



การศึกษาหาเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้าง
A Study of tricycle sidecar stability

นายวรชาติ จงจิตสถิตมัน
นายไพภณ นิ่งน้อย
นายสุรพงศ์ สุขนนท์ศักดิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2557

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาหาเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้าง
โดย นายวรชาติ จงจิตสถิตมัน นายไพปภณ นิ่งน้อย
และนายสุรพงศ์ สุขนันทศักดิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2557
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

.....หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
(อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน)

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ศิริพล ทองอ่อน)

.....กรรมการ
(อาจารย์พิเชษฐ์ บุญญาลัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์อนันต์ เต็มเปี่ยม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่เรือตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี)

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การศึกษาหาเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้าง
 โดย นายวรชาติ จงจิตสถิตมัน นายไพภณ นิ่งน้อย
 และนายสุรพงศ์ สุขนันท์ศักดิ์
 สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา 2557
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ว่าที่เรือดริทรงวุฒิ มงคลเลิศมณี

บทคัดย่อ

รถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างเป็นพาหนะอีกประเภทหนึ่งที่คนไทยนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และสามารถใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้หลายอย่าง เช่น การบรรทุกเชิงพาณิชย์ และการบรรทุกเชิงขนส่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานให้ดียิ่งขึ้น จึงมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อหาเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงขึ้นมา

แนวทางของการศึกษาและพัฒนาเสถียรภาพในครั้งนี้ คือ ใช้ชุดปรับระยะความกว้าง (ตามข้อกำหนด) มี 3 ระยะ ประกอบด้วย ชุดที่ 1 ขนาดเล็ก ชุดที่ 2 ขนาดปานกลาง และชุดที่ 3 ขนาดใหญ่ ทั้งนี้ได้ทำการทดลองโดยการปรับระยะความกว้างทั้ง 3 ระยะ เพื่อหาความแตกต่างของเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างในแต่ละระยะความกว้างของฐานล้อและการจำลองการบรรทุกในรูปแบบต่างๆ จะได้ค่าพฤติกรรมการกระดก (Pitch angle) ค่าพฤติกรรมการส่าย (Yaw moment) แรงต้านที่ใช้ในการขับเคลื่อนและการเบรก และความเร็วรถจักรยานยนต์พ่วงข้าง ซึ่งทำให้ทราบถึงเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างที่ดีที่สุด

จากการทดลองนี้จะได้ค่าเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างที่ดีที่สุด ซึ่งจะนำไปใช้ในการพัฒนาและออกแบบรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้าง ในกรณีไม่มีการบรรทุก พบว่าการเพิ่มขึ้นของระยะกว้างฐานล้อ (wheeltrack) ส่งผลโดยตรงให้มุมส่ายมีค่าเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันมุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) มีค่าลดลง กรณีที่มีการบรรทุกแบบโดยสาร พบว่าการเพิ่มขึ้นของมวลส่งผลโดยตรงกับแรงต้านที่มือซ้ายและขวาที่เพิ่มขึ้น กรณีที่มีการบรรทุกเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน เพราะมีการกระจายน้ำหนักเข้าใกล้ล้อหน้าคล้ายกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของฐานล้อส่งผลโดยตรงกับมุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) ที่เพิ่มขึ้น และในทางกลับกันมุมกระดก (Pitch angle) มีค่าลดลง กรณีที่มีการบรรทุกแบบเชิงพาณิชย์ที่มีการชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง ส่งผลโดยตรงกับมุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) ที่ลดลง ส่วนพฤติกรรมทดสอบแบบทางโค้ง โดยเบรกเฉพาะเบรกหลัง ระยะกว้างฐานล้อ 1.1 m ให้ค่ามุมกระดก มุมส่าย และมุมลื่นไถลด้านข้าง มีค่าน้อย พบว่าเป็นพฤติกรรมที่รักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถได้ดีที่สุด ส่วนพฤติกรรมเบรกเฉพาะเบรกหน้า และการเบรกหน้า - หลังพร้อมกัน ให้ค่า มุมกระดก มุมส่าย และมุมลื่นไถลด้านข้าง มีค่ามาก พบว่าเป็นพฤติกรรมที่เสี่ยงต่อการรักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถ

Project Title find stability tricycle sidecar
By Mr. Worrochart Jongjitsetitmun Mr. Paipapon Ningnoi
and Mr. Surapong Suknantasak
Department Mechanical Engineering
Academic Year 2014
Project Advisor Asst. Prof. Acting2. Sub. LT. Songwut Mongkonlerdmanee

ABSTRACT

Sidecars are one kind of vehicles which Thai peoples widely use and also be useful in daily life such as a commercial carrying and transport carrying. the purpose of this project is to increase more safety of carrying and utilization by reserching and developing the stability of sidecars.

This approach is to use the 3rd phases set of width adjustable (confirm with legality) is composed first series of small phases, second series of midium phases and third series of large phases in order to find each phases of the differences in the stability of sidecars. At the same time, this experimentation occured the Pitch angle, the Yaw Angel, the Resistance in riding and brake and finally the speed of sidecar. Many conclusions are to get the most suitable stability of sidecars.

Based on this methodology will be the most suitable stability of sidecars which can develop and design sidecars get more efficiency and capability of carrying later.

The result of the stability sidecars testing, in case of no carrying was found that increase of wheeltrack directly effects the Yaw Angel increased and conversely, Sideslip angle reduced. In case of carrying with passengers was found that the increase of mass directly effected on the increasingly resistance of left hand and right hand. In case of commercial carrying, that was similar to the testing carrying with five passengers due to the weight distribution got near to front wheels similarly, was found that the increase of wheels base directly effected on the Sideslip angle increased and conversely the Pitch angle reduced. In case of commercial carrying which reduced the speed while cornering directly effected on the Sideslip angle reduced. For the bend testing by braking with the rear brakes and 1.1 m wheel track caused the Pitch angle, the Yaw Angle and the Sideslip angle was less, was found that was the most suitable stability of sidecars. And conversely, for the bend testing by braking with the front brakes or braking with the front and rear brakes jointly caused the Pitch angle, the Yaw Angle and the Sideslip angle was more, was found that is not insecurity to keep the suitable stability of sidecars.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ว่าที่เรื่อตรีทรงวุฒิ มงคลเลิศมณีเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ให้คำชี้แนะ แนะนำในสิ่งดี ๆ ต่าง ๆ การถ่ายทอดความรู้ตลอดการควบคุมในการทำโครงการให้เกิดประสบความสำเร็จลุล่วงด้วยดี ทางผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการ สอบปริญญานิพนธ์ที่ ให้ความกรุณาตรวจสอบความถูกต้องของปริญญานิพนธ์ รวมทั้งบุคคลที่ปรากฏตามรายงานการอ้างอิงที่ผู้ทำโครงการใช้อ้างอิง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านรวมถึงเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนเงินโครงการ ทางผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำโครงการขอมอบเป็นกตัญญูบูชาแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายวรชาติ จงจิตสถิตมัน
นายไพภณ นิ่งน้อย
นายสุรพงศ์ สุขนันท์ศักดิ์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 เสถียรภาพการบังคับรถสามล้อพ่วงข้าง	7
2.3 โหลดเซลล์	12
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	13
3.1 การออกแบบรถสามล้อพ่วงข้าง	14
3.2 การออกแบบการวางมวล	14
3.3 การออกแบบถนนสำหรับการทดสอบ	15
3.4 การออกแบบการทดสอบและเงื่อนไขการทดสอบ	16
3.5 การเตรียมการทดสอบ	18
3.6 การคำนวณ	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	24
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	38
5.1 สรุปผลการทดสอบ	38
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ	38
5.3 ข้อเสนอแนะ	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการทดสอบ	42
ภาคผนวก ข ข้อมูลจำเพาะของรถทดสอบ	44
ภาคผนวก ค ตารางการชั่งน้ำหนักและการคำนวณ	46
ภาคผนวก ง แบบสัตส่วนพ่วงข้างทดสอบ	49
ประวัติผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์	58



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	2
2.1 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนแบบต่าง ๆ	7
3.1 เงื่อนไขการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก	17
3.2 เงื่อนไขการทดสอบการบรรทุกแบบโดยสาร	17
3.3 เงื่อนไขการทดสอบแบบบรรทุกเชิงพาณิชย์	18
3.4 การทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ (กรณีชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง)	18
4.1 ผลการทดสอบไม่มีการบรรทุก	24
4.2 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบโดยสาร 2 คน	26
4.3 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบโดยสาร 4 คน	29
4.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบโดยสาร 5 คน	31
4.5 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบขนส่งเชิงพาณิชย์	33
4.6 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบขนส่งเชิงพาณิชย์ และชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง	35



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	รถพ่วงข้างมาตรฐานเชิงขนสองชนิดไม่มีหลังคา	4
2.2	รถพ่วงข้างมาตรฐานเชิงขนสองชนิดมีหลังคา	4
2.3	รถพ่วงข้างมาตรฐานเชิงพาณิชย์	4
2.4	ลักษณะของเบรก	5
2.5	Dynamic Load Transfer	6
2.6	ประสิทธิภาพการเบรกสูงสุดหรือจุดเหมาะสมของการออกแบบระบบเบรก	6
2.7	พฤติกรรมการลื่นไถลของรถสามล้อพ่วงข้าง	8
2.8	แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นเมื่อรถเลี้ยว	9
2.9	ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบรถสามล้อพ่วงข้าง	10
2.10	ตำแหน่งการวางของล้อตัวรถพ่วงข้าง (ก) Lead (+) (ข) Lead (-)	10
2.11	การปรับมุมล้อตัวรถพ่วงข้าง	11
2.12	โพลดเซลล์	12
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	13
3.2	การออกแบบรถสามล้อพ่วงข้าง	14
3.3	การออกแบบการวางมวลในเชิงพาณิชย์	15
3.4	การออกแบบการวางมวลโดยสาร	15
3.5	การออกแบบสนามเพื่อการทดสอบ (ก) ทางตรง (ข) ทางโค้ง	16
3.6	การติดตั้งหน้าแปลน	19
3.7	การติดตั้งหน้าแปลนเข้ากับรถจักรยานยนต์	19
3.8	การชั่งน้ำหนักกลางเพลลา (ก) เพลลาหน้า (ข) เพลลาท้าย	19
3.9	การทดสอบการพลิกรถ	20
3.10	การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมหักเลี้ยว	20
3.11	การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมกระดกและมุมส่าย (VC 4000 DAQ)	21
3.12	การติดตั้งเครื่องมือวัดแรงต้านที่มือซ้ายและมือขวา	22
3.13	การติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์ (ก) วัดมุมหักเลี้ยว (ข) วัดความเร็ว	22
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก	25
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้ายและเวลาของการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก	25
4.3	การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้ายและมือด้านขวาของการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก	26
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 2 คน	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านซ้ายและเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 2 คน	27
4.6 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มีด้านซ้ายและด้านขวาของการทดสอบแบบโดยสาร 2 คน	28
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 4 คน	29
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านซ้ายและเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 4 คน	30
4.9 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มีด้านซ้ายและด้านขวาของการทดสอบแบบโดยสาร 4 คน	30
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน	32
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านซ้ายและเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน	32
4.12 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มีด้านซ้ายและด้านขวาของการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน	33
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์	34
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านซ้ายและเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์	34
4.15 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มีด้านซ้ายและด้านขวาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์	35
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ชะลอความเร็วในขณะที่เข้าโค้ง	36
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มีด้านซ้ายและเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ ชะลอความเร็วในขณะที่เข้าโค้ง	36
4.18 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มีด้านซ้ายและด้านขวาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ชะลอความเร็วในขณะที่เข้าโค้ง	37

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อหน้า

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	ความเร่ง	m/s^2
c	รัศมีโค้ง	m
d	ระยะกึ่งกลางของช่วงกว้างระหว่างล้อ	m
F	แรงที่กระทำต่อวัสดุ	N
F_c	แรงหนีศูนย์กลาง	N
g	ความเร่งโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.81	m/s^2
h	ความสูงของจุดศูนย์กลาง	m
m	มวล	kg
V	ความเร็ว	m/s
V_0	ความเร็วสูงสุดก่อนการพลิกคว่ำ	m/s
V_s	ความเร็วสูงสุดก่อนการลื่นไถล	m/s
W	น้ำหนักของรถทั้งหมด	N
w	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป	N
μ	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	-
β	มุมบิดของล้อ	deg



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการ

รถจักรยานยนต์มีความสำคัญกับคนไทยมาเป็นเวลายาวนาน ปัจจุบันรถจักรยานยนต์ถูกนำมาพัฒนาดัดแปลง เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การดัดแปลงเป็นรถสามล้อพ่วงข้าง เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการขนส่งสินค้า ขนส่งโดยสาร และใช้ในการขายสินค้า เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาของสามล้อพ่วงข้างในประเทศไทยเกิดจากการไม่มีมาตรฐานในการออกแบบตัวพ่วงข้าง ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ขับขี่และผู้อื่น ยิ่งไปกว่านั้นหากมีการบรรทุกการควบคุมรถพ่วงสามล้อพ่วงข้างสามารถกระทำได้อย่าง เนื่องจากการออกแบบไม่สามารถตอบสนองการขับขี่ลักษณะนี้ นอกเหนือจากการออกแบบและสร้างรถสามล้อพ่วงข้างที่มีอยู่ในปัจจุบันที่มาจากการใช้ประสบการณ์ของช่าง โดยมิได้คำนึงถึงการรักษาไว้ซึ่งการควบคุมรถให้เป็นไปตามต้องการหรือเสถียรภาพการบังคับ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้าง คือ ความสมดุล พื้นที่ของพ่วง ภาระการรับน้ำหนัก และความเร็ว

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดในการศึกษาและออกแบบรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้าง ที่พิจารณาถึงเสถียรภาพการบังคับภายใต้เงื่อนไขการใช้ต่าง ๆ อีกทั้งผลจากการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการขับเคลื่อนอย่างปลอดภัยทั้งกับตนเองและผู้อื่น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคูณลักษณะของรถสามล้อพ่วงข้าง
- 1.2.2 เพื่อออกแบบ และสร้างแบบจำลองสามล้อพ่วงข้าง
- 1.2.3 เพื่อทดสอบเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้าง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 รถสามล้อพ่วงข้างสามารถปรับเปลี่ยนความกว้างฐานล้อได้
- 1.3.2 การทดสอบเสถียรภาพพิจารณาถึงการเข้าโค้ง
- 1.3.3 ใช้สนามแบบลาดยางมะตอยในการทดสอบทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ทราบความมีเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้าง
- 1.4.2 นำแนวทางในการออกแบบไปพัฒนารถจักรยานยนต์พ่วงข้างต่อไป
- 1.4.2 มีความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่และผู้คนที่ใช้รถใช้ถนนทั่วไปมากขึ้น
- 1.4.3 ได้นำทักษะที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในการสร้างรถสามล้อพ่วงข้าง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการ	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	↔											
2. สอบหัวข้อโครงการ			↔									
3. ออกแบบสามล้อพ่วงข้าง				↔								
4. จัดทำโครงสร้าง และวิเคราะห์ผล				↔	↔	↔	↔					
5. ทดสอบและวิเคราะห์ผล					↔	↔	↔	↔				
6. ปรับปรุงแก้ไข					↔	↔	↔	↔				
7. สรุปผลการทดสอบ									↔			
8. จัดทำเล่มปริญญานิพนธ์				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
9. สอบป้องกันปริญญานิพนธ์												↔



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การศึกษาเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้าง

เสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้าง เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่อการควบคุมรถสามล้อพ่วงข้าง ทั้งกรณีการขับขี่ทางตรง และการขับขี่ขณะเข้าโค้ง เนื่องจากปัจจัยด้านเสถียรภาพ สัดส่วนการกระจายแรงที่สมดุล และอัตราหน่วง อย่างไรก็ตามการทดสอบเกี่ยวกับการหาเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้างถือเป็นพื้นฐานในการพัฒนาระบบเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้างให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การหาค่า Pitchangle, Yawangle และ Sideslip angle เป็นต้นตัวแปรเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุและมีส่วนในการรักษาเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้างโดยรถสามล้อพ่วงข้างกำเนิดเมื่อ พ.ศ. 2476 ได้ดำเนินและมีวิวัฒนาการตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีมาโดยลำดับ อย่างไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นสามล้อประเภทที่ยังใช้แรงคน หรือกำลังเครื่องยนต์ ก็ได้ถูกดัดแปลงมาใช้ในการประกอบสัมมาอาชีพ อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นการขายขนมถาด ไอศกรีม ผลไม้ดอง หรือลูกชิ้น-ไส้กรอก เป็นต้น ปัจจุบันรถสามล้อพ่วงข้างถูกพัฒนาให้สร้างขึ้นในระบบอุตสาหกรรมยานยนต์โดยโรงงานอุตสาหกรรมชั้นนำ และใช้ชื่อว่า SIDE CAR MOTORCYCLE THAILAND หรือชื่อในแบบไทยคือ รถพ่วงข้างไทยแลนด์ รถสามล้อพ่วงข้างจึงมีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศชาติ ที่จะทำให้อุตสาหกรรมรถสามล้อพ่วงข้างมีเสถียรภาพได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับของสากลมากยิ่งขึ้น และจะทำให้ยอดการผลิตส่งออกรถสามล้อพ่วงข้างเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรม เป็นผลเนื่องมาจากเราได้พัฒนารถสามล้อพ่วงข้างให้มีเสถียรภาพได้มาตรฐานเพิ่มมากขึ้นทำให้ความไว้วางใจเพิ่มขึ้นด้วย

2.1.2 การสร้างรถพ่วงข้างมีรายละเอียด คือ

- โครงสร้างที่ปลอดภัยแข็งแรง
- ช่วงล่างที่แข็งแรงปลอดภัย
- ใช้ล้อแม็กหรือล้อซี่ลวดสำหรับล้อรถพ่วงข้าง
- ขายึดที่ต่อจากรถพ่วงเข้ากับรถมอเตอร์ไซค์
- ระบบไฟสัญญาณจราจรถูกต้องตามกฎหมาย
- สามารถถอดตัวรถพ่วงข้างออกจากมอเตอร์ไซค์ได้โดยง่าย

และจดทะเบียนได้ถูกต้องตามกฎหมาย

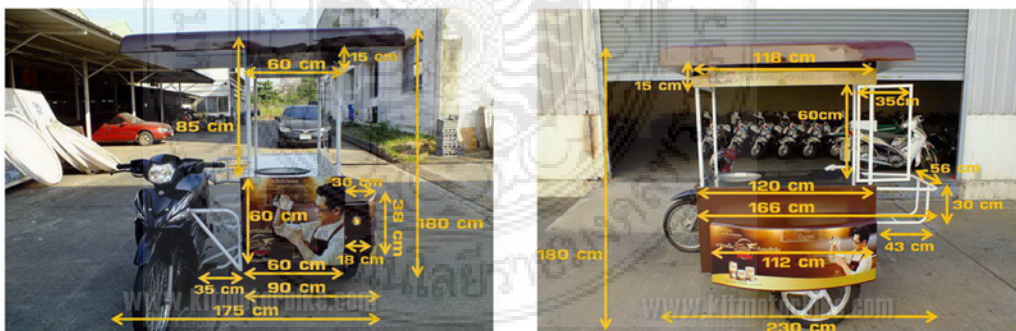
2.1.3 ขนาดของรถสามล้อพ่วงข้างชนิดต่างๆ คือ รถพ่วงข้างมาตรฐานเชิงขนส่งชนิดไม่มีหลังคา รถพ่วงข้างมาตรฐานเชิงขนส่งชนิดมีหลังคา และรถพ่วงข้างมาตรฐานเชิงพาณิชย์ สำหรับรถพ่วงข้างชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.1 ถึงรูปที่ 2.3 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 รถพ่วงข้างเชิงขนส่งชนิดไม่มีหลังคา [2]



รูปที่ 2.2 รถพ่วงข้างเชิงขนส่งชนิดมีหลังคา (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง [3]



รูปที่ 2.3 รถพ่วงข้างเชิงพาณิชย์ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง [3]

2.1.4 ระบบเบรก

ระบบเบรกใช้เพื่อชะลอความเร็วหรือหยุดรถโดยอาศัยแรงเสียดทาน 2 จุดคือ บริเวณระหว่างระบบเบรก และระหว่างยางกับพื้นถนน เนื่องจากระบบเบรกเป็นระบบความปลอดภัยที่สำคัญของรถสามล้อพ่วงข้างหรือที่เรียกว่า Active Safety ดังนั้นอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบเบรกจึงต้องมี

ความสมบูรณ์พร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลาในระบบเบรกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบดิสก์เบรก (disc brake) และแบบดรัมเบรก (drum brake)

อย่างไรก็ตามในระบบเบรกทั้ง 2 แบบดังรูปที่ 2.4 หากพิจารณาระบบเบรกไฮดรอลิกในปัจจุบันลักษณะของอุปกรณ์การทำงานนิยมใช้เป็นแบบดิสก์เบรกเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเบรกสูงกว่า ระบายความร้อนดีกว่า บำรุงรักษาง่ายกว่าแบบดรัมเบรก ในทางกลับกันดรัมเบรกจะสร้างแรงเบรกได้มากกว่าดิสก์เบรกเนื่องจากหน้าสัมผัสระหว่างผ้าเบรกกับจานเบรกมีมากกว่า ซึ่งหากต้องการแรงเบรกของดิสก์เบรกให้มีค่าเท่ากับดรัมเบรกต้องเพิ่มแรงดันในระบบให้มากขึ้น



(ก)

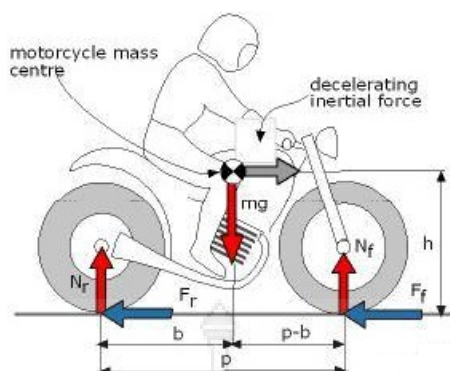


(ข)

รูปที่ 2.4 ลักษณะของเบรก (ก) ดิสก์เบรก (ข) ดรัมเบรก [4]

2.1.5 แรงเบรกและการกระจายแรงเบรก

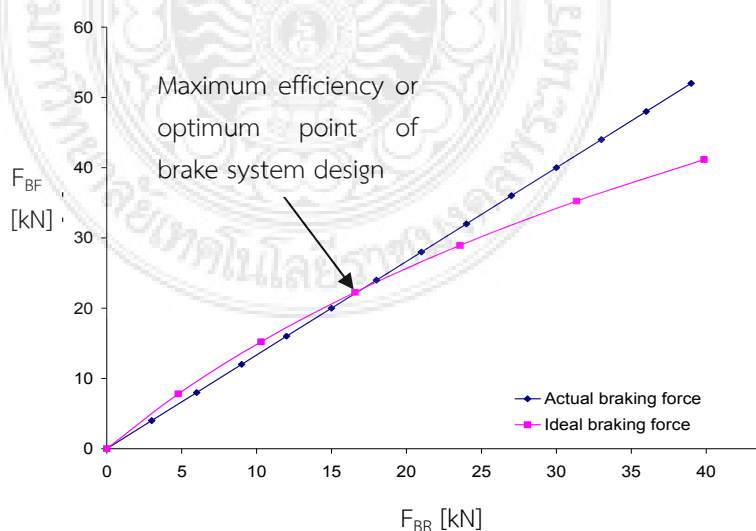
แรงเบรกเป็นองค์ประกอบหลักของการสร้างแรงเสียดทานที่กระทำต่อผ้าเบรกและจานเบรก ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเบรกเพื่อการชะลอหรือหยุดรถสามล้อพ่วงข้าง ปริมาณแรงเบรคนั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ขับขี่หรือปริมาณแรงเบรกที่อยู่ในระบบไฮดรอลิกส์ หากมีแรงเบรกมากระยะทางการเบรคนั้นจะสั้น หากแรงเบรกมีปริมาณสูงเกิน งามที่สัมผัสโดยตรงกับผิวของถนนนั้นจะเกิดการลื่นไถลของล้อหรือที่เรียกว่าล้อล็อกนั่นเอง ด้วยเหตุผลของการล็อกของล้อนี้จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับการบังคับหรือการควบคุมรถสามล้อพ่วงข้างให้ทิศทางเป็นไปตามที่ผู้ขับขี่ต้องการได้ หากพิจารณาพฤติกรรมของรถสามล้อพ่วงข้างในขณะที่ทำการเบรคนั้นจะเกิดการส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบและแนวตั้งไปที่บริเวณหน้ารถสามล้อพ่วงข้าง (Dynamic Load Transfer) ซึ่งพฤติกรรมของการส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบและแนวตั้งของรถสามล้อพ่วงข้างแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Dynamic Load Transfer [5]

อย่างไรก็ตามการพิจารณาแรงเบรกที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของการส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบและแนวตั้งของรถสามล้อพ่วงข้าง (Dynamic Load Transfer) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ แรงเบรกที่ได้มาจากอุปกรณ์ในระบบเบรก เช่น แรงดันน้ำมัน เป็นต้น เรียกว่าแรงเบรกกระทำจริง (Actual Braking Force) ส่วนอีกแบบหนึ่งจากเป็นแรงเบรกทางทฤษฎี (Ideal Braking Force) ที่เป็นผลมาจากการประเมินทางทฤษฎีที่ได้จากปัจจัยต่างๆ เช่น สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน (μ_{road}) พฤติกรรมของการส่งถ่ายของมวลในแนวระนาบและแนวตั้งของรถสามล้อพ่วงข้าง มวลของรถสามล้อพ่วงข้าง ระยะห่างของจุดศูนย์ถ่วงในแนวตั้งและระนาบ (Centre of gravity) เป็นต้น เพื่อการประมาณค่าแรงเบรกที่เกิดขึ้นในแต่ละเพลลา สำหรับแรงเบรกทางทฤษฎีและแรงเบรกกระทำจริง

ในขณะที่ประสิทธิภาพการเบรกสูงสุดจะเกิดขึ้นหากแรงเบรกกระทำจริงตัดกับแรงเบรกทางทฤษฎีหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นจุดเหมาะสมของการออกแบบระบบเบรก (Optimum point of brake system design) ประสิทธิภาพการเบรกสูงสุดแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ประสิทธิภาพการเบรกสูงสุดหรือจุดเหมาะสมของการออกแบบระบบเบรก [5]

2.1.6 การลื่นไถลหรือการล็อกของล้อ

การลื่นไถลหรือการล็อกของล้อในรถสามล้อพ่วงข้างที่ไม่มีระบบป้องกันการล็อกของล้อ (Anti-Lock Brake System) เกิดขึ้นได้จาก 2 กรณีคือ ปริมาณของแรงเบรกที่ผู้ขับขี่เหยียบเบรกมีค่ามากเกินไปและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนนมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผ้าเบรกกับจานเบรก ทั้งสองกรณีนี้ทำให้ล้อเกิดการล็อกซึ่งเป็นผลให้การบังคับรถไม่เป็นไปตามที่กำหนด

อย่างไรก็ตามความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากการล็อกของล้อระหว่างล้อหน้าและล้อหลังนั้นมีความแตกต่างกัน โดยความรุนแรงนั้นจะมีระดับสูงหากเกิดการล็อกที่บริเวณล้อหลังสืบเนื่องจากแรงที่กระทำด้านท้ายของรถสามล้อพ่วงข้างนั้นทำให้รถสามล้อพ่วงข้างเกิดการหมุนรอบตัวไม่สามารถควบคุมรถสามล้อพ่วงข้างได้ ในทางกลับกันหากเกิดการล็อกที่ล้อหน้าเกิดการหมุนรอบตัวไม่สามารถควบคุมรถสามล้อพ่วงข้างได้

2.1.7 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนน (Friction coefficient of road surface)

การเคลื่อนที่ของรถสามล้อพ่วงข้างไปตามที่ผู้ขับขี่ต้องการนั้น เรากล่าวได้ว่าไม่สามารถเลือกไปตามถนนที่ต้องการได้เสมอไป ดังนั้นรถสามล้อพ่วงข้างที่เคลื่อนที่ไปทุกสภาพถนนในทุกพฤติกรรม การขับที่อาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพการบังคับรถสามล้อพ่วงข้างได้ เช่นในกรณีทำการเบรกหรือเข้าโค้งในขณะที่พื้นถนนลื่นทำให้มีโอกาสที่รถสามล้อพ่วงเกิดการควบคุม ซึ่งอาจมีความรุนแรงจนเกิดการพลิกคว่ำ จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น เปิดเผยให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการบังคับรถสามล้อพ่วงข้าง ทั้งนี้ทางคณะผู้จัดทำวิจัยได้นำเสนอตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนเพื่อประโยชน์ในการช่วยประเมินการขับขีรถสามล้อพ่วงข้างดังแสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของพื้นถนนแบบต่างๆ [5]

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

2.2 เสถียรภาพการบังคับรถสามล้อพ่วงข้าง (Vehicle stability control)

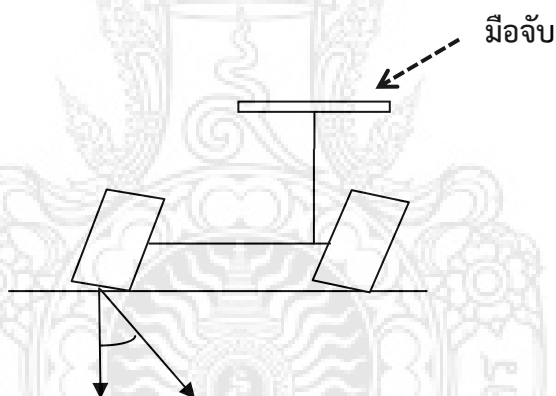
เสถียรภาพการบังคับรถสามล้อพ่วงข้างเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยทั้งของผู้ขับขี่และผู้โดยสารเนื่องจากการรักษาไว้ซึ่งความมั่นคงของการขับขีรถสามล้อพ่วงข้าง ทำให้รถสามล้อพ่วงข้างสามารถแล่นอยู่บนท้องถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการการรักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้างนั้น สามารถพิจารณาหรือชี้วัดได้จากมุม 4 มุม คือ มุมส่าย (Yawangle) มุมโคลงหรือมุมพลิกคว่ำ (Rollangle) มุมกระดก (Pitch angle) มุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) ที่กระทำขณะที่รถเคลื่อนที่ในสภาวะต่างๆ

สำหรับมุมส่าย (Yaw angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านหน้าของรถสามล้อพ่วงข้างอันเป็นผลจากการสูญเสียการควบคุม ทำให้รถสามล้อพ่วงข้างเกิดอาการส่ายไปมาทั้งด้านซ้ายและด้านขวา

ส่วนกรณีมุมโคลง หรือมุมพลิกคว่ำ (Roll angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านหน้าของรถสามล้อพ่วงข้าง อันเป็นผลจากความไม่สมดุลของแรงยกตัวในซีกด้านซ้ายและด้านขวาของรถสามล้อพ่วงข้าง

มุมกระดก (Pitch angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านหน้าและด้านข้างของรถสามล้อพ่วงข้าง อันเป็นผลจากสภาพของพื้นถนนที่มีระดับต่างกัน เกิดจากการเบรก และการบรรทุก

มุมลื่นไถลด้านข้าง (Sideslip angle) เป็นมุมที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาจากด้านข้างของรถสามล้อพ่วงข้างในขณะที่เข้าโค้ง อันเป็นผลจากล้อของรถสามล้อพ่วงข้างพยายามที่จะตั้งหรือผลักรถสามล้อพ่วงข้างให้เข้าและออกจากโค้ง ซึ่งโดยปกติแล้วมุมลื่นไถลด้านข้างจะมีค่าเป็นบวก (+) และลบ (-) อย่างไรก็ตามหากมีค่าเป็นบวกยางรถสามล้อพ่วงข้างก็พยายามที่จะตั้งเข้าไปในโค้ง ส่วนมีค่าเป็นลบยางรถสามล้อพ่วงข้างก็พยายามที่จะผลักออกจากโค้ง สำหรับพฤติกรรมการณ์การลื่นไถลด้านข้างของรถสามล้อพ่วงข้างแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พฤติกรรมการณ์การลื่นไถลของรถสามล้อพ่วงข้าง [5]

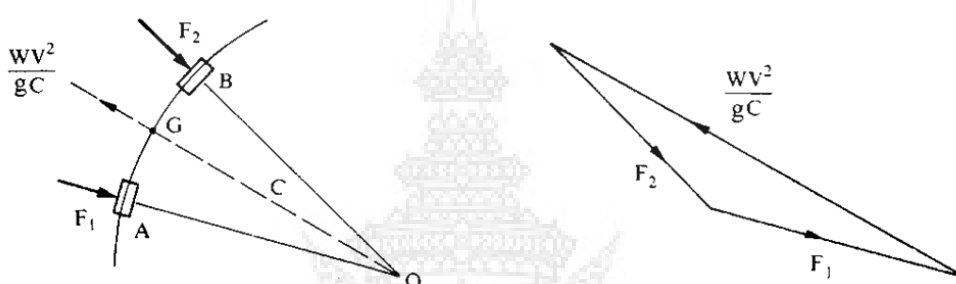
การพิจารณาหามุมลื่นไถลด้านข้าง Sideslip angle (β) ตามรูปที่ 2.7 พิจารณาจากมุม มือจับ (แฮนด์) ที่เปลี่ยนไป (θ) ที่ส่งผลมุมลื่นไถล Sideslip angle (β) เปลี่ยนไป หากแต่ในกรณีของรถจักรยานยนต์มีความแตกต่างกับรถยนต์ โดยเมื่อมุมหักเลี้ยวของจากมือจับเปลี่ยนแปลงไป มีค่าเท่ากับมุมลื่นไถลด้านข้าง โดยมุมลื่นไถลด้านข้างแสดงดังสมการที่ 2.1

$$\text{Sideslip angle } (\beta) = \text{มุมหักเลี้ยว} \quad (2.1)$$

2.2.1 แรงหนีศูนย์กลางเมื่อรถเลี้ยวโค้ง

การที่รถเลี้ยวโค้งไปบนทางโค้งหรือถนนได้นั้นก็เนื่องจากแรงมากระทำด้านข้าง แรงหนีศูนย์กลางจะกระทำที่ศูนย์กลางของการเลี้ยวตามแนวรัศมีเรียกว่า แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง (centripetal force) และอัตราเร่งที่เกิดขึ้นเรียกว่า อัตราเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง (centripetal acceleration) ขณะเดียวกันผู้ที่นั่งบนรถจะรู้สึกว่ามีแรงเหวี่ยงออกจากศูนย์กลาง แรงนี้คือ แรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ตามรูปที่ 2.8 สำหรับแรงหนีศูนย์กลางพิจารณาจากสมการที่ 2.2

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



รูปที่ 2.8 แรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นเมื่อรถเลี้ยว [1]

2.2.2 จุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวขวางเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างที่พิจารณาจากระยะของจุดศูนย์กลางล้อซ้ายถึงจุดศูนย์กลางล้อขวา (Tracking) โดยการมองรถจากด้านหลังสมการที่ใช้ในการพิจารณาจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวขวางแสดงดังสมการที่ 2.3

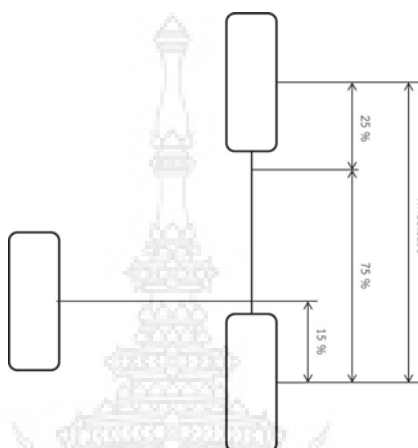
$$\text{จุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวขวาง} = \frac{(W_{RL} - W_{RR}) \times (D/2)}{W_{\text{Total}}} \quad (2.3)$$

2.2.3 จุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวตั้งเป็นตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างที่พิจารณาจากระยะที่ล้อสัมผัสกับผิวถนนซึ่งตำแหน่งตามแนวตั้งถึงจุดศูนย์กลางถ่วงนี้ เป็นตำแหน่งที่พิจารณาได้ยากที่สุด เนื่องจากต้องมาจากการทดสอบเท่านั้น การทดสอบสามารถกระทำได้ 3 วิธี คือ วิธีแขวนรถวิธียกเพลาทำขึ้นในแนวตั้ง และวิธีพลิกคว่ำ อย่างไรก็ตามการทดสอบทั้ง 3 วิธีนี้ค่าที่ได้ถูกนำมาใช้คำนวณหาตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางถ่วงแสดงดังรูปที่ 2.3 สมการที่ใช้ในการพิจารณาจุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวตั้งแสดงดังสมการที่ 2.4

$$\text{จุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวตั้ง} = \frac{(D + CG_{\text{ตามขวาง}}) / 2}{\tan \theta} \quad (2.4)$$

2.2.4 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบรถสามล้อพ่วงข้าง

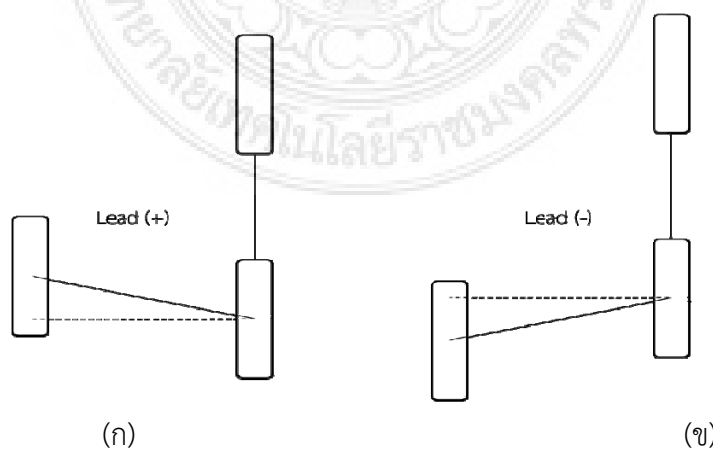
ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบรถสามล้อพ่วงข้างจุดกึ่งกลางล้อหลังของรถจักรยานยนต์ถึงจุดกึ่งกลางล้อหลังของรถพ่วง มีระยะความยาวเป็นร้อยละ 15 ของความยาวทั้งหมดของระยะ Wheel Base จากจุดกึ่งกลางล้อหน้าถึงจุดกึ่งกลางแกนบังคับเลี้ยว มีระยะความยาวเป็นร้อยละ 25 ของความยาวทั้งหมดของระยะ Wheel Base แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบรถสามล้อพ่วงข้าง [7]

2.2.5 ตำแหน่งการวางของล้อตัวรถพ่วงข้าง

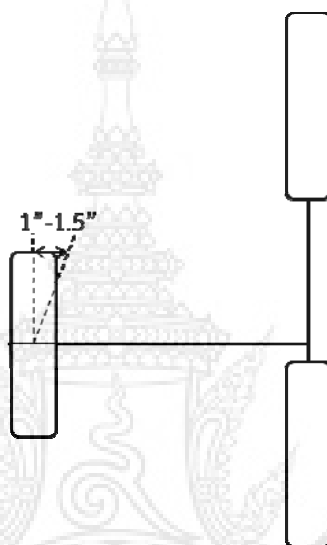
ตำแหน่งการวางของล้อตัวรถพ่วงข้าง ในกรณีที่ล้อของตัวรถพ่วงข้างวางยื่นเลยไปในด้านหน้าของล้อหลังรถจักรยานยนต์ (Lead +) จะส่งผลทำให้เสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างเพิ่มขึ้น ความสามารถในการควบคุมรถก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ในการใช้งานจริงมีข้อเสียคือ มีการสึกหรอของยางที่มากกว่าปกติ ในส่วนของกรณีที่ล้อของตัวรถพ่วงข้างวางยื่นเลยไปด้านหลังของล้อหลังรถจักรยานยนต์ (Lead -) จะส่งผลทำให้เสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างนั้นลดลง ความสามารถในการควบคุมรถก็ลดน้อยลงเช่นกันตำแหน่งการวางของล้อตัวรถพ่วงข้างดังรูป 2.10



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งการวางของล้อตัวรถพ่วงข้าง (ก) Lead (+) (ข) Lead (-) [7]

2.2.6 การปรับมุมล้อตัวรถพ่วงข้าง

การปรับมุมล้อตัวรถพ่วงข้าง แรงที่เกิดที่ล้อของตัวรถพ่วงข้าง และความกว้างของฐานล้อ จะส่งผลให้เกิดแรงต้านที่มือผู้ขับขี่ และจะเกิดโมเมนต์เชิงมุม เมื่อเริ่มขับรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้าง จะเห็นได้ว่าล้อหน้าจะถูกดึงไปทางด้านซ้าย เมื่อมีน้ำหนักในตัวพ่วงจะส่งผลให้รถพยายามหมุนไปทางด้านซ้ายจะทำให้ผู้ขับขี่เกิดความเมื่อยล้า และไม่สามารถขับขี่ได้เป็นเวลานาน สามารถแก้ไขพฤติกรรมนี้ได้โดย การปรับมุมโทร-อินของล้อรถพ่วงข้าง ทำให้เกิดการชดเชยไปทางด้านขวา ระยะที่ใช้ประมาณ 1-1.5 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การปรับมุมล้อตัวรถพ่วงข้าง [7]

กำหนดให้

$CG_{ตามขวาง}$	คือ จุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวขวาง[m]
D	คือ ความกว้างของฐานล้อ[m]
R	คือ รัศมีโค้ง [m]
F_c	คือ แรงหนีศูนย์กลาง [N]
M	คือ มวล [kg]
V	คือ ความเร็ว [m/s]
W_{RL}	คือ น้ำหนักลงที่ล้อหลังซ้าย [N]
W_{RR}	คือ น้ำหนักลงที่ล้อหลังขวา [N]
W_{Total}	คือ น้ำหนักรวมลงทั้งหมด [N]
θ	คือ มุมที่ได้จากการพลิกรถ [deg]

2.3 โหลดเซลล์ (Load cell)

โหลดเซลล์ คือ เซนเซอร์ที่สามารถแปลงค่าแรงกด หรือแรงดึง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ เหมาะสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน (Mechanical Properties of Parts) โหลดเซลล์ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ การชั่งน้ำหนัก การทดสอบแรงกดของชิ้นงาน ใช้สำหรับงานทางด้านวัสดุ โลหะ ชิ้นส่วนรถยนต์ วิศวกรรมโยธา ทดสอบคอนกรีต ทดสอบไม้ เป็นต้น

2.3.1 โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge Load cell) หลักการของโหลดเซลล์ ประเภทนี้ก็คือ เมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ความเครียด (Strain) จะเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้าในสัดส่วนโดยตรงกับแรงที่มากระทำ ปกติแล้วมักใช้ทั้งหมด 4 ตัว



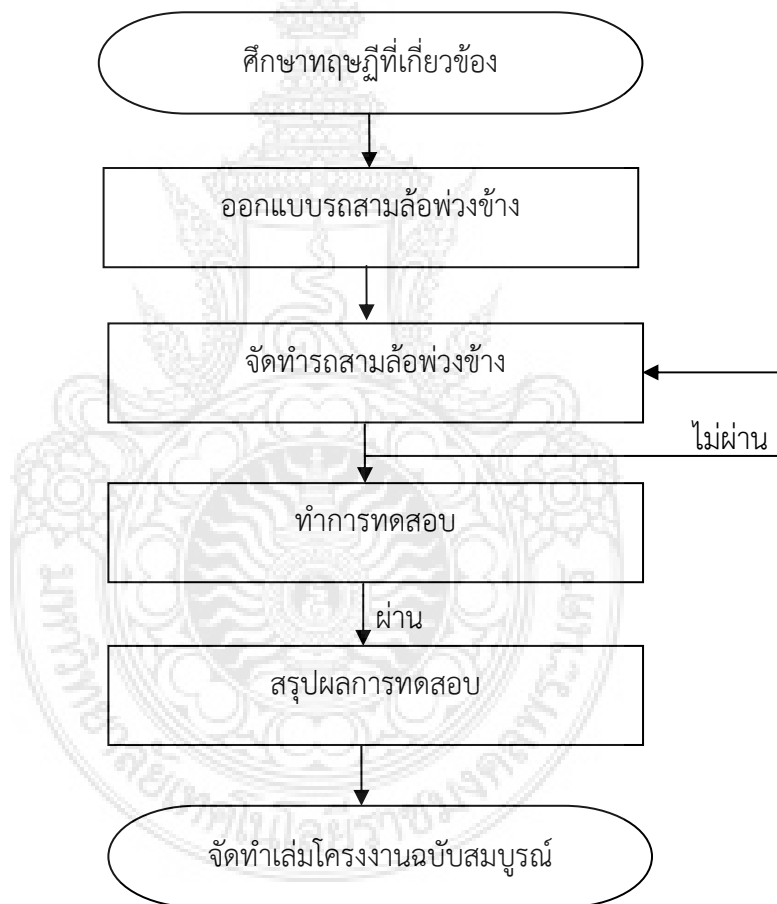
รูปที่ 2.12 โหลดเซลล์

(วงจร Wheatstone Bridge Circuit) ในการวัดโดยเกจตัวต้านทานทั้งสี่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อใช้แปลงแรงที่กระทำกับตัวของมันไม่ว่าจะเป็นแรงกดหรือแรงดึงส่ง สัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีหน่วยเป็น mV/V หมายความว่า ถ้าจ่ายแรงดัน 10 V ให้กับ Load cell ที่มี Spec. 2 mV/V ที่ Full load สมมุติว่าน้ำหนักเป็น 5 กิโลกรัมดังนั้นเมื่อมีแรงกระทำต่อ Load cell ที่น้ำหนัก Full load สัญญาณที่จะได้ก็จะได้เท่ากับ 50 mV จึงต้องมีภาคขยายเพื่อให้ได้ค่าออกมาเป็น V สมมุติว่าแรงทางกลศาสตร์ที่กระทำต่อวัสดุโครงสร้างดังกล่าวมีค่าเท่ากับ F ซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) และพื้นที่หน้าตัดของวัสดุดังกล่าวมีค่าเท่ากับ A มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

บทที่ 3

การออกแบบและการคำนวณ

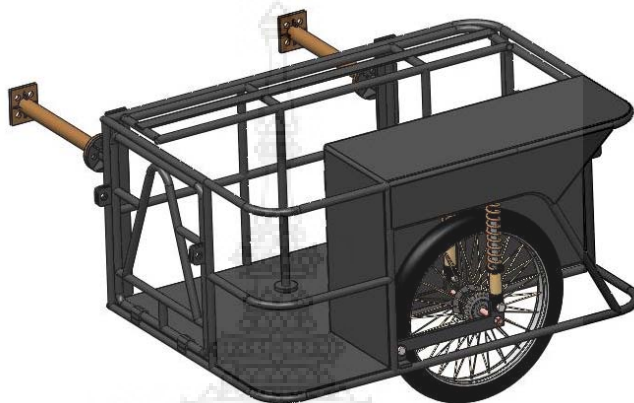
การจัดทำโครงการครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษารถสามล้อพ่วงข้างและศึกษาเสถียรภาพของรถ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนการลงมือปฏิบัติและทดสอบ อีกทั้งเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบรถสามล้อพ่วงข้าง

การออกแบบรถสามล้อพ่วงข้างมีความจำเป็นต้องออกแบบตรงส่วนพ่วงข้างให้สามารถปรับขนาดได้เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานรถสามล้อพ่วงข้างชนิดต่างๆ ที่มีในปัจจุบันและในการทดสอบต้องวางมวลงน้ำหนักในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ผลการทดสอบสะท้อนการใช้งานจริง สำหรับการออกแบบรถสามล้อพ่วงข้างแสดงดังรูปที่ 3.2



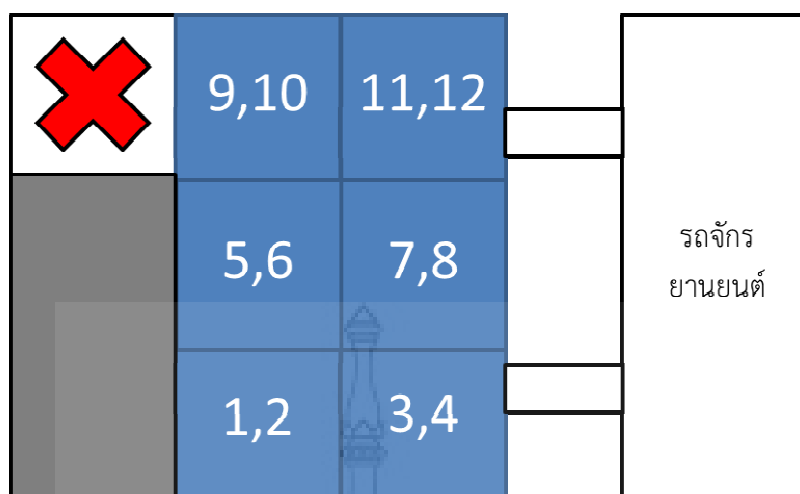
รูปที่ 3.2 การออกแบบรถสามล้อพ่วงข้าง

3.2 การออกแบบการวางมวลง

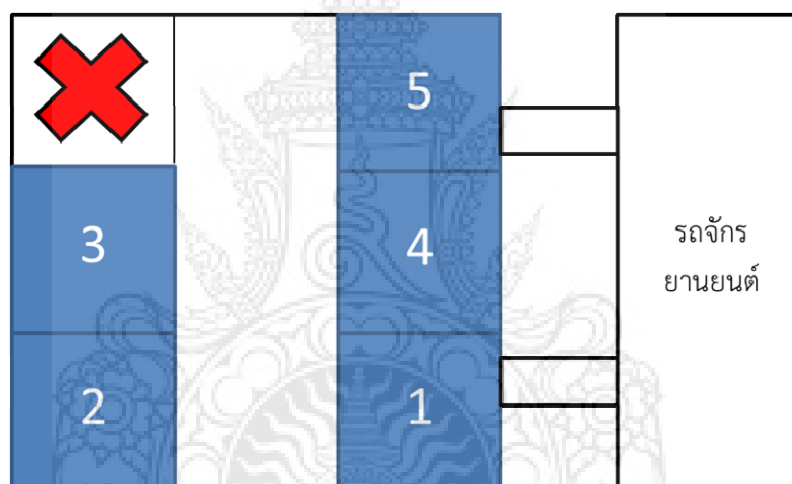
การออกแบบการวางมวลงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง เนื่องจากการวางมวลงแบบต่างๆ สามารถสะท้อนการใช้งานจริงได้ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับการออกแบบการวางมวลงในโครงการนี้ ถูกออกแบบไว้ 2 แบบ คือ การวางมวลงในเชิงพาณิชย์ และการวางมวลงโดยสาร สำหรับการออกแบบการวางมวลงทั้ง 2 แบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การวางมวลงในเชิงพาณิชย์ ออกแบบการวางมวลงโดยใช้กล่องกระดาษบรรจุขวดใส่น้ำมีปริมาตรขวดละ 640 ml จำนวน 12 ขวด/กล่อง รวมทั้งสิ้นมีมวลง 15 kg ในการทดสอบได้มีการออกแบบการวางกล่องให้เต็มพื้นที่บรรทุก โดยมีตำแหน่งการวางกล่องซ้อนกันสองชั้นรวมทั้งสิ้น 12 กล่อง ตามหมายเลข 1 ถึง 12 การออกแบบการวางมวลงเชิงพาณิชย์แสดงดังรูปที่ 3.3

3.2.2 การวางมวลงโดยสาร กระทำโดยการวางหุ่นจำลอง แทนการโดยสารจริง โดยหุ่นดังกล่าวถูกจำลองสรีระจากสรีระของเด็กไทยอายุประมาณ 9-10 ปี มีมวลง 40 kg/ตัว จำนวนหุ่นจำลองทั้งสิ้น 5 ตัว สำหรับการจำลองการโดยสารด้วยหุ่นจำลองนี้พิจารณาถึงการใช้งานจริงของการโดยสารของกลุ่มเด็กนักเรียน ในการทดสอบได้มีการออกแบบการวางหุ่นเป็น 2, 4 และ 5 ตัว โดยการวางหุ่น 2 ตัว วางตามหมายเลข 1 และ 2 ในการวางหุ่น 4 ตัว วางตามหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 และการวางหุ่น 5 ตัว วางตามหมายเลข 1, 2, 3, 4 และ 5 การออกแบบการวางมวลงโดยสารแสดงดังรูปที่ 3.4



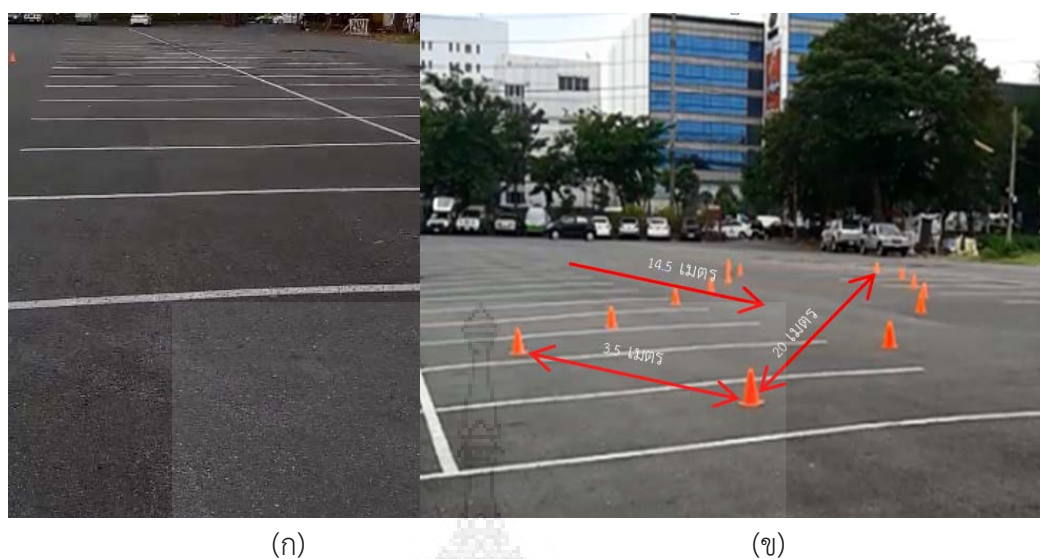
รูปที่ 3.3 การออกแบบการวางมวลในเชิงพาณิชย์



รูปที่ 3.4 การออกแบบการวางมวลโดยसार

3.3 การออกแบบสนามสำหรับการทดสอบ

ก่อนการทดสอบคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการออกแบบสนามเพื่อการทดสอบ โดยการจำลองสนามทั้งทางตรง และทางโค้งให้ใกล้เคียงมาตรฐานมากที่สุดกับมาตรฐานของถนนที่ใช้ในประเทศไทย โดยเลือกใช้เกณฑ์การสร้างทางเชื่อมเข้าออกทางหลวงแผ่นดินของกรมทางหลวง [6] ซึ่งได้กำหนดหลักเกณฑ์การอนุญาตทางเชื่อมเข้าออกทางหลวงแผ่นดินทั่วไป ดังต่อไปนี้ คือ ทางเชื่อมใกล้สะพานที่อยู่ในเมืองให้ระยะจากขอบทางเชื่อมด้านใกล้สะพานห่างจากต้นถึงปลายโค้งไม่น้อยกว่า 20 เมตร ความกว้างช่องทางละ 3.50 เมตร เกาะกลางเป็นร่อง ไหล่ทางกว้างข้างละ 1.50-2.50 เมตร ซึ่งถนนที่จำลองขึ้นนั้นสามารถใช้ในการทดสอบเพื่อชีวิตค่าเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้างได้เป็นอย่างดี การออกแบบสนามสำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การออกแบบสนามเพื่อการทดสอบ (ก) ทางตรง (ข) ทางโค้ง

3.4 การออกแบบการทดสอบและเงื่อนไขการทดสอบ

การออกแบบการทดสอบ มีทั้งลักษณะการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก และแบบบรรทุก ในส่วนการออกแบบการทดสอบแบบบรรทุกแบ่งออกเป็นทดสอบการโดยสารและการบรรทุกเชิงพาณิชย์สามารถแบ่งเป็นการทดสอบ 4 ลักษณะ และมีเงื่อนไขการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 การทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก เป็นการทดสอบเสถียรภาพของรถในรูปแบบถนนที่มีทั้งทางตรงและทางโค้งโดยในตรงให้มีการทดสอบการเบรก 3 รายการคือ การเบรกเฉพาะล้อหน้า การเบรกเฉพาะล้อหลัง และการเบรกพร้อมกัน ส่วนในทางโค้งไม่มีการทดสอบการเบรก อย่างไรก็ตามมุมหักเลี้ยว ค่าแรงต้านที่มือ ค่ามุมกระดก มุมส่าย และค่าการลื่นไถลด้านข้าง ถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าพฤติกรรมเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้าง ภายใต้การปรับระยะระหว่างล้อ ที่ 1.1, 1.3 และ 1.5 m ตามลำดับ

3.3.2 การทดสอบการบรรทุกแบบโดยสาร การทดสอบนี้มีการทดสอบคล้ายคลึงกับการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก หากเพียงทำการเพิ่มเติมการบรรทุกแบบการจำลองการโดยสารของคนในรถพ่วงข้าง โดยการทดสอบใช้หุ่นจำลองตัวคนตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และมีเงื่อนไขการทดสอบ 3 แบบคือ วางมวลของหุ่นจำลองจำนวน 2 ตัว, 4 ตัว และ 5 ตัว (ตามรูปที่ 3.4) ตามลำดับ

3.3.3 การทดสอบการบรรทุกเชิงพาณิชย์ การทดสอบลักษณะนี้ใช้การทดสอบลักษณะเดียวกันกับการทดสอบการบรรทุกแบบโดยสาร (ตามรูปที่ 3.3) เพียงแต่การทดสอบนี้พิจารณาเพียงการบรรทุกแบบเต็มพื้นที่ว่างของพ่วงข้าง อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้ถูกนำมาประยุกต์กับการทดสอบสุดท้ายเพื่อสะท้อนการใช้งานจริงที่มีอยู่ในประเทศไทย

3.3.4 การทดสอบแบบบรรทุกเชิงพาณิชย์ (ชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง) การทดสอบลักษณะนี้มีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่งต่อการใช้งานของรถสามล้อพ่วงข้าง เนื่องจากการขับขี่จริงมีการขับขี่รถผ่านโค้ง และอาจมีความจำเป็นต้องชะลอความเร็ว โดยจำลองการชะลอความเร็วด้วยการเบรกเฉพาะล้อ

หน้า การเบรกเฉพาะล้อหลัง และการเบรกพร้อมกันสำหรับเงื่อนไขการทดสอบทั้ง 4 แสดงดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก

รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรม การเบรก	ระยะ กว้าง (m)	มุมหัก เลี้ยว	แรงดันที่มือ (N)		Pitch	yaw	sideslip angle	
						ซ้าย	ขวา				
ไม่มีการบรรทุก	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	●	●	●	●	●	●	
				1.3							
				1.5							
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	●	●	●	●	●	●	●
				1.3							
				1.5							
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	●	●	●	●	●	●	●
				1.3							
				1.5							
		ทางโค้ง	ไม่มีการเบรก	1.1	●	●	●	●	●	●	
				1.3							
				1.5							

หมายเหตุ ● หมายถึง สิ่งที่ต้องพิจารณาในการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดสอบการบรรทุกแบบโดยสาร

รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรม การเบรก	ระยะ กว้าง (m)	มุมหัก เลี้ยว	แรงดันที่มือ (N)		Pitch	yaw	sideslip angle	
						ซ้าย	ขวา				
โดยสาร 2 คน 4 คน และ 5 คน	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	●	●	●	●	●	●	
				1.3							
				1.5							
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	●	●	●	●	●	●	●
				1.3							
				1.5							
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	●	●	●	●	●	●	●
				1.3							
				1.5							
		ทางโค้ง	ไม่มีการเบรก	1.1	●	●	●	●	●	●	
				1.3							
				1.5							

ตารางที่ 3.3 เงื่อนไขการทดสอบแบบบรรทุกเชิงพาณิชย์

รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรม การเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหัก เลี้ยว	แรงดันที่มือ (N)		Pitch	yaw	sideslip angle	
						ซ้าย	ขวา				
ขนส่งเชิงพาณิชย์	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	●	●	●	●	●	●	
				1.3							
				1.5							
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	●	●	●	●	●	●	●
				1.3							
				1.5							
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	●	●	●	●	●	●	●
				1.3							
				1.5							
		ทางโค้ง	ไม่มีการเบรก	1.1	●	●	●	●	●	●	
				1.3							
				1.5							

ตารางที่ 3.4 การทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ (กรณีชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง)

รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรม การเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหัก เลี้ยว	แรงดันที่มือ (N)		Pitch	Yaw	sideslip angle
						ซ้าย	ขวา			
ขนส่งเชิงพาณิชย์	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	●	●	●	●	●	●
			เฉพาะเบรกหลัง							
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน							

3.5 การเตรียมการทดสอบ

การเตรียมการทดสอบนี้ เริ่มต้นจากการนำรถจักรยานยนต์ มาทำการติดตั้งหน้าแปลนจำนวน 2 จุด คือ บริเวณต่ำกว่าชุดตลับลูกปืนของชุดบังคับเลี้ยวและบริเวณจุดยึดมือจับด้านหลังฝั่งซ้ายตามรูปที่ 3.6 หลังจากนั้นทำการยึดติดตัวรถจักรยานยนต์เข้ากับตัวรถพ่วงข้างซึ่งมีทั้งหมด 3 ระยะ คือ 1.1, 1.3 และ 1.5 m ตามที่กล่าวมาแล้วในเงื่อนไขการทดสอบ เพื่อศึกษาผลของเสถียรภาพที่มีผลจากการเปลี่ยนระยะความกว้างของล้อ การติดตั้งหน้าแปลนเข้ากับรถจักรยานยนต์แสดงดังรูปที่ 3.7 นอกจากนี้การเตรียมการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 การติดตั้งหน้าแปลน



รูปที่ 3.7 การติดตั้งหน้าแปลนเข้ากับรถจักรยานยนต์

3.5.1 การชั่งน้ำหนักลงเพลา

การชั่งน้ำหนักลงเพลาหน้า และเพลาท้ายดังรูปที่ 3.8 ในรูปแบบที่ไม่มีการบรรทุก ในรูปแบบมีการบรรทุกแบบโดยสารที่ 2, 4, และ 5 คน และในรูปแบบการบรรทุกเชิงพาณิชย์เต็มพื้นที่ ภายใต้การปรับระยะระหว่างล้อ ที่ 1.1, 1.3 และ 1.5 m ตามลำดับ ด้วยเครื่องมือชั่งน้ำหนักรุ่น TXI-300 เพื่อใช้ในการคำนวณในตารางที่ 3.5



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.8 การชั่งน้ำหนักลงเพลา (ก) เพลาหน้า (ข) เพลาท้าย

3.5.2 การทดสอบการพลิกรถ

การทดสอบการพลิกรถในรูปแบบที่ไม่มีการบรรทุกดังรูปที่ 3.9 ภายใต้การปรับระยะระหว่างล้อ ที่ 1.1, 1.3 และ 1.5 m ตามลำดับเพื่อนำมุมที่ได้จากการพลิกไปคำนวณหาตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางในตารางที่ ด้วยเครื่องทดสอบจุดศูนย์กลางมวล



รูปที่ 3.9 การทดสอบการพลิกรถ

3.5.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมเลี้ยว

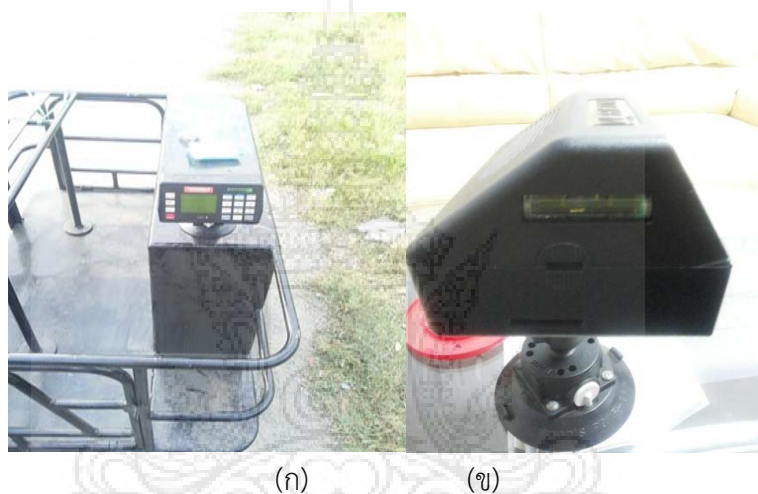
การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมเลี้ยวเป็นสิ่งจำเป็นอีกประการหนึ่งในการพิจารณาเสถียรภาพของรถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงข้าง โดยมุมหักเลี้ยวใช้ในการพิจารณามุมลื่นไถลด้านข้าง (sideslip angle) อย่างไรก็ตามมุมลื่นไถลด้านข้างของรถจักรยานยนต์มีอัตราการเปลี่ยนแปลง 1 : 1 ซึ่งมีความแตกต่างกับรถยนต์ เนื่องจากการเปลี่ยนมุมล้อของรถจักรยานยนต์ไม่มีอัตราทด ดังนั้นมุมลื่นไถลด้านข้างของรถจักรยานยนต์จึงมีค่าเท่ากับมุมหักเลี้ยว การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมหักเลี้ยวดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.10 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมหักเลี้ยว

3.5.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมกระดกและมุมส่าย

เครื่องมือวัดมุมกระดกและมุมส่าย (VC 4000DAQ) ถูกติดตั้งบริเวณด้านส่วนหน้าของตัวรถพวงข้าง ดังรูปที่ 3.10 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลพฤติกรรมมุมกระดก (Pitch angle) และพฤติกรรมมุมส่าย (Yaw angle) ที่เกิดขึ้นในการทดสอบรูปแบบต่างๆ เป็นองค์ประกอบซึ่งใช้ในการชี้วัดเสถียรภาพได้อย่างดีเยี่ยม อย่างไรก็ตามในการทดสอบต้องทำการปรับตั้งระดับน้ำทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลถูกต้องแม่นยำมากที่สุด ยิ่งไปกว่านั้นเครื่องมือดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบความเร็วของรถจักรยานยนต์สามล้อพวงข้างขณะทดสอบด้วยตำแหน่งดาวเทียม (GPS) ได้อีกด้วยโดยความถี่ของการเก็บข้อมูลที่ใช้งานที่เหมาะสมของการทดสอบอยู่ที่ 10 Hz (ตามคู่มือใช้งาน)



รูปที่ 3.11 การติดตั้งเครื่องมือวัดมุมกระดกและมุมส่าย (VC 4000 DAQ)

(ก) ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ (ข) การปรับตั้งระดับน้ำ

3.5.4 การติดตั้งเครื่องมือวัดแรงต้านที่มือ

เครื่องมือวัดแรงต้านที่มือทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้คือ โหลดเซลล์แบบสเตรนเกจ (Strain Gauge Load cell) ที่สามารถแปลงค่าแรงต้านที่มือที่อยู่ในรูปของการสัญญาณทางไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม โดยโหลดเซลล์แบบสเตรนเกจถูกนำมาติดตั้งที่มือจับบังคับเลี้ยวทั้งสองข้างของรถจักรยานยนต์พวงข้างเพื่อเก็บข้อมูลแรงต้านที่มือทั้งสองข้างสำหรับนำไปพิจารณาเปรียบถึงพฤติกรรมขณะขับขี่ในการทดสอบรูปแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 การติดตั้งเครื่องมือวัดแรงต้านที่มือซ้ายและมือขวา

3.5.5 การติดตั้งกล่องบันทึกภาพยนตร์ (VDO)

กล่องบันทึกภาพยนตร์ถูกใช้เพื่อการประกอบการพิจารณาพฤติกรรมของผู้ขับขี่ มุมหักเลี้ยวและความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ โดยกล่องบันทึกภาพยนตร์มีจำนวนทั้งหมด 2 ตัว กล่องบันทึกพฤติกรรมผู้ขับขี่ ในส่วนของกล่องบันทึกมุมหักเลี้ยวและความเร็วถูกติดตั้งบริเวณมาตรวัดความเร็วของรถจักรยานยนต์แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.13 การติดตั้งกล่องบันทึกภาพยนตร์ (ก) วัดมุมหักเลี้ยว (ข) วัดความเร็ว

3.5 การคำนวณ

3.5.1 การคำนวณหาแรงหนีศูนย์กลางเมื่อรถเลี้ยวโค้ง จากสามการที่ (2.2)

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

กำหนดให้

มวลรวมของรถจักรยานยนต์สามล้อพวงข้างและผู้ขับขี่มีค่า 228 kg (ตามตารางที่ ค.1)

ความเร็วในการทดสอบมีค่า 30 km/hr หรือ 8.3333 m/s

รัศมีโค้งทดสอบมีค่า 14.15 m

$$\text{แทนค่า } F_c = \frac{228 \times 8.3333^2}{14.15} = 1,118.954 \text{ N}$$

ดังนั้นค่า แรงหนีศูนย์กลางเมื่อรถเลี้ยวโค้งมีค่าเท่ากับ 1,118.954 N

3.5.2 การคำนวณตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางถ่วง
จากสมการที่ (2.3)

$$\text{จุดศูนย์กลางถ่วงตามแนวขวาง} = \frac{(\text{น้ำหนักถ่วงล้อหลังซ้าย} - \text{น้ำหนักถ่วงล้อหลังขวา}) \times (\text{ความกว้างฐานล้อ} / 2)}{\text{น้ำหนักรวม}}$$

กำหนดให้

น้ำหนักถ่วงล้อหลังซ้ายมีค่า 372.78 N

น้ำหนักถ่วงล้อหลังขวามีค่า 1,245.85 N

ความกว้างของฐานล้อยมีค่า 1.1 m

น้ำหนักรวมมีค่า 2,305.33 N

แทนค่า

$$\frac{(372.78 - 1,245.85) \times (1.1 / 2)}{2,305.33} = -0.078 \text{ m}$$

ดังนั้นค่าตำแหน่งตามแนวขวางของจุดศูนย์กลางถ่วงมีค่าเท่ากับ -0.078 M

3.5.3 การคำนวณตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางถ่วง

จากสมการที่ (2.4)

$$\text{ตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางถ่วง} = \frac{(\text{ความกว้างฐานล้อ} + \text{จุดศูนย์กลางถ่วงแนวขวาง}) / 2}{\tan \theta}$$

กำหนดให้

ความกว้างของฐานล้อยมีค่า 1.1 m

จุดศูนย์กลางถ่วงแนวขวางมีค่า -0.078 m (ตามตารางที่ ค.2)

มุมที่ได้จากการพลิกถรมมีค่า 38

แทนค่า

$$\frac{(1.1 + (-0.078)) / 2}{\tan 38} = 0.654 \text{ m}$$

ดังนั้นค่าการคำนวณตำแหน่งตามแนวตั้งของจุดศูนย์กลางถ่วงมีค่าเท่ากับ 0.654 m

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

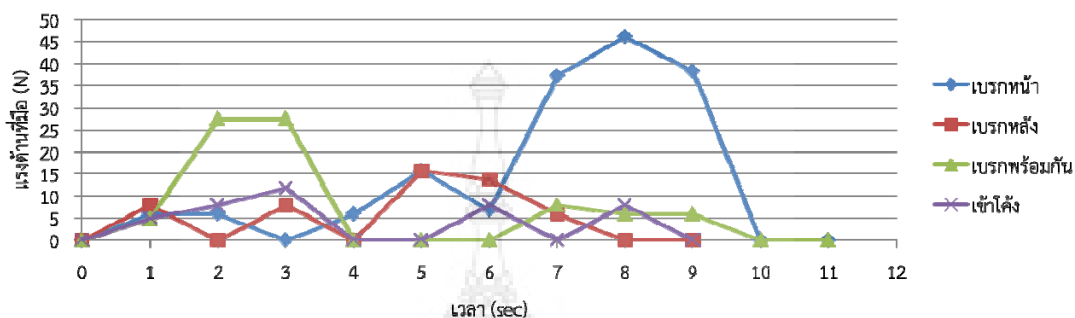
การทดสอบหาเสถียรภาพรถสามล้อพ่วงข้างได้ทำการทดสอบ 2 หัวข้อหลัก คือ การทดสอบแรงต้านที่มือทั้งสองข้างของผู้ขับขี่รถสามล้อพ่วงข้าง และการทดสอบเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้าง ซึ่งเป็นผลมาจากรูปแบบการขับขี่ต่างๆ ทั้งการเบรกเฉพาะเบรกหน้า เฉพาะเบรกหลัง เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน ทางโค้งไม่มีการเบรก การบรรทุกน้ำหนักในรูปแบบต่างๆ และการเปลี่ยนระยะกว้างของพ่วงข้าง ส่วนกรณีเสถียรภาพของรถสามล้อพ่วงข้างชี้วัดได้จาก มุมลื่นไถลด้านข้าง (sideslip angle) มุมส่าย (Yaw angle) และมุมกระดก (Pitch angle)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบไม่มีการบรรทุก

รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรม การเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหักเลี้ยว (deg)	แรงต้านที่มือ (N)		Pitch (deg)	Yaw (deg)	Side slip angle (deg)
						ซ้าย	ขวา			
ไม่มีการบรรทุก	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	10	16.63	52.88	23.1	52.8	10
				1.3	6	12.74	69.65	38.1	65.9	6
				1.5	5	9.53	46.11	22.3	68.7	5
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	7	12.74	68.2	20.7	65.7	7
				1.3	5	10.11	12.75	36.8	61.9	5
				1.5	6	10.5	15.7	14.1	66.8	6
		เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	5	10.11	50.03	28.1	61	5	
			1.3	6	9.53	35.5	28.7	61	6	
			1.5	6	8.58	27.47	17	77.3	6	
		ทางโค้ง (ขวา)	ไม่มีการเบรก	1.1	9	21.9	16.68	31.1	51.9	9
				1.3	6	14.53	12.75	24.1	63.2	6
				1.5	6	12.74	11.77	14.6	69.7	6

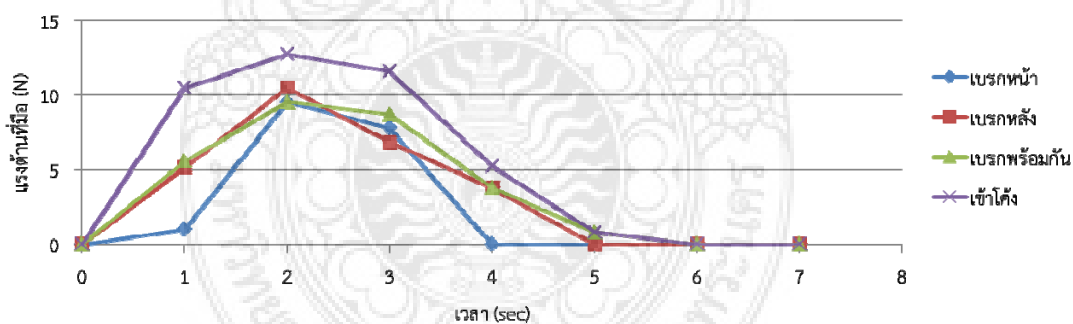
ผลการทดสอบจากตารางที่ 4.1 เผยให้เห็นว่าแรงต้านที่มือเฉพาะด้านขวา มีค่าสูงสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 69.6 N มีค่าน้อยที่สุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 11.77 N ส่วนแรงต้านเฉพาะมือด้านซ้าย มีค่าสูงสุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 21.9 N และมีค่าน้อยที่สุดในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกัน 8.58 N มุมกระดก มีค่าสูงสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 38.1deg/s และมีค่าน้อยที่สุดในกรณีการเบรกเฉพาะเบรกหลัง 14.1 deg/s มุมส่าย มีค่าสูงสุดในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกัน 77.3deg/s และมีค่าน้อยที่สุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 51.9deg/s หากพิจารณา มุมลื่นไถลของล้อด้านข้างพบว่า มีค่าเกิดขึ้นสูงสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 10 deg/s ส่งผลให้

แรงต้านที่มือด้านขวาสูงสุด ส่วนในกรณีเข้าโค้งแบบไม่มีการเบรกแรงต้านสูงสุดเกิดขึ้นที่มือด้านซ้าย และมุมลื่นไถลของล้อด้านข้างมีค่าสูงถึง 9 deg/s เพื่อถ่ายทอดความเข้าใจผู้จัดทำโครงการจึงนำเสนอพฤติกรรมกราฟขึ้นในแต่ละช่วง ตามรูปที่ 4.1 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือขวา และเวลาของการทดสอบแบบไม่มีการเบรกทุกแสดงดังรูปที่ 4.1



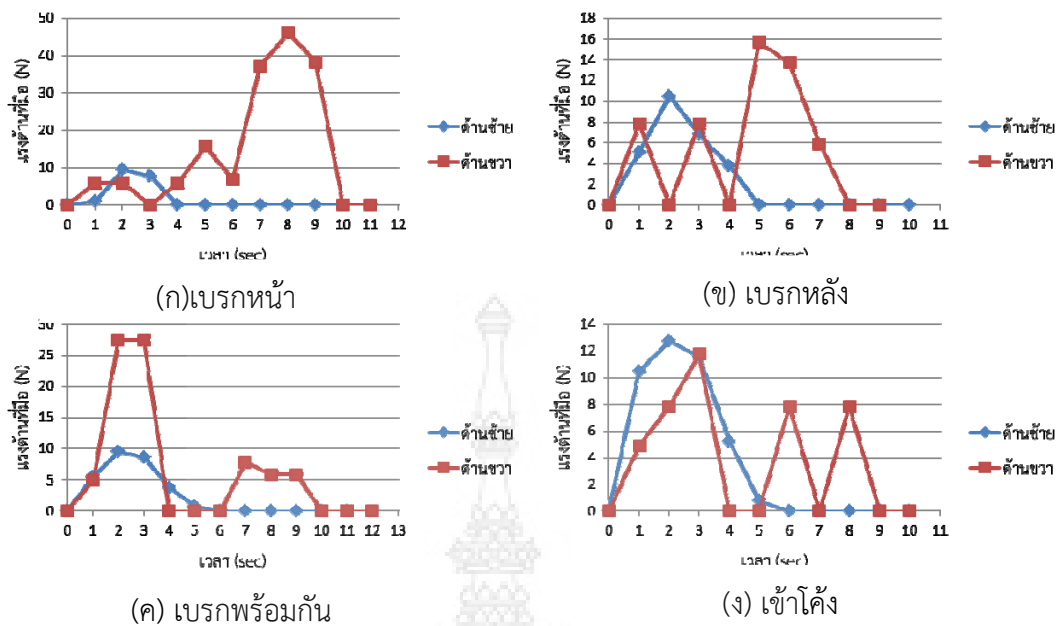
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบไม่มีการเบรกทุก

จากรูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบไม่มีการเบรกทุกแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านที่มือด้านขวาในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้าให้ค่าสูงสุดโดยแรงต้านที่มือด้านขวามีค่าต่ำสุดเมื่อรถเคลื่อนที่ผ่านโค้งอย่างไรก็ตามพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ทราบถึงแรงต้านที่มือขวาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเบรกเกิดขึ้น



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย และเวลาของการทดสอบแบบไม่มีการเบรกทุก

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย จากรูปที่ 4.2 พบว่าความแตกต่างของแรงต้านที่เกิดขึ้นที่มือด้านซ้ายสูงสุดเกิดขึ้นที่การขับผ่านโค้งเนื่องจากการทดสอบผู้ทดสอบจำลองการทดสอบโดยการจำลองโค้งไปทางขวาดังนั้นส่งผลให้พฤติกรรมของแรงต้านที่มือของด้านซ้ายเกิดขึ้นสูงสุดขณะเข้าโค้งแม้ว่าไม่มีการเบรกก็ตาม เนื่องจากผลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง



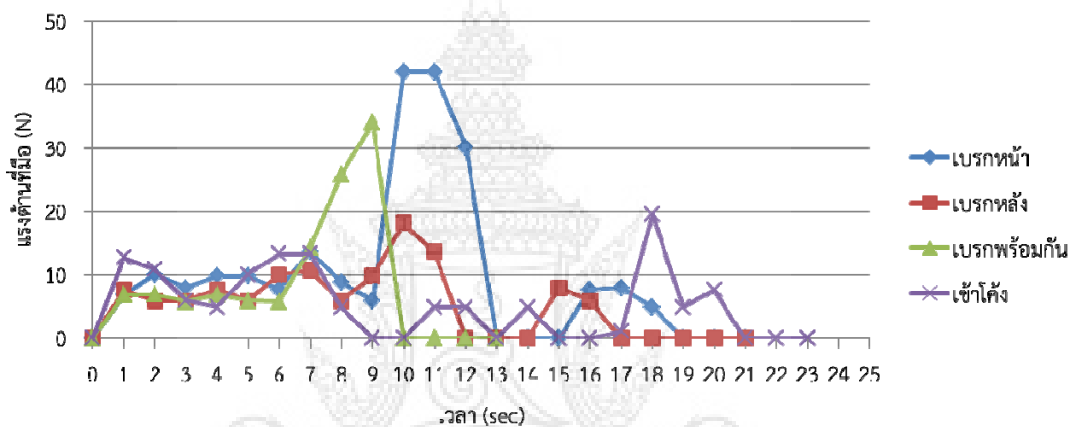
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้าย และมือด้านขวาของการทดสอบแบบไม่มีการบรรทุก

จากรูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้ายและด้านขวา พบว่ารูปที่ 4.3 (ก) การเบรกเฉพาะล้อหน้ารูปที่ 4.3 (ข) การเบรกเฉพาะล้อหลัง และรูปที่ 4.3 (ค) เบรกหน้าและหลังพร้อมกันมีพฤติกรรมเดียวกันคือแรงต้านที่มือด้านขวามีค่ามากกว่ามือด้านซ้ายในทางกลับกันแรงต้านที่มือด้านซ้ายมีค่ามากกว่ามือขวากรณี รูปที่ 4.3 (ง) ทางโค้งไม่มีการเบรกเนื่องจากการทดสอบจำลองการเข้าโค้งไปทางขวา

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบโดยสาร 2 คน

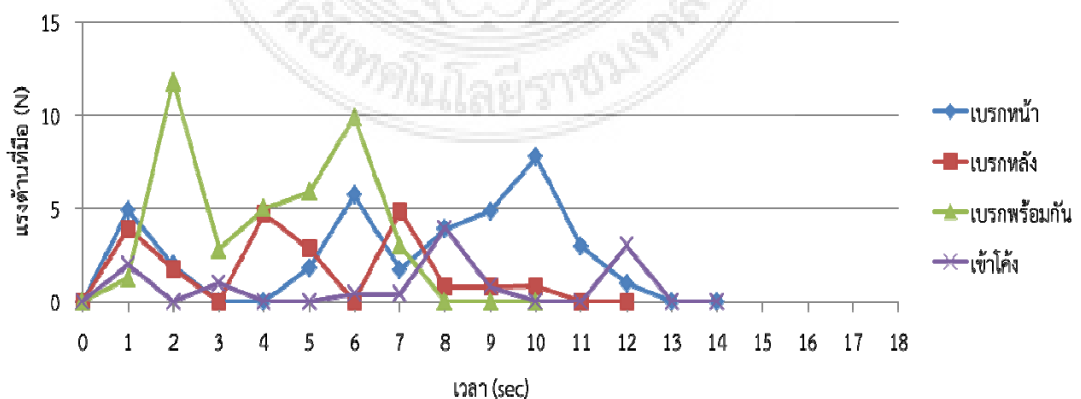
รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรม การเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหักเลี้ยว (deg)	แรงต้านที่มือ (N)		Pitch (deg)	Yaw (deg)	sideslip angle (deg)
						ซ้าย	ขวา			
โดยสาร	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	9	7.84	57.88	18.1	47.8	9
				1.3	7	7.75	42	25.9	49.5	7
				1.5	10	20.7	34.34	10.8	50.8	10
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	8	4.9	22.56	-25.1	44.8	8
				1.3	6	4.85	18.2	-18.2	57.9	6
				1.5	8	11.77	14.72	9.2	-49.6	8
		เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	9	9.81	52.97	20.4	59.9	9	
			1.3	8	11.77	34	31.6	46.3	8	
			1.5	9	15.69	55.92	-12.8	65.3	9	
ทางโค้ง (ขวา)	ไม่มีการเบรก	1.1	8	20.3	8.83	-22.9	-44.9	8		
		1.3	8	21.5	13.3	-29.3	46	8		
		1.5	9	23.54	14.72	-11	57.1	9		

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าแรงต้านที่มือด้านขวามีค่าสูงสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 57.88 N มีค่าน้อยที่สุดเกิดขึ้นในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 8.83 N ส่วนแรงต้านที่มือด้านซ้ายมีค่าสูงสุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 23.54 N มีค่าน้อยที่สุดในกรณีเบรกเฉพาะหลัง 4.58 N มุมกระดกมีค่าสูงสุดที่กรณีเบรกหน้าและหลังพร้อมกัน 31.6 deg/s มีค่าน้อยที่สุดกรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 9.2 deg/s มุมส่าย มีค่าสูงสุดในกรณีเบรกหน้าและหลังพร้อมกัน 65.5 deg/s มีค่าน้อยที่สุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 44.8 deg/s หากพิจารณามุมลื่นไถลของล้อด้านข้างพบว่ามีค่าเกิดขึ้นสูงสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้าส่งผลให้แรงต้านมือขวาสูงสุด ส่วนในกรณีเข้าโค้งแบบไม่มีการเบรกแรงต้านสูงสุดเกิดขึ้นที่มือซ้ายและค่ามุมลื่นไถลของล้อด้านข้างมีค่าสูงถึง 9 deg ภายใต้อัตราความเร็ว ความกว้างของฐานล้อ 1.5 m



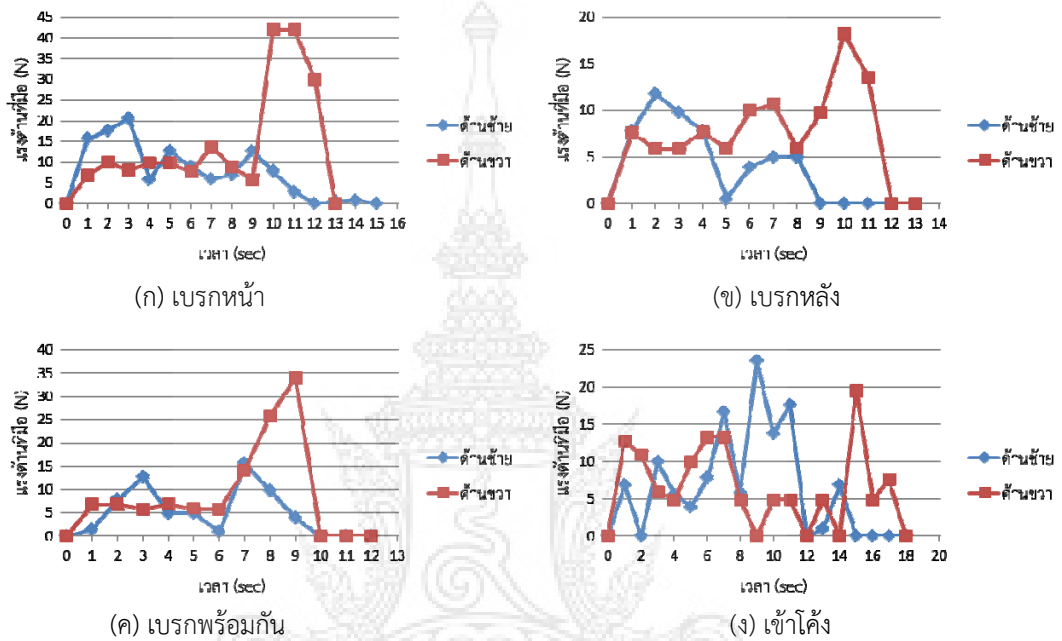
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 2 คน

จากรูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 2 คนแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านที่มือในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้าให้ค่าสูงสุดโดยแรงต้านที่มือขวามีค่าต่ำสุดเมื่อรถเคลื่อนที่ผ่านโค้งอย่างไรก็ตามพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ทราบถึงแรงต้านที่มือด้านขวาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเบรกเกิดขึ้น



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 2 คน

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย จากรูปที่ 4.6 แสดงได้ว่าความแตกต่างของแรงต้านที่เกิดขึ้นด้านซ้ายสูงสุดเกิดขึ้นที่การจับผ่านโค้ง เนื่องจากการทดสอบผู้ทดสอบจำลองการทดสอบ โดยการจำลองโค้งไปทางขวา ดังนั้นส่งผลให้พฤติกรรมของแรงต้านที่มือของด้านซ้ายเกิดขึ้นสูงสุดขณะเข้าโค้งแม้ว่าไม่มีการเบรกก็ตาม เนื่องจากผลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (เหมือนกับไม่มีการเบรกทุก)



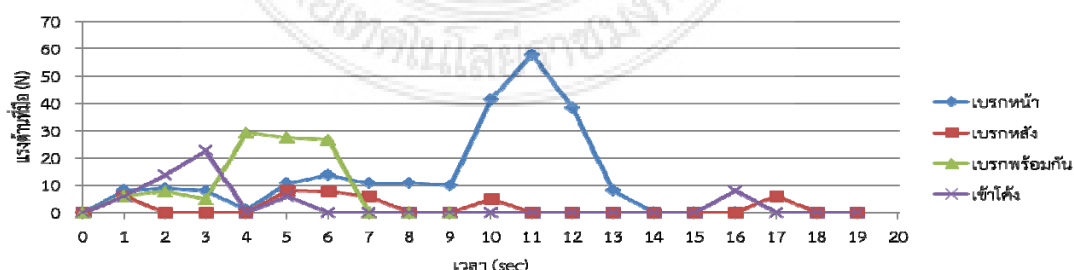
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้ายและด้านขวาของการทดสอบแบบโดยสาร 2 คน

จากรูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแรงต้านระหว่างมือด้านซ้ายและขวา รูปที่ 4.3 (ก) การเบรกเฉพาะล้อหน้า รูปที่ 4.3 (ข) การเบรกเฉพาะล้อหลัง และรูปที่ 4.3 (ค) เบรกหน้าและหลังพร้อมกันมีพฤติกรรมเดียวกัน คือแรงต้านที่มือขวามีค่ามากกว่า ในส่วน รูปที่ 4.3 (ง) เข้าโค้งไม่มีการเบรกแรงต้านที่มือซ้ายมีมากกว่ามือขวา

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบโดยสาร 4 คน

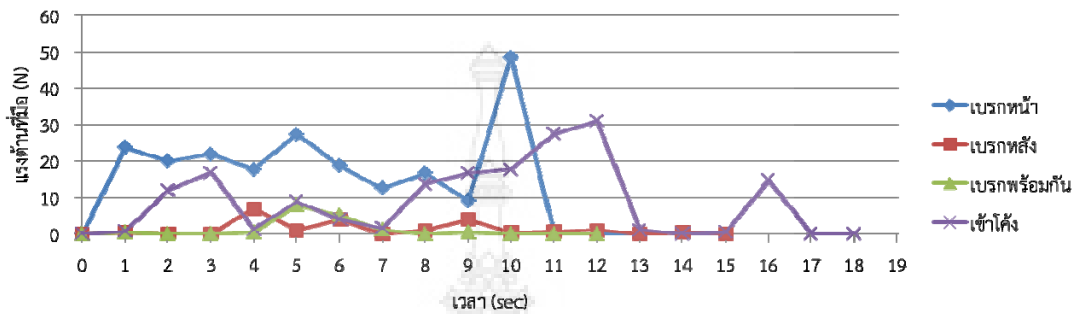
รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรมการเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหักเลี้ยว (deg)	แรงต้านที่มือ (N)		Pitch (deg)	yaw (deg)	sideslip angle (deg)
						ซ้าย	ขวา			
โดยสาร	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	10	5.2	66.71	15.6	46.5	10
				1.3	9	12.75	45.16	-11.3	38.5	9
				1.5	10	48.5	57.88	-3.8	44.9	10
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	8	3	21.58	-14.5	50	8
				1.3	7	4.6	8.83	10.5	51.3	7
				1.5	10	7.84	8	3.7	45.9	10
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	8	4.8	40.22	-9.5	50.1	8
				1.3	8	1.2	14.72	-15.9	49.8	8
				1.5	11	7.84	29.43	7	45.2	11
		ทางโค้ง (ขวา)	ไม่มีการเบรก	1.1	10	12	28.45	-10.7	-48.1	10
				1.3	6	6.86	7.7	-14.2	47	6
				1.5	5	31	22.56	7.5	46.2	5

จากตารางที่ 4.3 เผยให้เห็นได้ว่าแรงต้านที่มือนั้นด้านขวามีค่าสูงสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้าหน้า 66.71 N มีค่าน้อยที่สุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 7.7 N ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้ได้สอดคล้องกับแรงต้านที่มือนั้นด้านขวามีค่าสูงสุดตามตารางที่ 4.2 แรงต้านที่มือนั้นด้านซ้ายมีค่าสูงสุดที่กรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 48.5 N มีค่าน้อยที่สุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 3.7 N มุมกระดกมีค่าสูงสุดที่กรณีเบรกหน้าและหลังพร้อมกัน 15.9 deg/s มีค่าน้อยสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 3.7 deg/s มุมส่ายมีค่ามากสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 51.3 deg/s มีค่าน้อยสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 38.5 deg/s ในกรณีการทดสอบทางโค้งไม่มีการเบรก มุมลื่นไถลของล้อด้านข้างลดลงเมื่อระยะความกว้างของฐานล้อเพิ่มขึ้น



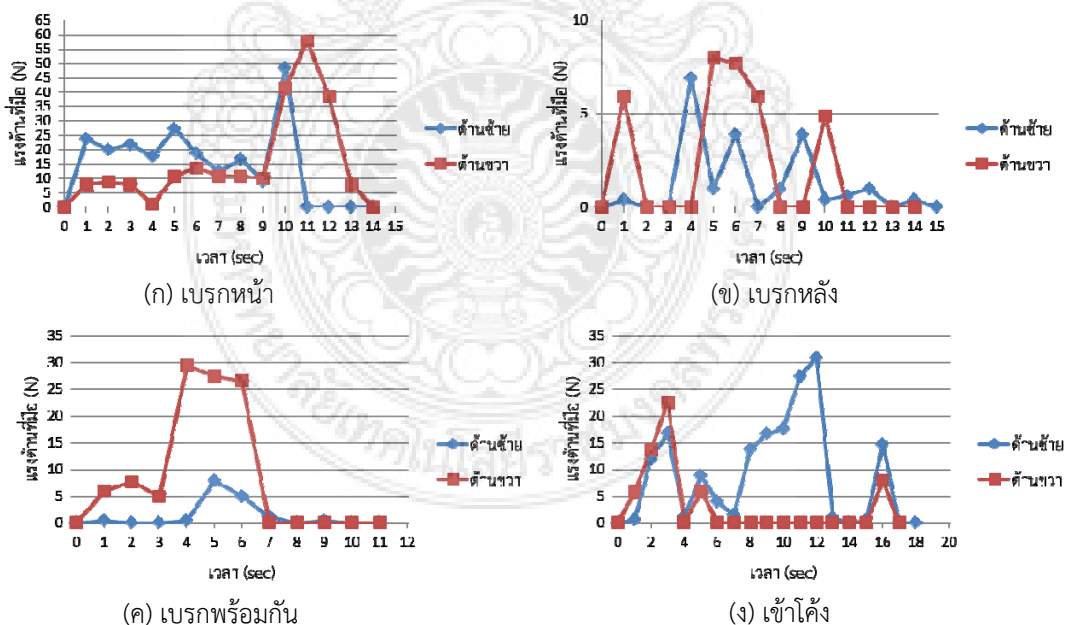
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือนั้นด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 4 คน

จากรูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 4 คน แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านที่มือในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้าให้ค่าสูงสุดโดยแรงต้านที่มือด้านขวามีค่าต่ำสุดกรณีเบรกหลังอย่างไรก็ตามพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ทราบถึงแรงต้านที่มือด้านขวาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเบรกเกิดขึ้น



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 4 คน

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย จากรูปที่ 4.8 พบว่าความแตกต่างของแรงต้านที่เกิดขึ้นที่มือด้านซ้ายสูงสุดเกิดขึ้นแสดงได้ว่าความแตกต่างของแรงต้านที่เกิดขึ้นที่มือด้านซ้ายสูงสุดเกิดขึ้นที่การเบรกหน้าดังนั้นพฤติกรรมของแรงต้านที่มือด้านซ้าย และด้านขวาสอดคล้องกันการทดสอบโดยแรงต้านที่มือด้านขวามีค่ามากกว่าด้านซ้าย



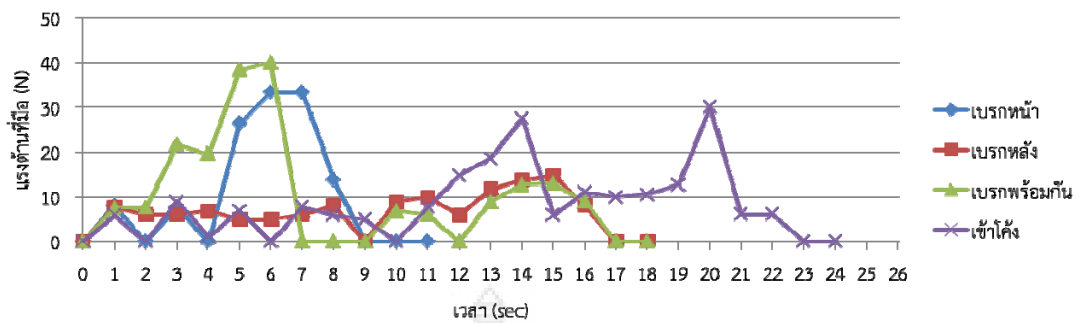
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้าย และด้านขวาของการทดสอบแบบโดยสาร 4 คน

จากรูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแรงต้านระหว่างมือด้านซ้ายและขวา รูปที่ 4.3 (ก) การเบรกเฉพาะล้อหน้า รูปที่ 4.3 (ข) การเบรกเฉพาะล้อหลัง และรูปที่ 4.3 (ค) เบรกหน้า และหลังพร้อมกันมีพฤติกรรมเดียวกัน คือแรงต้านที่มือด้านขวามีค่ามากกว่า รูปที่ 4.3 (ง) ทางโค้งไม่มีการเบรกแรงต้านที่มือด้านซ้ายมีมากกว่ามือด้านขวาเนื่องจากการทดสอบจำลองการเข้าโค้งไปทางขวา

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบโดยสาร 5 คน

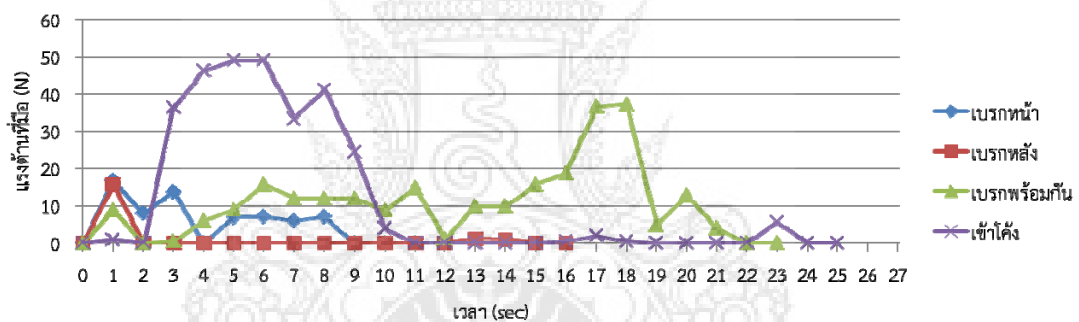
รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรมเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหักเลี้ยว (deg)	แรงต้านที่มือ (N)		Pitch (deg)	Yaw (deg)	Side slip angle (deg)
						ซ้าย	ขวา			
โดยสาร	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	8	6	71.61	6.2	43.5	8
				1.3	7	3.9	29.4	7	44	7
				1.5	10	15.6	33.35	-5.5	-46	10
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	8	5.9	17	5.8	39.4	8
				1.3	8	7.2	21.6	-5.5	39.7	8
				1.5	12	15.6	14.72	4.4	44.9	12
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	9	10	19.5	5.9	32.7	9
				1.3	8	20.6	57.88	7.8	40.7	8
				1.5	9	37.27	40	4.6	36.8	9
		ทางโค้ง (ขวา)	ไม่มีการเบรก	1.1	6	11.7	24.53	-10.1	43	6
				1.3	9	18.69	6	-13.4	40.9	9
				1.5	8	49	30	-7.8	43	8

จากตารางที่ 4.4 สะท้อนให้เห็นว่าแรงต้านที่มือเฉพาะมือด้านขวามีค่ามากที่สุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 71.61 N มีค่าน้อยสุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 6 N ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้ได้สอดคล้องกับตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 แรงต้านที่มือเฉพาะด้านซ้ายมีค่าน้อยสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 6 N มุมกระดกมีค่ามากสุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 13.4 deg/s มีค่าน้อยสุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 4.4 deg/s มุมส่ายเกิดขึ้นมากที่สุดในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกันที่ 47.8deg/s



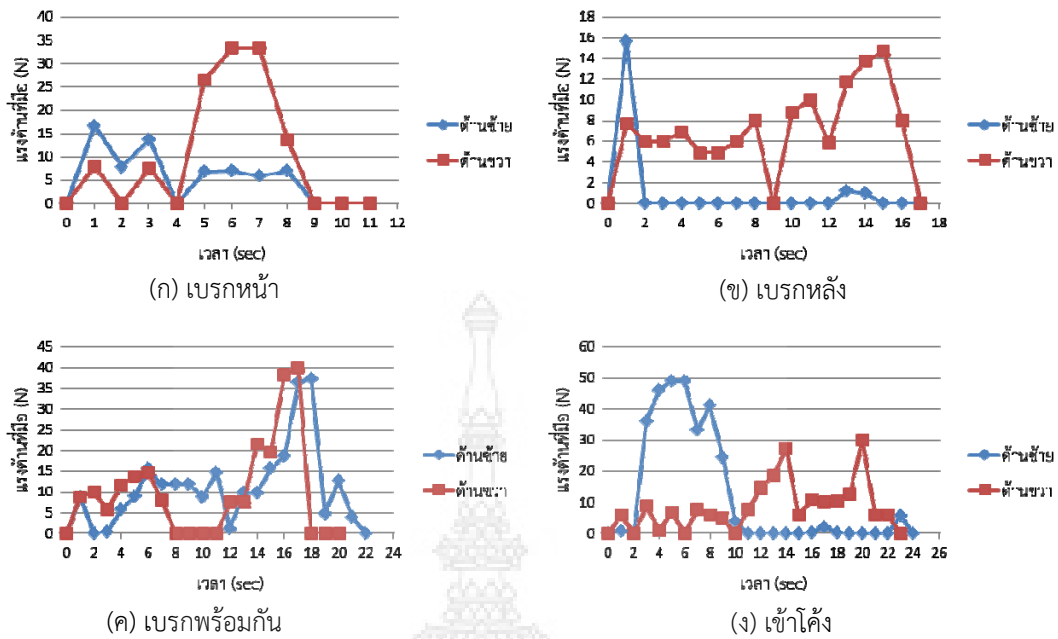
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน

จากรูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านที่มือด้านขวาแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านที่มือในกรณีเบรกพร้อมกันให้ค่าสูงสุดโดยแรงต้านที่มือมีขาค่าต่ำสุดเมื่อทำการเบรกหลังอย่างไรก็ตามพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ทราบถึงแรงต้านที่มือเกิดขึ้นมากหากมีการเบรก



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย และเวลาของการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย จากรูปที่ 4.11 พบว่าความแตกต่างของแรงต้านที่เกิดขึ้นที่มือด้านซ้ายสูงสุดเกิดขึ้นเกิดขึ้นที่การขับผ่านโค้ง เนื่องจากการทดสอบผู้ทดสอบจำลองการทดสอบโดยการจำลองโค้งไปทางขวา ดังนั้นส่งผลให้พฤติกรรมของแรงต้านที่มือของด้านซ้ายเกิดขึ้นสูงสุดขณะเข้าโค้งแม้ว่าไม่มีการเบรกก็ตาม เนื่องจากผลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (เหมือนกับการโดยสาร 2 คน)



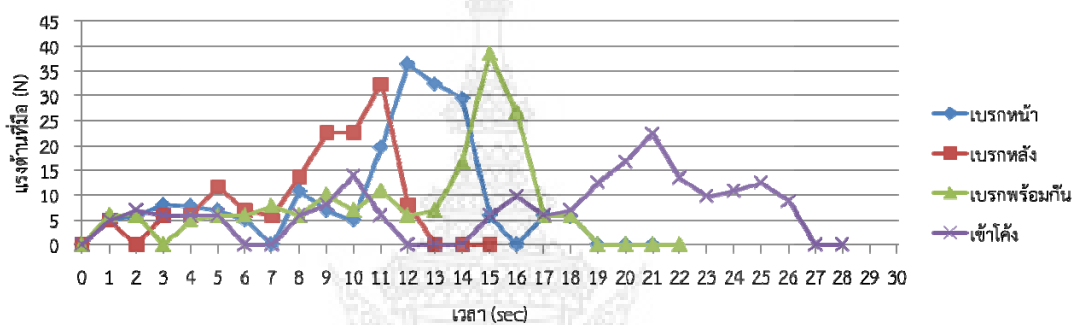
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้าย และด้านขวาของการทดสอบแบบโดยสาร 5 คน

จากรูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแรงต้านระหว่างมือด้านซ้ายและด้านขวา รูปที่ 4.4 (ก) การเบรกเฉพาะล้อหน้า รูปที่ 4.3 (ข) การเบรกเฉพาะล้อหลัง และรูปที่ 4.3 (ค) เบรกหน้า และหลังพร้อมกันมีพฤติกรรมเดียวกัน คือแรงต้านที่มือขวามีค่ามากกว่า รูปที่ 4.3 (ง) ทางโค้งไม่มีการเบรกแรงต้านที่มือซ้ายมีมากกว่ามือด้านขวาเนื่องจากการทดสอบจำลองการเข้าโค้งไปทางขวา

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบขนส่งเชิงพาณิชย์

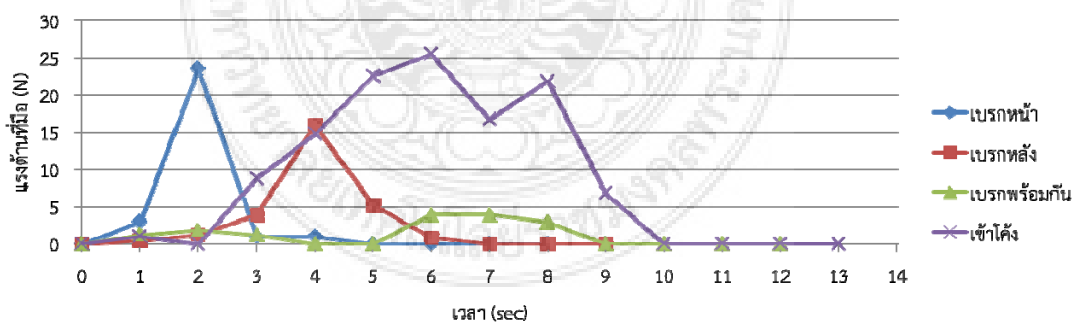
รูปแบบการบรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรมการเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหักเลี้ยว (deg)	แรงต้านที่มือ (N)		Pitch (deg)	Yaw (deg)	Side slip angle (deg)
						ซ้าย	ขวา			
ขนส่งเชิงพาณิชย์	30	ทางตรง	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	8	23.5	36.3	28.8	55	8
				1.3	8	21.58	40.3	-11.7	60.6	8
				1.5	11	22.62	51.99	-9.4	44.2	11
			เฉพาะเบรกหลัง	1.1	7	15.9	32.37	-23.1	54.5	7
				1.3	6	10.9	12.5	-12.1	52.2	6
				1.5	8	21.7	22.56	-4.6	46.6	8
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน	1.1	8	9	38.5	-32.6	56.3	8
				1.3	7	21.29	14	7.4	61	7
				1.5	10	14.71	22.5	-6.6	46.4	10
		ทางโค้ง (ขวา)	ไม่มีการเบรก	1.1	8	25.5	22.3	17.5	52.8	8
				1.3	8	31.3	13.5	-10.6	55.3	8
				1.5	10	24.52	14	-10.8	41.1	10

จากตารางที่ 4.5 เปิดเผยให้เห็นถึงให้เห็นได้ว่าแรงต้านที่มือด้านขวามีค่าสูงสุดที่กรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 51.49 N ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้ได้สอดคล้องกับแรงต้านที่มือด้านขวามีค่าสูงสุดตามตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 แรงต้านที่มือด้านขวามีค่าน้อยสุดที่กรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 12.5 N ส่วนแรงต้านที่มือด้านซ้ายมีค่าสูงสุดในกรณีทางโค้งไม่มีการเบรก 31.3 N ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้ได้สอดคล้องกับแรงต้านที่มือด้านซ้ายมีค่าสูงสุดตามตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 แรงต้านที่มือด้านซ้ายมีค่าน้อยสุดในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกัน 9 N มุมกระดกให้ค่าสูงสุดในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกัน 32.6 deg/s มุมส่ายให้ค่าสูงสุดในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกัน 56.3 deg/s ให้ค่าน้อยที่สุดที่กรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 44.2 deg/s



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์

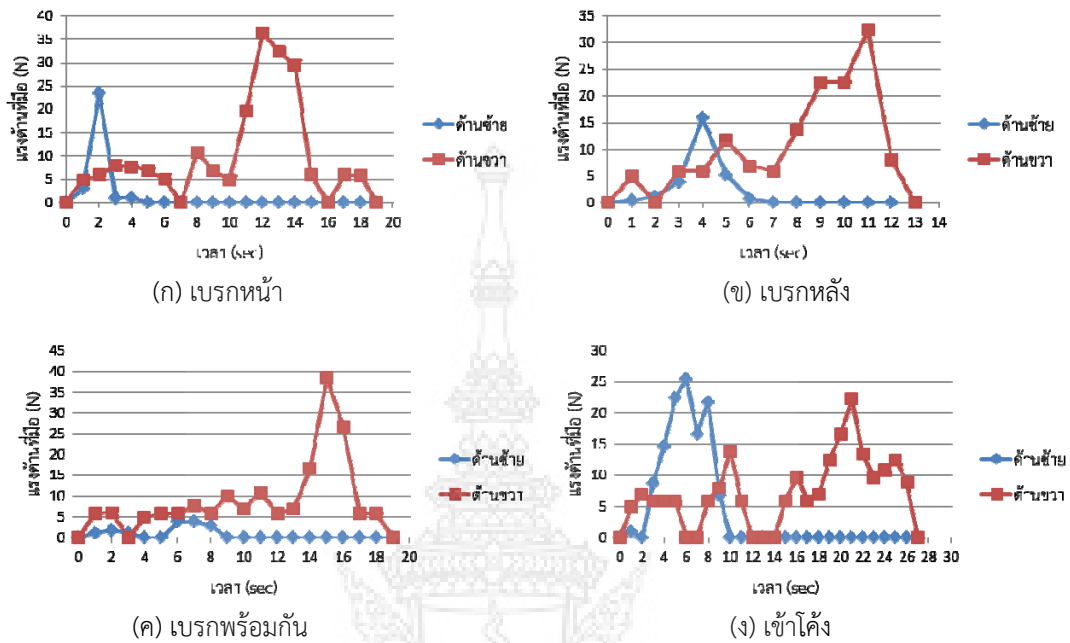
จากรูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวาและเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านที่มือด้านขวา ในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกันให้ค่าสูงสุดโดยแรงต้านที่มือด้านขวามีค่าต่ำสุดเมื่อรถเคลื่อนที่ผ่านโค้งอย่างไรก็ตามพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ทราบถึงแรงต้านที่มือด้านขวาเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเบรกเกิดขึ้น



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย และเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย จากรูปที่ 4.14 พบว่าความแตกต่างของแรงต้านที่เกิดขึ้นที่มือด้านซ้ายสูงสุดเกิดขึ้นเกิดขึ้นที่การขับผ่านโค้ง เนื่องจากการทดสอบผู้ทดสอบจำลองการทดสอบโดยการจำลองโค้งไปทางขวา ดังนั้นส่งผลให้พฤติกรรมของแรงต้านที่มือด้านซ้ายเกิดขึ้นสูงสุด

ขณะเข้าโค้งแม้ว่าไม่มีการเบรกก็ตาม เนื่องจากผลของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (เหมือนกับการโดยสาร 5 คน)



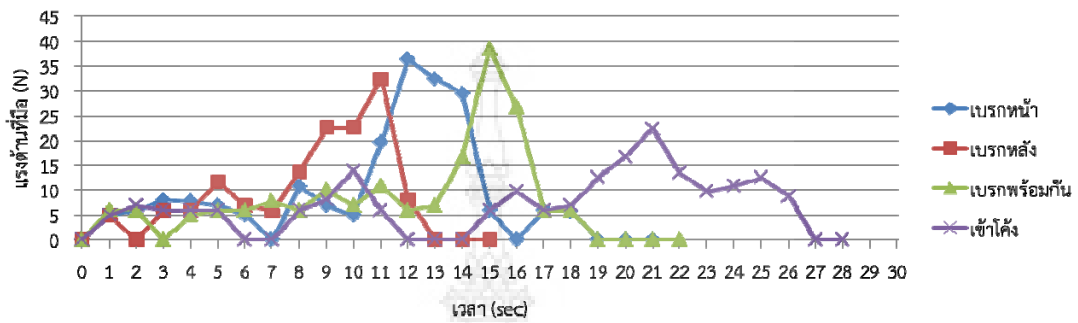
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้าย และด้านขวาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์

จากรูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแรงต้านระหว่างมือด้านซ้ายและขวา รูปที่ 4.3 (ก) การเบรกเฉพาะล้อหน้ารูปที่ 4.3 (ข) การเบรกเฉพาะล้อหลัง และรูปที่ 4.3 (ค) เบรกหน้าและหลังพร้อมกันมีพฤติกรรมเดียวกัน คือแรงต้านที่มือด้านขวามีค่ามากกว่า ส่วนรูปที่ 4.3 (ง) ทางโค้งไม่มีการเบรกแรงต้านที่มือซ้ายมีมากกว่ามือขวาเนื่องจากการทดสอบจำลองการเข้าโค้งไปทางขวา

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบเสถียรภาพของรถแบบขนส่งเชิงพาณิชย์ และชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง

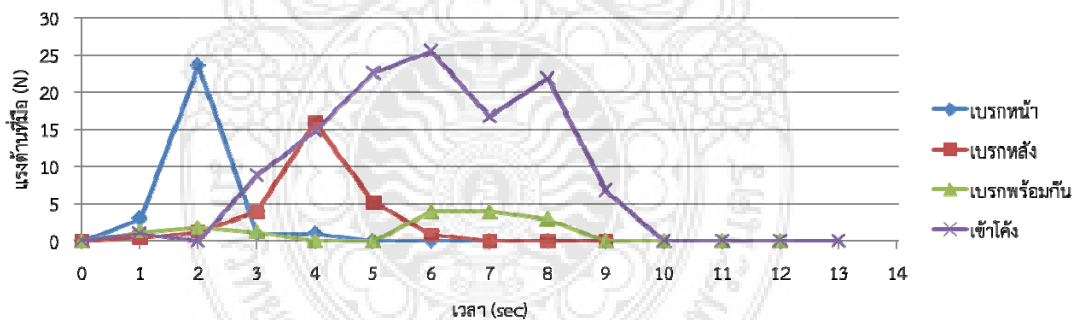
รูปแบบการบรรทุก	ความเร็วในโค้ง (km/hr)	รูปแบบถนน	พฤติกรรมการเบรก	ระยะกว้าง (m)	มุมหักเลี้ยว (deg)	แรงต้านที่มือ (N)		Pitch (deg)	Yaw (deg)	Side slip angle (deg)
						ซ้าย	ขวา			
ขนส่งเชิงพาณิชย์	30	ทางโค้ง (ขวา)	เฉพาะเบรกหน้า	1.1	7	32.3	42.1	13	43.5	7
			เฉพาะเบรกหลัง			38.3	16.6	25.5	-18.5	6
			เบรกหน้าและหลังพร้อมกัน			49	42	-10.8	46	5

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าแรงต้านที่มือทางด้านขวามีค่าสูงสุดในกรณีเบรกหน้า 42.1 N มีค่าน้อยสุดในกรณีเฉพาะเบรกหลัง 16.6 N แรงต้านที่มือด้านซ้ายมีค่าสูงสุดที่กรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกัน 49 N มีค่าน้อยที่สุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหน้า 32.3 N มุมกระดกมีค่าสูงสุดในกรณีเบรกหน้าและหลังพร้อมกัน 46 deg/s มีค่าน้อยที่สุดในกรณีเบรกเฉพาะเบรกหลัง 18.5 deg/s



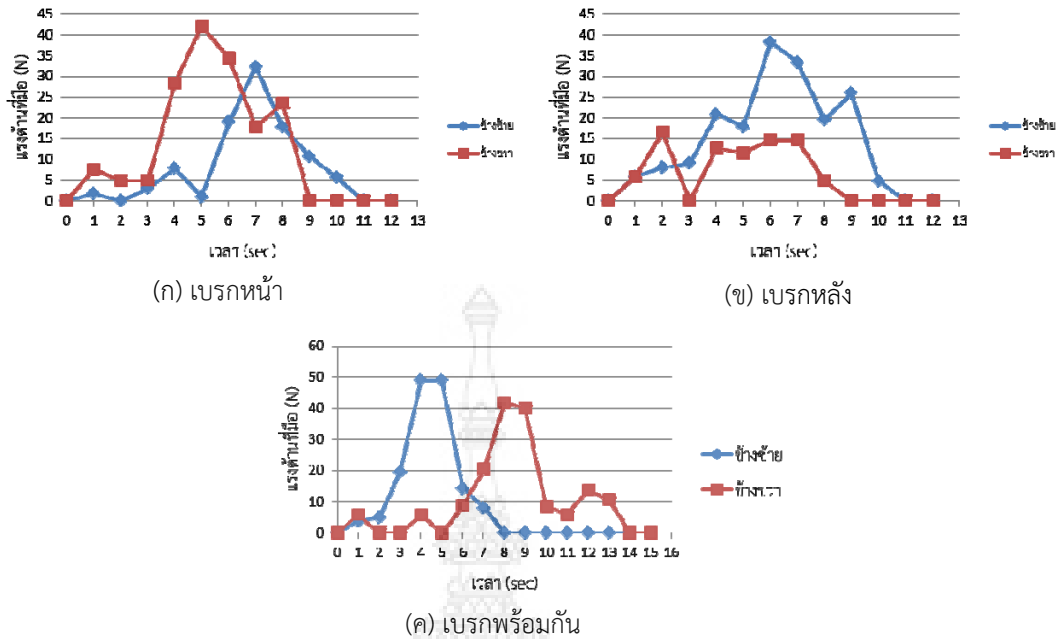
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือขวา และเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ชะลอความเร็วในขณะเข้าโค้ง

จากรูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านขวา และเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ชะลอความเร็วในขณะเข้าโค้ง แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านที่มือด้านขวาในกรณีเบรกหน้าให้ค่าสูงสุดโดยแรงต้านที่มือด้านขวามีค่าต่ำสุดเมื่อทำการเบรกเฉพาะเบรกหลัง



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้ายและเวลาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์ชะลอความเร็วในขณะเข้าโค้ง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านที่มือด้านซ้าย จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของแรงต้านในกรณีเบรกหน้า และหลังพร้อมกันให้ค่าสูงสุดโดยแรงต้านที่มือขวามีค่าต่ำสุดเมื่อทำการเบรกหน้าอย่างไรก็ตามพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ทราบถึงแรงต้านที่เกิดขึ้นหากมีการเบรกพร้อมกัน 49 N



รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบแรงต้านที่มือด้านซ้าย และด้านขวาของการทดสอบแบบเชิงพาณิชย์
ชะลอความเร็วในขณะเข้าโค้ง

จากรูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบพฤติกรรมของแรงต้านระหว่างมือด้านซ้ายและขวา รูปที่ 4.3 (ก) การเบรกเฉพาะล้อหน้าแสดงให้เห็นว่ามือด้านขวามีแรงต้านมากกว่ามือด้านซ้าย รูปที่ 4.3 (ข) เบรกหลังพบว่าแรงต้านที่มือด้านซ้ายมากกว่าแรงต้านที่มือด้านขวาเพราะไม่ได้มีแรงกดที่เบรกหน้าซึ่งอยู่ทางด้านขวาจึงทำให้เกิดแรงต้านที่มือทางด้านขวาน้อยกว่ารูปที่ 4.3 (ค) เบรกพร้อมกันสะท้อนให้เห็นว่าเกิดแรงต้านที่มือซ้ายมากกว่ามือขวา จากการทดสอบได้จำลองโค้งไปทางด้านขวาดังนั้น พฤติกรรมของแรงต้านที่มือด้านซ้ายจึงซับซ้อนมาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงการสรุปผลการศึกษารวมถึงผลการทดสอบ ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงระดับผลความสำเร็จของการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการทดสอบ

5.1.1 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพในกรณีไม่มีการบรรทุกของรถสามล้อพ่วงข้าง

ในกรณีไม่มีการบรรทุก การเพิ่มขึ้นของระยะกว้างฐานล้อส่งผลโดยตรงกับมุมส่าย โดยมีแนวโน้มเพิ่ม ในทางกลับกันมุมลื่นไถลของล้อด้านข้างมีค่าลดลง ดังนั้นพฤติกรรมการทดสอบแบบทางตรง เบรกเฉพาะเบรกหน้า ระยะกว้างฐานล้อ 1.3 m เกิดแรงต้านที่มือด้านขวา และเกิดมุมกระดกสูงสุด ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่เสี่ยงต่อการรักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถ

5.1.2 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพในกรณีโดยสาร

การเพิ่มขึ้นของมวลส่งผลโดยตรงกับแรงต้านที่มือในกรณีแรงต้านที่มือขวาและมือซ้ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามลำดับเมื่อการโดยสารของคนเพิ่มขึ้นและตำแหน่งโดยสารเคลื่อนที่เข้าใกล้ล้อหน้า โดยแรงต้านที่มือขวาเกิดขึ้นจากการเบรกเฉพาะเบรกหน้าส่วนแรงต้านที่มือซ้ายและเกิดขึ้นจากการเข้าโค้งไม่มีการเบรกตามลำดับ

5.1.3 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพในกรณีขนส่งเชิงพาณิชย์ของรถสามล้อพ่วงข้าง

ในกรณีขนส่งเชิงพาณิชย์ การเพิ่มขึ้นของฐานล้อส่งผลโดยตรงกับมุมลื่นไถลของล้อด้านข้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในส่วนของมุมกระดกเมื่อฐานล้อเพิ่มขึ้นมุมกระดกมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับการทดสอบแบบโดยสาร 5 คนซึ่งในกรณีนี้การจำลองการทดสอบแบบขนส่งเชิงพาณิชย์มีความคล้ายคลึงกับการทดสอบแบบโดยสาร 5 คนจากเหตุผลของการกระจายน้ำหนักที่เข้าใกล้ล้อหน้ามากขึ้น

5.1.4 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพในกรณีขนส่งเชิงพาณิชย์และชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง

ในกรณีขนส่งเชิงพาณิชย์และชะลอความเร็วขณะเข้าโค้ง การเบรกเฉพาะเบรกหน้า เบรกเฉพาะเบรกหลัง และเบรกพร้อมกัน ส่งผลโดยตรงกับมุมลื่นไถลของล้อด้านข้าง ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ ดังนั้นพฤติกรรมการทดสอบแบบทางโค้ง เบรกเฉพาะเบรกหลัง ระยะกว้างฐานล้อ 1.1 m ให้ค่ามุมกระดก มุมส่าย และมุมลื่นไถลของล้อด้านข้าง มีค่าน้อย เป็นพฤติกรรมที่รักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถได้ดีที่สุด ส่วนพฤติกรรม การเบรกเฉพาะเบรกหน้า และเบรกหน้าและหลังพร้อมกัน ให้ค่า มุมกระดก มุมส่าย และมุมลื่นไถลของล้อด้านข้างสูงจึงส่งผลให้เป็นพฤติกรรมที่เสี่ยงต่อการรักษาไว้ซึ่งเสถียรภาพของรถ

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ

การออกแบบเครื่องมือวัดแรงต้านที่มือทั้งสองข้างนั้นถูกออกแบบมาให้มีการบันทึกค่าในการทดสอบโดยใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data locker) หลังการทดสอบในรูปแบบต่างๆทุกครั้ง ต้องนำเครื่องมือบันทึกค่ามาทำการปรับตั้งค่าในโปรแกรมสำเร็จรูป ก่อนทำการทดสอบในรูปแบบต่อไป ดังนั้นในบางครั้งจึงเกิดปัญหาเนื่องจากเครื่องมือบันทึกข้อมูลไม่ทำการบันทึกข้อมูล อย่างไรก็ตามทางคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการบันทึกทุกครั้ง เพื่อที่จะได้ค่าจากการทดสอบครบถ้วนสมบูรณ์

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การทดสอบควรตระหนักถึงความปลอดภัยเป็นหลัก ผู้ขับขี่รถทดสอบควรเป็นผู้ที่มีความชำนาญในการขับขี่รถจักรยานยนต์

5.4.2 การเลือกสถานที่ทำการทดสอบ ควรเป็นสนามทดสอบที่มีมาตรฐาน เนื่องจากผลของความถูกต้องของข้อมูล อีกทั้งปลอดภัยจากบุคคลภายนอก



บรรณานุกรม

- [1] เผด็จ แสนเกษม. กลศาสตร์ยานยนต์ หน่วย SI. กรุงเทพฯ : พิมพ์อักษร, 2541.
- [2] <http://www.bansuanporpeang.com/node/9257>
- [3] <http://www.kitmotorbike.com/motorcycle-sidecar/commercial-motorcycle-sidecar>
- [4] <http://www.puku.exteen.com/20090411/entry>
- [5] <http://www.dinamoto.it.com>
- [6] http://www.doh.go.th/showlist.aspx?c_id=13&sc_id=
- [7] Hal Kendall – Author. “The sidecar operator manuel”, 2003.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการทดสอบ



ขั้นตอนการทดสอบ

1. จัดเตรียมสถานที่ในการทดสอบ
2. ติดตั้งกล้องบันทึกภาพยนตร์ (VDO) ตามจุดต่างๆ เพื่อบันทึกพฤติกรรมมุมหักเลี้ยว
3. ติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความหน่วง (VC 4000DAQ)
4. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วของรถทดสอบ
5. ทดสอบอุปกรณ์การปรับตั้งสัดส่วนแรงเบรก
6. เตรียมคอมพิวเตอร์เพื่อไว้เก็บค่าข้อมูลการทดสอบแต่ละครั้ง
7. เตรียมอุปกรณ์ป้องกันสำหรับผู้ขับขี่
8. ทำการตรวจเช็คอุปกรณ์ให้พร้อมก่อนการทดสอบ
9. ทำการทดสอบ และเก็บค่าผลการทดสอบ

ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. ควรตระหนักถึงความปลอดภัยเป็นอันดับแรก
2. ก่อนการใช้งานเครื่องทดสอบควรตรวจสอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน
3. การเก็บผลการทดสอบควรให้รถทดสอบจอดสนิทเสียก่อน
4. ควรเลือกสถานที่ทำการทดสอบ ที่เป็นสนามทดสอบที่มีมาตรฐาน เนื่องจากผลของความถูกต้องของข้อมูล อีกทั้งความปลอดภัยจากบุคคลภายนอก

การบำรุงรักษา

1. ทำการตรวจเช็คอุปกรณ์ต่างๆ ของรถทดสอบให้พร้อมใช้งานเสมอ
2. ทำการเก็บรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ในที่ๆ เหมาะสม

ภาคผนวก ข
ข้อมูลจำเพาะของรถทดสอบ



ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจำเพาะของรถทดสอบ

รถจักรยานยนต์ Wave 110 i	
รายการ	ขนาด
ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (mm)	709 x 1,919 x 1,080
ระยะห่างช่วงล้อ (mm)	1,227
ระยะห่างจากพื้น (mm)	135
ความสูงของเบาะ (mm)	760
มุมคาสเตอร์/ระยะเทรล (องศา/”) (mm)	26 องศา 30”/68
น้ำหนักสุทธิ (kg)	98
ระบบห้ามล้อ (หน้า) : (หลัง)	ดิสก์เบรก : ดรัมเบรก
ล้อ	ล้อซี่ลวด
ขนาดยาง (หน้า) : (หลัง)	70/90-17 M/C 38P : 80/90-17 M/C 50P
พ่วงข้าง	
น้ำหนักสุทธิ (kg)	50
โครงสร้าง ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (mm)	1,160 x 850 x 530
ความจุของการบรรทุก (m ³)	522,580
ที่นั่ง ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (mm)	1120 x 225 x 530
สวิงอาร์ม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (mm)	450 x 195 x 75
หน้าแปลนต่อพ่วง ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (mm)	100 x 75 x 530
รถจักรยานยนต์พ่วงข้าง	
ขนาดคานหน้าแปลนที่ใช้ (mm)	ขนาด กลางล้อหลังรถจักรยานยนต์ ถึง กลางล้อพ่วงข้าง (mm)
160 (คานหน้าแปลน หลัง)	1100
270 (คานหน้าแปลน หน้า)	
330 (คานหน้าแปลน หลัง)	1300
450 (คานหน้าแปลน หน้า)	
530 (คานหน้าแปลน หลัง)	1500
640 (คานหน้าแปลน หน้า)	

หมายเหตุ : ข้อมูลจำเพาะของรถทดสอบได้จากการวัด



ภาคผนวก ค
ตารางการชั่งน้ำหนักและการคำนวณ

ตารางที่ ค.1 ตารางการช่างน้ำหนัก

จุดที่ชั่งน้ำหนัก	ที่ความกว้างของฐานล้อ		
	1.1 m	1.3 m	1.5 m
ล้อหน้า	686.7	716.13	686.7
ล้อหลังขวา	1245.85	1206.63	1157.58
ล้อหลังซ้าย	372.78	362.97	412.02
น้ำหนักรวม	2305.33	2285.73	2256.3
ล้อหน้า	588.6	618.03	578.79
ล้อหลังขวา	1481.29	1628.46	1697.13
ล้อหลังซ้าย	755.37	608.22	647.46
น้ำหนักรวม	2825.26	2854.71	2923.38
ล้อหน้า	686.7	706.32	667.08
ล้อหลังขวา	1883.5	2118.96	2226.87
ล้อหลังซ้าย	873.09	627.84	647.46
น้ำหนักรวม	3443.29	3453.12	3541.41
ล้อหน้า	824.04	863.28	774.99
ล้อหลังขวา	2089.51	2334.78	2393.64
ล้อหลังซ้าย	833.85	549.36	598.41
น้ำหนักรวม	3747.4	3747.42	3767.04
ล้อหน้า	833.85	814.23	804.42
ล้อหลังขวา	2011.03	2197.44	2256.3
ล้อหลังซ้าย	873.09	637.65	627.84
น้ำหนักรวม	3717.97	3649.32	3688.56

ตารางที่ ค.2 ตารางการคำนวณแรงหนีศูนย์กลาง, จุดศูนย์ถ่วงตามแนวขวาง และจุดศูนย์ถ่วงตามแนวตั้ง

รูปแบบการ บรรทุก	ความเร็ว (km/hr)	ระยะกว้าง (m)	F_c (N)	จุดศูนย์ถ่วง ตามแนวขวาง (m)	จุดศูนย์ถ่วง ตามแนวขวาง (m)
ไม่มีการบรรทุก	30 km/hr	1.1	1,118.955	-0.07804	0.654012
		1.3	1,114.047	0.07517	0.718705
		1.5	1,099.324	0.083333	0.764452
บรรทุกหุ้ม 2 ตัว		1.1	1,379.062	-0.01642	0.487836
		1.3	1,398.693	-0.00317	0.583842
		1.5	1,433.047	-0.05307	0.65142
บรรทุกหุ้ม 4 ตัว		1.1	1,688.247	-0.07292	0.4624
		1.3	1,698.063	-0.11974	0.531363
		1.5	1,742.232	-0.18818	0.59059
บรรทุกหุ้ม 5 ตัว	1.1	1,840.386	-0.11186	0.444866	
	1.3	1,845.293	-0.17348	0.507167	
	1.5	1,855.109	-0.22903	0.572201	
บรรทุกเต็มพื้นที่	1.1	1,825.663	-0.09041	0.454524	
	1.3	1,796.216	-0.12727	0.52797	
	1.5	1,815.847	-0.19138	0.58915	

ภาคผนวก ง
แบบสัปดาห์พ่วงข้างทดสอบ



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-สกุล	วรชาติ จงจิตสถิตมัน
วัน-เดือน-ปีเกิด	16 ตุลาคม 2534
ที่อยู่	217 หมู่.1 ต.สีกัน อ.ดอนเมือง จ.กรุงเทพมหานคร 10210
ประวัติการทำงาน	บริษัท มณีแมน ออโต้ เซอร์วิส จำกัด พ.ศ. 2552-2553
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ ช่างกล ชส.ทบ. พ.ศ. 2552
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554
วศ.บ.	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2557
โทรศัพท์	08-2632-8059
E-Mail address	Worrochart@hotmail.com



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล	ไพปภณ นิ่งน้อย
วัน-เดือน-ปีเกิด	20 กรกฎาคม 2533
ที่อยู่	8/18 ซ.ตรอกบั้งช่างหล่อ ต.ศิริราช อ.บางกอกน้อย จ.กรุงเทพมหานคร 10700
ประวัติการทำงาน	บริษัท เอสซีจี ออโต้ เซอร์วิส พ.ศ. 2555 – 2557
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม พ.ศ. 2552
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554
วศ.บ.	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2557
โทรศัพท์	08-2705-6692
E-Mail address	paipapon20@gmail.com



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล	สุรพงศ์ สุขนนท์ศักดิ์
วัน-เดือน-ปีเกิด	28 พฤษภาคม 2535
ที่อยู่	16/7 ต.บางเข็กหน้า อ.ตลิ่งชัน จ.กรุงเทพมหานคร 10170
ประวัติการทำงาน	บริษัท เอสเอ็มซี พร็อพเพอร์ตี้ ซอฟต์แวร์ จำกัด พ.ศ. 2556-2557
ประวัติการศึกษา	
ปวช.	สาขาวิชา ช่างยนต์ โรงเรียนเทคโนโลยีสยาม พ.ศ. 2552
ปวส.	สาขาวิชา ช่างยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2554
วศ.บ.	สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พ.ศ. 2557
โทรศัพท์	09-4134-3860
E-Mail address	Pong_2535@hotmail.com

