	
Width	0	246.6	100
Length	676	765.5	11.69
Height	240	341.9	29.80

หมายเหตุ : ใช้จุดกึ่งกลางของล้อหน้าเป็นจุดอ้างอิงในการวัดระยะ

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์และรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง พบว่าระยะจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์ทางด้านกว้าง ด้านยาว และด้านสูง มีค่าเท่ากับ 0, 676, 240 mm (รูปที่ 4.1 ก) ตามลำดับ และระยะจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างทางด้านกว้าง ด้านยาว และด้านสูง มีค่าเท่ากับ 246.6, 765.5, 341.9 mm (รูปที่ 4.1 ข) ตามลำดับ เมื่อนำระยะจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างมาเปรียบเทียบกับรถจักรยานยนต์พบว่าค่าความแตกต่างทางด้านกว้างด้านยาว และด้านสูง มีค่าเท่ากับ 100, 11.69 และ 29.80 % ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 ระยะจุดศูนย์ถ่วงของ (ก) รถจักรยานยนต์ (ข) รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดสอบการหาเสถียรภาพการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้ น้ำหนักที่ต่างกัน

จากการทดสอบการหาเสถียรภาพการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้ น้ำหนักที่ ต่างกันและทำการบันทึกค่าระยะการเคลื่อนตัวของโช๊คที่น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ จากนั้นนำผลที่ได้มา วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.2

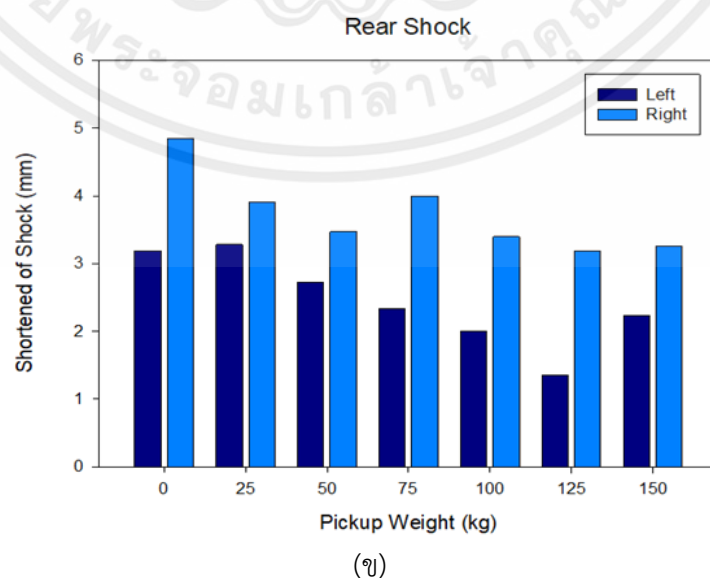
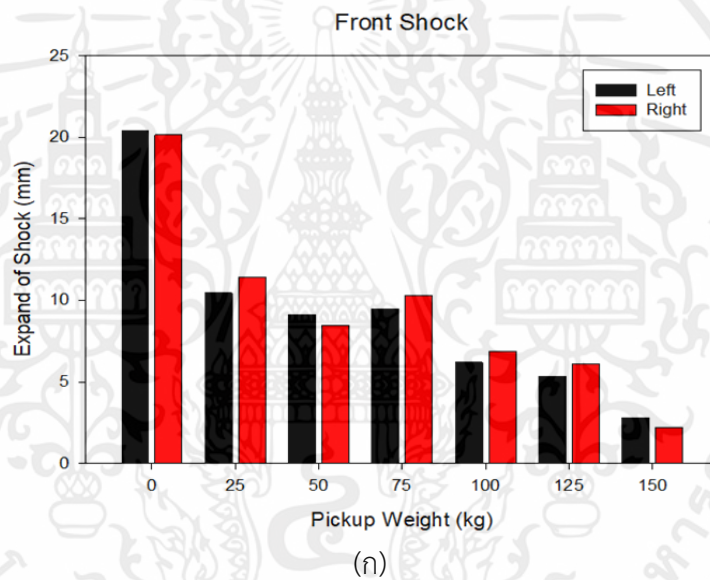
ตารางที่ 4.2 ระยะการเคลื่อนตัวของโช๊คที่น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ

Mass (kg)	Distance $\pm$ SD (mm)				
	Front / Tension		Rear / Compression		Sidecar / Compression
	Left	Right	Left	Right	
0	-20.400 <sup>dA</sup> $\pm$ 1.120	-20.135 <sup>dA</sup> $\pm$ 1.101	3.191 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.453	4.849 <sup>aB</sup> $\pm$ 0.283	0.086 <sup>a</sup> $\pm$ 0.027
25	-10.450 <sup>cA</sup> $\pm$ 1.436	-11.426 <sup>cA</sup> $\pm$ 1.403	3.279 <sup>aA</sup> $\pm$ 1.106	3.911 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.365	0.052 <sup>a</sup> $\pm$ 0.025
50	-9.111 <sup>cA</sup> $\pm$ 1.559	-8.466 <sup>bcA</sup> $\pm$ 1.549	2.722 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.563	3.473 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.262	0.083 <sup>a</sup> $\pm$ 0.060
75	-9.466 <sup>cA</sup> $\pm$ 2.268	-10.312 <sup>cA</sup> $\pm$ 2.328	2.327 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.555	3.998 <sup>aB</sup> $\pm$ 0.793	0.144 <sup>a</sup> $\pm$ 0.029
100	-6.209 <sup>bA</sup> $\pm$ 0.399	-6.893 <sup>bA</sup> $\pm$ 0.354	1.995 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.651	3.394 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.769	0.125 <sup>a</sup> $\pm$ 0.024
125	-5.341 <sup>abA</sup> $\pm$ 0.106	-6.121 <sup>bA</sup> $\pm$ 0.195	1.347 <sup>aA</sup> $\pm$ 0.357	3.188 <sup>aB</sup> $\pm$ 0.582	0.176 <sup>a</sup> $\pm$ 0.070
150	-2.821 <sup>aA</sup> $\pm$ 1.567	-2.198 <sup>aA</sup> $\pm$ 1.462	2.226 <sup>aA</sup> $\pm$ 1.243	3.262 <sup>aA</sup> $\pm$ 1.237	0.222 <sup>a</sup> $\pm$ 0.054

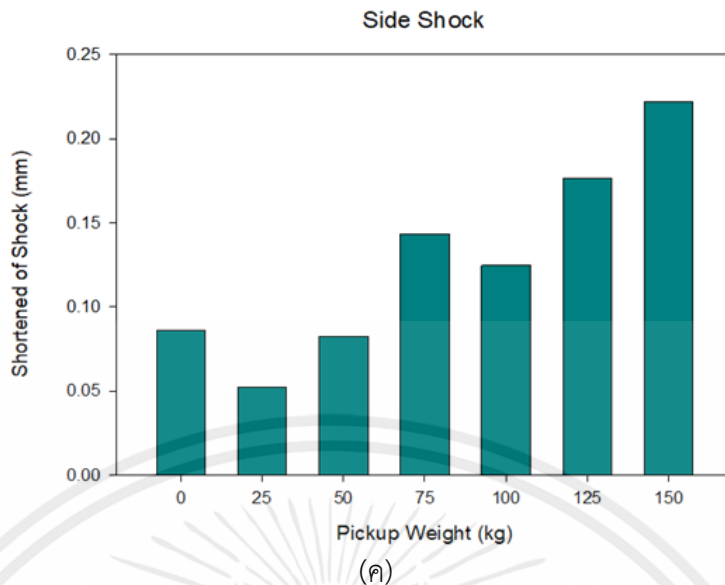
หมายเหตุ: ตัวอักษรเล็กเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน (น้ำหนักบรรทุก) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% ตัวอักษรใหญ่เหมือนกันในแถวเดียวกัน (ซ้าย-ขวา) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

เมื่อวิเคราะห์ระยะการเคลื่อนที่ของโช๊คด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ระยะการยืดของโช๊คล้อหน้าทั้งทางด้านซ้ายและขวาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย ระยะยืดน้อยสุดจะเกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุก 150 kg มีค่าระยะการยืดของโช๊คด้านซ้ายและด้านขวาคือ 2.821 และ 2.198 mm ตามลำดับ และระยะยืดมากที่สุดที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg มีค่าระยะการยืดของโช๊คด้านซ้ายและขวาคือ 20.400 และ 20.135 mm ตามลำดับ (รูปที่ 4.2 (ก)) เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักบรรทุกเทียบกับระยะการยืดของโช๊คล้อหน้า พบว่าที่น้ำหนักบรรทุก 75 kg ระยะการยืดของโช๊คล้อหน้าทั้งทางด้านซ้ายและด้านขวามีค่าเพิ่มขึ้นจากที่น้ำหนักบรรทุก 50 kg คือ 0.355 และ 1.846 mm และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 3.89 และ 21.80 % ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อรถออกตัวจะเกิด

แรงเหวี่ยงไปทางด้านซ้าย ซึ่งจะมีแรงโมเมนต์ที่ไปกระทำให้รถหมุนไปทางด้านซ้าย ทำให้น้ำหนักถูกถ่ายเทไปทางด้านล้อหลังและล้อข้างค่อนข้างมาก เมื่อพิจารณาระยะการยุบของโช้คล้อหลังและล้อข้าง พบว่าระยะการยุบของโช้คล้อหลังและล้อข้างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาระยะการยุบของโช้คล้อหลังทั้งด้านซ้ายและด้านขวาที่น้ำหนักบรรทุก 0, 75 และ 125 kg พบว่า เมื่อรถออกตัว ระยะการยุบของโช้คล้อหลังทางด้านขวามีค่ามากกว่าทางด้านซ้าย (รูปที่ 4.2 (ข)) คือ 1.658, 1.671 และ 1.841 mm และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 51.95, 71.80 และ 136.67 % ตามลำดับ เนื่องจากพวงข้างถูกติดตั้งอยู่ทางด้านซ้ายของตัวรถ (รูปที่ 4.3) ซึ่งจะช่วยรับแรงที่ไปกระทำกับโช้คทางด้านซ้ายของตัวรถ แต่ทางด้านขวาของตัวรถไม่มีอุปกรณ์ที่ช่วยรับแรงจากโช้คด้านขวา ทำให้โช้คทางด้านขวาของตัวรถมีระยะยุบที่มากกว่าโช้คทางด้านซ้ายของตัวรถ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

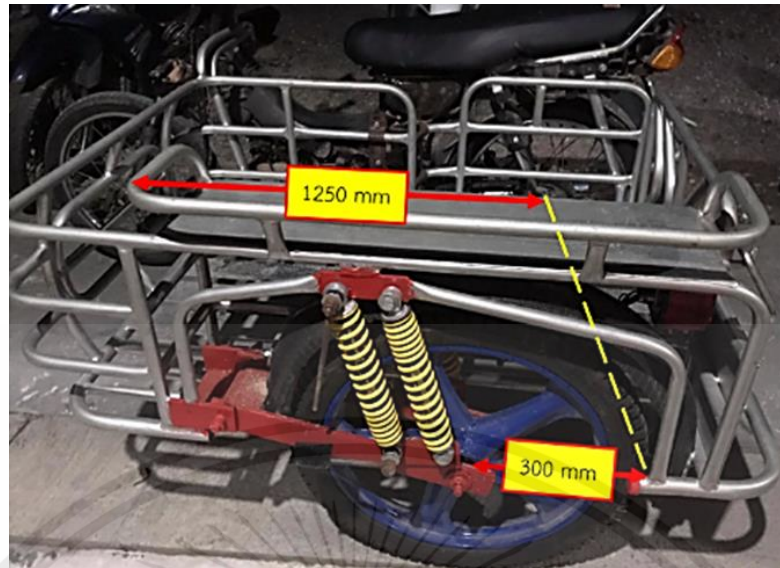


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงระยะการเคลื่อนตัวของโช๊ค (ก) ล้อหน้า (ข) ล้อหลัง (ค) ล้อข้าง

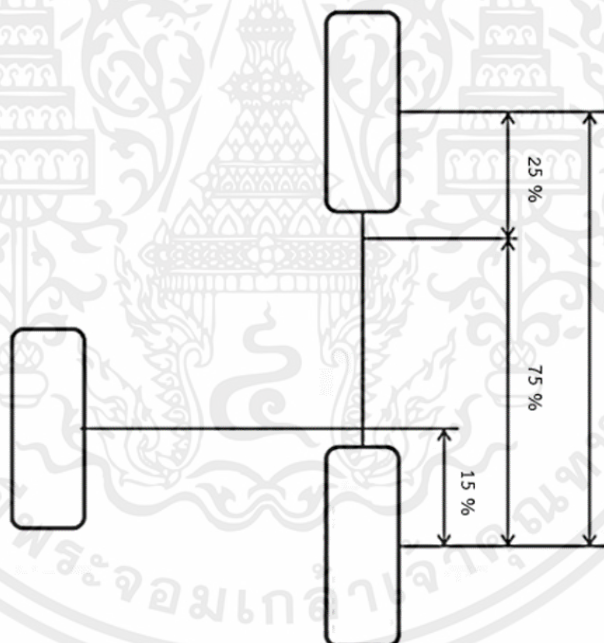
จากรูปที่ 4.2 (ก)-(ค) ลักษณะของกราฟมีแนวโน้มดังต่อไปนี้ ระยะการยืดของโช๊คล้อหน้ามีค่าลดลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2 (ก)) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น แรงที่ไปกระทำที่โช๊คหน้าก็จะเพิ่มขึ้น ระยะการยุบของโช๊คล้อหลังมีค่าลดลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2 (ข)) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น แรงที่ไปกระทำกับโช๊คหลังจะลดลง แต่ที่น้ำหนักบรรทุก 150 kg ระยะการยุบของโช๊คมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากโช๊คด้านพวงข้างมีจำนวนมาก ทำให้ระยะการยุบมีค่าน้อย ส่งผลให้ระยะความสูงของพวงข้างมีค่ามากกว่าตัวรถ ซึ่งพวงข้างจะเอียงไปทางด้านตัวรถ ทำให้แรงไปกระจายที่โช๊คด้านหลังมาก ระยะยุบของโช๊คล้อข้างมีค่าเพิ่มตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2 (ค)) แรงที่ไปกระทำกับโช๊คข้างจะเพิ่มขึ้น

ดังนั้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้น โช๊คทางด้านข้างและด้านหน้าจะมีแรงไปกระทำมากที่สุด และโช๊คด้านหลังแรงจะไปกระทำน้อยที่สุด ซึ่งสังเกตได้จากระยะการยืดและยุบของโช๊คในแต่ละด้าน แต่ในช่วงน้ำหนักบรรทุก 150 kg แรงจะไปกระทำสูงสุดในทุก ๆ โช๊ค ส่งผลให้ระบบบังคับเลี้ยวของรถควบคุมทิศทางได้ยาก ทำให้น้ำหนักในช่วง 150 kg มีความเสี่ยงที่จะเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด

จากรูปที่ 4.3 ระยะการติดตั้งล้อข้างของรถจักรยานยนต์พวงข้างไม่ได้มาตรฐาน (รูปที่ 4.4) เนื่องจากระยะของล้อข้างและล้อหลังห่างกัน 300 mm และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบระยะความยาวของรถ คือ 24 % ทำให้รถเสียสมดุล เนื่องจากแรงจะมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอและโมเมนตัมจะมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้เมื่อรถออกตัวไปด้วยความเร็วที่สูงขึ้น รถจะเกิดการส่ายเพิ่มมากขึ้น และเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นก็จะส่งผลรถเกิดการส่ายเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.3 ลักษณะการติดตั้งพวงข้างด้านข้าง



รูปที่ 4.4 การออกแบบรถจักรยานยนต์พวงข้าง

จากรูปที่ 4.4 การออกแบบรถจักรยานยนต์พวงข้างนั้น ควรออกแบบให้ระยะห่างระหว่างล้อข้างและล้อหลังห่างกัน 15 % เนื่องจากการกระจายแรงจะสมดุลมากที่สุด ซึ่งหากล้อข้างมีระยะห่างมากหรือน้อยกว่า 15 % จะทำให้แรงที่เกิดที่ล้อข้างเกิดแรงต้านที่มีผู้ขับขี่ และจะเกิดโมเมนต์ล้มเชิงมุมเมื่อเริ่มขับขี่รถจักรยานยนต์พวงข้างจะเห็นได้ว่าล้อหน้าจะถูกดึงไปทางด้านซ้าย และเมื่อน้ำหนักใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวพ่วงข้างมีมากขึ้นจะส่งผลให้รถพยายามหมุนไปทางด้านซ้ายมากขึ้น ทำให้การส่ายของตัวรถจักรยานยนต์พ่วงข้างขณะขับขีมีค่ามากขึ้น

จากการทดสอบการหาเสถียรภาพการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้น้ำหนักที่ต่างกันและทำการบันทึกค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางสูงสุดที่น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** ค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางสูงสุดเมื่อน้ำหนักบรรทุกต่างกัน

Mass (kg)	Maximum acceleration rate $\pm$ SD (m/s <sup>2</sup> )					
	x-axis	Differential percentage (%)	y-axis	Differential percentage (%)	z-axis	Differential percentage (%)
0	16.126 <sup>b</sup> $\pm$ 0.908	100	17.896 <sup>d</sup> $\pm$ 0.839	100	5.326 <sup>a</sup> $\pm$ 0.537	100
25	11.833 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.655	26.62	12.220 <sup>c</sup> $\pm$ 0.345	31.71	5.106 <sup>a</sup> $\pm$ 0.037	4.13
50	11.076 <sup>a</sup> $\pm$ 0.426	31.31	10.500 <sup>b</sup> $\pm$ 0.658	41.32	4.993 <sup>a</sup> $\pm$ 0.301	6.25
75	11.323 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.493	29.78	10.486 <sup>b</sup> $\pm$ 0.060	41.40	6.163 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.265	-15.71
100	11.956 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.526	25.85	10.406 <sup>b</sup> $\pm$ 0.209	41.85	6.230 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.264	-16.97
125	12.146 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.741	24.68	10.203 <sup>b</sup> $\pm$ 0.514	42.98	6.686 <sup>b</sup> $\pm$ 0.215	-25.53
150	11.223 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.335	30.40	8.130 <sup>a</sup> $\pm$ 0.398	54.57	5.980 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.739	-12.27

หมายเหตุ: ตัวอักษรเล็กเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

จากตารางที่ 4.3 เครื่องหมายบวกเป็นเพียงแค่การบอกทิศทางของค่าอัตราเร่ง (รูปที่ 4.5) ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน x มีค่ามากที่สุดคือ 16.126 m/s<sup>2</sup> ที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน x มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 4.293 และ 5.050 m/s<sup>2</sup> และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 26.62 และ 31.31 % ตามลำดับ ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน y มีค่ามากที่สุดคือ 17.896 m/s<sup>2</sup> ที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน y มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 5.676 และ 7.396 m/s<sup>2</sup> และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 31.71 และ 41.32 % ตามลำดับ ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน z มีค่ามากที่สุดคือ 5.326 m/s<sup>2</sup> ที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg ค่าอัตราเร่งในแนวแกน z มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 0.220 และ 0.333 m/s<sup>2</sup> และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 4.13 และ 6.25 % ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักบรรทุก 75, 100, 125 และ 150 kg ค่าอัตราเร่งในแนวแกน x, y และ z ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เนื่องจากกำลังของเครื่องยนต์ไม่เพียงพอที่จะทำให้รถเกิดการเคลื่อนที่แบบทันทีทันใด ซึ่งเป็นสาเหตุ

ทำให้ค่าอัตราเร่งในช่วงน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวไม่สอดคล้องกับระยะยุบของโช๊คที่ได้ทำการบันทึกและวิเคราะห์มาข้างต้น

จากการทดสอบการหาเสถียรภาพการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้น้ำหนักที่ต่างกันและทำการบันทึกค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางต่ำสุดที่น้ำหนักบรรทุกต่างๆ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4** ค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางต่ำสุดเมื่อน้ำหนักบรรทุกต่างกัน

Mass (kg)	Minimum acceleration rate $\pm$ SD ( $m/s^2$ )					
	x-axis	Differential percentage (%)	y-axis	Differential percentage (%)	z-axis	Differential percentage (%)
0	-18.466 <sup>a</sup> $\pm$ 1.200	100	-12.386 <sup>a</sup> $\pm$ 0.533	100	-5.146 <sup>a</sup> $\pm$ 0.831	100
25	-15.070 <sup>b</sup> $\pm$ 0.245	18.39	-8.803 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.452	28.92	-4.400 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.199	14.49
50	-14.786 <sup>b</sup> $\pm$ 0.571	19.92	-7.190 <sup>c</sup> $\pm$ 0.415	41.95	-4.366 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.159	15.15
75	-14.276 <sup>b</sup> $\pm$ 0.393	22.69	-8.060 <sup>c</sup> $\pm$ 0.578	34.92	-4.223 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.438	17.93
100	-14.456 <sup>b</sup> $\pm$ 0.416	21.71	-8.973 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.806	27.55	-4.56 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.175	11.38
125	-15.203 <sup>b</sup> $\pm$ 0.461	17.67	-9.600 <sup>b</sup> $\pm$ 0.072	22.49	-3.880 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.449	24.60
150	-10.900 <sup>c</sup> $\pm$ 0.542	40.97	-5.633 <sup>d</sup> $\pm$ 0.329	54.52	-3.683 <sup>b</sup> $\pm$ 0.150	28.42

หมายเหตุ: ตัวอักษรเล็กเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

จากตารางที่ 4.4 เครื่องหมายบ่งบอกถึงทิศทางของค่าอัตราเร่ง (รูปที่ 4.5) ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน x มีค่ามากที่สุดคือ 18.466  $m/s^2$  ที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน x มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 3.396 และ 3.680  $m/s^2$  และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 18.39 และ 19.92 % ตามลำดับ ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน y มีค่ามากที่สุดคือ 12.386  $m/s^2$  ที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน y มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 3.583 และ 5.196  $m/s^2$  และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 28.92 และ 41.95 % ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน z มีค่ามากที่สุดคือ 5.147  $m/s^2$  ที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg ค่าอัตราเร่งในแนวแกน z มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 0.746 และ 0.780  $m/s^2$  และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 14.49 และ 15.15 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาที่น้ำหนักบรรทุก 75, 100, 125 และ 150 kg ค่าอัตราเร่งในแนวแกน x, y และ z ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากกำลังของเครื่องยนต์มีไม่เพียงพอที่จะทำให้รถเกิดการเคลื่อนที่แบบทันทีทันใด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่าอัตราเร่ง

ในช่วงน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวไม่สอดคล้องกับระยะยุคของไซเคิลที่ได้ทำการบันทึกและวิเคราะห์มาข้างต้น

จากการทดสอบการหาเสถียรภาพการออกตัวของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างภายใต้น้ำหนักที่ต่างกันและทำการบันทึกค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางเฉลี่ยที่น้ำหนักบรรทุกต่าง ๆ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.5

**ตารางที่ 4.5** ค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางเฉลี่ยเมื่อน้ำหนักบรรทุกต่างกัน

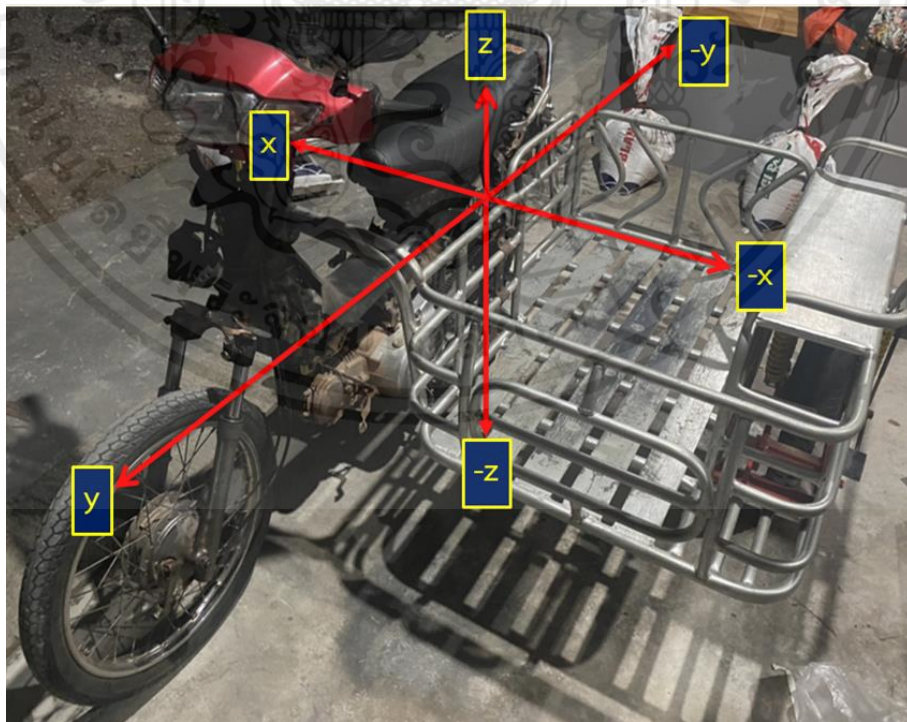
Mass (kg)	Acceleration rate $\pm$ SD ( $m/s^2$ )					
	x-axis	Differential percentage (%)	y-axis	Differential percentage (%)	z-axis	Differential percentage (%)
0	17.297 <sup>c</sup> $\pm$ 1.200	100	15.142 <sup>d</sup> $\pm$ 0.533	100	5.237 <sup>a</sup> $\pm$ 0.831	100
25	13.452 <sup>b</sup> $\pm$ 0.245	22.22	10.512 <sup>c</sup> $\pm$ 0.452	30.57	4.753 <sup>a</sup> $\pm$ 0.200	9.24
50	12.932 <sup>b</sup> $\pm$ 0.571	25.23	8.845 <sup>b</sup> $\pm$ 0.416	41.58	4.680 <sup>a</sup> $\pm$ 0.159	10.63
75	12.800 <sup>b</sup> $\pm$ 0.394	25.99	9.273 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.579	38.75	5.193 <sup>a</sup> $\pm$ 0.439	0.84
100	13.207 <sup>b</sup> $\pm$ 0.042	23.64	9.690 <sup>c</sup> $\pm$ 0.806	36.01	5.395 <sup>a</sup> $\pm$ 0.175	-3.01
125	13.675 <sup>b</sup> $\pm$ 0.461	20.94	9.902 <sup>c</sup> $\pm$ 0.072	34.60	5.283 <sup>a</sup> $\pm$ 0.449	-0.87
150	11.062 <sup>a</sup> $\pm$ 0.543	36.04	6.882 <sup>a</sup> $\pm$ 0.330	54.55	4.832 <sup>a</sup> $\pm$ 0.150	7.73

หมายเหตุ: ตัวอักษรเล็กเหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%

จากตารางที่ 4.5 เครื่องหมายบ่งบอกถึงทิศทางของค่าอัตราเร่ง (รูปที่ 4.5) ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน x มีค่ามากที่สุดคือ 17.297  $m/s^2$  เนื่องจากมีการเพิ่มน้ำหนักไปทางด้านตัวรถซึ่งก็คือผู้ขับขี่ เป็นผลให้แรงไปกระทำที่ล้อหลังมากกว่าล้อหน้า ทำให้ผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิวถนนและล้อหน้ามีค่าน้อยลง ที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน x มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 3.845 และ 4.365  $m/s^2$  และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 22.22 และ 25.23 % ตามลำดับ เนื่องจากมีการเพิ่มน้ำหนักไปที่พ่วงข้าง เป็นผลให้แรงไปกระทำที่ล้อหน้ามากขึ้น ทำให้ผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิวถนนและล้อหน้ามากขึ้น ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน y มีค่ามากที่สุดคือ 15.142  $m/s^2$  เนื่องจากน้ำหนักของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างมีค่าน้อย ทำให้แรงที่ส่งมากจากเครื่องยนต์มีค่ามากพอที่จะทำให้รถเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วที่สูงที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg พบว่าค่าอัตราเร่งในแนวแกน y มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 4.630 และ 6.297  $m/s^2$  และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 30.57 และ 41.58 % ตามลำดับ เนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนพ่วงข้าง ทำให้แรงที่ส่งมากจากเครื่องยนต์มีค่าลดลง เป็นผลให้รถเคลื่อนที่ไปได้ด้วยอัตราเร่งที่ลดลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าค่าอัตราเร่งใน

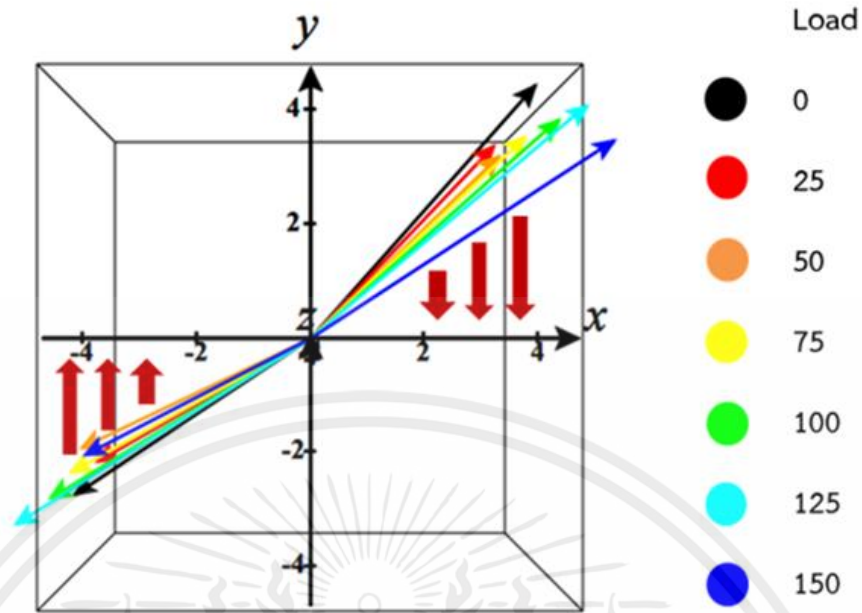
แนวแกน  $z$  มีค่ามากที่สุดคือ  $5.237 \text{ m/s}^2$  เนื่องจากมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกไปทางด้านตัวรถซึ่งก็คือผู้ขับขี่ ทำให้แรงไปกระทำที่ด้านหลังของตัวรถมาก เป็นผลให้รถเกิดการกระดกมากที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg ค่าอัตราเร่งในแนวแกน  $z$  มีค่าลดลงจากน้ำหนักบรรทุก 0 kg คือ 0.484 และ  $0.557 \text{ m/s}^2$  และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคือ 9.24 และ 10.63 % ตามลำดับ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่พ่วงข้างเพิ่มขึ้น ทำให้แรงไปกระทำที่ด้านหน้าของรถมากขึ้น เป็นผลให้รถเกิดการกระดกน้อยลงเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุก 75, 100, 125 และ 150 kg ค่าอัตราเร่งในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เนื่องจากกำลังของเครื่องยนต์ไม่เพียงพอที่จะทำให้รถเกิดการเคลื่อนที่แบบทันทีทันใด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ค่าอัตราเร่งในช่วงน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวไม่สอดคล้องกับระยะยุบของโช๊คที่ได้ทำการบันทึกและวิเคราะห์หามาข้างต้น แต่สามารถวิเคราะห์ได้จากเวกเตอร์ของแรงลัพธ์ดังรูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาที่แนวแกน  $x$  หากค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางมีค่าเป็นบวก ทิศทางของค่าอัตราเร่งจะไปทางด้านรถจักรยานยนต์ แต่หากมีค่าเป็นลบ ทิศทางจะไปทางด้านพ่วงข้าง เมื่อพิจารณาที่แนวแกน  $y$  หากค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางมีค่าเป็นบวก ทิศทางของค่าอัตราเร่งจะไปทางด้านหน้าของตัวรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง แต่หากมีค่าเป็นลบ ทิศทางจะไปทางด้านหลังของตัวรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง และเมื่อพิจารณาที่แนวแกน  $z$  หากค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางมีค่าเป็นบวก ทิศทางของค่าอัตราเร่งจะไปทางด้านบนของตัวรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง แต่หากมีค่าเป็นลบ ทิศทางจะไปทางด้านล่างของตัวรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

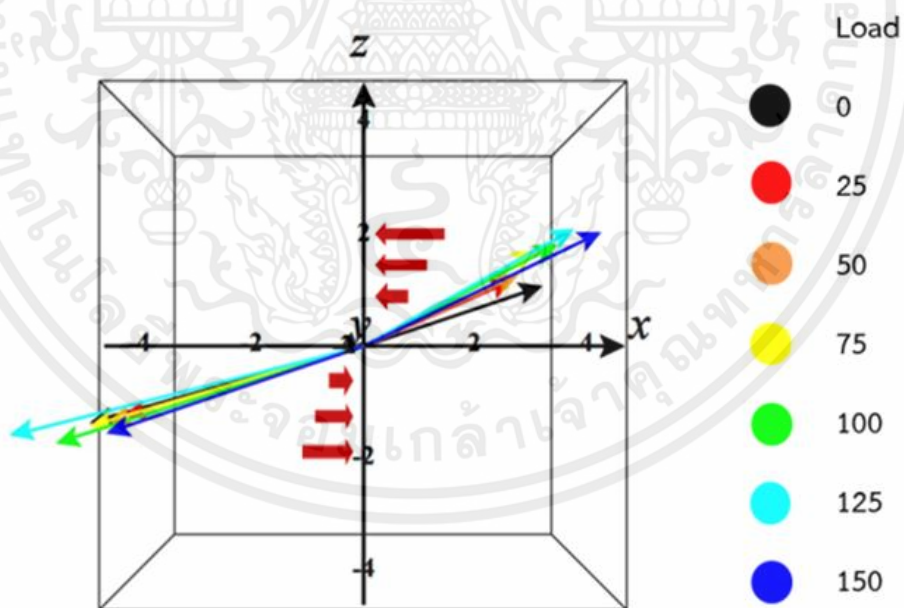


รูปที่ 4.5 ทิศทางของแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

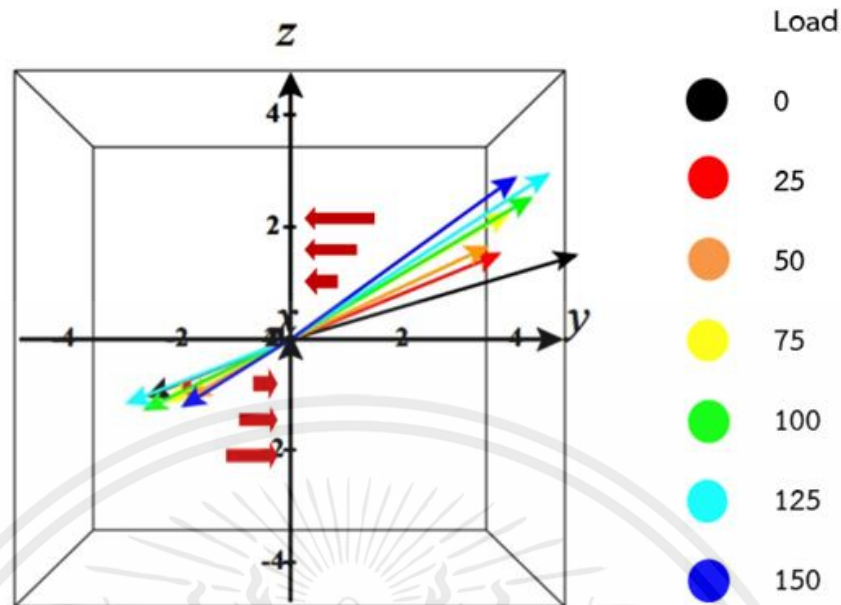


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแรงลัพธ์ (ก) มิติ xy (ข) มิติ xz (ค) มิติ yz

หมายเหตุ: เส้นสีดำคือที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg, เส้นสีแดงคือที่น้ำหนักบรรทุก 25 kg, เส้นสีส้มคือที่น้ำหนักบรรทุก 50 kg, เส้นสีเหลืองคือที่น้ำหนักบรรทุก 75 kg, เส้นสีเขียวคือที่น้ำหนักบรรทุก 100 kg, เส้นสีฟ้าคือที่น้ำหนักบรรทุก 125 kg, เส้นสีน้ำเงินคือน้ำหนักบรรทุกที่ 150 kg

จากรูปที่ 4.6 (ก) ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg พบว่าทิศทางของเวกเตอร์เส้นสีดำเข้าหาแกน y มากที่สุดและที่น้ำหนักบรรทุก 150 kg พบว่าทิศทางของเวกเตอร์เส้นสีน้ำเงินเข้าหาแกน x มากที่สุด เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักบรรทุก 25, 50, 75, 100 และ 125 kg พบว่าทิศทางของเวกเตอร์มีแนวโน้มการเบี่ยงออกจากแกน x มากขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากรถจักรยานยนต์พุ่งข้างออกตัวไป จะส่งผลให้รถจักรยานยนต์พุ่งข้างเกิดการส่ายของล้อหน้าลดลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ทำให้หน้าสัมผัสระหว่างพื้นผิวล้อและพื้นผิวถนนมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ขณะรถทำการออกตัว การส่ายจะเกิดได้ยากขึ้น (รูปที่ 4.6 (ข) และ (ค)) เมื่อรถออกตัวไป ทิศทางของเวกเตอร์มีแนวโน้มเข้าใกล้แกน z มากขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่ามากขึ้น แรงจะไปกระทำกับล้อทั้ง 3 ล้อ มากขึ้น ส่งผลให้การบังคับของระบบบังคับเลี้ยว

รถจักรยานยนต์พ่วงข้างบังคับได้ยากขึ้น เนื่องจากแรงที่ไปกระทำมีค่ามาก ทำให้หน้าสัมผัสระหว่างล้อกับพื้นผิวถนนมีค่ามาก ส่งผลให้แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่ามากเช่นเดียวกัน

ดังนั้นจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ที่น้ำหนักบรรทุก 0 kg ระยะการยึดของโช้คล้อหน้า และค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  มีค่ามากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงที่ไปกระทำที่ล้อหน้ามีค่าน้อยที่สุด ทำให้หน้าสัมผัสระหว่างล้อหน้าและพื้นผิวถนนมีค่าน้อย ส่งผลให้ขณะรถออกตัวไป การส่ายจะเกิดขึ้นมากที่สุด และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเป็น 25, 50, 75, 100, 125 และ 150 kg ระยะการยึดของโช้คล้อหน้ามีค่าลดลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และที่น้ำหนักบรรทุก 25 และ 50 kg ค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  มีค่าลดลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และที่น้ำหนักบรรทุก 75, 100, 125 และ 150 kg เวกเตอร์ของแรงลัพธ์มีแนวโน้มเข้าใกล้แกน  $x$  และ  $z$  มากขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถทำนายได้ว่าหากน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงไปกระทำที่ล้อหน้าเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ทำให้หน้าสัมผัสระหว่างล้อและพื้นผิวถนนมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้การส่ายของรถมีค่าน้อยลงตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกจะส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดการส่ายของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างขณะออกตัว

## บทที่ 5

# สรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบหาค่าจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างพบว่าระยะจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้างทางด้านกว้าง ด้านยาว และด้านสูงเมื่อเทียบกับรถจักรยานยนต์พบว่ามีค่าความแตกต่างเท่ากับ 100, 11.69 และ 29.80 % ตามลำดับและค่าอัตราเร่งเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเป็น 25 และ 50 kg ในแนวแกน x มีแนวโน้มลดลงคิดเป็น 22.22 และ 25.23 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารถจักรยานยนต์พ่วงข้างในขณะที่ออกตัวเกิดการส่ายที่ลดลงและอัตราเร่งในแนวแกน y ที่ได้มีแนวโน้มลดลงคิดเป็น 30.57 และ 41.28 % เป็นผลมาจากกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการออกตัวลดลงเมื่อน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้ค่าอัตราเร่งที่ได้น้อยลง ในส่วนของค่าอัตราเร่งในแนวแกน z มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันคิดเป็น 9.24 และ 10.36 % เนื่องจากการถ่ายเทน้ำหนักกระจายไปยังโช๊คของแต่ละล้อไม่เท่ากันทำให้ระยะการเคลื่อนตัวของโช๊คแตกต่างกัน กล่าวคือเมื่อน้ำหนักภาระมากขึ้นแรงที่เกิดขึ้นจะเทไปทางโช๊คหน้าและโช๊คทางด้านพ่วงข้างมากขึ้นซึ่งอ้างอิงจากการยุบของโช๊คทำให้เมื่อออกตัวรถจักรยานยนต์พ่วงข้างเกิดการส่ายน้อยลง และในขณะที่น้ำหนักบรรทุก 75-150 kg ค่าอัตราเร่งที่ได้ในแนวแกน x, y, z มีค่าแกว่งไปมาเป็นผลมาจากกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองไม่มากพอกับน้ำหนักบรรทุกที่มากกว่า 50 kg ส่วนการเปลี่ยนแปลงระยะยึดหดของโช๊ครถจักรยานยนต์พ่วงข้างล้อหน้าพบว่าเมื่อโช๊คหน้ารับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นระยะการยึดของโช๊คล้อหน้าข้างซ้ายและขวาจะมีแนวโน้มที่ยึดตัวลดลงเรื่อยๆ และเมื่อพิจารณาการยุบของโช๊คหลังได้ว่าโช๊คด้านขวามีค่ามากกว่าทางด้านซ้ายเป็นผลมาจากพ่วงข้างถูกติดตั้งอยู่ทางด้านซ้ายของตัวรถซึ่งจะช่วยรับแรงที่ไปกระทำกับโช๊คทางด้านซ้ายทำให้โช๊คทางด้านขวาของตัวรถยุบมากกว่าทางด้านซ้ายและเมื่อพิจารณาการยุบของโช๊คพ่วงข้างพบว่าเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้นระยะการยุบของโช๊คพ่วงข้างจะมีแนวโน้มแกว่งไปมาเป็นผลมาจากระยะห่างระหว่างล้อข้างและล้อหลังคิดเป็น 24 % ทำให้รถเสียสมดุลการถ่ายเทน้ำหนักกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ

### 5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 ค่าอัตราเร่งในแนวแกน x, y, z สามารถวัดค่าได้ที่น้ำหนักบรรทุกในช่วง 0-50 kg เนื่องจากเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 50 kg ส่งผลให้กำลังของเครื่องยนต์ไม่มากพอที่จะดูดกลืนทำให้ค่าที่ได้ในการวัดที่น้ำหนักบรรทุกมากกว่า 50 kg ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 หากต้องการวัดค่าอัตราเร่งหนีศูนย์กลางที่น้ำหนักที่มากกว่า 50 kg ควรคำนึงถึงกำลังของเครื่องยนต์ที่มากขึ้นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Dike, D.N. (2012). “An empirical study of the use of Tricycle as a public transport mode in Nigerian cities.” *Journal of Social Sciences and Public Affairs* 2, 2: 66-76.
- [2] Dorado, N.J.L., P.D.C. Fabros, and C.A.N. Rupisan. (2015). “An ergonomic analysis of tricycle sidecars in Quezon City.” *Procedia Manufacturing* 3: 2816-2823.
- [3] วรชาติ จงจิตสถิตมัน, ไพปภณ นิ่งน้อย และสุรพงศ์ สุขนนท์ศักดิ์. (2557). “การศึกษาหาเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้าง.” ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [4] Singhania, S., I. Kageyama, and V.M. Karanam. (2019). “Study on low-speed stability of a motorcycle.” *Applied Sciences* 9, 11: 2278. (doi:10.3390/app9112278).
- [5] Starr, P.J. (2006). “Designing Stable Three Wheeled Vehicles, With Application to Solar Powered Racing Cars November 8, 2006 Revision.” Working Paper, University of Minnesota, USA.
- [6] Stoilov, S., and G.D. Kostadinov. (2009). “Effect of weight distribution on the slip efficiency of a four-wheel-drive skidder.” *Biosystems Engineering* 104, 4: 486-492.
- [7] Pawar, H.B., and D.D. Desale. (2018). “Optimization of three wheeler front suspension coil spring.” *Procedia Manufacturing* 20: 428-433.
- [8] Eto, R., K. Sakata, and J. Yamakawa. (2018). “Driving force distribution based on tyre energy for independent wheel-drive vehicle on rough ground.” *Journal of Terramechanics* 76: 29-38.
- [9] Beal, C.E. (2016). “Independent wheel effects in real time estimation of tire-road friction coefficient from steering torque.” *IFAC-PapersOnLine* 49, 11: 319-326.
- [10] Wang, H., I.L. Al-Qadi, and I. Stanciulescu. (2014). “Effect of surface friction on tire-pavement contact stresses during vehicle maneuvering.” *Journal of Engineering Mechanics* 140, 4: 04014001. (doi:10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000691).

- [11] พัชรายุทธ์ จันทน์หอม. (มปป). **ความเสียดทานของผิวทาง (Pavement Friction)**. เข้าถึงเมื่อ 15 สิงหาคม 2563. เข้าถึงได้จาก <https://sites.google.com/site/patcharayutchanhom/khwam-seiyd-than-khxng-phiw-thang-pavement-friction>
- [12] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2561). **แรงเสียดทาน**. เข้าถึงเมื่อ 15 สิงหาคม 2563. เข้าถึงได้จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%99>
- [13] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2562). **แรงหนีศูนย์กลาง**. เข้าถึงเมื่อ 1 มีนาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B8%A8%E0%B8%B9%E0%B8%99%E0%B8%A2%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%87>
- [14] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2563). **ศูนย์กลางมวล**. เข้าถึงเมื่อ 20 สิงหาคม 2563. เข้าถึงได้จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A8%E0%B8%B9%E0%B8%99%E0%B8%A2%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%A5>
- [15] Harbin W.M. (2017). **Vehicle Load Transfer**. เข้าถึงเมื่อ 1 มีนาคม 2564. เข้าถึงได้จาก <https://www.slideshare.net/billharbin/vehicle-load-transfer-part-i-iidec17>



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

## ผลการทดสอบการหาจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 แสดงจุดศูนย์ถ่วงของรถจักรยานยนต์เทียบกับรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

Side	Distance of motorcycle (mm)		Differential Percentage (%)
	Motorcycle	Side-Car Motorcycle	
Width	0	246.6	100
Length	676	765.5	11.69
Height	240	341.9	29.80



รูปที่ ก.1 ระยะจุดศูนย์ถ่วงรถจักรยานยนต์



รูปที่ ก.2 ระยะจุดศูนย์ถ่วงรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ข้อมูลระยะเวลาการเคลื่อนตัวของโซ๊คและค่าอัตราเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ระยะยืดของโช๊คหน้าด้านซ้าย

Load (kg)	Shock rebounding displacement of left front wheel (mm)			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	-19.60163288	-19.91776241	-21.68025078	-20.39988202
25	-11.89193357	-10.43772423	-9.020936539	-10.45019811
50	-8.441270413	-10.89238958	-7.998528307	-9.110729435
75	-6.893574216	-11.17705667	-10.32771716	-9.466116018
100	-5.747483668	-6.443311506	-6.435047002	-6.208614058
125	-5.420205402	-5.220473605	-5.381809809	-5.340829606
150	-2.576742122	-4.49572993	-1.389462511	-2.820644855

ตารางที่ ข.2 ระยะยืดของโช๊คหน้าด้านขวา

Load (kg)	Shock rebounding displacement of right front wheel (mm)			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	-19.41650986	-19.58628723	-21.403463	-20.13542003
25	-10.03421125	-11.40353556	-12.84056939	-11.4261054
50	-7.813619076	-10.23421075	-7.349558307	-8.465796045
75	-7.677073879	-12.08989327	-11.1695342	-10.31216712
100	-6.489375364	-7.043080515	-7.147867726	-6.893441202
125	-5.967130182	-6.054877967	-6.340085913	-6.120698021
150	-1.865944407	-3.79665897	-0.930478694	-2.197694024

ตารางที่ ข.3 ระยะยุบของโช๊คหลังด้านซ้าย

Load (kg)	Shock compression displacement of left rear wheel (mm)			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	3.23424367	3.621146879	2.718603416	3.191331322
25	2.562116282	2.72230674	4.552737854	3.279053625
50	2.072265166	3.027679184	3.065807791	2.72191738
75	1.74259889	2.391975621	2.846417811	2.326997441
100	1.243666522	2.373511164	2.367246546	1.994808077
125	1.705402346	1.344652683	0.991219474	1.347091501
150	3.178129086	2.680695278	0.819151433	2.225991932

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ระยะยุบของโช๊คหลังด้านขวา

Load (kg)	Shock compression displacement of right rear wheel (mm)			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	4.648455258	5.172787958	4.726575799	4.849273005
25	3.584873918	4.305554478	3.843314605	3.911247667
50	3.205497732	3.484159419	3.729570747	3.473075966
75	4.901410379	3.680704649	3.412905803	3.998340277
100	2.508666663	3.77670003	3.896283654	3.393883449
125	3.539706715	3.509177756	2.51631088	3.18839845
150	4.268162022	3.636127476	1.880707569	3.261665689

ตารางที่ ข.5 ระยะยุบของโช๊คพวงข้าง

Load (kg)	Shock compression displacement of side wheel (mm)			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	0.08807357	0.112562659	0.057888846	0.086175025
25	0.043281682	0.033198372	0.0799228	0.052134285
50	0.04916136	0.04748252	0.151606398	0.082750093
75	0.14813337	0.170331196	0.112204527	0.143556365
100	0.115882234	0.151576273	0.106683547	0.124714018
125	0.099133764	0.193737519	0.236168394	0.176346559
150	0.26066329	0.160642642	0.243781485	0.221695806

ตารางที่ ข.6 ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวแกน x

Load (kg)	Maximum acceleration in the x-axis (m/s <sup>2</sup> )			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	16.91	15.13	16.34	16.13
25	11.83	12.49	11.18	11.83
50	11.52	10.67	11.04	11.08
75	10.94	11.88	11.15	11.32
100	12.23	12.29	11.35	11.96
125	12.98	11.90	11.56	12.15
150	12.32	12.41	12.94	12.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.7** ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวแกน y

Load (kg)	Maximum acceleration in the y-axis (m/s <sup>2</sup> )			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	17.23	18.84	17.62	17.89
25	12.57	11.88	12.21	12.22
50	10.11	11.26	10.13	10.50
75	10.43	10.55	10.48	10.49
100	10.57	10.48	10.17	10.41
125	9.61	10.52	10.48	10.20
150	8.44	8.27	7.68	8.13

**ตารางที่ ข.8** ค่าอัตราเร่งสูงสุดในแนวแกน z

Load (kg)	Maximum acceleration in the z-axis (m/s <sup>2</sup> )			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	5.83	5.39	4.76	5.33
25	5.09	5.15	5.08	5.11
50	4.75	5.33	4.90	4.99
75	5.89	6.42	6.18	6.16
100	6.33	6.43	5.93	6.23
125	6.47	6.90	6.69	6.68
150	5.29	5.89	6.76	5.98

**ตารางที่ ข.9** ค่าอัตราเร่งต่ำสุดในแนวแกน x

Load (kg)	Minimum acceleration in the x-axis (m/s <sup>2</sup> )			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	-18.75	-17.15	-19.50	-18.47
25	-15.31	-14.82	-15.08	-15.07
50	-15.38	-14.74	-14.24	-14.79
75	-14.08	-14.02	-14.73	-14.28
100	-14.49	-14.47	-14.41	-14.46
125	-15.38	-14.68	-15.55	-15.20
150	-11.13	-11.29	-10.28	-10.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ค่าอัตราเร่งต่ำสุดในแนวแกน y

Load (kg)	Minimum acceleration in the y-axis (m/s <sup>2</sup> )			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	-12.32	-12.95	-11.89	-12.39
25	-8.44	-8.66	-9.31	-8.80
50	-6.76	-7.59	-7.22	-7.19
75	-7.87	-8.71	-7.60	-8.06
100	-8.05	-9.54	-9.33	-8.97
125	-9.66	-9.52	-9.62	-9.60
150	-5.99	-5.34	-5.57	-5.63

ตารางที่ ข.11 ค่าอัตราเร่งต่ำสุดในแนวแกน z

Load (kg)	Minimum acceleration in the z-axis (m/s <sup>2</sup> )			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
0	-5.95	-4.29	-5.20	-5.15
25	-4.45	-4.18	-4.57	-4.40
50	-4.41	-4.19	-4.50	-4.37
75	-4.73	-3.97	-3.97	-4.22
100	-4.74	-4.55	-4.39	-4.56
125	-3.47	-3.81	-4.36	-3.88
150	-3.77	-3.77	-3.51	-3.68

ตารางที่ ข.12 ค่าอัตราเร่งเฉลี่ย

Load (kg)	Average acceleration (m/s <sup>2</sup> )		
	X	Y	Z
0	-1.17	2.76	0.09
25	-1.62	1.71	0.3
50	-1.86	1.66	0.31
75	-1.48	1.21	0.97
100	-1.25	0.72	0.84
125	-1.53	0.30	1.40
150	0.83	1.25	1.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

## ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ของ นายณัฐพงษ์ สอนนง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายธนาวุธ หนูพุ่ม  
 วัน เดือน เกิด วันที่ 18 ตุลาคม 2541  
 ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช  
 ที่อยู่ 89 หมู่ 2 ตำบลทอ้งลำเจียก อำเภอเชียรใหญ่  
 จังหวัดนครศรีธรรมราช 80190  
 E-mail boyhacker.089@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมโครงการค่ายอาสา 3 สถาบัน ปีที่10
- เข้าร่วมโครงการปลูกป่าชายเลนในเครือเจริญโภคภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายนาวิน คชสวัสดิ์  
 วัน เดือน เกิด วันที่ 19 ธันวาคม 2540  
 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี  
 ที่อยู่ 6 หมู่ 2 ตำบลตลาดไชยา อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84110  
 E-mail nawinkochsawas@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนอภิระสามัญศึกษา กรุงเทพมหานคร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมโครงการค่ายอาสา 3 สถาบัน ปีที่10
- เข้าร่วมโครงการปลูกป่าชายเลนในเครือเจริญโภคภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล นายณัฐพงษ์ สอนนง  
 วัน เดือน เกิด วันที่ 5 เมษายน 2542  
 ภูมิลำเนา จังหวัดสุราษฎร์ธานี  
 ที่อยู่ 60/6 หมู่ 3 ตำบลบางสวรรค์ อำเภอพระแสง  
 จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84210  
 E-mail nut\_mogde@hotmail.com

### ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (วิทย์-คณิต) ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนบางสวรรค์วิทยาคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกลแขนงวิศวกรรมเกษตร) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

### ผลงานและกิจกรรม

- รางวัลรองชนะเลิศการประชุมวิชาการโครงการวิศวกรรมเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 25 ประเภทแข่งขันทักษะ
- รางวัลเกียรติคุณอันดับ 1 วิศวกรรมเครื่องกลแขนงวิศวกรรมเกษตร ประจำปีการศึกษา 2562
- ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการและมีระดับคะแนนดีเยี่ยมด้าน “การใช้โปรแกรม SolidWorks ช่วยในการออกแบบงานทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้