



การพัฒนาชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับขี่ที่ปลอดภัย



สุรียา เขตประทุม

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2566  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับขี่ที่ปลอดภัย



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา 2566  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับขี่ที่ปลอดภัย"

ของ สุริยา เขตประทุม

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

### คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรวิศ สอนสารี)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ไกรทอง)

อนุมัติ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรรองกาญจน์ ชูทิพย์ )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

<b>ชื่อเรื่อง</b>	การพัฒนาชุดจำลองการขับเคลื่อนจักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับขี่ที่ปลอดภัย
<b>ผู้วิจัย</b>	สุรียา เขตประทุม
<b>ประธานที่ปรึกษา</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว
<b>ประเภทสารนิพนธ์</b>	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2566
<b>คำสำคัญ</b>	จำลองการขับเคลื่อนจักรยานยนต์, การรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุ, ความปลอดภัยในการขับขี่, ระบบเชื่อมต่อกับเครื่องจักร

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตและบาดเจ็บจากอุบัติเหตุจักรยานยนต์สูงที่สุดในโลก โดยกลุ่มเสี่ยงที่สุดคือวัยรุ่นอายุ 15-19 ปี อุบัติเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการขาดประสบการณ์และการฝึกขับขี่ที่ปลอดภัยตั้งแต่วัยเด็ก ส่งผลให้เกิดการชนด้านหน้าและชนท้ายเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นก่อนที่จะได้รับใบอนุญาตขับขี่ ควรมีการทดสอบตามคุณลักษณะการขับขี่ของแต่ละบุคคล การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดจำลองการขับเคลื่อนจักรยานยนต์เสมือนจริง เพื่อให้วัยรุ่นได้เรียนรู้การขับขี่อย่างปลอดภัย โครงการแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือการพัฒนาโครงสร้างจักรยานยนต์ที่จำลองการขับขี่จริง รวมถึงระบบเชื่อมต่อกับเครื่องจักร เช่น ระบบรับคำสั่ง ระบบบังคับเลี้ยว ระบบเบรก และระบบเร่งความเร็ว ส่วนที่สองคือการพัฒนาระบบควบคุมเรียลไทม์เพื่อจำลองสถานการณ์การขับขี่จริงพร้อมบทเรียนในระบบฝึกหัดขับขี่ การทดสอบฟังก์ชันการทำงานพื้นฐานของต้นแบบ โดยเฉพาะการทดสอบการเบรกพบว่า ในการทดสอบครั้งแรกเกิดการชนร้อยละ 50 ระยะเวลาคิดเฉลี่ย 0.77 วินาที ที่ความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที แสดงถึงระยะหยุดที่ปลอดภัย ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าชุดจำลองการขับขี้นี้มีศักยภาพสูงในการสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับการขับขี่อย่างปลอดภัย นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาต่อไปให้ตอบสนองการขับขี่ในสภาวะจริงได้อย่างใกล้เคียง

<b>Title</b>	DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY (VR) SIMULATION FOR PROMOTING SAFE MOTORCYCLE DRIVING
<b>Author</b>	Suriya Ketpratam
<b>Advisor</b>	Assistant Professor Ananchai Ukaew, Ph.D.
<b>Academic Paper</b>	M.Eng. Thesis in Mechanical Engineering, Naresuan University, 2023
<b>Keywords</b>	Motorcycle driving simulator, Hazard perception, Driving safety, Human Machine Interface

### ABSTRACT

Thailand has one of the highest rates of motorcycle accident deaths and injuries worldwide, with the highest risk group being teenagers aged 15 to 19. Most accidents are due to inexperience and lack of training in safe driving from a young age, leading to common causes such as frontal and rear-end collisions. Therefore, before obtaining a driver's license, individuals should be tested based on their driving performance characteristics. This study aims to develop a prototype of a virtual reality motorcycle driving simulator to help teenagers learn safe driving practices. The project consists of two main parts. The first part involves developing a motorcycle structure that simulates real motorcycle driving, incorporating a human-machine interface with components such as a command receiver, steering system, braking system, and acceleration system. The second part focuses on creating a real-time control system to simulate actual driving situations, including lessons in a real driving simulator. Initial testing of the prototype's basic functions, particularly the brake test, revealed that in the first test, 50 percent of collisions occurred. The average reaction time was 0.77 seconds at a speed of 15 meters per second, indicating a safe stopping distance. The findings suggest that this driving simulator has high potential for raising awareness about safe driving. Furthermore, it can be developed to closely mimic real-world driving conditions.



## ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์การพัฒนาชุดจำลองการขับชี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับชี่ที่ปลอดภัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่มอบทุนสนับสนุนการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาและได้จัดทำงานวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี อีกทั้งยังได้มีโอกาสพัฒนาตัวเองในด้านต่าง ๆ สู่การเป็นบัณฑิตได้อย่างมีคุณภาพ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคลากรหน่วยวิจัยด้านเทคโนโลยีที่ศนศาสตร์คอมพิวเตอร์ และการโต้ตอบกับมนุษย์ ที่ได้ร่วมกันพัฒนาซอฟต์แวร์บทเรียนการขับชี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อการขับชี่ที่ปลอดภัย เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เหนือสิ่งอื่นใดผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดาพร้อมทั้งครอบครัว รวมถึงเพื่อน ๆ ทั้งหมดสำหรับคำปรึกษา แนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ รวมถึงให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา จนทำให้การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ของเยาวชนในการขับชี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัยในประเทศและผู้ที่มีสนใจบ้างไม่มากนักนอย

สุรียา เขตประทุม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
ประกาศคุุณูปการ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์.....	4
การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก.....	6
การเคลื่อนที่บนทางโค้ง.....	10
หลักการงานอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเบื้องต้น.....	11
ระบบการขับซีเอ็มอีอนจริง.....	15



การได้รับใบอนุญาตขับรถจักรยานยนต์.....	19
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	35
หลักการแนวคิดการออกแบบเริ่มต้น.....	36
การออกแบบและสร้างเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ .....	38
การออกแบบโปรแกรมจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์.....	47
วิธีทดสอบการพัฒนาชุดจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์.....	52
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....	55
การทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ .....	55
ผลทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก.....	66
บทที่ 5 บทสรุป .....	71
สรุปผลการวิจัย.....	71
ข้อเสนอแนะ .....	73
บรรณานุกรม .....	74
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก โค้ดโปรแกรมรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องจำลองกับโปรแกรมจำลอง .....	76
ประวัติผู้วิจัย .....	80

## สารบัญตาราง

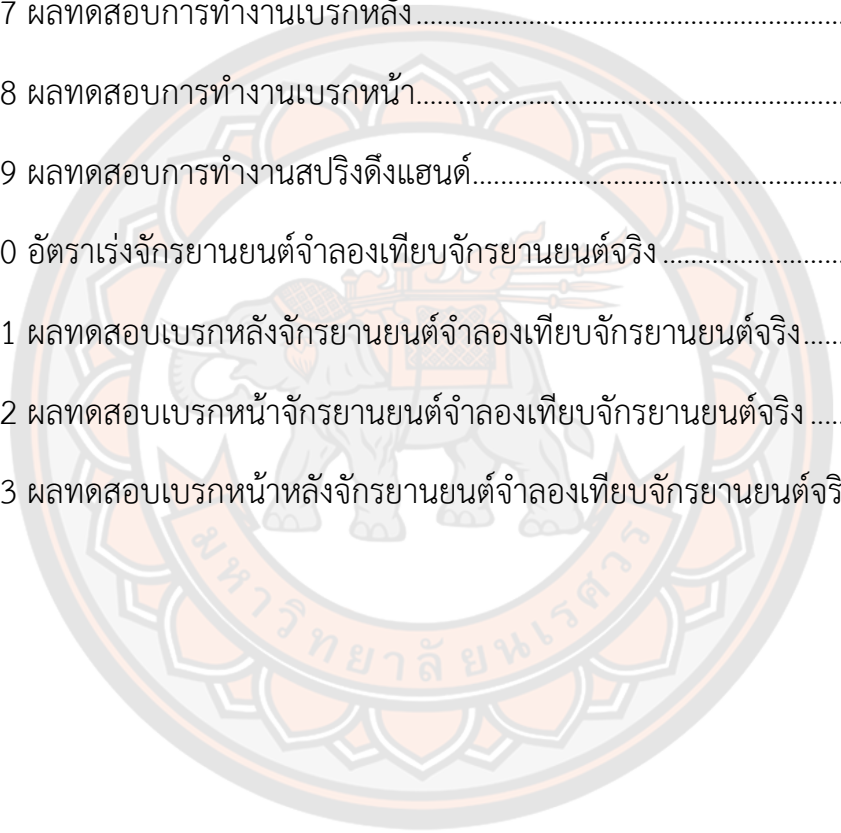
	หน้า
ตาราง 1 ข้อมูลระยะการหยุดของจักรยานยนต์จาก Highway Code.....	9
ตาราง 2 อุปกรณ์และหน้าที่ในการสร้างแบบจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริง.....	12
ตาราง 3 แสดงส่วนประกอบอุปกรณ์เครื่องจำลองจักรยานยนต์.....	42
ตาราง 4 ทำทดสอบการขับขี่ในโปรแกรมจำลองเทียบกับของกรมขนส่ง.....	50
ตาราง 5 ผลทดสอบการส่งข้อมูลของเครื่องจำลองไปยังซอฟต์แวร์จำลอง.....	55
ตาราง 6 ผลการแปลงสัญญาณจากเซนเซอร์.....	56
ตาราง 7 ผลทดสอบอัตราเร่งจักรยานยนต์ช่วงเวลา 0 ถึง 12 วินาที.....	62
ตาราง 8 การวิเคราะห์ผลทดสอบเบรกหลัง.....	63
ตาราง 9 การวิเคราะห์ผลทดสอบเบรกหน้า.....	64
ตาราง 10 การวิเคราะห์ผลทดสอบเบรกหน้าหลัง.....	65
ตาราง 11 เปรียบเทียบผลทดสอบเวลาคิดก่อนการใช้เบรก.....	67
ตาราง 12 เปรียบเทียบผลทดสอบครั้งแรกที่เกิดการชน.....	68
ตาราง 13 ผลทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก.....	68
ตาราง 14 ผลคำนวณเปรียบเทียบระยะเบรกที่ความเร็ว 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	69
ตาราง 15 สรุปฟังก์ชันเครื่องจำลองขับขี่จักรยานยนต์.....	72

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 แรงกระทำกับรถในการเบรก .....	6
ภาพ 2 ระยะการหยุดของจักรยานยนต์ .....	9
ภาพ 3 แสดงแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์ขณะเลี้ยวบนถนนโค้งราบ .....	10
ภาพ 4 การเอียงของรถประเภทต่าง ๆ .....	11
ภาพ 5 คันเร่งไฟฟ้าแบบ Hall sensor .....	12
ภาพ 6 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ชนิดต่างๆ .....	13
ภาพ 7 ส่วนประกอบของ Encoder .....	14
ภาพ 8 Arduino MEGA .....	14
ภาพ 9 สนามสอนขับรถจริงที่ใช้เป็นต้นแบบ ที่โรงเรียนพัฒนาสอนขับรถพิษณุโลก .....	15
ภาพ 10 ภาพตัวอย่างโปรแกรมสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามสอนขับรถ .....	16
ภาพ 11 ภาพตัวอย่างในโปรแกรมบทเรียนการข้ามแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร .....	17
ภาพ 12 ภาพตัวอย่างในโปรแกรมบทเรียนการข้ามแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร .....	18
ภาพ 13 การทดสอบขับรถจักรยานยนต์ .....	20
ภาพ 14 แสดงแผนภาพการพัฒนาระบบฝึกหัดการขับขี่ปลอดภัย .....	21
ภาพ 15 จอแสดงผลแบบสวมศีรษะ (Head-Mounted Display - HMD) .....	22
ภาพ 16 โครงสร้างจลนศาสตร์ของรถจักรยานยนต์ .....	24
ภาพ 17 ทิศทางแกนเคลื่อนที่ของจักรยานยนต์ โดย Cossalter .....	25
ภาพ 18 การจำลองของบริษัท Honda ต้นแบบแรก .....	26
ภาพ 19 แบบจำลองของบริษัท Honda ต้นแบบที่สอง .....	27

ภาพ 20 เครื่องจำลอง Honda SMARTrainer.....	28
ภาพ 21 เครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ของ Kawasaki .....	28
ภาพ 22 เครื่องจำลองจักรยานยนต์ใช้แพลตฟอร์มแบบขนานที่ได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่น.....	29
ภาพ 23 เครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ของ Moris.....	30
ภาพ 24 เครื่องจำลองจักรยานของ KAIST ประเทศเกาหลี.....	31
ภาพ 25 เครื่องจำลอง UNIPD ประเทศอิตาลี.....	32
ภาพ 26 เครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ที่พัฒนาขึ้นโดย INRETS-UEVE .....	33
ภาพ 27 แผนผังแสดงขั้นตอนดำเนินงานวิจัย .....	35
ภาพ 28 แผนภาพระบบการจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงแบบ Close-loop ...	36
ภาพ 29 แบบสามมิติชุดจำลองจักรยานยนต์แบบ Close-Loop.....	37
ภาพ 30 แผนภาพระบบการจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงแบบ Open-Loop...	39
ภาพ 31 แบบสามมิติเครื่องจำลองจักรยานยนต์จากต้นแบบรุ่น Honda wave .....	41
ภาพ 32 แบบสามมิติอุปกรณ์เครื่องจำลองจักรยานยนต์ .....	41
ภาพ 33 โครงสร้างจักรยานยนต์.....	44
ภาพ 34 แทนวางโครงสร้างจักรยานยนต์.....	44
ภาพ 35 การติดตั้งเซนเซอร์ .....	45
ภาพ 36 เครื่องจำลองจักรยานยนต์โครงสร้างแบบแทนวาง 1 DOF.....	45
ภาพ 37 วงจรประมวลผลข้อมูลสัญญาณเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ .....	46
ภาพ 38 บทเรียนโปรแกรมจำลองการขับขี่ .....	47
ภาพ 39 เส้นทางฝึกหัดขับขี่ในสนามสอนขับรถ โรงเรียนพัฒนาสอนขับรถพิษณุโลก .....	48
ภาพ 40 โปรแกรมสอนการขับขี่ในสนามสอนขับรถ .....	49
ภาพ 41 การสุ่มการเกิดอุบัติเหตุเพื่อใช้เบรกกะทันหัน 8 สถานการณ์ .....	51

ภาพ 42 แสดงการใช้ความเร็วโปรแกรมทดสอบการใช้เบรก .....	51
ภาพ 43 การซัพซี้เครื่องจำลองจักรยานยนต์ในโปรแกรมสนามสอนขับรถ.....	52
ภาพ 44 GPS Lap Timer Qstarz LT-Q6000.....	53
ภาพ 45 ผลทดสอบการทำงานแฮนด์บังคับซ้าย.....	57
ภาพ 46 ผลทดสอบการทำงานคันเร่ง.....	58
ภาพ 47 ผลทดสอบการทำงานเบรกหลัง.....	59
ภาพ 48 ผลทดสอบการทำงานเบรกหน้า.....	60
ภาพ 49 ผลทดสอบการทำงานสปริงดึงแฮนด์.....	61
ภาพ 50 อัตราเร่งจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง .....	62
ภาพ 51 ผลทดสอบเบรกหลังจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง.....	63
ภาพ 52 ผลทดสอบเบรกหน้าจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง .....	64
ภาพ 53 ผลทดสอบเบรกหน้าหลังจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง.....	65



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาอุบัติเหตุจราจรเป็นปัญหาที่ทั่วโลกให้ความสำคัญ จากรายงานสถานการณ์ความปลอดภัยทางถนน พบว่า ทั่วโลกมีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนสูงถึง 1.25 ล้านคน (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2561) และบาดเจ็บจำนวน 20-50 ล้านคนในแต่ละปี การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุจราจรเป็นสาเหตุการตายลำดับต้น ๆ ของคนไทย จากรายงานขององค์การอนามัยโลก (WHO) เมื่อ พ.ศ. 2558 ประมาณการการเสียชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุจราจรของประเทศไทยอยู่อันดับที่ 2 ของโลกและอันดับที่ 1 ในภูมิภาคเอเชีย อัตราการเสียชีวิต 36.2 คนต่อแสนประชากร (วัชรพงษ์ เรือนคำ และณรงค์ศักดิ์ หนูสอน, 2562) จากข้อมูลการเฝ้าระวังการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากขนส่งทั้งหมด ช่วง 5 ปีที่ผ่านมา รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่เกิดการบาดเจ็บสูงสุด ผู้ขับขี่และผู้โดยสารที่บาดเจ็บใช้รถจักรยานยนต์มากที่สุดร้อยละ 85.34 รองลงมา คือ รถกระบะ ร้อยละ 5.26 จักรยาน/สามล้อ ร้อยละ 3.89 ผู้บาดเจ็บเป็นเพศชายร้อยละ 71.46 เพศหญิง ร้อยละ 28.54 อัตราส่วนเพศหญิงต่อเพศชาย 1:2.5 ค่ามัธยฐานอายุของผู้บาดเจ็บ 31 ปี ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอายุ 15-19 ปี ร้อยละ 16.30 รองลงมา คือ กลุ่มอายุ 20-24 ปี ร้อยละ 12.23 และกลุ่มอายุ 60 ปีขึ้นไป ร้อยละ 11.70 จากข้อมูลระบบเฝ้าระวังการบาดเจ็บแห่งชาติ 5 ปีย้อนหลัง พบว่าแนวโน้มการบาดเจ็บแล้วเสียชีวิตไม่ลดลง ยังคงชี้ให้เห็นว่าการสูญเสียเกือบร้อยละ 80 เกิดจากการใช้รถจักรยานยนต์ มาตรการที่จะนำมาดำเนินการต่อไปควรมุ่งเน้นการใช้รถจักรยานยนต์เป็นหลัก (สำนักกระบาดวิทยา, 2560)

รถจักรยานยนต์เป็นพาหนะยอดนิยมสูงสุดของคนไทยมาอย่างต่อเนื่อง ได้รับความนิยมาจากกลุ่มวัยรุ่นเป็นพิเศษ ด้วยความสะดวก รวดเร็ว คล่องตัว อย่างไรก็ตามรถจักรยานยนต์ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันการบาดเจ็บใด ๆ ให้แก่ผู้ขับขี่และผู้โดยสาร ยกเว้นหมวกกันน็อกซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันเพียงชิ้นเดียวที่กฎหมายกำหนดให้สวมใส่ การขาดอุปกรณ์ป้องกันการบาดเจ็บที่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนน ไม่ว่าจะบาดเจ็บเล็กน้อยหรือรุนแรงที่สุด คือ เสียชีวิต ซึ่งข้อมูลจากระบบเฝ้าระวังการบาดเจ็บ พบว่า กลุ่มอายุ 15-19 ปี (วัชรพงษ์ เรือนคำ และณรงค์ศักดิ์ หนูสอน, 2562) เกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์มากที่สุด และส่วนใหญ่ไม่สวมหมวกนิรภัย โดยทั่วไปเพศชายมีแนวโน้มที่จะประสบอุบัติเหตุมากกว่าเพศหญิง สาเหตุหลักมาจากลักษณะนิสัยของเพศชายที่มักชอบเสี่ยงภัย ชอบความตื่นเต้น และชอบขับขี่ด้วยความเร็ว ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ตามมาคือ เพศชายจึงมีอัตราการ

เสียชีวิตจากอุบัติเหตุที่สูงกว่าเพศหญิง และการฝ่าฝืนกฎจราจร เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุรถจักรยานยนต์ ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การขาดความรับผิดชอบ ความเห็นแก่ตัว ความไม่มีระเบียบวินัย โดยการปฏิบัติ ที่ผิดกฎจราจร เช่น การขับซี่ย้อนศร การนั่งซ้อนท้ายเกินกำหนด การขับขึ้นทางที่ห้าม เช่น บนทางเท้า ลอดอุโมงค์ ขับซิดขวา แซงซ้าย เป็นต้น

จากข้อมูลดังกล่าว สะท้อนให้เห็นว่าผู้ขับขี่ยังขาดการปลูกฝังและการฝึกอบรมเกี่ยวกับการขับอย่างปลอดภัยตั้งแต่เด็ก รวมไปถึงกระบวนการขอรับใบอนุญาตขับขี่ที่มีการวัดความสามารถตามคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ส่งผลให้ผู้ขับขี่เกิดความประมาทและคึกคะนองเมื่อขับขี่จักรยานยนต์ ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านการขับขี่เสมือนจริงจึงเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นจิตสำนึกในการขับขี่จักรยานยนต์อย่างปลอดภัย เทคโนโลยีนี้ช่วยให้เยาวชนสามารถเรียนรู้กฎจราจรและวิธีปฏิบัติที่ถูกต้องเมื่อขับขี่ ซึ่งสามารถจำลองสถานการณ์การขับขี่และตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับการขับขี่ในสถานการณ์จริง โดยไม่เกิดความกังวลต่อการเกิดอุบัติเหตุ เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการฝึกฝนในช่วงอายุน้อยที่ยังไม่มีประสบการณ์การขับขี่จริงมากนัก โดยการพัฒนาชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับขี่ที่ปลอดภัย จะช่วยสร้างประสบการณ์การขับขี่ที่สมจริง ให้ความรู้สึกเสมือนว่าได้ขับขี่รถจักรยานยนต์บนท้องถนนจริง และช่วยฝึกฝนทักษะการขับขี่ขั้นพื้นฐานให้เกิดความคุ้นเคยก่อนออกไปขับขี่บนท้องถนนจริง

### จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่และพารามิเตอร์ของจักรยานยนต์
2. เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงสำหรับฝึกขับขี่เบื้องต้น
3. เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ของเยาวชนในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัย

### ความสำคัญของการวิจัย

การศึกษาพารามิเตอร์ของจักรยานยนต์จะทำให้ทราบถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของจักรยานยนต์ เพื่อสร้างชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ให้เสมือนจริงสำหรับฝึกหัดขับขี่จักรยานยนต์ อีกทั้งการจำลองการเคลื่อนที่ให้เสมือนจริงในการเข้าโค้ง การเบรก คันเร่ง เป็นต้น ทำให้เยาวชนได้รับการฝึกการขับขี่ในสถานะที่ปลอดภัยและเสมือนจริง เป็นการกระตุ้นจิตสำนึกในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัย เยาวชนได้เรียนรู้การขับขี่ที่ถูกต้องตามกฎหมาย

### ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ 2 ล้อ สำหรับฝึกหัดขับขี่
2. สร้างกลไกการจำลองการเคลื่อนที่ 1 แกนองศาอิสระ ได้แก่ ระบบบังคับเลี้ยว

3. ใช้มอเตอร์หรือสปริงในการจำลองแรงบิดที่เกิดขึ้นกับแกนองศาอิสระ
4. ออกแบบโปรแกรมระบบจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์เสมือนจริง
5. ทดสอบและเก็บข้อมูลการทำงานด้วยโปรแกรมการฝึกขับขี่กับเทคโนโลยีแสดงสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (VR)

### นิยามศัพท์เฉพาะ

ระบบจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ หมายถึง ซอฟต์แวร์ที่ออกแบบมาเพื่อจำลองประสบการณ์การขับขี่จักรยานยนต์ในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง แสดงสภาพถนน จราจร จักรยานยนต์ และการขับขี่

เครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ หมายถึง อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบมาเพื่อจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ หรือจำลองการโต้ตอบกับรถ มีลักษณะคล้ายกับรถจริง ซึ่งให้ประสบการณ์การขับขี่ที่เสมือนจริงในสภาพแวดล้อมควบคุม ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับโปรแกรมผ่านอุปกรณ์ควบคุม เช่น แฮนด์บาร์ คันเร่ง และเบรก และเห็นสภาพภูมิประเทศเสมือนจริงด้วยเทคโนโลยี VR

การขับขี่ที่ปลอดภัย (Safe Driving) หมายถึง การขับขี่ที่ปราศจากอุบัติเหตุและความเสี่ยง โดยผู้ขับขี่ต้องปฏิบัติตามกฎจราจรอย่างเคร่งครัด มีสติอยู่เสมอ รู้จักประเมินความเสี่ยง และสามารถควบคุมรถจักรยานยนต์ได้อย่างปลอดภัย

การรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุ (Hazard perception) หมายถึง กระบวนการวิเคราะห์สถานการณ์บนท้องถนน และคาดการณ์ว่าเหตุการณ์ใดมีโอกาสเกิดขึ้นล่วงหน้า ช่วยให้ผู้ขับขี่สามารถเตรียมพร้อมรับมือกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้น และ ป้องกันอุบัติเหตุ

### สมมุติฐานของการวิจัย

สำหรับทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัยจะใช้ทฤษฎีพื้นฐานยานยนต์ จะทำให้ทราบถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของรถ เพื่อสร้างชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ให้เสมือนจริงสำหรับฝึกหัด ทำให้ผู้ขับขี่ได้รับการฝึกในสภาวะที่ปลอดภัยและเสมือนจริง ซึ่งเป็นการกระตุ้นจิตสำนึกในการขับขี่ที่ปลอดภัย หลังจากได้ใช้งานเครื่องจำลอง ในการออกแบบและสร้างชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ให้เสมือนจริงนั้นต้องศึกษาพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการจำลองคือ การเร่งความเร็ว การเบรก การบังคับเลี้ยว และการรับรู้ของการเคลื่อนที่ การเร่งความเร็ว หรือการบิดคันเร่งส่งผลให้แหล่งต้นกำลังเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังไปที่ล้อขับเคลื่อนทำให้รถเกิดการเคลื่อนที่ การเบรกของจักรยานยนต์จะมีแรงต้านกลับเมื่อทำการเบรกขณะเคลื่อนที่ การบังคับเลี้ยวใช้การบังคับแฮนด์บาร์บังคับเลี้ยวและการถ่วงน้ำหนักตัวไปข้างใดข้างหนึ่งให้รถเอียงเกิดการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการขับเคลื่อนยานยนต์นั้นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการขับเคลื่อนคือ การทรงตัว คันเร่ง เบรก และการรับรู้ของการเคลื่อนที่ การเลี้ยวหรือการเข้าโค้งของจักรยานยนต์จะใช้การถ่ายน้ำหนักตัวไปข้างใดข้างหนึ่งให้รถเอียงเกิดการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งและรถจะมีแรงเข้าสู่ศูนย์กลางทำให้รถกลับมาทรงตัวในแนวตั้ง การเบรกของจักรยานยนต์จะมีแรงต้านกลับเมื่อทำการเบรกขณะเคลื่อนที่ ในการออกแบบเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์จำเป็นต้องทำการเข้าใจในพื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์ การเข้าโค้ง รวมถึงการเบรกของรถจักรยานยนต์ เพื่อใช้สำหรับการออกแบบโครงสร้างและการทำซอฟต์แวร์จำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ ดังนี้

#### พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์

สำหรับพื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์ของรถจักรยานยนต์มีพื้นฐานเดียวกับรถยนต์ การเคลื่อนที่ของทั้งสองประเภทนี้ เกิดขึ้นจากแรงขับเคลื่อนที่มาจากต้นกำลัง โดยต้นกำลังจะถ่ายทอดการหมุนผ่านระบบส่งกำลัง ไปยังล้อขับเคลื่อนเพื่อให้เกิดแรงขับเคลื่อน แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อกับพื้นถนนซึ่งทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อนำแรงขับเคลื่อนทั้งหมดมาพิจารณา จะได้เป็นกำลังขับเคลื่อนซึ่งเป็นพื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์ได้ดังนี้ (ธีระยุทธ สุวรรณประณีป, 2559)

##### 1. แรงด้านการเคลื่อนที่

รถยนต์จะเคลื่อนที่ได้ จำเป็นต้องมีการส่งกำลังจากเครื่องยนต์ ผ่านระบบส่งกำลัง ไปยังล้อขับเคลื่อน เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นโดยอาศัยความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นผิวถนน ในขณะเดียวกันรถยนต์เกิดการเคลื่อนที่จะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ขึ้นด้วย ซึ่งจะเกิดแรงต้านในทิศที่สวนทางกับแรงขับเคลื่อนถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ อาศัยกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันจะได้ดังสมการ

$$F_{\text{แรงขับเคลื่อน}} = F_{\text{แรงต้านทั้งหมด}} \quad (1)$$

จากกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันกล่าวคือ วัตถุจะรักษาสภาวะอยู่นิ่งหรือสภาวะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในแนวเส้นตรง นอกจากมีแรงลัพธ์ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ อธิบายตามหลักการ

ได้ว่า เมื่อวัตถุอยู่นิ่งวัตถุจะคงอยู่นิ่งต่อไปเว้นแต่มีแรงภายนอกมากระทำ หรือเมื่อวัตถุเคลื่อนที่วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ เว้นแต่มีแรงภายนอกมากระทำ ความเร่งของวัตถุจะเป็นศูนย์ แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนมีค่ามากกว่าแรงต้านทั้งหมดรถยนต์จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น หรือมีอัตราเร่งจนในที่สุดแรงขับเคลื่อนจะมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมดของการเคลื่อนที่อีกครั้ง แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแรงต้านทั้งหมด รถยนต์จะเคลื่อนที่ด้วยความหน่วงหรือมีอัตราเร็วลดลง ในขณะที่อัตราเร็วลดลงนั้น แรงต้านทั้งหมดก็จะลดลงตามไปด้วย จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนจะเท่ากับแรงต้านทั้งหมดอีกครั้งและรถจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ต่อไป

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะไม่สามารถส่งกำลังได้เต็มประสิทธิภาพ เพราะมีบางส่วนสูญเสียไปในระบบถ่ายทอดกำลัง เรียกว่าการสูญเสียในการถ่ายทอด (Transmission Loss) กำลังส่วนที่เหลือที่ล้อขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านต่าง ๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านเหล่านั้นได้แก่

1.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)

1.2 แรงต้านอากาศ (Air Resistance)

1.3 แรงต้านทางชัน (Gradient Resistance)

นอกจากนี้ ในขณะที่เร่งเครื่องยนต์ กำลังบางส่วนต้องสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเฉื่อยของรถยนต์ เรียกว่าแรงต้านความเฉื่อย (Inertia Resistance)

2. แรงเฉื่อย

แรงเฉื่อย (Inertia force) เป็นแรงอีกส่วนหนึ่งที่มีผลมากต่อแรงขับที่จะต้องการจากต้นกำลัง โดยการที่ยานยนต์จะขับเคลื่อนได้ หมายถึงการออกตัวจากหยุดนิ่ง รวมทั้งการเร่งตัวเพื่อไปสู่ความเร็วที่สูงขึ้น ซึ่งก็หมายถึงว่าที่ความเร็วหนึ่ง ๆ นอกจากยานยนต์จะต้องการแรงขับที่จะเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่แล้ว ยังต้องการแรงขับที่เกินจากแรงต้านการเคลื่อนที่เพื่อสร้างความเร่งด้วย แรงเฉื่อยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น (Linear Acceleration Force) และแรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration Force)

3. แรงรวมทั้งหมดจากการส่งกำลังของมอเตอร์

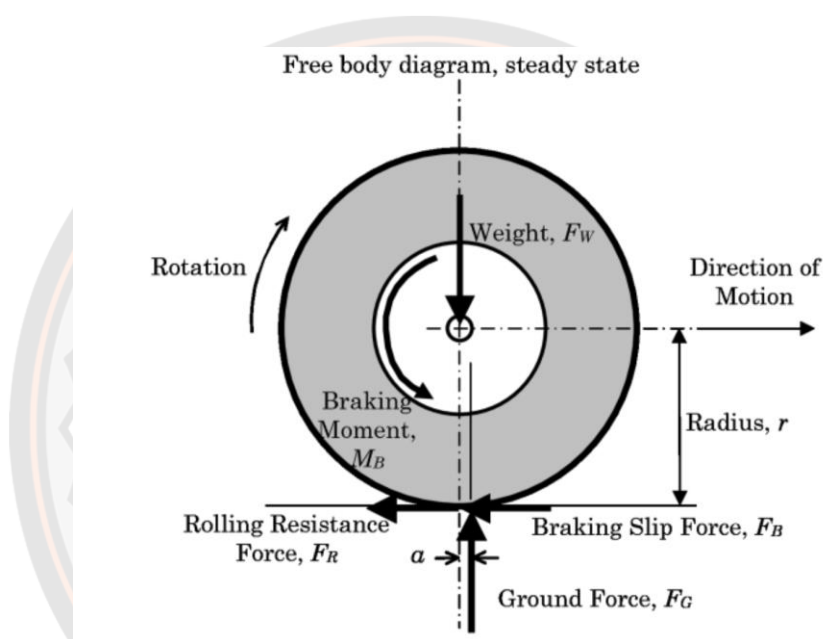
$$F_{te} = F_r + F_d + F_{cl} + F_{a,l} + F_{\omega a} \quad (2)$$

โดยที่  $F_r$  คือ แรงต้านการกลิ้ง (N)  
 $F_d$  คือ แรงต้านทานจากอากาศ (N)  
 $F_{cl}$  คือ แรงต้านทางลาดชัน (N)  
 $F_{a,l}$  คือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น (N)

$F_{\omega a}$  คือ แรงของล้อที่ต้องการให้เกิดความเร่ง (N)

จากที่กล่าวมา แรงที่นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องจำลองการขับซีรคจักรยานยนต์นั้นมีทั้งหมด 5 แรง คือ แรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านทานจากอากาศ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น แรงของล้อที่ต้องการให้เกิดความเร่ง และแรงต้านทางลาดชัน ใช้สำหรับเป็นพารามิเตอร์ของโปรแกรมจำลองรถจักรยานยนต์แบบสำเร็จรูปเป็นการจำลองการเคลื่อนที่เบื้องต้น

### การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก



ภาพ 1 แรงกระทำที่รถในการเบรก

ที่มา: ศุภวิทย์ อิศรนาเวศ และคณะ (2560)

จากภาพ 1 เมื่อรถทำการเบรกจะส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานการเบรก  $F_R$  ซึ่งสามารถหาแรงดังกล่าวได้สัมพันธ์กับความเสียดทานคูณกับแรงที่กดลงบนล้อที่เบรก ( $F_W = m_R g$ ) แสดงในสมการ (3)

$$F_R = \mu m_R g \quad (3)$$

และจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\sum F = m_{\text{total}} a \quad (4)$$

นำสมการ (3) มาเท่ากับ (4)

จะได้ 
$$\mu m_R g = m_{\text{total}} a$$

จัดรูปสมการ 
$$a = \frac{\mu m_R g}{m_{\text{total}}} \quad (5)$$

เมื่อ  $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างล้อยางกับถนน  
 $m_R$  คือ มวลที่กดลงบนล้อที่ทำการเบรก (kg)  
 $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )  
 $m_{\text{total}}$  คือ มวลทั้งหมดของรถ (kg)  
 $a$  คือ ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก ( $\text{m/s}^2$ )

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อยางกับถนน  $\mu$  ในกรณีที่เบรกจนล้อล็อกตายจะให้ค่า  $\mu$  เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์  $\mu_k$  และกรณีที่เบรกจนล้อเกือบจะล็อกตายหรือเบรกเอปี่เอสจะให้ค่า  $\mu$  เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต  $\mu_s$  และกรณีมวลที่กดลงบนล้อที่เบรกมีค่าเท่ากับมวลทั้งหมดของรถ ดังนั้นจะได้สมการความเร่งเมื่อเบรก แสดงในสมการ 6

$$m_R = m_{\text{total}}$$

จากสมการ (5) จัดรูปสมการใหม่ 
$$a = \mu g \quad (6)$$

การหาระยะทางในการเบรกหาได้จากสมการการเคลื่อนที่

$$S_{\text{braking}} = \frac{u^2 - v^2}{2a} \quad (7)$$

หรือ 
$$S_{\text{braking}} = \left( \frac{u + v}{2} \right) t_{\text{braking}} \quad (8)$$

เมื่อ  $S_{\text{braking}}$  คือ ระยะทางในการเบรก (m)  
 $v$  คือ ความเร็วเมื่อรถหยุดนิ่ง (มีค่า = 0) (m/s)

- $u$  คือ ความเร็วเมื่อรถเริ่มทำการเบรก (m/s)  
 $a$  คือ ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก (m/s<sup>2</sup>) (หาได้จากสมการ 6)  
 $t_{\text{braking}}$  คือ เวลาในการเบรก (s)

ระยะคิดหรือระยะรับรู้การตอบสนองก่อนการเบรกหาได้จาก

$$S_{\text{thinking}} = ut_{\text{thinking}} \quad (9)$$

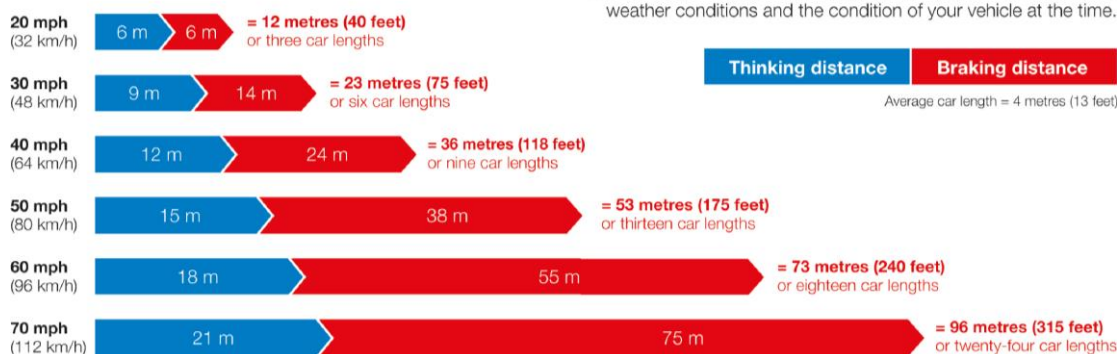
- เมื่อ  $S_{\text{thinking}}$  คือ ระยะคิดก่อนใช้เบรก (m)  
 $t_{\text{thinking}}$  คือ ระยะตอบสนองในการเบรก (s)

ระยะการหยุดของจักรยานยนต์  $s$  หาได้จากผลรวมของระยะคิดกับระยะทางที่ต้องใช้เบรก แสดงดังสมการ 7

$$S = S_{\text{thinking}} + S_{\text{braking}} \quad (10)$$

ระยะการหยุดของจักรยานยนต์คือระยะทางที่จักรยานยนต์เคลื่อนที่ไปในขณะที่คิดว่า จะต้องเบรกไปจนถึงจังหวะที่รถจักรยานยนต์หยุด จะต้องเข้าใจในระยะทางนี้เพื่อให้คุณแน่ใจว่าคุณ จะหยุดได้อย่างปลอดภัย ระยะหยุดรถจักรยานยนต์แบ่งได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกคือระยะทางที่ต้อง คิดหยุด (Thinking distance) และระยะทางที่ต้องใช้เบรก (Brake Distance) ระยะทางที่ต้องคิด หยุด ขึ้นอยู่กับผู้ขับขี่ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละบุคคลตามปฏิกิริยาการตอบสนองของแต่ละบุคคล จากมาตรฐาน Highway Code ของประเทศอังกฤษ (Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA), 2022) แสดงดังภาพ 2 ผู้ขับขี่ต้องการใช้เวลาในการเตือนตนเองประมาณ 0.68 วินาทีในการ คิด ในตัวอย่างถ้ารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นั้นหมายความว่ารถจะเคลื่อนที่ไป แล้ว 15 เมตร ก่อนที่รถจะเริ่มเบรก เมื่อเริ่มเบรกจะมีระยะ 38 เมตร จึงรวมเป็นระยะเบรกทั้งหมด 53 เมตร ขึ้นอยู่กับความเร็วที่แตกต่างกัน (Simpson, 2020) ยังได้ชี้ให้เห็นว่าผู้ขับขี่จักรยานยนต์ควร เพิ่มระยะเบรกให้มากขึ้น โดยระยะเบรกจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยแต่หลัก ๆ จะขึ้นกับความเร็ว โดยตัว แปรจากการคำนวณระยะการหยุดของจักรยานยนต์คำนวณจากมาตรฐาน Highway Code แสดงใน ตาราง 1

## Typical stopping distances



### ภาพ 2 ระยะการหยุดของจักรยานยนต์

ที่มา: Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA) (2022)

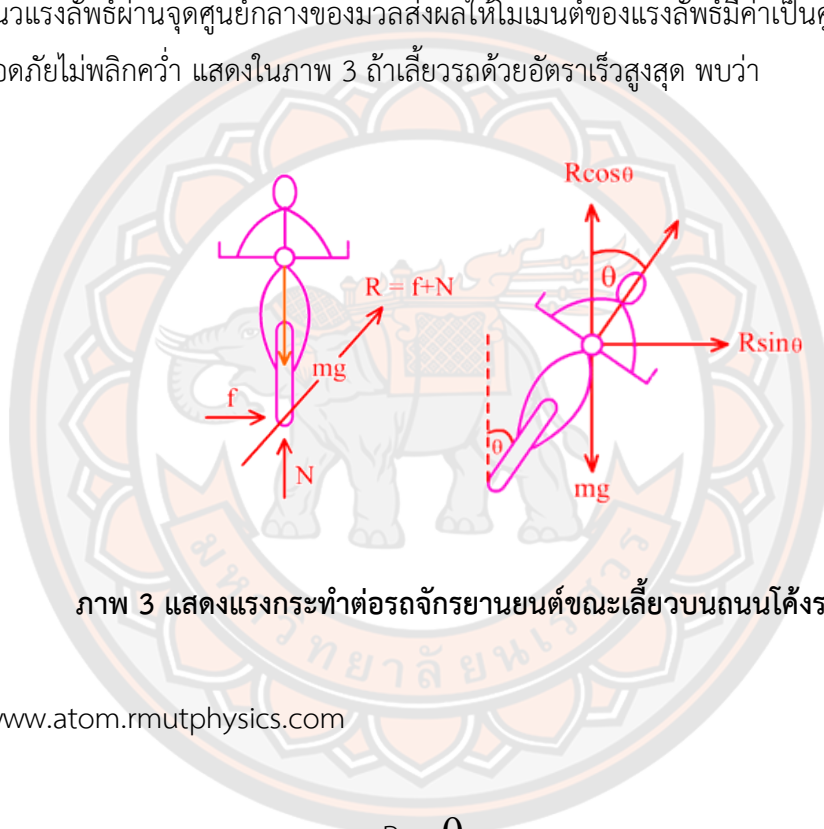
ข้อมูลจากภาพ 2 ระยะการหยุดของจักรยานยนต์จาก Highway Code ทำการแสดงเป็นข้อมูลตารางได้ดังตาราง 1 แสดงผลการคำนวณ ความเร่งเบรก สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ที่ได้จากระยะหยุดของความเร็วต่างๆ

### ตาราง 1 ข้อมูลระยะการหยุดของจักรยานยนต์จาก Highway Code

ข้อมูลจาก Highway Code					ผลจากการคำนวณ	
ความเร็ว (km/h)	ระยะหยุด (m)	ระยะคิด (m)	ระยะเบรก (m)	เวลาคิด (s)	ความเร่งเบรก (m/s <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ ความเสียดทาน
32	12	6	6	0.68	6.58	0.67
48	23	9	14	0.68	6.35	0.65
64	36	12	24	0.68	6.58	0.67
80	53	15	38	0.68	6.50	0.66
96	73	18	55	0.68	6.46	0.66
112	96	21	75	0.68	6.45	0.66
ค่าเฉลี่ย				0.68	6.49	0.66

### การเคลื่อนที่บนทางโค้ง

ขณะรถเลี้ยวโค้ง บนถนนโค้งราบ ซึ่งมีแนวทางการเคลื่อนที่ เป็นส่วนโค้งของวงกลม ดังนั้นต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อวัตถุ เมื่อพิจารณาแรงกระทำต่อรถในแนวระดับพบว่าขณะรถเลี้ยวพยายามไถลออกจากโค้ง จึงมีแรงเสียดทาน ที่พื้นกระทำต่อล้อรถในทิศทาง พุ่งเข้าในแนวผ่านศูนย์กลางความโค้ง ดังนั้น แรงเสียดทานเท่ากับแรงสู่ศูนย์กลาง ขณะเลี้ยวรถแรงกระทำต่อรถมีแรงจากน้ำหนัก ( $N=mg$ ) และ แรงเสียดทาน ( $f$ ) ซึ่งแรง  $N$  และ  $f$  รวมกันได้ เป็นแรงลัพธ์ ( $R$ ) ส่งผลให้เกิดโมเมนต์จากแนวแรงที่เกิดขึ้นทำให้รถล้มขณะเลี้ยว ถ้าไม่ต้องการให้รถล้มขณะเลี้ยวต้องเอียงตัวรถจนทำให้แนวแรงลัพธ์ผ่านจุดศูนย์กลางของมวลส่งผลให้โมเมนต์ของแรงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์ รถจึงเลี้ยวได้โดยปลอดภัยไม่พลิกคว่ำ แสดงในภาพ 3 ถ้าเลี้ยวรถด้วยอัตราเร็วสูงสุด พบว่า



ภาพ 3 แสดงแรงกระทำต่อรถจักรยานยนต์ขณะเลี้ยวบนถนนโค้งราบ

ที่มา: [www.atom.rmutphysics.com](http://www.atom.rmutphysics.com)

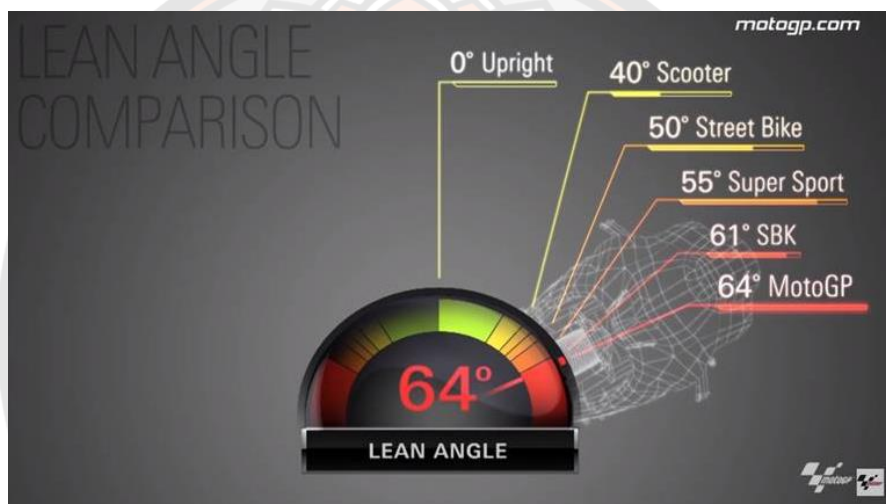
$$\text{แนวตั้ง} \quad R \cos \theta = mg \quad (11)$$

$$\text{แนวระดับ} \quad R \sin \theta = F_c$$

$$R \sin \theta = \frac{mV^2}{r} \quad (12)$$

$$\text{นำสมการ (12)/(11)} \quad \tan \theta = \frac{V^2}{rg} \quad (13)$$

องศาการเอียงของรถจักรยานยนต์ขึ้นกับความเร็วหาได้จากสมการที่ 13 มุมเอียงวัดจากแกนแนวตั้งลงมาหาพื้นโลกยิ่งรถเอียงออกจากแกนแนวตั้งมากเท่าไรก็ยิ่งมีองศามากขึ้น และขีดจำกัดในการเอียงของรถจักรยานยนต์แต่ละประเภทมีปัจจัยอยู่หลายข้อด้วยกัน ทั้งความสามารถในการรักษาสมดุลแรงเหวี่ยง และแรงโน้มถ่วงโลกของผู้ขับขี่ ขนาดของตัวรถและน้ำหนักสัมพัทธ์ของยางกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ยางสามารถเกาะผิวถนนได้ เพราะในการเข้าโค้งผู้ขับขี่จะเอียงตัวรถเพื่อลดแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้น แต่ไม่ว่าจะเอียงอย่างไรถ้าหากยางเกาะไม่พอรถก็จะถูกเหวี่ยงไถลออกจะโค้งรถจักรยานยนต์ประเภทที่ใช้ในการออกแบบเครื่องจำลองการขับขี่ คือ สกูตเตอร์ หรือกลุ่มรถแม่บ้านที่นิยมใช้มากในเมืองไทยสามารถเอียงได้สูงสุด 40 องศา (ภณ เพียรทองกิจ, 2561) แสดงในภาพ 4



ภาพ 4 การเอียงของรถประเภทต่าง ๆ

ที่มา: ภณ เพียรทองกิจ (2561)

### หลักการงานอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเบื้องต้น

สำหรับการพัฒนาเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เบื้องต้น ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จะใช้สำหรับจำลองการรับส่งค่าพารามิเตอร์ระหว่างเครื่องจำลองจักรยานยนต์และโปรแกรมจำลองการขับขี่ หลักการทำงานประกอบด้วย จำลองการบิดคันเร่ง รับแรงกดจากการกำเบรกหน้า รับแรงกดจากการเหยียบเบรกหลัง วัดองศาของแฮนด์ และรับส่งข้อมูลระหว่าง Hardware กับ Software โดยอุปกรณ์และหน้าที่ในการสร้างแบบจำลองแสดงดังตาราง 2



## ตาราง 2 อุปกรณ์และหน้าที่ในการสร้างแบบจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริง

ระบบการทำงาน	อุปกรณ์	ทำหน้าที่
Accelerator	Hall Accelerator	จำลองการบิดคันเร่ง
Front brake	Potentiometer	รับแรงกดจากการกำเบรคหน้า
Rear brake	Potentiometer	รับแรงกดจากการเหยียบเบรคหลัง
Steering	Encoder	วัดองศาของแฮนด์
Control System	Arduino MEGA	รับส่งข้อมูลระหว่าง Hardware กับ Software

1. Hall Accelerator คันเร่งที่ใช้เซนเซอร์ฮอลล์ (Hall sensor) ในการตรวจจับการเคลื่อนไหวของคันเร่งและส่งสัญญาณไปยังระบบควบคุมเครื่องยนต์ไฟฟ้าหรือตัวควบคุมความเร็วของรถไฟฟ้า เพื่อควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังมอเตอร์หรือระบบขับเคลื่อนอื่น ๆ แสดงในภาพ 5 สำหรับงานวิจัยนี้ Hall Accelerator ใช้จำลองการเร่งความเร็วของจักรยานยนต์



ภาพ 5 คันเร่งไฟฟ้าแบบ Hall sensor

2. Potentiometer ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เป็นทรานซิสเตอร์วัดตำแหน่งและระยะทางชนิดเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โดยอาศัยหลักการแปลงตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของค่าความต้านทานไฟฟ้า นิยมใช้ในอุตสาหกรรม มีโครงสร้างที่ง่าย ประกอบด้วยตัวต้านทานและหน้าสัมผัส ที่สามารถเลื่อนไปมาบนตัวต้านทานได้ โดยหน้าสัมผัสสามารถเคลื่อนที่ในแนวเชิงเส้น เชิงมุม หรือทั้งสองรูปแบบซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นวงซ้อนหรือเกลียว ค่าความ

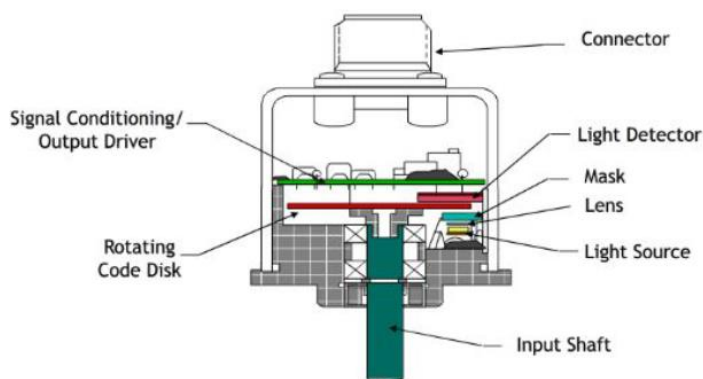
ต้านทานของขดลวดที่พันบนแกนจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของแกน โดยค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสกับขดลวด ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้มีหลายชนิดแสดงในภาพ 6 สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้แบบหมุนใช้จำลองตำแหน่งของแรงเบรกล้อหลัง และตัวต้านทานแบบปรับค่าได้แบบเลื่อนใช้จำลองตำแหน่งของแรงเบรกล้อหน้า



ภาพ 6 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ชนิดต่างๆ

ที่มา: Simon (2024)

3. Encoder เอ็นโค้ดเดอร์ เป็นเซนเซอร์สำหรับวัดระยะทาง (Distance Sensor), ความเร็ว (Speed), ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction of Rotation), ตำแหน่งหรือมุม เป็นต้น โครงสร้างภายในประกอบด้วย เพลา (Shaft), เป็นแกนหมุนต่อเข้ากับอุปกรณ์, แผ่นดิสก์ (Disc หรือ Slit), เป็นแผ่นที่เจาะเป็นแถบเล็ก ๆ ให้แสงผ่านได้ Photodetector ใช้รับแสงสำหรับแปลงเป็นรหัสข้อมูล และ LED ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ส่องผ่านเลนส์ (Convex lens) ให้ลำแสงส่องผ่านแถบเล็ก ๆ บน Disc ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามลักษณะของสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) ได้แก่ Incremental Encoder และ Absolute Encoder แสดงในภาพ 7 สำหรับงานวิจัยนี้ Encoder ใช้สำหรับวัดมุมการหมุนของแฮนด์และการเอียงของจักรยานยนต์โดย Encoder จะถูกติดตั้งกับมอเตอร์



ภาพ 7 ส่วนประกอบของ Encoder

ที่มา: Thaicontrol (2014)

4. Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูปในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open Source ที่สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่าง ๆ และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ดของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน ตัวบอร์ดสามารถนำโมดูลมาต่อเพิ่ม ซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น shield เพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้นที่ Arduino MEGA ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O มากกว่า Arduino Uno เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลาย ๆ ตัว สำหรับงานวิจัยนี้ Arduino MEGA มีหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่าง Hardware (แบบจำลองการขับเคลื่อนจักรยานยนต์) และ Software (โปรแกรมจำลองการขับเคลื่อนจักรยานยนต์) ได้แก่ รับค่าจากแรงเบรคหน้าและหลัง Potentiometer, คันเร่งไฟฟ้า Hall Accelerator และองศาของแฮนด์จาก Encoder



ภาพ 8 Arduino MEGA

### ระบบการขับขี่เสมือนจริง

สำหรับการศึกษาระบบการขับขี่เสมือนจริง ในชุดโครงการนวัตกรรมเพื่อถนนปลอดภัย งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือในการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์จำลองการขับขี่ โดยหน่วยวิจัยด้านเทคโนโลยีที่ศาสตร์คอมพิวเตอร์และการโต้ตอบกับมนุษย์ (Computer Vision and Human Interaction Technologies Laboratory: NU Vision Lab) ภาควิชาคอมพิวเตอร์ และฮาร์ดแวร์ โดยศูนย์วิจัยและพัฒนานวัตกรรมยานยนต์ (Development and Research of Innovative Vehicle Engineering Center: DRIVE) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการพัฒนาระบบนี้ มุ่งเน้นที่การฝึกอบรมการขับขี่รถจักรยานยนต์อย่างปลอดภัย โดยใช้โปรแกรมระบบจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์เสมือนจริง ควบคู่กับเทคโนโลยีความจริงเสมือนหรือ วีอาร์ เพื่อเพิ่มความเสมือนจริงให้กับประสบการณ์ในการเรียนรู้ของบทเรียนในโปรแกรม สำหรับโปรแกรมระบบจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์เสมือนจริงพัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ยูนิตี้ (Unity) บนแพลตฟอร์มคอมพิวเตอร์ โดยบทเรียนที่ได้รับการพัฒนาเบื้องต้นสำหรับจำลองการขับขี่ประกอบด้วย 2 ส่วนเบื้องต้น คือ การสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามสอนขับรถ และการสอนการขับขี่ปลอดภัยบนท้องถนน

#### 1. การพัฒนาโปรแกรมสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามสอนขับรถ

ในการพัฒนาโปรแกรมสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์นี้ ได้ใช้ต้นแบบจากสนามสอนขับรถจริงในการสร้างฉากโมเดลสามมิติ จากโรงเรียนสอนขับรถในจังหวัดพิษณุโลก แสดงในภาพ 9



ภาพ 9 สนามสอนขับรถจริงที่ใช้เป็นต้นแบบ ที่โรงเรียนพัฒนาสอนขับรถพิษณุโลก

รวมถึงบทเรียนในการสอนขับขี่ ซึ่งบทเรียนนี้เป็นแบบเดียวกับที่ใช้ในการสอบขอรับใบอนุญาตขับขี่รถจักรยานยนต์ตามกรมการขนส่ง แสดงในภาพ 10



ภาพ 10 ภาพตัวอย่างโปรแกรมสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามสอนขับรถ

ในการพัฒนาซอฟต์แวร์เบื้องต้นกระบวนการในการตัดสินใจว่าผู้เข้าทดสอบจะผ่านเกณฑ์ภาคสนามหรือไม่ จะพิจารณาโดยใช้เกณฑ์คะแนนที่ผู้เข้าทดสอบในบทเรียนจะต้องขับขี่ตามรูปแบบที่วางไว้ได้ เช่น กรณีผู้เข้าทดสอบสามารถขับขี่ได้ตามแนวลูกศรที่แนะนำในบทเรียนได้ทั้งหมดจากจุดเริ่มต้นไปจนครบรอบการทดสอบ จะได้คะแนน 100 คะแนน ซึ่งผู้ขับขี่ที่สามารถขับตามแนวลูกศรได้มากกว่า 70 แต้มขึ้นไป จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ผ่านการทดสอบ อย่างไรก็ตามการทดสอบการขับขี่สามารถออกแบบให้มีเกณฑ์การขับขี่แบบสมรรถนะได้เช่นกัน เช่น เกณฑ์การขับขี่แบบดีมาก ดี หรือพอใช้ และไม่ผ่านเกณฑ์ เป็นต้น

## 2. การพัฒนาโปรแกรมสอนการขับขี่ปลอดภัยบนท้องถนน

การพัฒนาโปรแกรมในส่วนนี้ มุ่งเน้นไปที่การสอนผู้ใช้งานการขับขี่อย่างปลอดภัยบนท้องถนนและกฎจราจรพื้นฐานที่ผู้ขับขี่บนท้องถนนทุกคนควรทราบ โดยผู้ใช้งานต้องใช้ อุปกรณ์ VR ควบคู่ไปกับบทเรียนเพื่อเพิ่มความสมจริงในการเรียนรู้ยิ่งขึ้น

ในการสอนโปรแกรมจะมี 2 โหมดคือ โหมดฝึกอบรมที่ผู้ใช้งานมีไกด์บอกภารกิจตามจุดต่าง ๆ ว่าต้องทำอะไรเช่น ข้างหน้ามีสี่แยกควรชะลอความเร็ว หรือจอดรอสัญญาณไฟจราจรตรงจุดไหน และสัญญาณจราจรใดทำหน้าที่อย่างไร เป็นต้น โดยบทเรียนจะให้ผู้ใช้ปฏิบัติตามภารกิจเป็นจุด

ตามลำดับ และโหมดที่สอง คือ โหมดทดสอบโดยผู้ใช้งานต้องทำภารกิจที่กำหนดโดยไม่มีไคด์บอก และมีการจับเวลาและการหักคะแนนหลังจบการทดสอบ ในงานนี้มีโปรแกรมอยู่ด้วยกัน 2 บทเรียน คือ

2.1 บทเรียน “การข้ามแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร” ดังแสดงในภาพ 11 ในบทเรียนนี้ ประกอบด้วย สัญญาณไฟแดง และการจอดรถตรงเส้นจอด การรอสัญญาณไฟเขียวและการข้ามแยก และสัญญาณไฟเหลือง และการปฏิบัติเมื่อพบสัญญาณไฟเหลือง



(ก) เริ่มบทเรียน



(ข) พบแยกสัญญาณไฟสีแดง



(ค) สัญญาณไฟเขียว



(ง) พบแยกสัญญาณไฟเหลือง

ภาพ 11 ภาพตัวอย่างในโปรแกรมบทเรียนการข้ามแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร

2.2 บทเรียน “การข้ามแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร” ดังแสดงในภาพ 12 ในบทเรียนนี้ ประกอบไปด้วย การข้าม และ จอดรถเมื่อพบแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร การข้ามแยกอย่างปลอดภัย การมองถนนซ้าย ขวา การเลี้ยวซ้ายตรงแยกที่มีป้าย เลี้ยวซ้ายผ่านตลอด และการเลี้ยวซ้ายตรงแยกที่มีป้าย เลี้ยวซ้ายรอสัญญาณไฟ



(ก) จอดรอเมื่อพบแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร



(ข) จอดรอเพื่อรอถนนว่าง



(ค) มองไปถนนด้านซ้ายเพื่อดูรถ



(ง) มองไปถนนด้านขวาเพื่อดูรถ



(จ) เลี้ยวซ้ายแยกมีป้ายเลี้ยวซ้ายผ่านตลอด



(ฉ) เลี้ยวซ้ายแยกมีป้ายเลี้ยวซ้ายรอสัญญาณไฟ

## ภาพ 12 ภาพตัวอย่างในโปรแกรมบทเรียนการข้ามแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร

การทดสอบการขับขี่ในสภาพแวดล้อมในเมือง จะใช้เกณฑ์การทดสอบว่าผู้ขับขี่จักรยานยนต์สามารถทำตามข้อกำหนดการขับขี่ได้หรือไม่ เช่น การขับขี่ตามกฎหมายจราจรในพื้นที่จำลอง หรือสภาวะการขับขี่ต่าง ๆ ได้ตามที่ระบุเป็นข้อ ๆ ได้ครบหรือไม่ รวมถึงการทดสอบการขับขี่ในสถานการณ์ต่าง ๆ เช่น การเบรกกะทันหัน เป็นต้น ในกรณีนี้ผู้ขับขี่จะต้องกระทำตามเกณฑ์ให้ถูกต้องจนครบจึงจะถือว่าผ่านการอบรมการขับขี่ได้อย่างปลอดภัย ซึ่งการออกแบบสภาวะการขับขี่จะสามารถเพิ่มเติมได้ตามช่วงอายุในอนาคต เช่น การทดสอบการมองเห็นป้ายหรือยานพาหนะชนิดอื่น ๆ บนท้องถนนได้อีกด้วย

### การได้รับใบอนุญาตขับรถจักรยานยนต์

กรมการขนส่งทางบก (2566) สำหรับรถจักรยานยนต์ที่มีขนาดความจุกระบอกสูบรวมกันไม่เกิน 110 ลูกบาศก์เซนติเมตร ต้องมีอายุไม่ต่ำกว่า 15 ปีบริบูรณ์ การทำใบขับขี่ครั้งแรกสำหรับผู้เริ่มต้นในปัจจุบันสามารถเลือกได้สองวิธี ได้แก่ วิธีที่หนึ่งเรียนกับโรงเรียนสอนขับรถซึ่งประกอบไปด้วย ฝึกหัดขับรถ อบรมภาคทฤษฎี ทดสอบภาคทฤษฎี ทดสอบขับรถ นำใบรับรองไปทำใบขับขี่ที่สำนักงานขนส่งต่อไป วิธีที่สองเรียนรู้ด้วยตนเองซึ่งประกอบไปด้วย ฝึกหัดขับรถด้วยตัวเอง เรียนรู้ภาคทฤษฎีด้วยตนเอง ศึกษาคู่มือและฝึกทำข้อสอบจากนั้นจึงทำการนัดเข้าอบรม 5 ชั่วโมง ที่สำนักงานขนส่ง ทดสอบสมรรถภาพร่างกายสำหรับการสอบใบขับขี่จักรยานยนต์ ได้แก่ ทดสอบตาบอดสี ทดสอบสายตาทางลึก ทดสอบสายตาทางกว้าง และทดสอบปฏิกิริยาทางเท้า ทดสอบภาคทฤษฎี 50 ข้อ และต้องผ่านเกณฑ์คะแนน 90% หรือคิดเป็น 45 ข้อ และทดสอบภาคปฏิบัติ ตามพระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522 ซึ่งขั้นตอนการทดสอบภาคปฏิบัติสำหรับรถจักรยานยนต์แบ่งออกเป็น 5 ท่า ดังนี้

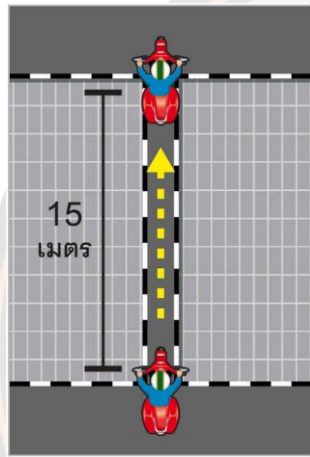
1. ขับรถจักรยานยนต์โดยปฏิบัติตามเครื่องหมายจราจร ภาพ 13(ก)
2. ขับรถจักรยานยนต์ทรงตัวบนทางแคบทรงตัวไว้โดยไม่ให้เท้าแตะพื้น ภาพ 13(ข)
3. ขับรถจักรยานยนต์เข้าโค้งแคบ รูปตัว Z ห้ามชนกรวยล้ม ภาพ 13(ค)
4. ขับรถจักรยานยนต์เข้าโค้ง รูปตัว S ห้ามชนกรวยล้ม ภาพ 13(ง)
5. ขับรถจักรยานยนต์ซิกแซก หลบสิ่งกีดขวาง ภาพ 13(จ)

สำหรับการทดสอบขับรถจักรยานยนต์ให้ทดสอบจำนวน 3 ท่า คือ ท่าที่ 1 เป็นท่าบังคับและเลือกทดสอบอีก 2 ท่าตามความเหมาะสมของสนามทดสอบ (มักเป็นท่าที่ 2 กับ 5) เมื่อผ่านทุกขั้นตอน ผู้ขอใบอนุญาตจะได้รับใบอนุญาตขับรถจักรยานยนต์จากสำนักงานขนส่งทำให้สามารถขับรถจักรยานยนต์ได้ตามกฎหมายและข้อบังคับที่กำหนดไว้ในประเทศ

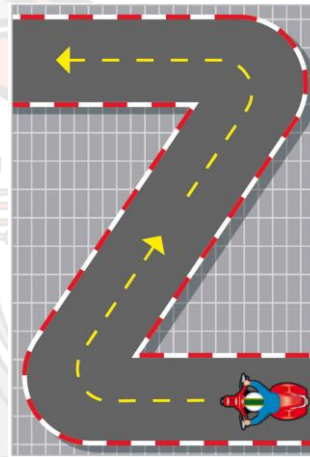




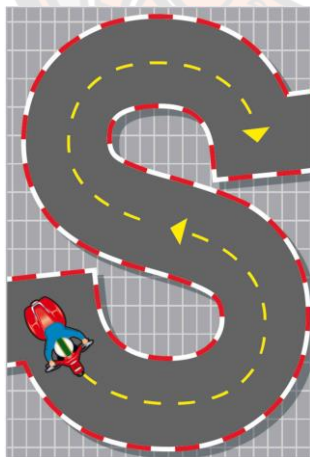
(ก) การขับรถโดยปฏิบัติตามเครื่องหมายจราจร



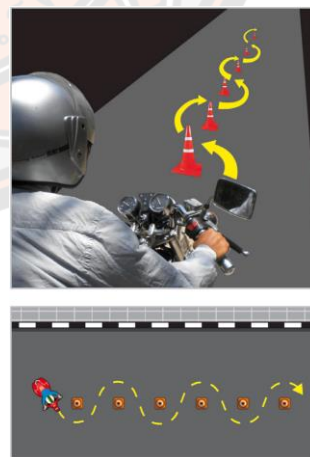
(ข) การขับรถตรงตัวบนทางแคบ



(ค) การขับรถผ่านทางโค้งรัศมีแคบรูปตัวซ



(ง) การขับรถผ่านทางโค้งรูปตัวเอส



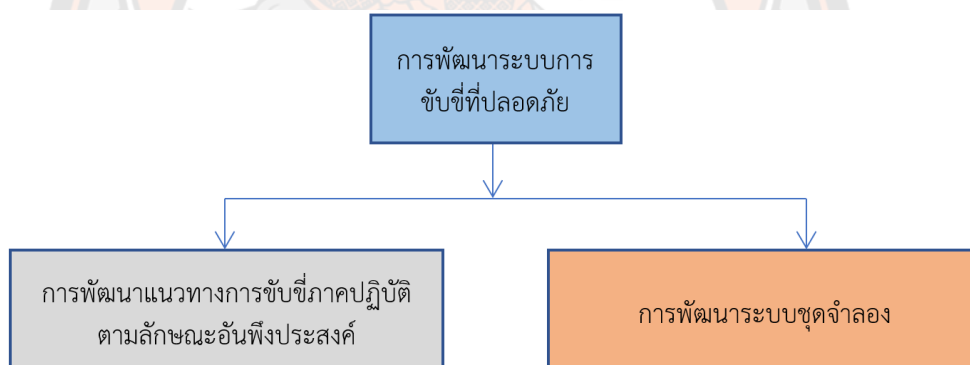
(จ) การขับรถหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

ภาพ 13 การทดสอบขับรถจักรยานยนต์

ที่มา: กรมการขนส่งทางบก (2566)

## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันกระบวนการสอบเพื่อขอรับใบอนุญาตขับขี่ จำเป็นต้องมีการทดสอบสมรรถภาพทางร่างกายและเข้ารับการอบรมภาคทฤษฎี 5 ชั่วโมง รวมถึงต้องสอบให้ผ่านร้อยละ 90 จากข้อสอบจำนวน 50 ข้อ และสอบภาคปฏิบัติอย่างน้อย 3 ท่า หากผ่านทุกกระบวนการก็สามารถทำใบอนุญาตขับขี่กับกรมการขนส่งทางบกได้ ในต่างประเทศการสอบเพื่อขอใบอนุญาตขับขี่เป็นเรื่องที่ยากมากและมีความซับซ้อน มีระดับขั้นของความสามารถตั้งแต่พื้นฐาน ชั่วคราว จนกว่าจะได้ระดับที่ถือได้ว่าเป็นผู้ที่มีความสามารถในการขับขี่อย่างแท้จริง ส่วนหนึ่งการได้มาขอใบอนุญาตขับขี่รถ ผู้ขับขี่จำเป็นต้องมีคุณลักษณะและความสามารถอันพึงประสงค์ กล่าวคือต้องผ่านเกณฑ์ตามกระบวนการเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนได้เมื่อออกไปขับขี่บนถนนจริง ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีกระบวนการดังที่กล่าวมา ดังนั้นในการพัฒนารูปแบบจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงลักษณะของพฤติกรรมของผู้ขับขี่และสร้างรูปแบบแนวทางการให้องค์ความรู้ในการขับขี่ของกลุ่มเยาวชนรวมถึงเทคโนโลยีที่ทันสมัย เพื่อให้เยาวชนมีความปลอดภัยในการใช้รถจักรยานยนต์ ดังแสดงในภาพ 14



ภาพ 14 แสดงแผนภาพการพัฒนาระบบฝึกหัดการขับขี่ปลอดภัย

### 1. เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (VR)

นอกจากนั้นเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality) หรือเรียกอย่างย่อว่า VR คือทัศนียภาพรอบทิศทางที่สร้างขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ จำลองและถ่ายทอดความรู้สึกและประสบการณ์ตั้งอยู่ในโลกเสมือนจริง การรับชม VR จำเป็นต้องมีอุปกรณ์รับชมซึ่งรับสัญญาณมาจากคอมพิวเตอร์ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีฮาร์ดแวร์ที่ป้อนตรงต่อประสาทสัมผัสด้านการมองเห็นที่เรียกว่า "จอแสดงผลแบบสวมศีรษะ" (Head-Mounted Display - HMD) ให้ตาทั้งสองได้เห็นภาพเป็นสามมิติจากจอภาพขนาดเล็กที่ให้ภาพ (หรือต่อไปอาจลดขนาดลงเป็นแว่นตาก็ได้) และเมื่อผู้ใช้เคลื่อนไหว ภาพก็จะถูกสร้างให้รับกับความเคลื่อนไหวนั้น บางกรณีก็จะมีหูฟังแบบสเตอริโอ (Stereo) ให้ได้ยินเสียงรอบ

ทิศทาง และอาจมีถุงมือรับข้อมูล (Data Glove) หรืออุปกรณ์อื่นที่จะทำให้ผู้ใช้โต้ตอบกับสิ่งแวดล้อมจำลองที่ตนเข้าไปอยู่ดังแสดงในภาพ 15



ภาพ 15 จอแสดงผลแบบสวมศีรษะ (Head-Mounted Display - HMD)

ระบบความเป็นจริงเสมือน (VR) สามารถตอบโจทย์ความต้องการของนักธุรกิจบางส่วนได้เป็นอย่างดี เพราะสามารถดัดแปลงไปใช้ในงานหลาย ๆ ด้าน เช่นงานด้านสารสนเทศ อาศัยความเป็นจริงเสมือน เพื่อเรียกให้ผู้คนมาสนใจด้านสารสนเทศ กระตุ้นประสาทสัมผัสของมนุษย์ให้รับรู้และเข้าใจได้ง่าย ซึ่งเป็นผลดีต่อมนุษย์ที่รับรู้ได้รวดเร็วและง่ายต่อการจดจำ ตลอดจนการใช้งานสำหรับงานฝึกหัด

ระบบเสมือนจริงถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น ด้านการฝึกอบรม ระบบฝึกผ่าตัดสำหรับแพทย์ นักเรียนแพทย์สามารถใช้ระบบนี้เพื่อเรียนรู้การผ่าตัดโดยใช้ถุงมือซึ่งจะส่งสัญญาณการเคลื่อนไหวกลับไปคอมพิวเตอร์ นักเรียนแพทย์สามารถจะเห็นภาพห้องผ่าตัดที่มีเตียง เครื่องมือ และคนไข้ได้จากแว่น 3 มิติซึ่งถูกส่งภาพมาจากคอมพิวเตอร์ เมื่อนักเรียนแพทย์ขยับมือไปหยิบเครื่องมือที่เห็นในจอภาพ โดยที่ไม่มีเครื่องมือนั้นอยู่จริง สามารถนำเครื่องมือนั้นทำการผ่าตัดคนไข้บนจอภาพ และระบบเสมือนจริงยังอาจส่งแรงต้านเมื่อมีดผ่าตัดกดลงบนเนื้อคนไข้ ให้นักเรียนแพทย์ได้รู้สึกจากถุงมือได้ด้วย การใช้ระบบเสมือนจริงเช่นนี้ทำให้นักเรียนแพทย์สามารถเรียนรู้วิธีการผ่าตัดโดยสามารถฝึกหัดได้จากระบบเสมือนจริงบ่อยครั้งมากกว่าเดิมที่ต้องทดลองกับครุใหญ่ (ศพที่มีผู้บริจาคเพื่อการศึกษา) นอกจากนี้ในภาคของอุตสาหกรรม เช่น เจนเนอรัลมอเตอร์สและฟอร์ด ซึ่งเป็นผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของโลก ได้สร้างรถยนต์เสมือนจริงที่ให้ลูกค้าได้ทดลองขับซึ่รถยนต์ ซึ่งจะเห็นภาพของสถานที่แวดล้อมที่มีการขับรถยนต์ผ่านไปพร้อมกับความรู้สึกที่ใกล้เคียงกับการได้นั่งขับรถยนต์อยู่จริง ๆ ซึ่งเหล่านี้ก็เป็นตัวอย่างของการใช้ระบบเสมือนจริงเพื่อการฝึกอบรมปฏิบัติ นอกจากการนำไปใช้สำหรับการฝึกปฏิบัติแล้ว เกมคอมพิวเตอร์ก็ได้นำระบบเสมือนจริงไปสร้างเป็นเกมให้ผู้เล่นสามารถจับอาวุธ หรืออุปกรณ์เช่นเครื่องควบคุมยานอวกาศ เป็นเครื่องมือที่จะส่งความเคลื่อนไหวเข้าสู่คอมพิวเตอร์ และมองเห็นภาพของการสู้รบได้แบบสามมิติที่เหมือนอยู่ในเหตุการณ์จริง และยัง

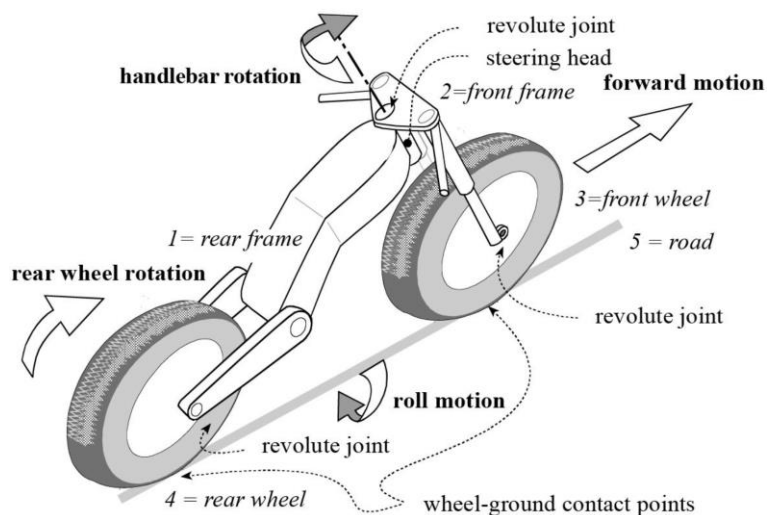
อาจสร้างเครื่องมือเฉพาะที่อาจทำให้รู้สึกสั่นสะเทือน หรือมีแรงหน่วงเมื่อเกิดการเลี้ยวโค้ง ฯลฯ ได้ ทำให้เกิดความบันเทิงในการเล่นเกมที่สมจริงสมจังมากยิ่งขึ้น

โดยตัวอย่างงานประยุกต์ที่อาศัยความจริงเสมือน (Virtual Reality Applications) ได้แก่บริษัทการบินไทยได้นำเทคโนโลยี “เครื่องจำลองการบิน ” หรือ Aviation Simulation เพื่อเป็นการฝึกปรือให้นักบินมีทักษะและความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติหน้าที่ด้วยความเชื่อมั่น ซึ่งนักบินถือเป็นอาชีพหนึ่งแต่อาจจะแตกต่างกับหลาย ๆ อาชีพก็ตรงที่ การบินต้องเตรียมพร้อมและต้องสามารถรับมือกับสถานการณ์เฉพาะหน้าได้ทุกรูปแบบ แม้ว่าการเดินทางโดยเครื่องบิน จะเป็นการเดินทางที่ปลอดภัยมากที่สุดก็ตาม ดังนั้นการฝึกบินจึงต้องปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ ในสถานการณ์ที่แตกต่างกันไป ทางด้านกองทัพ (Military) เช่น บริษัท Microsoft ได้คิดค้น Software ที่ชื่อ Flight Simulator 2004 A Century of Flight เพื่อใช้สำหรับการฝึกนักบิน และสำหรับการแพทย์ (Medical) เช่น โรงพยาบาลญาไท แผนก Surgery Clinic ซึ่งนำเทคโนโลยีกล้อง microscope มาประยุกต์ใช้ในการผ่าตัดหรือการศัลยกรรมเสริมสวยต่าง ๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการผ่าตัดด้วยระยะภายในร่างกายที่ยากต่อการเข้าถึงและยังลดความเจ็บปวดหลังการผ่าตัดได้อีกด้วย

ด้วยคุณลักษณะการทำงานของระบบเสมือนจริงนี้ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ระบบจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งในการนำมาประยุกต์ใช้ในการจำลองสภาพแวดล้อมการขับขี่จรวดยานยนต์ และสามารถจัดทำเป็นบทเรียนให้เยาวชนได้เรียนรู้เปรียบเสมือนได้อยู่ในสถานการณ์จริง ซึ่งมีความปลอดภัยในการฝึกหัด สร้างความอยากเรียนรู้เพราะสามารถสร้างเป็นเกมที่เหมาะสมแก่ผู้ฝึกอบรม ซึ่งสามารถกระตุ้นความอยากรู้อยากเห็น พร้อมสอดแทรกข้อคิดและการสอนให้ปฏิบัติตามกฎจราจร เพื่อปลูกฝังจิตสำนึกการขับขี่อย่างปลอดภัยได้อีกด้วย

## 2. งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องจำลองจรวดยานยนต์

งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องจำลองจรวดยานยนต์ได้มีการพัฒนามาหลายรูปแบบเพื่อการจำลองการขับขี่ที่สมจริงจะขึ้นอยู่กับจำนวนองศาอิสระ โดยพื้นฐานจะมีจำนวนองศาอิสระเท่ากับ 3 แกน (Degree of Freedom: DOF) การศึกษาจลนศาสตร์ของรถจรวดยานยนต์มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบที่มีต่อพฤติกรรมแบบไดนามิกส์ของรถจรวดยานยนต์ แม้ว่ารถจรวดยานยนต์จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนเครื่องจักรที่หลายชิ้น รวมถึงชิ้นส่วนที่ซับซ้อน จากมุมมองจลนศาสตร์จะพิจารณาช่วงล่างว่าเป็นวัตถุแข็งเกร็ง รถจรวดยานยนต์สามารถกำหนดได้ว่าเป็นเพียงกลไกเชิงพื้นที่ประกอบด้วย สี่วัตถุแข็งเกร็ง ดังนี้ ส่วนประกอบด้านหลัง (โครง, อาน, ถัง, และกลุ่มระบบส่งกำลัง) ส่วนประกอบหน้า (โช๊ค, คอแชนด์และแฮนด์) ส่วนของล้อหน้า และส่วนของล้อหลัง วัตถุแข็งเกร็งเหล่านี้เชื่อมต่อในลักษณะการหมุน (แกนบังคับเลี้ยวและแกนล้อทั้งสองล้อ) และสัมผัสกับพื้นที่จุดสัมผัสสองจุดบนล้อกับพื้น แสดงดังภาพ 16 (V. Cossalter, 2006)

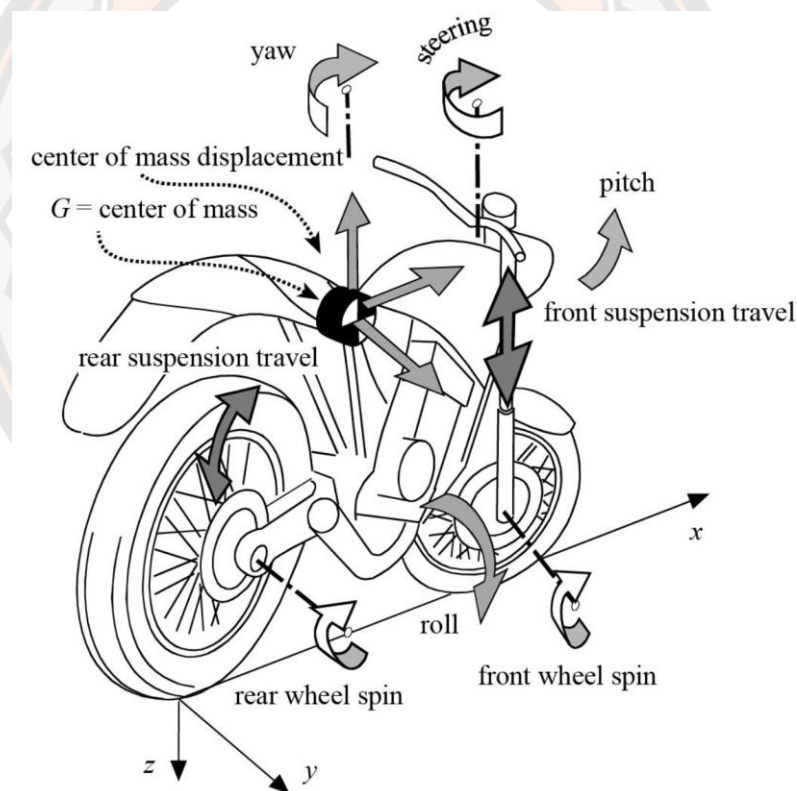


ภาพ 16 โครงสร้างจลนศาสตร์ของรถจักรยานยนต์

ที่มา: V. Cossalter (2006)

รถจักรยานยนต์มีองศาอิสระ (DOF) หลัก ๆ ที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่ากับ 3 DOF ประกอบไปด้วย การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแสดงโดยการหมุนล้อหลัง หลักการคือการเร่งความเร็วหรือชะลอความเร็วจะเปลี่ยนความเร็วไปข้างหน้าของรถจักรยานยนต์ การเคลื่อนที่แบบ Roll หลักการคือการเอียงรถจักรยานยนต์ไปด้านใดด้านหนึ่งจะทำให้รถจักรยานยนต์หมุนไปในทิศทางนั้นโดยมีจุดหมุนที่เส้นตรงที่เชื่อมต่อดูดสัมผัสของยางบนพื้นถนน และการหมุนบังคับเลี้ยว หลักการคือในขณะที่ขี่รถผู้ขับขี่จะจัดการการเคลื่อนไหวที่สำคัญทั้งสามอย่าง ตามลักษณะเฉพาะและความสามารถส่วนบุคคลของผู้ขับขี่ การเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นของรถจักรยานยนต์และวิถีการเคลื่อนที่ที่สอดคล้องกัน เช่น การเข้าโค้ง ขึ้นอยู่กับการรวมกันในโดเมนเวลาของทั้งสามการเคลื่อนไหวที่เกี่ยวข้องกับ 3 DOF ซึ่งรูปแบบการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน เกิดขึ้นได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของผู้ขับขี่แต่ละบุคคล การพิจารณาเหล่านี้ได้รับการกำหนดโดยตั้งสมมติฐานว่ายางเคลื่อนที่โดยไม่มีการลื่นไถล ในความเป็นจริง การเคลื่อนไหวของยางไม่ได้เป็นเพียงกระบวนการกลิ้งอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงการลื่นไถลและการบิดตัวด้วยปัจจัยอื่น ๆ เช่น การสร้างแรงตามยาว (Longitudinal Forces) ที่เกิดจากแรงขับเคลื่อนและแรงเบรก และแรงด้านข้าง (Lateral Forces) ที่เกิดจากการลื่นไถล ดังนั้นจำนวนองศาอิสระสำหรับเครื่องที่ของจักรยานยนต์ที่ใกล้เคียงกับจริงประกอบด้วย 7 DOF ได้แก่ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของรถจักรยานยนต์ การหมุนของล้อ การหมุนแฮนด์ การลื่นไถลตามยาวของล้อหน้า (แรงขับเคลื่อนหรือเบรก) การลื่นไถลตามยาวของล้อหลัง (แรงขับเคลื่อนหรือเบรก) การลื่นไถลด้านข้างของล้อหน้า และการลื่นไถลด้านข้างของล้อหลัง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องจำลองยานพาหนะ ได้มีการลงทุนจำนวนมากเพื่อปรับปรุงความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้ขับขี่รถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นด้านวิชาการอุตสาหกรรมหรือเชิงพาณิชย์สถาบันหลายแห่งได้เริ่มสร้างต้นแบบของตัวเองเพื่อจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามงานวิจัยของเครื่องจำลองสองล้อนั้นยังมีไม่มากนัก ซึ่งงานวิจัยโดยส่วนมากถูกทำโดยสถาบันอุตสาหกรรมในประเทศญี่ปุ่นและอิตาลี เครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่จะถูกพัฒนาเพื่อใช้สำหรับการฝึกอบรมการขับขี่จักรยานยนต์แบบสมจริงและปลอดภัย ในงานวิจัยในปัจจุบันมีการสร้างเครื่องจำลองจักรยานยนต์ที่ให้ความเสมือนจริง โดยความเสมือนจริงของเครื่องจำลองขึ้นอยู่กับจำนวนองศาอิสระ ซึ่งทิศทางแกนการเคลื่อนที่ของเครื่องจำลองสำหรับเนื้อหาต่อไปนี้จะใช้อ้างอิงแสดงดังภาพ 17 และแพลตฟอร์มของเครื่องจำลอง โดยรูปแบบการพัฒนานำเสนอดังต่อไปนี้



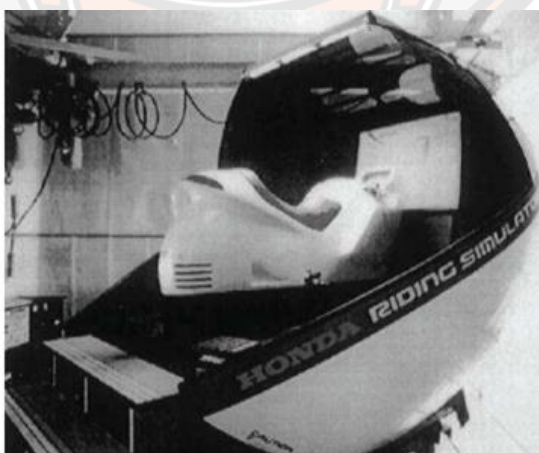
ภาพ 17 ทิศทางแกนเคลื่อนที่ของจักรยานยนต์ โดย Cossalter

ที่มา: V. Cossalter (2006)

## 2.1 เครื่องจำลองรถจักรยานยนต์โครงสร้างแบบแท่นวาง

สำหรับงานวิจัยการจำลองในช่วงแรก ๆ อยู่ในโครงสร้างฐานที่คงที่เป็นส่วนใหญ่ รถจักรยานยนต์แบบลดรูปวางหน้าจอด้านหน้าเพื่อแสดงสภาพแวดล้อมการมองเห็น เครื่องจำลองเริ่มต้นเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนามาจากประเทศญี่ปุ่น ที่ซึ่งโรงเรียนสอนขับรถได้เริ่มทำการจำลองการขับขี่ขึ้นเพื่อการฝึกอบรม

ในปี 1988 HONDA Corporation เริ่มพัฒนาชุดเครื่องมือจำลองรถจักรยานยนต์ต้นแบบแรกของตัวจำลองแพลตฟอร์มที่เคลื่อนไหวได้รับการออกแบบมาเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของการจำลองการขับรถเพื่อจำลองกลยุทธ์การเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์ แสดงในภาพ 18 แพลตฟอร์มเคลื่อนที่ง่ายมี 7 แกนที่ทำงานเพื่อจำลอง 4 องศาอิสระ (DOF) คือ Roll, Yaw, Pitch และคั่นบังคับเลี้ยว กลไกแท่นวางถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองความรู้สึกของความเร่ง ในการขับเคลื่อน เครื่องจำลองนี้จะใช้โมเดลไดนามิกส์รถจักรยานยนต์เชิงเส้นเพื่อคำนวณพฤติกรรมแบบไดนามิกส์ตามการกระทำของผู้ขับขี่ อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ขับขี่ไม่สามารถควบคุมตัวจำลองขณะเลี้ยวได้เนื่องจากไม่มีแรงเหวี่ยง ดังนั้น ความเร่งด้านข้างจะแตกต่างจากการขับขี่จริง โดยเฉพาะบนเครื่องจำลองผู้ขับขี่มีแนวโน้มที่จะขับรถจำลองเป็นเหมือนรถยนต์ ความคิดเกี่ยวกับการบังคับเลี้ยวแบบเคาน์เตอร์นั้นค่อนข้างทำซ้ำได้ยากและในหลาย ๆ กรณีการเคลื่อนไหวของเครื่องจำลองไม่สามารถควบคุมได้ จากการประเมินเหล่านี้ต้นแบบที่สองได้รับการพัฒนาขึ้น วัตถุประสงค์หลักของรุ่นต้นแบบที่สองนี้คือการฝึกอบรมสำหรับสถานการณ์การจราจรในเมืองในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ดังนั้นในการจำลองจึงให้ความสำคัญกับการควบคุมมากกว่าลักษณะพื้นฐานทางด้านพลศาสตร์ของยานพาหนะสองล้อ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ใช้โปรแกรมจำลองสามารถ ควบคุมได้ง่ายมากกว่าของต้นแบบแรก



ภาพ 18 การจำลองของบริษัท Honda ต้นแบบแรก

ที่มา: Nehaoua et al., (2011)

ในบริบท "จัดการได้ง่าย" นี้หมายความว่าผู้ใช้เครื่องมือจำลองสามารถขับเคลื่อนในทิศทางที่ต้องการได้อย่างง่ายดายตามฉากที่มองเห็น ดังนั้นแบบจำลองพลศาสตร์ของรถจักรยานยนต์จึงได้รับการปรับแต่งจากการทดลองที่ดำเนินการบนถนนที่แตกต่างกันและสำหรับการใช้กลยุทธ์ที่แตกต่างกัน สถาปัตยกรรมของแพลตฟอร์มใหม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์ แสดงในภาพ 19 ระบบแทนวางถูกนำออกและมี 3 DOF เท่านั้นที่ได้รับการเก็บไว้ Pitch ( $\pm 10^\circ$ ), Roll ( $\pm 15^\circ$ ) และบังคับเลี้ยว ( $\pm 30^\circ$ ) จากนั้นต้นแบบนี้ถูกติดตั้งในศูนย์การศึกษาด้านการจราจรที่บริษัท Suzuka ตั้งแต่ปี 1991 เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจำลองดังกล่าวเป็นเครื่องมือฝึกอบรมที่ได้รับการอนุมัติ รุ่นนี้วางตลาดในปี 1996 ได้รับการสนับสนุนโดยกฎหมายของประเทศญี่ปุ่น กำหนดให้ผู้สมัครสอบใบขับขี่ทุกคนต้องผ่านการฝึกอบรมนอกถนนก่อนที่จะได้รับใบอนุญาตขับขี่



ภาพ 19 แบบจำลองของบริษัท Honda ต้นแบบที่สอง

ที่มา: Honda Motor (2001)

ภายในกระบวนการเดียวกันนี้ Honda ทำเครื่องจำลองแบบใช้ต้นทุนที่ต่ำได้ถูกพัฒนาขึ้นชื่อว่า SMARTrainer แสดงในภาพ 20 ประกอบไปด้วย โครงสร้างแบบท่อเหล็กกลม, เบาะนั่ง, แอนด์บาร์, แป้นควบคุม และคันเร่ง อุปกรณ์ทั้งหมดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์จำลอง ภารกิจหลักของเครื่องมือการศึกษานี้คือการแนะนำผู้ขับขี่ในสภาพแวดล้อมที่กำหนด จากนั้นผู้ใช้โปรแกรมจำลองจะเข้าสู่เส้นทางที่เลือก ทำตามคำแนะนำที่แสดงและดำเนินการตามสถานการณ์ที่จำลองขึ้นตามสภาพแวดล้อมเสมือนจริง หลังจากผ่านครั้งแรกผู้ฝึกหัดจะได้รับรายงานการประเมินผลที่ชี้ถึงข้อผิดพลาดการขับขี่ที่แตกต่างกันและจำนวนเหตุการณ์หรืออุบัติเหตุร้ายแรง





ภาพ 20 เครื่องจำลอง Honda SMARTrainer

ที่มา: Vidotto et al., (2008)

ในทำนองเดียวกัน บริษัท คาวาซากิ เฮฟวี อินดัสทรีส์ ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานตำรวจแห่งชาติของญี่ปุ่นเพื่อพัฒนาเครื่องจำลองรถจักรยานยนต์สำหรับฝึกขี่ในโรงเรียน ด้วยการใช้อุปกรณ์แสดงผลแบบฮีดส์รีอะ ทำให้ผู้ขับขี่สามารถมองจากด้านหนึ่งไปอีกด้านได้ ใช้กระจกมองหลังและเอนไปข้างหน้าตรงทางแยกเพื่อตรวจสอบการจราจร แสดงในภาพ 21 หลังจากการจำลองแล้ว สถานการณ์ที่เป็นปัญหาสามารถนำมาแสดงซ้ำได้ทันทีและดูได้จากหลายมุมมอง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่จำกัดเกี่ยวกับเครื่องจำลองรูปแบบนี้ยังไม่ได้รับการสื่อสารออกมามากนัก



ภาพ 21 เครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ของ Kawasaki

ที่มา: Haworth et al., (2005)

นอกจากนี้เครื่องจำลองรถจักรยานยนต์อื่น ๆ ตั้งใจที่จะออกแบบ แต่ก็ไม่มีความชัดเจนว่าเครื่องจำลองกำลังพัฒนาหรือไม่ บริษัท Dr.-Ing Reiner Foerst GmbH ในเยอรมันได้พัฒนาเครื่องจำลองที่หลากหลายรวมถึงเครื่องจำลองจักรยานยนต์ เหมือนกับของคาซาคิ แต่สภาพแวดล้อมเสมือนจริงจะถูกฉายลงบนหน้าจอด้านหน้าและสามารถเคลื่อนที่ในแกน Roll ได้โดยอัตโนมัติ

## 2.2 เครื่องจำลองบนแพลตฟอร์มโครงสร้างแบบขนาน

เครื่องจำลองสองล้อบางตัวสร้างขึ้นโดยใช้แพลตฟอร์มกลไกแบบขนานหรือที่เรียกว่า กอฟ - สจิวท Gough-Stewart ข้อได้เปรียบหลักของแพลตฟอร์มดังกล่าวคือความสามารถในการกำหนดค่าศูนย์กลางการหมุนทันทีโดยการรวมกันของ 6 DOF เชิงพื้นที่ คุณสมบัตินี้มีความสำคัญอย่างมากในการจำลองการขับรถเนื่องจากตำแหน่งของการหมุน Pitch, Roll และ Yaw ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการเคลื่อนไหวและทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการเคลื่อนไหวที่ติดขัดเนื่องจากข้อต่อระหว่างระดับของเสาอิสระ และถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางโดย บริษัทรถยนต์เพื่อออกแบบเครื่องจำลองการขับขี่ระดับสูง

ในวงการจำลองยานพาหนะสองล้อ การประยุกต์ใช้ในช่วงแรกได้รับการวิจัยและพัฒนาจากประเทศญี่ปุ่น ในโมเดลนี้ที่นั่งผู้ขับขี่ของรถจักรยานยนต์ออกแบบมาติดตั้งบนแพลตฟอร์มโครงสร้างแบบขนาน แสดงในภาพ 22



ภาพ 22 เครื่องจำลองจักรยานยนต์ใช้แพลตฟอร์มแบบขนานที่ได้รับการพัฒนาในญี่ปุ่น

ที่มา: Chiyoda et al., (2002)

ในแบบจำลองนี้ผู้ขับขี่ยังใช้จอแสดงผลแบบยืดหยุ่นสำหรับการฉายภาพ เครื่องจำลองนี้ยังมีเซนเซอร์วัดมุมที่วัดตำแหน่งพื้นที่ของหัวคนขับซึ่งทำหน้าที่ในการแก้ไขสภาพแวดล้อมเสมือนจริงตามตำแหน่งหัววัดที่วัดได้ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลการเผยแพร่เพิ่มเติมเกี่ยวกับประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจำลองการขับขี่

การพัฒนาเครื่องจำลองนอกจากในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการพัฒนาเครื่องจำลองที่เกิดจากความร่วมมือระหว่างห้องปฏิบัติการ PERCRO และผู้ผลิตรถจักรยานยนต์ Piaggio ได้ออกแบบเครื่องจำลองโดยใช้การสร้างต้นแบบรวดเร็ว เป็นแพลตฟอร์มกลไกแบบขนาน 7 DOF ที่ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิก แซสซีสทูตเตอร์จริงติดตั้งอยู่บนแพลตฟอร์มที่เคลื่อนที่ แสดงในภาพ 23 เครื่องจำลองใช้อุปกรณ์แฮบติคเพื่อรับรู้การเคลื่อนไหวของผู้ใช้ และติดตั้งมอเตอร์กระแสตรงเพื่อจำลองสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ แชนด์ประกอบไปด้วยเซอร์โวมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านทำให้เกิดแรงบิดสูงสุด 15 (Nm) สำหรับแรงป้อนกลับ รูปแบบโครงสร้างโดยรวมถูกจัดระเบียบในโมดูลต่าง ๆ ที่สื่อสารผ่านทางออปติคอลและบัส ISA (Industry Standard Architecture) ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ VxWorks ถูกนำมาใช้สำหรับการซิงโครไนซ์แบบเรียลไทม์ของโมดูลต่าง ๆ



ภาพ 23 เครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ของ Moris

ที่มา: Ferrazzin et al., (2003)

สำหรับการพัฒนาจักรยานจำลองถูกสร้างขึ้นที่สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขั้นสูงของเกาหลี (KAIST) การสร้างการเคลื่อนไหวได้ออกแบบโดยใช้แพลตฟอร์ม Gough-Stewart 6 DOF ที่ทำงานด้วยระบบไฟฟ้าซึ่งเฟรมจักรยานได้ถูกติดไว้ แสดงในภาพ 24 มีการติดตั้งแชนด์และคันเหยียบตามลำดับด้วยอุปกรณ์แฮบติค ในมือข้างหนึ่งแชนด์จักรยานและมอเตอร์กระแสตรง (DC) ที่

ติดกันเชื่อมต่อโดยตรงผ่านโช้คอัพแม่เหล็ก (Magneto-Rheological Damper) ในทางกลับกันคันเร่งและมอเตอร์กระแสสลับ (AC) ที่ติดกันนั้นเชื่อมต่อผ่านเบรกแบบแมกนีโตโรลลอคอล (magneto-rheological brake) การกำหนดค่าอุปกรณ์เหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างการจำลองแรงต้านเนื่องจาก แรงต้านของอากาศ แรงเสียดทานของถนน และแรงต้านแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากสภาพพื้นผิวถนน



ภาพ 24 เครื่องจำลองจักรยานของ KAIST ประเทศเกาหลี

ที่มา: Kwon et al., (2001)

### 2.3 เครื่องจำลองบนแพลตฟอร์มโครงสร้างแบบอนุกรม

การออกแบบฐานโครงสร้างเครื่องจักรกลแบบอนุกรม การจำลองการขับขี่ได้รับการออกแบบที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ณ มหาวิทยาลัยปาดัว ประเทศอิตาลี เครื่องจำลองนี้ทำการทดสอบ 5 DOF คือ Roll, Pitch, Yaw, Lateral และ Steer angle แสดงในภาพ 25 โครงสร้างทางกลประกอบด้วยโครงสร้างทรงลูกบาศก์ทำหน้าที่เป็นฐานรองรับการเคลื่อนที่ของเฟรมผ่านเหล็กสี่เหลี่ยม วิธีการแก้ปัญหานี้จะลดแรงเสียดทานและยอมให้มีการกระจายแรงโน้มถ่วงที่เหมาะสมที่สุด เฟรมหลักของเครื่องจำลองมี 2 DOF คือ การเคลื่อนที่ด้านข้างและการหมุน Yaw แทนวางติดกับเฟรมหลักเพื่อจำลององศาอิสระในการหมุน อานติดตั้งอยู่บนแท่นที่มีหนึ่งองศาอิสระ ซึ่งสอดคล้องกับ Pitch

ในการจำลองนี้การกระทำของผู้ขับขี่ทั้งหมด ยกเว้นการเอียงของผู้ขับขี่ จะได้ใช้เครื่องมือที่มีเซนเซอร์และการรับสัญญาณโดยเครื่องมือ DAC National Instruments โมเดลไดนามิกส์รถจักรยานยนต์เสมือนจริงใช้ชื่อว่า FastBike ใช้เพื่อขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์เสมือน โดย

เครื่องจำลองนี้สร้างขึ้นด้วยโครงสร้างแบบหลายส่วน พร้อมกับการสร้างแบบจำลองอย่างขั้นสูงรวมถึงการเปลี่ยนรูปโครงสร้างและมีจำนวนองศาอิสระ 11 DOF ในการขับขี่เครื่องจำลองนี้ แรงบิดของผู้ขับขี่ที่แฮนด์นั้นวัดโดยเซนเซอร์วัดแรงบิดที่ถูกพัฒนาขึ้น งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ เช่น การเตือนการชน และการตกของผู้ขับขี่ โดยใช้เครื่องจำลองเหล่านี้



ภาพ 25 เครื่องจำลอง UNIPD ประเทศอิตาลี

ที่มา: Vittore Cossalter et al., (2011)

ภายในกรอบของโครงการ SIMACOM เครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ได้รับความร่วมมือระหว่าง ห้องปฏิบัติการ INRETS และ IBISC ในฝรั่งเศส แสดงในภาพ 26 เครื่องจำลองนี้มิได้สำหรับการฝึกอบรมเรียนรู้ความเสี่ยงโดยตระหนักถึงการป้องกันสถานการณ์อันตราย และการสังเกตพฤติกรรมในสถานการณ์การขับขี่ปกติ การสร้างรูปแบบการจำลองของการเคลื่อนไหวประกอบไปด้วย

Roll : เป็นการเคลื่อนไหวที่สำคัญที่สุดในการขับขี่เคลื่อนของรถจักรยานยนต์ องศาอิสระนี้มีความสำคัญต่อการรักษาเสถียรภาพและการควบคุมของยานพาหนะ ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ การจำลองการเลี้ยวโค้งการเข้าโค้งสลาลอมและการเปลี่ยนช่องจราจร

Pitch : องศาอิสระนี้ใช้สำหรับการจำลองส่วนหนึ่งของการเร่งความเร็วไปข้างหน้า การเบรกหรือช่วงล่างของโช๊คหน้า

Yaw : การเคลื่อนไหวนี้ได้รับออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อจำลองการสั่นไถลของล้อหลังในสถานการณ์เสี่ยงตามแบบจำลอง อย่างไรก็ตามการสั่นไถลของล้อหน้าจะไม่ถูกเก็บไว้เพราะเป็นการจำลองสถานการณ์ที่อันตรายมากเกินไป



ภาพ 26 เครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ที่พัฒนาขึ้นโดย INRETS-UEVE

ที่มา: Nehaoua et al., (2011)

จากการที่ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ข้างต้น พบว่ามีรูปแบบการพัฒนาเครื่องจำลองด้วยโครงสร้าง 3 รูปแบบ คือ โครงสร้างแบบขนาน โครงสร้างแบบอนุกรม และโครงสร้างแบบแท่นวาง โดยมีวัตถุประสงค์แตกต่างกัน เครื่องจำลองบนแพลตฟอร์มโครงสร้างแบบขนาน เป็นการสร้างจักรยานยนต์บน Stewart platform หลักการทำงานแกนจำลองการเคลื่อนที่จะทำงานร่วมกัน เกิดเป็นการจำลองการเคลื่อนที่แบบ 6 แกน และมีเพิ่ม 1 แกนสำหรับคันบังคับเลี้ยว โดยการออกแบบจะวางที่นั่งขับขี่ไว้บนตัว platform ตัวอย่างการพัฒนาจากญี่ปุ่น และอิตาลี และมีเครื่องจำลองจักรยานบน platform เดียวกัน จากเกาหลี โครงสร้างแบบขนานสามารถจำลองการเคลื่อนที่ได้หลายแกน มีความซับซ้อน ควบคุมได้ยาก และใช้ต้นทุนในการพัฒนาสูง เครื่องจำลองบนแพลตฟอร์มโครงสร้างแบบอนุกรม หลักการทำงานแกนจำลองการเคลื่อนที่จะทำงานแยกส่วนกัน โดยตัวอย่างเครื่องจำลองจาก ปาปัว ประเทศอิตาลี ให้การจำลองแบบ 5 แกน และเครื่องจำลองจากฝรั่งเศส ให้การจำลองแบบ 6 แกน โครงสร้างแบบอนุกรมสามารถจำลองการเคลื่อนที่ได้หลายแกนเช่นกับแบบขนาน มีความซับซ้อน ควบคุมได้ยาก และใช้ต้นทุนในการพัฒนาสูง ในงานวิจัยเหล่านี้ยังไม่พบเผยแพร่เกี่ยวกับการฝึกหัดขับขี่หรือการศึกษาเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ของเยาวชนในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัย ในส่วนของเครื่องจำลองรถจักรยานยนต์โครงสร้างแบบแท่นวาง ที่พัฒนาขึ้นโดย บริษัท Honda ได้พัฒนาเครื่องจำลองจักรยานยนต์ต้นแบบแรกแบบ 4 แกน โดยเครื่องจำลองมีโครงสร้างขนาดใหญ่และควบคุมได้ยาก ต่อมาได้พัฒนาดันแบบที่สอง แบบ 3 แกน เพื่อใช้สำหรับฝึกอบรมการขับขี่ โดยโครงสร้างมีขนาดเล็กและควบคุมได้ง่ายขึ้น

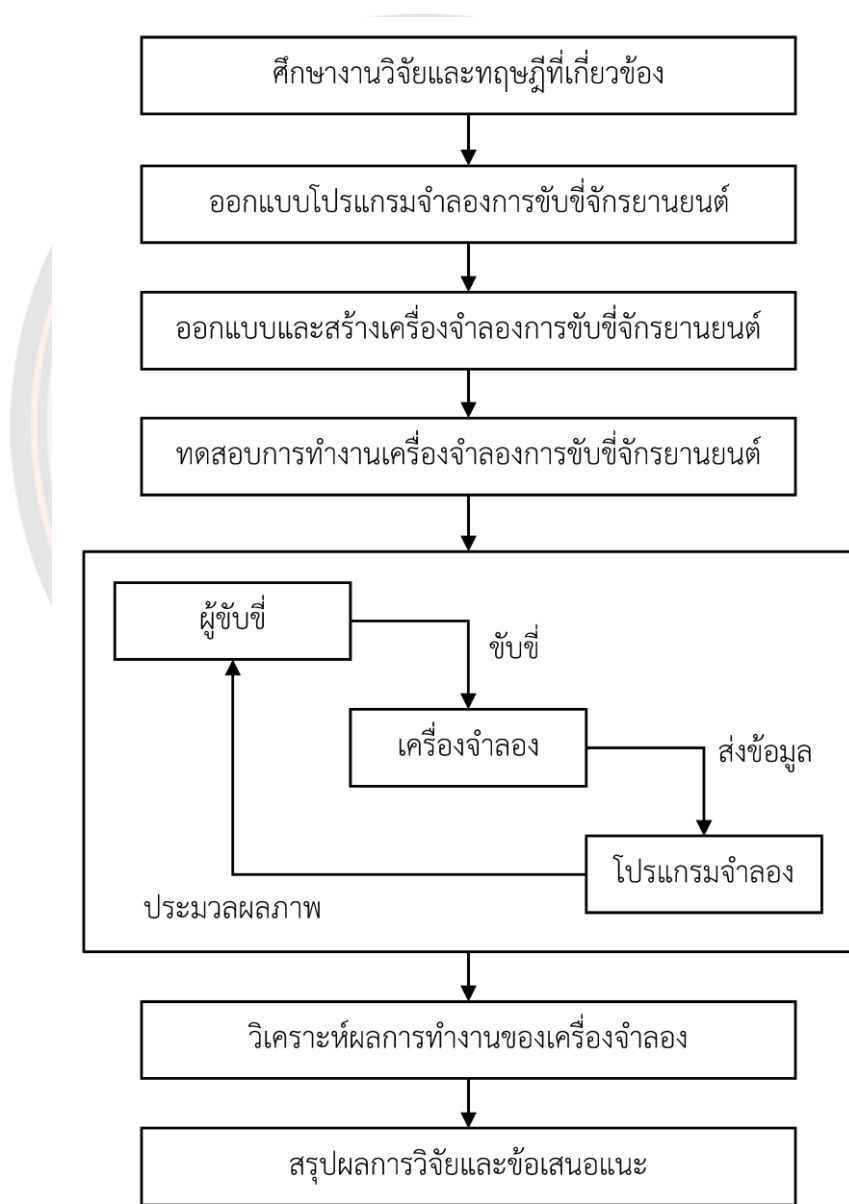
แต่ยังมีต้นทุนในการพัฒนาสูง Honda จึงได้พัฒนาเครื่องจำลองที่ใช้ต้นทุนต่ำ ชื่อว่า Honda SMARTrainer มีการจำลองแบบ 1 แกน โครงสร้างมีขนาดเล็กควบคุมได้ง่าย ให้การจำลองคล้ายกับการขับขี่จริง ใช้สำหรับฝึกหัดการขับขี่ในสถานการณ์ต่างๆ แต่เนื่องจากงานวิจัยที่ได้ศึกษายังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบพฤติกรรมผู้ใช้เบรกของผู้ขับขี่

ดังนั้นสำหรับการพัฒนาต้นแบบชุดจำลอง สำหรับฝึกขับขี่เบื้องต้นของงานวิจัยนี้จึงใช้แนวคิดการออกแบบเครื่องจำลองต้นแบบของ Honda โครงสร้างแบบแท่นวาง โดยมีการจำลองมุมบังคับเลี้ยว สำหรับงานเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์จำลองการขับขี่เบื้องต้นของงานวิจัยนี้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อจำลองฝึกหัดการขับขี่ที่ปลอดภัยของเยาวชน ด้วยโปรแกรมโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก จึงใช้กลไกในการสร้างการจำลองอย่างง่าย ติดตั้งเซนเซอร์ที่มีวางจำหน่ายทั่วไปและหาซื้อได้ง่ายเพื่อใช้ในการทดสอบเบื้องต้นและใช้ต้นทุนในการพัฒนาไม่สูงมาก เพื่อให้ต้นแบบเผยแพร่ได้ทั่วถึงในเยาวชนเด็กเล็กหรือผู้สูงอายุ โดยเครื่องจำลองใช้ระบบแบบ Open-loop จำลองการเร่งด้วยคันเร่งไฟฟ้าของจักรยานยนต์ไฟฟ้า จำลองการเบรกหน้าเบรกหลังด้วยเซนเซอร์วัดระยะโพเทนชิโอมิเตอร์ จำลองแกนบังคับเลี้ยวด้วยเซนเซอร์วัดการหมุนเอ็นโค้ดเดอร์ โดยใช้สปริงในการจำลองแรงบิดเพื่อให้แฮนด์กลับมาอยู่ตรงกลาง เป็นการจำลองเบื้องต้นซึ่งไม่มีผลต่อการทดสอบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนในการสร้างเครื่องจำลองและเพื่อให้การควบคุมหรือขับขี่เครื่องจำลองเป็นไปด้วยความง่าย เนื่องจากเพียงพอต่อจุดประสงค์ของการวิจัยเพื่อจำลองฝึกหัดการขับขี่ที่ปลอดภัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย “การพัฒนาชุดจำลองการขับชี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับชี่ที่ปลอดภัย” โดยมีขั้นตอนแสดงในภาพ 27



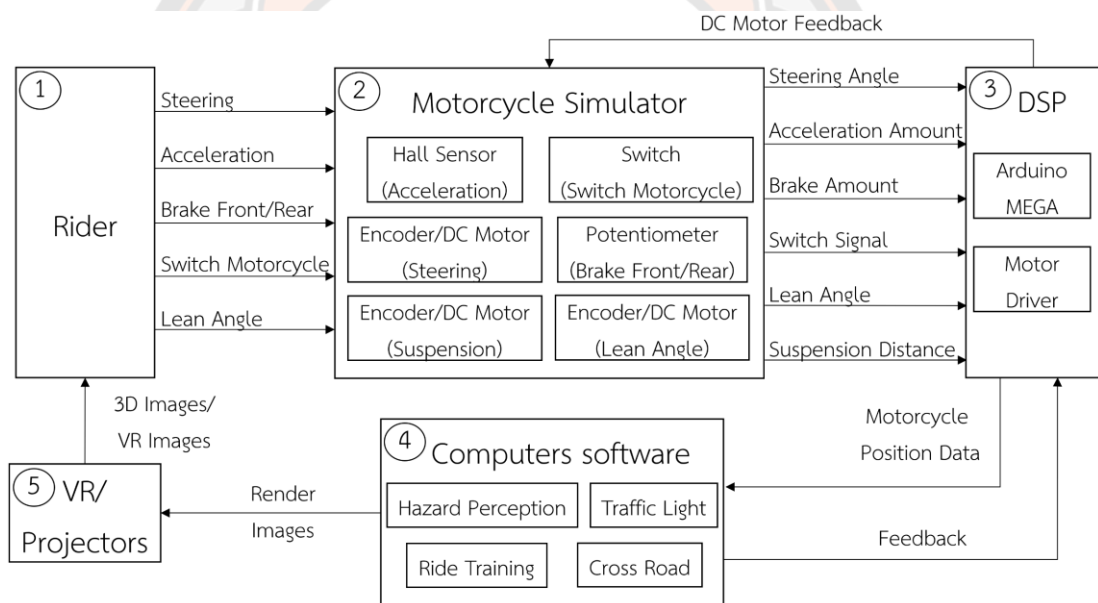
ภาพ 27 แผนผังแสดงขั้นตอนดำเนินงานวิจัย



สำหรับงานวิจัยฉบับนี้แบ่งการพัฒนาเป็นสองส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งคือการพัฒนาฮาร์ดแวร์เครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เพื่อเชื่อมต่อกับส่วนที่สองซอฟต์แวร์โปรแกรมจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ โดยงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นในการพัฒนาฮาร์ดแวร์เบื้องต้นเพื่อเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์สำหรับทดสอบใช้งานกับผู้ขับขี่เบื้องต้น เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัย

### หลักการแนวคิดการออกแบบเริ่มต้น

สำหรับแนวคิดการออกแบบเริ่มต้นของระบบจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ ในรูปแบบแรกหลังจากที่ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเชิงลึกในพลศาสตร์ของรถจักรยานยนต์สามารถทำการส่งข้อมูลป้อนกลับได้ ทำให้การออกแบบแรกของเครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ให้มีความเสมือนจริง โดยจะใช้เป็นระบบแบบ Close-loop แสดงในภาพ 28

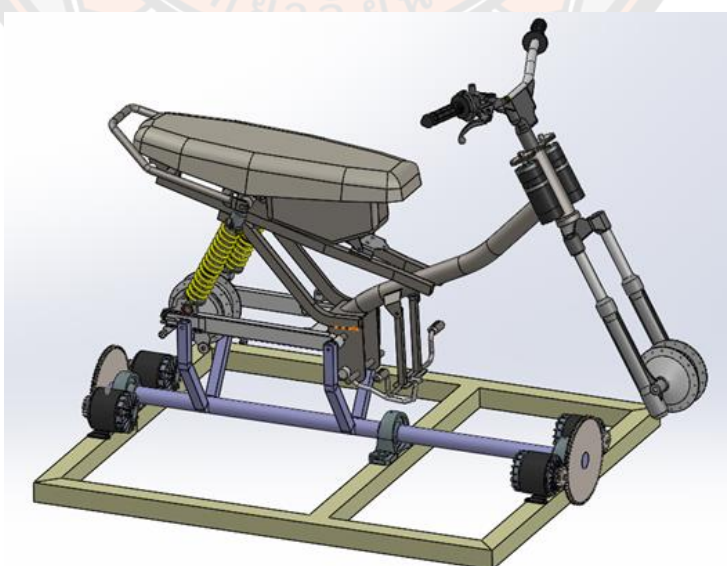


ภาพ 28 แผนภาพระบบการจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงแบบ Close-loop

หลักการทำงานระบบการจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงแบบ Close-Loop แสดงในภาพ 29 ส่วนที่ 1 ผู้ขับขี่ (Rider) เลือกสถานการณ์การขับขี่ที่ต้องการ ผ่านจอภาพหรือแว่น VR ทำการควบคุมเครื่องจำลองโดย ควบคุมการบังคับเลี้ยวโดยใช้แฮนด์และการเอียงตัว ควบคุมความเร็วโดยใช้คันเร่ง และควบคุมเบรกใช้คันเบรกมือและแป้นเบรกเท้าของส่วนที่ 2 เครื่องจำลองจักรยานยนต์ (Motorcycle Simulator) จำลองการนั่งขับขี่เสมือนจักรยานยนต์จริง โดยมี เอ็นโค้ดเตอร์ (Encoder) ใช้สำหรับวัดองศาเลี้ยว องศาเอียง และระยะช่วงล่าง จำลองแรงบิดที่ป้อนกลับมา

จากซอฟต์แวร์ด้วยมอเตอร์ จำลองการเร่งความเร็วด้วยคันเร่งไฟฟ้าวัดองศาการบิดคันเร่ง และตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) ใช้สำหรับวัดระยะเบรกล้อหลังและล้อหลังจำลองแรงเบรกที่กระทำโดยผู้ขับขี่ สัญญาณเหล่านี้จะถูกรับส่งไปยังส่วนที่ 3 ประมวลผลข้อมูลสัญญาณดิจิทัล (DSP) รับสัญญาณอินพุตจากเครื่องจำลองจักษยานยนต์ประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino Mega แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลสำหรับพารามิเตอร์การจำลองส่งข้อมูลเอาต์พุตไปยังคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์และรับอินพุตหรือข้อมูลป้อนกลับเพื่อส่งข้อมูลจำลองการเคลื่อนที่ไปยังเครื่องจำลองจากส่วนที่ 4 คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computers Software) เป็นซอฟต์แวร์จำลองการขับขี่โดยรับสัญญาณอินพุตและข้อมูลป้อนกลับสำหรับพารามิเตอร์ของเครื่องจำลองจากหน่วยประมวลผลข้อมูลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เพื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ของจักษยานยนต์ในระบบซอฟต์แวร์ และประมวลผลภาพของสภาพแวดล้อมรวมถึงการขับขี่ไปยังอุปกรณ์แสดงผลภาพหรือแว่นแสดงผลภาพเสมือนจริง (VR) ในส่วนที่ 5 อุปกรณ์แสดงผลภาพ (Projects) การแสดงผลภาพสำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้ร่วมกับจอมอนิเตอร์หรือแว่นวีอาร์ได้ โดยรับสัญญาณภาพจากคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลภาพเป็นการจำลองการขับขี่ในสภาพแวดล้อมที่คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพออกมา ให้ผู้ขับขี่รับรู้ถึงการเคลื่อนที่ของจักษยานยนต์และทำการขับขี่ตามโปรแกรมการจำลอง

ในการออกแบบโครงสร้าง แสดงในภาพ 29 ใช้เพลลาในการจำลองจุดหมุนที่ล้อสัมผัสกับพื้นถนน ติดเฟืองกับมอเตอร์ที่ปลายเพลลาทั้งสองข้างโดยใช้มอเตอร์หลายตัวเพื่อเพิ่มแรงบิดที่ความเร็วรอบสูงจำลองแรงบิดของการเอียงของจักษยานยนต์ และติดเฟืองกับมอเตอร์ที่แฮนด์เพื่อจำลองแรงบิดของระบบบังคับเลี้ยว



ภาพ 29 แบบสามมิติชุดจำลองจักษยานยนต์แบบ Close-Loop

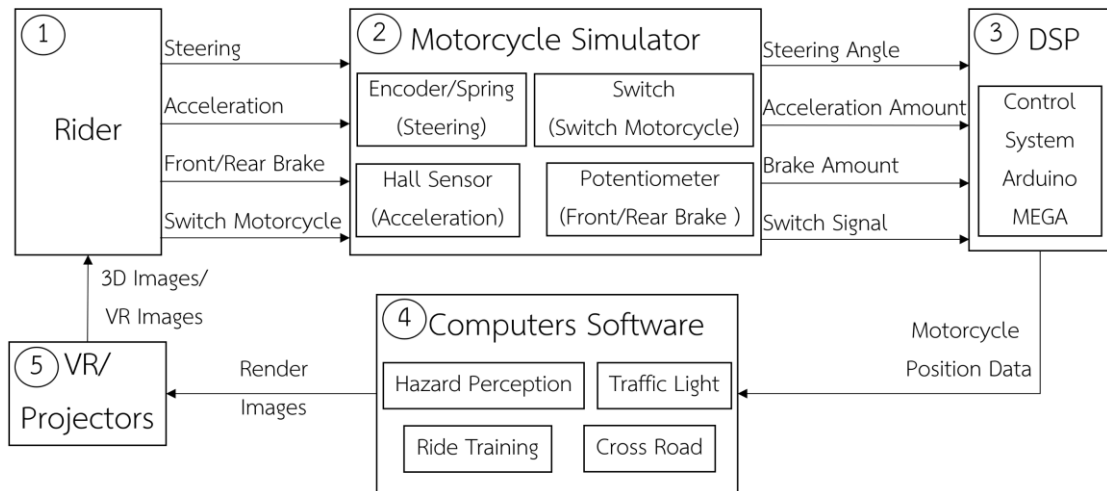
จากการที่ได้ศึกษาข้อมูลที่ผ่านมา ในโครงการนวัตกรรมเพื่อถนนปลอดภัย พบว่า การออกแบบเริ่มต้นต้องใช้ต้นทุนสูงสำหรับการพัฒนาเครื่องจำลองระบบ Close-Loop และการทำงานของเครื่องจำลองมีฟังก์ชันการทำงานที่มากเกินไปจนความจำเป็นที่จะใช้ในการทดสอบสำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงได้มีการปรับเปลี่ยนการออกแบบ โดยใช้เครื่องจำลองระบบแบบ Open-Loop (Ito et al., 2013) ซึ่งจะแตกต่างกับระบบ Close-Loop ตรงที่ไม่มีข้อมูลป้อนกลับจากซอฟต์แวร์เพื่อจำลองแรงบิดในข้างต้น เพียงพอต่อการทดสอบสำหรับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ใช้ต้นทุนในการพัฒนาไม่สูงมาก เพื่อให้ต้นแบบเผยแพร่ได้ทั่วถึงในเยาวชนเด็กเล็กหรือผู้สูงอายุ สามารถทดสอบเก็บข้อมูลและเป็นเครื่องมือใช้เรียนรู้สำหรับขับขี่ปลอดภัย ด้วยโปรแกรมโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยใช้เบรก และสามารถทำการทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์แบบ Open-Loop ได้ในเบื้องต้น สามารถนำข้อมูลไปศึกษาและพัฒนาต่อได้เพื่อบทเรียนที่มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นการสร้างเครื่องจำลองอย่างง่ายเบื้องต้นเพื่อเชื่อมต่อกับโปรแกรมบทเรียนจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ที่เขียนโดยศูนย์วิจัย NU Vision สำหรับทดสอบเก็บข้อมูลเบื้องต้น โดยวิธีดำเนินการวิจัยหลักประกอบด้วย การออกแบบและสร้างเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ การออกแบบโปรแกรมจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ และวิธีทดสอบการพัฒนาชุดจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ แสดงดังต่อไปนี้

### การออกแบบและสร้างเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์

#### 1. การออกแบบระบบการทำงานเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์แบบ Open-Loop

ในการสร้างเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการออกแบบเบื้องต้นจึงใช้เฉพาะส่วนที่จำเป็นในการสร้างเครื่องมือจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์ โดยจะใช้เป็นระบบแบบ Open-loop ซอฟต์แวร์ไม่มีการส่งข้อมูลป้อนกลับของแบบจำลองจักรยานยนต์ แต่ยังทำการจำลองได้เนื่องจากในการขับขี่จริง แรงป้อนกลับไม่ได้ขึ้นกับตัวรถจักรยานยนต์แต่จะขึ้นกับผู้ขับขี่ ไม่ว่าจะเป็นการเอียงตัวขณะเข้าโค้งหรือการเอียงตัวกลับทำให้รถสมดุล ในการจำลองแบบ Open-Loop ผู้ขับขี่จะเป็นผู้ควบคุมข้อมูลต่าง ๆ ผ่านตัวเครื่องจำลองโดยมีเซนเซอร์เป็นตัววัดข้อมูลส่งไปยังระบบประมวลผลดิจิทัลและส่งข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลเป็นภาพเพื่อให้ผู้ขับขี่รับสัญญาณภาพทำการจำลองที่รถจักรยานยนต์ โดยที่ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์จะรับข้อมูลอย่างเดียวไม่มีการส่งกลับข้อมูลไปยังระบบประมวลผลดิจิทัล หลักการทำงานของระบบจำลองการขับขี่แบ่งออกเป็น 5 ส่วน แสดงในภาพ 30 ดังนี้



ภาพ 30 แผนภาพระบบการจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงแบบ Open-Loop

ส่วนที่ 1 ผู้ขับขี่ (Rider) เลือกสถานการณ์การขับขี่ที่ต้องการ ผ่านจอภาพหรือแว่น VR ทำการควบคุมเครื่องจำลองโดย ควบคุมการบังคับเลี้ยวโดยใช้แฮนด์ ควบคุมความเร็วโดยใช้คันเร่ง และควบคุมเบรกใช้คันเบรกมือและแป้นเบรกเท้า

ส่วนที่ 2 เครื่องจำลองจักรยานยนต์ (Motorcycle simulator) จำลองการนั่งขับขี่เสมือนจักรยานยนต์จริง โดยมี เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) ใช้สำหรับวัดองศาเลี้ยว สปริงใช้สำหรับดึงแฮนด์ให้กลับมายู่ตำแหน่งตรงกลางเพื่อจำลองแรงบิดที่แฮนด์ คันเร่งไฟฟ้าวัดองศาการบิดคันเร่งจำลองการเร่งความเร็ว และตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer) แบบสไลด์ใช้สำหรับวัดระยะสลิงคันเบรกมือขณะมีการใช้เบรกที่ล้อหน้าและแบบหมุนใช้สำหรับวัดระยะองศาแป้นเบรกเท้าขณะมีการใช้เบรกที่ล้อหลังจำลองแรงเบรกที่กระทำโดยผู้ขับขี่

ส่วนที่ 3 ประมวลผลข้อมูลสัญญาณดิจิทัล (DSP) รับสัญญาณอินพุตจากเครื่องจำลองจักรยานยนต์ประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด Arduino Mega แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลสำหรับพารามิเตอร์การจำลองส่งข้อมูลเอาต์พุตไปยังคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์

ส่วนที่ 4 คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computers software) เป็นซอฟต์แวร์จำลองการขับขี่โดยรับสัญญาณอินพุตสำหรับพารามิเตอร์ของเครื่องจำลองจากหน่วยประมวลผลข้อมูลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เพื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ของจักรยานยนต์ในระบบซอฟต์แวร์ และประมวลผลภาพของสภาพแวดล้อมรวมถึงการขับขี่ไปยังอุปกรณ์แสดงผลภาพหรือแว่นแสดงผลภาพเสมือนจริง (VR)

ส่วนที่ 5 อุปกรณ์แสดงผลภาพ (Projects) การแสดงผลภาพสำหรับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถใช้ร่วมกับจอมอนิเตอร์หรือแว่นวีอาร์ได้ โดยรับสัญญาณภาพจากคอมพิวเตอร์เพื่อ

แสดงผลภาพเป็นการจำลองการขับขี่ในสภาพแวดล้อมที่คอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพออกมา ให้ผู้ขับขี่รับรู้ถึงการเคลื่อนที่ของจักรยานยนต์และทำการขับขี่ตามโปรแกรมการจำลอง

## 2. การออกแบบโครงสร้างเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์แบบแท่นวาง

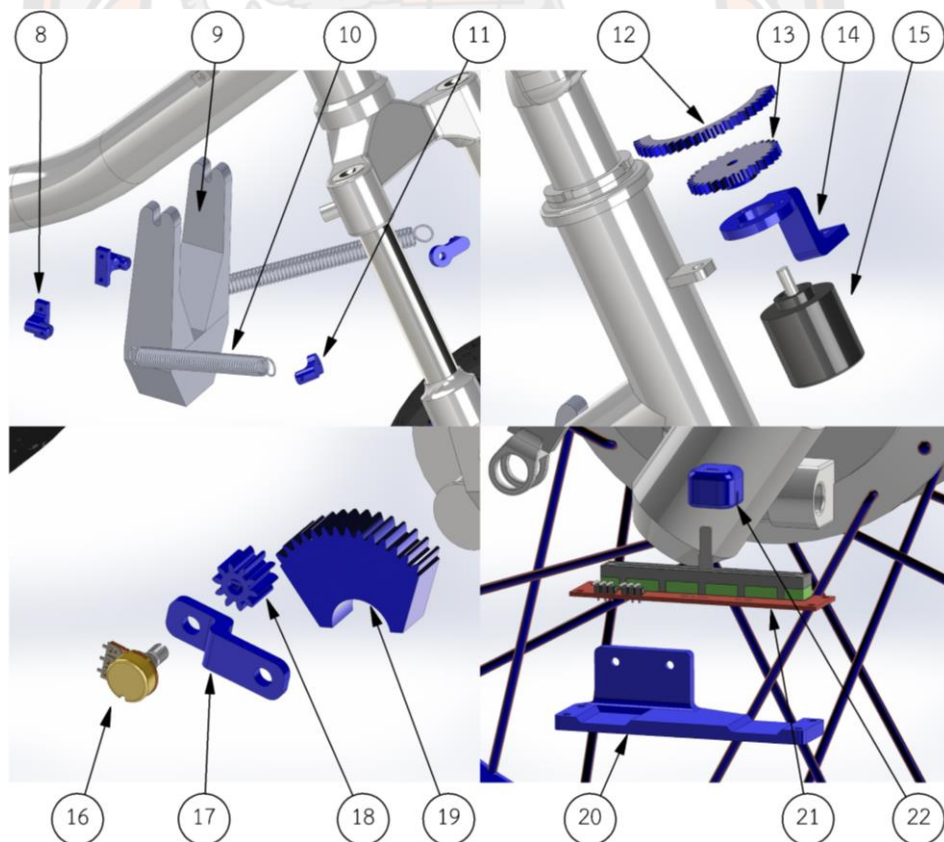
สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องจำลองเริ่มต้นครั้งนี้ เพื่อออกแบบให้เกิดความเหมาะสมกับการทดสอบร่วมกับโปรแกรมจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ ให้การจำลองทำนั้งการขับขี่จริง ด้วยโครงจักรยานยนต์จริง และจำกัดการเคลื่อนที่ในการจำลองการเคลื่อนไหวของเครื่องจำลองจักรยานยนต์ เช่น การเอียงรถด้านข้างหรือการขยับขึ้นลงของระบบช่วงล่าง ด้วยเหตุผลของความปลอดภัยในการใช้งาน และสามารถใช้ต้นทุนที่ต่ำในการสร้างสำหรับการขยายผลในรุ่นต่อไปได้ด้วยความเหมาะสม ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้พัฒนาจึงได้เลือกตามความเหมาะสมเพื่อให้สามารถทดสอบและใช้งานได้เป็นอย่างดี ประกอบด้วย โครงสร้างจักรยานยนต์ที่ให้ทำนั้งการขับขี่จริง เซนเซอร์การวัดสำหรับจำลองการเร่ง เบรก เลี้ยว และคอนโทรลเลอร์สำหรับการประมวลผลที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการทดสอบสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

การออกแบบสามมิติของชุดจำลองจักรยานยนต์จากต้นแบบรุ่น Honda wave แสดงในภาพ 31 และแบบสามมิติอุปกรณ์เครื่องจำลองจักรยานยนต์แสดงในภาพ 32 โดยประกอบด้วยการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบบังคับเลี้ยว (Steering) จะอาศัยแรงสปริงในการจำลองแรงบิดที่เกิดขึ้น การจำลองการเร่งความเร็วด้วยการส่งงานจากคันเร่งไฟฟ้าแบบ Hall Sensor และจำลองการเบรกด้วยการอ่านค่าที่ได้จากการเบรกหน้าหรือมีการเหยียบเบรกหลังด้วยตัวต้านทานไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ Potentiometer

การออกแบบโมเดลจำลองสามมิติโดยใช้เครื่องมือซอฟต์แวร์ประเภท CAD (Computer-Aided Design) สร้างแบบจำลองเสมือนจริงของโครงสร้างการติดตั้งจุดยึดระบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในกระบวนการจัดทำวัสดุอุปกรณ์ ส่วนประกอบเครื่องจำลองจักรยานยนต์ รวมถึงโมเดลที่จะถูกสร้างด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ แสดงดังตาราง 3



ภาพ 31 แบบสามมิติเครื่องจำลองจักรยานยนต์จากต้นแบบรุ่น Honda wave



ภาพ 32 แบบสามมิติอุปกรณ์เครื่องจำลองจักรยานยนต์

ตาราง 3 แสดงส่วนประกอบอุปกรณ์เครื่องจำลองจักรยานยนต์

ส่วนที่	อุปกรณ์
1	โครงเข็นจักรยานยนต์
2	แท่นพักเท้าหน้า
3	แท่นยึดโครงด้านหลัง
4	แท่นยึดโครงด้านหน้า
5	คันเร่งไฟฟ้า
6	คันเบรกมือ (เบรกล้อหน้า)
7	แป้นเบรกเท้า (เบรกล้อหลัง)
8	ตัวจับยึดสปริงกับแท่น
9	แท่นจับโครง
10	สปริงช่วยดึงแฮนด์
11	ตัวจับยึดสปริงกับแผงคอ
12	เฟือง 47 ฟัน ติดกับคอแฮนด์
13	เฟือง 30 ฟัน ติดกับเอ็นโค้ดเดอร์
14	ขายึดเอ็นโค้ดเดอร์
15	เอ็นโค้ดเดอร์
16	โพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน
17	ขายึดโพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน
18	เฟือง 10 ฟัน ติดกับโพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน
19	เฟือง 50 ฟัน ติดกับแกนหมุนแป้นเบรกเท้า
20	ขายึดโพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์
21	โพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์
22	ขายึดแกนสไลด์กับสายสลิงเบรกหน้า

จากส่วนประกอบข้างต้นจะมีส่วนที่สำคัญในการของแบบเพื่อให้เซนเซอร์อ่านค่าได้อย่างละเอียดได้แก่ การวัดองศาแฮนด์ การวัดแกนหมุนเบรกเท้า การวัดระยะสายสลิงเบรกหน้า รวมถึงการติดตั้งสปริงช่วยดึงแฮนด์ เนื่องจากพื้นที่ในการติดตั้งมีข้อจำกัดทำให้การออกแบบเป็นไปดังนี้

2.1 การออกแบบการวัดองศาแฮนด์ คอแฮนด์มีระยะหมุนสูงสุด 90 องศา ติดกับเฟือง 47 ฟัน เอ็นโค้ดเดอร์มีระยะหมุนในการวัดได้เท่ากับ 360 องศา ติดกับเฟือง 30 ฟัน จะได้อัตราทด 1 ต่อ 1.567 หรือหมายถึง เมื่อคอแฮนด์หมุนที่ระยะ 0 - 90 องศา เอ็นโค้ดเดอร์จะมีช่วงระยะมุมที่วัดได้ 141 องศา

2.2 การออกแบบการวัดแกนหมุนเบรกเท้า แกนหมุนแป้นเบรกเท้ามีระยะหมุนขณะเบรกสูงสุด 5 - 6 องศา ติดกับเฟือง 50 ฟัน โพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุนมีระยะหมุนในการวัดได้เท่ากับ 270 องศา ติดกับเฟือง 10 ฟัน จะได้อัตราทด 1 ต่อ 5 หรือหมายถึง เมื่อมีการเหยียบเบรก โพเทนชิโอมิเตอร์จะมีช่วงระยะมุมที่วัดได้ 26 องศา

2.3 การออกแบบการวัดระยะสายสลิงเบรกหน้า เนื่องจากในการออกแบบการวัดเบรกหน้ามีพื้นที่จำกัด จึงใช้โพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์ในการวัดซึ่งเพียงพอสู่พื้นที่ในการติดตั้ง ทำการออกแบบชิ้นส่วนจับยึดแกนสไลด์กับสายสลิงเบรกเบรกหน้า ชิ้นส่วนที่ 22 แสดงในภาพ 32 หลักการทำงานเมื่อมีการกดคันเบรกหน้าสายสลิงจะขยับตามระยะที่ออกแรงใช้เบรก ทำให้แกนสไลด์ของโพเทนชิโอมิเตอร์ขยับตามและอ่านค่าระยะที่เคลื่อนที่ไป

2.4 การออกแบบสปริงช่วยดึงแฮนด์ เพื่อให้แฮนด์กลับมาอยู่ตรงกลางทุกครั้งที่ถูกจับขึ้นทำการเลี้ยว ในเบื้องต้นจะใช้แรงดึงจากสปริง จากที่ได้ปรับขนาดของสปริงเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมพบว่า สปริงชนิดสแตนเลสแบบดึง ขนาดลวด 1.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 14.7 มิลลิเมตร ความยาว 75 มิลลิเมตร สามารถใช้งานได้เหมาะสม ติดตั้งที่แผงคอตรงปลายโซ่ทั้งสองด้าน เพื่อให้เกิดแรงบิดสูงสุดในพื้นที่จำกัด เนื่องจากแรงบิดมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างแรงดึงสปริงกับระยะจากจุดยึดสปริงถึงกลางแกนหมุน หลักการทำงานขณะเลี้ยวซ้ายจะมีแรงดึงแฮนด์ให้กลับไปทางขวา และขณะเลี้ยวขวาจะมีแรงดึงแฮนด์ให้กลับไปทางซ้าย จนกระทั่งแฮนด์กลับมาอยู่ตรงกลาง

### 3. การสร้างเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์

ทำการสร้างเครื่องจำลองจักรยานยนต์อย่างง่าย เพื่อการจำลองการนั่งขับขี่ที่เสมือนจริง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงรถจักรยานยนต์จริง ยี่ห้อ Honda รุ่น Wave แสดงในภาพ 33 เป็นต้นแบบสำหรับการนั่งจำลองขับขี่

3.1 การสร้างโครงแบบแทนวาง ประกอบไปด้วย แทนวางด้านหลังใช้เหล็กกล่องเชื่อมต่อกันตามแบบติดตั้งกับแกนล้อหลังสำหรับประกอบโครงรถและรับน้ำหนักที่ด้านหลัง แทนวางด้านหน้าใช้เหล็กกล่องเชื่อมต่อกันตามแบบติดตั้งที่โครงด้านหน้าโดยจะเชื่อมต่อกับแทนจับโครงใช้เป็นวัสดุ ABS สร้างด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และแทนวางพักเท้ากลางใช้เหล็กกล่องเชื่อมต่อกับแทนพักเท้าเดิมของรถติดตั้งที่กลางโครงรถแทนตำแหน่งของพักเท้าเดิมซึ่งเคยติดตั้งที่ได้เครื่องยนต์ ในการสร้างนี้เหล็กกล่องที่ใช้มีขนาด 23 x 23 x 2 มิลลิเมตร เชื่อมต่อกันขึ้นเป็นโครงสร้างตามขนาดที่ออกแบบสามมิติไว้ข้างต้น แสดงดังภาพ 34





ภาพ 33 โครงเซ็นจักรยานยนต์



(ก) แทนวางด้านหลัง

(ข) แทนวางพักเท้ากลาง

(ค) แทนวางด้านหน้า

ภาพ 34 แทนวางโครงเซ็นจักรยานยนต์

3.2 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องจำลองจักรยานยนต์ ประกอบไปด้วย ชุดสวิทช์ใช้เป็นประกบสวิทช์เดิมของรถติดตั้งที่แฮนด์ด้านซ้าย คันเร่งไฟฟ้าติดตั้งที่แฮนด์ด้านขวาแทนคันเร่งเดิม รวมถึงสวิทช์กุญแจใช้สำหรับสตาร์ทรถในโปรแกรมจำลอง เช่น เซอร์วัตเบรกหน้าติดตั้งที่ดุมล้อหน้า เซนเซอร์วัตเบรกหลังติดตั้งที่แกนแป้นเบรกเท้า เซนเซอร์วัตดองศาเลี้ยวติดตั้งที่แกนคอรถ และสปริงช่วยดึงแฮนด์ติดตั้งที่แผงคอตรงปลายโซ่ทั้งสองด้าน ยึดกับแทนจับโครง ตัวจับยึดสปริงทั้งสองด้านใช้เป็นวัสดุ ABS โดยเครื่องพิมพ์สามมิติ แสดงดังภาพ 35



(ก) ชุดสวิตช์



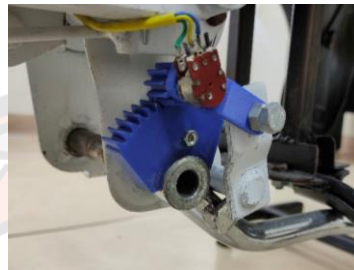
(ข) คันเร่งไฟฟ้า



(ค) วิตองศาเลี้ยว



(ง) วิตเบรกหน้า



(จ) วิตเบรกหลัง



(ฉ) สปริงช่วยดิ่งแฮนด์

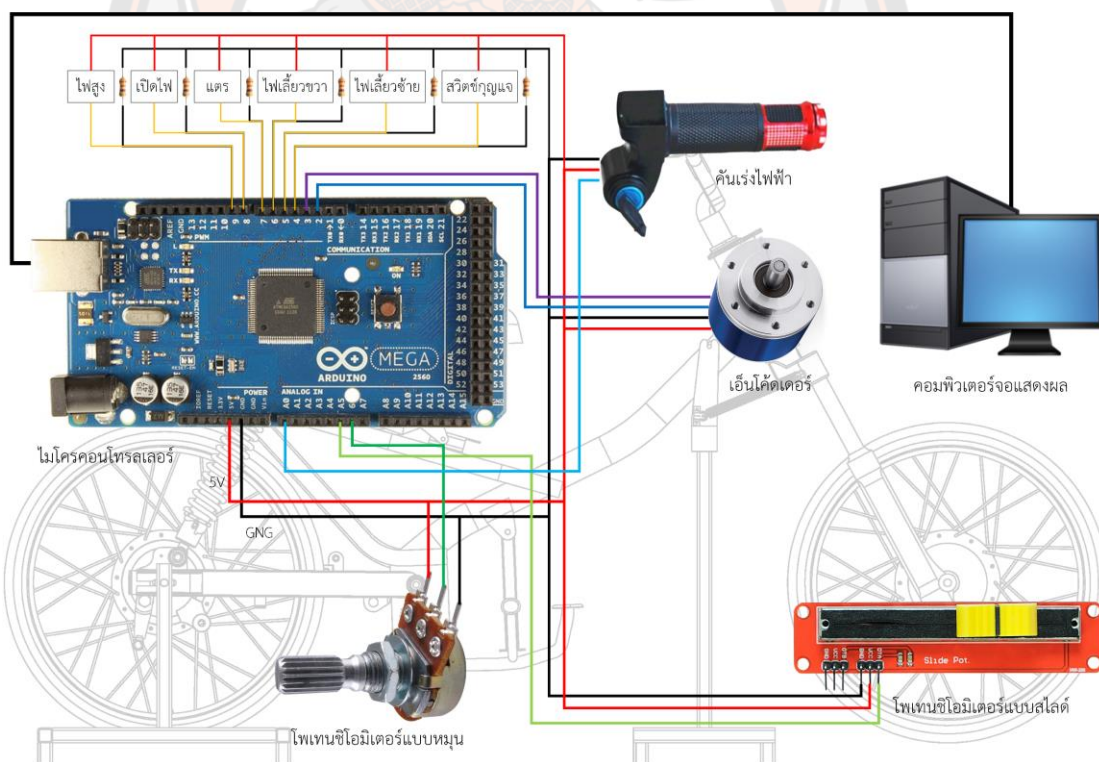
ภาพ 35 การติดตั้งเซนเซอร์



ภาพ 36 เครื่องจำลองจักรยานยนต์โครงสร้างแบบแทนวาง 1 DOF

#### 4. ชุดประมวลผลข้อมูลสัญญาณจากเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์

ในการจำลองสัญญาณพารามิเตอร์ของเครื่องจำลองสำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ด Arduino Mega เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหลักมีการทำงาน คือ รับค่าอินพุตจากสัญญาณเซนเซอร์ ประกอบด้วย การวัดระยะคันเร่งมือปิดด้วยคันเร่งไฟฟ้าให้สัญญาณแบบ Analog การวัดองศาแฮนด์ด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ให้สัญญาณแบบ Interrupt การวัดระยะเบรกหลังด้วยโพเทนซิโอมิเตอร์แบบหมุนให้สัญญาณแบบ Analog การวัดระยะเบรกหน้าด้วยโพเทนซิโอมิเตอร์แบบสไลด์ให้สัญญาณแบบ Analog และการอ่านค่าสถานะสวิทช์ของจักรยานยนต์ให้สัญญาณแบบ Digital หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลตามโค้ดที่ได้ป้อนคำสั่งไว้โดยพารามิเตอร์อินพุตที่รับเข้ามาทั้งหมดแปลงเป็นตัวแปรสัญญาณข้อความ String และส่งสัญญาณเอาต์พุตด้วยฟังก์ชันสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial.println) ผ่านพอร์ตเชื่อมต่อแบบ USB ไปที่ซอฟต์แวร์จำลองการขับขี่บนคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นซอฟต์แวร์จะแสดงผลการจำลองตามพารามิเตอร์ที่รับเข้ามาจากผู้ขับขี่ผ่านระบบที่กล่าวมาข้างต้น แสดงดังภาพ 37



ภาพ 37 วงจรประมวลผลข้อมูลสัญญาณเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์

### การออกแบบโปรแกรมจำลองการขับขี่จักรยานยนต์

ในการพัฒนาระบบนี้ มุ่งเน้นที่การฝึกอบรมการขับขี่รถจักรยานยนต์อย่างปลอดภัย โดยใช้โปรแกรมระบบจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์เสมือนจริง โดยซอฟต์แวร์สามารถใช้ร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสมือนหรือวีอาร์ เพื่อเพิ่มความสมจริงให้กับประสบการณ์ในการเรียนรู้ของบทรเรียนในโปรแกรม โดยโปรแกรมระบบจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์เสมือนจริงพัฒนาโดยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์บนแพลตฟอร์มยูนิตี้เอนจิน ในเบื้องต้นระบบฟิสิกส์จักรยานยนต์จำลองพัฒนาด้วย Open Source มีค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นสำหรับซอฟต์แวร์ Unity โดยซอฟต์แวร์จำลองการขับขี่ในการออกแบบเบื้องต้น จะแบ่งเป็น 4 ส่วน แสดงดังภาพ 38 ประกอบด้วย โปรแกรมสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามสอนขับรถ (Ride Training) โปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุ โดยการใช้เบรก (Hazard Perception) โปรแกรมจำลองการขับขี่ข้ามแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร (Traffic Light) และโปรแกรมจำลองการขับขี่ข้ามแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร (Cross Road) สองส่วนหลังนี้เป็นการออกแบบเพิ่มเติมที่เข้าร่วมกับโครงการนวัตกรรมเพื่อถนนปลอดภัย



ภาพ 38 บทรเรียนโปรแกรมจำลองการขับขี่

สำหรับงานวิจัยนี้จะเน้นการทดสอบในส่วนของโปรแกรมสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามสอนขับรถ (Ride Training) เพื่อทดสอบการจำลองการขับขี่ในซอฟต์แวร์กับเครื่องจำลอง และ ส่วนของโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก (Hazard Perception) เพื่อฝึกและทดสอบการรับรู้ของผู้ขับขี่ในสถานการณ์จำลอง ให้เกิดการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัยตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้

### 1. โปรแกรมสอนการขับขี่ในสนามสอนขับรถ

ในการพัฒนาโปรแกรมการสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์นี้ ได้ลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลการอบรมขับขี่ปลอดภัย และการทดสอบการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามฝึกซ้อม ที่โรงเรียนพัฒนาสอนขับรถพิษณุโลก โดยใช้ฉากโมเดลสามมิติที่ใช้ต้นแบบจากสนามสอนขับรถจริงแสดงในภาพ 39 รวมถึงบทเรียนในการสอนการขับขี่ด้วย



ภาพ 39 เส้นทางฝึกหัดขับขี่ในสนามสอนขับรถ โรงเรียนพัฒนาสอนขับรถพิษณุโลก

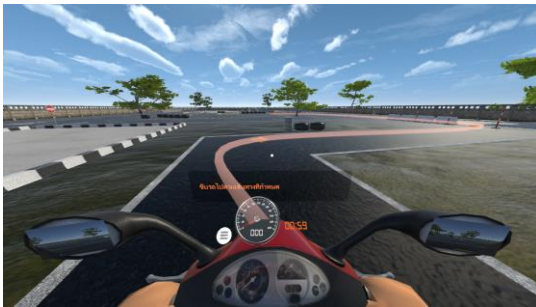
จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลสำหรับบทเรียนการขับขี่ในสนามสอนขับรถที่โรงเรียนพัฒนาสอนขับรถพิษณุโลกพบว่า บทเรียนนี้ในหนึ่งรอบเส้นทางการขับขี่ที่ผู้สอนได้กำหนดไว้ โดยเริ่มจากการออกตัวจากจุดเริ่มต้นจนถึงการขับกลับมาที่จุดเริ่มต้นครบหนึ่งรอบ จะประกอบไปด้วยด่านฝึกหัด 8 ส่วน แสดงในภาพ 40 ประกอบด้วย การขับในวงเวียน การขับตามเครื่องหมายจราจร การขับเข้าโค้งตัว Z การขับเข้าโค้งตัว S การขับวนรูปเลข 8 การขับขึ้นลงสะพาน การขับซิกแซกหลบสิ่งกีดขวาง และการขับตรงตัวบนทางแคบ ภายในซอฟต์แวร์บทเรียนนี้ ทำการออกแบบเบื้องต้น ผู้ขับขี่จะต้องขับขี่รถจักรยานยนต์ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ โดยจะมีตัวช่วยบอกเส้นทางคือลูกศร และเส้นบอกทาง โดยจะแบ่งเป็น 2 โหมดคือ การฝึกการขับขี่โดยผู้ใช้จะขับอย่างอิสระไปในสนาม กับ การทดสอบการขับขี่ที่มีการจับเวลาและการหักคะแนนเมื่อผู้ใช้งานทำผิด โดยทำทดสอบได้ออกแบบตามภาคปฏิบัติสำหรับรถจักรยานยนต์ของกรมขนส่งและทำเพิ่มเติมจากโรงเรียนสอนขับรถ แสดงดังตาราง 4



(ก) การขับในวงเวียน



(ข) การขับตามเครื่องหมายจราจร



(ค) การขับเข้าโค้งตัว Z



(ง) การขับเข้าโค้งตัว S



(จ) การขับวนรูปเลข 8



(ฉ) การขับขึ้นลงสะพาน



(ช) การขับซิกแซกหลบสิ่งกีดขวาง



(ซ) การขับทรงตัวบนทางแคบ

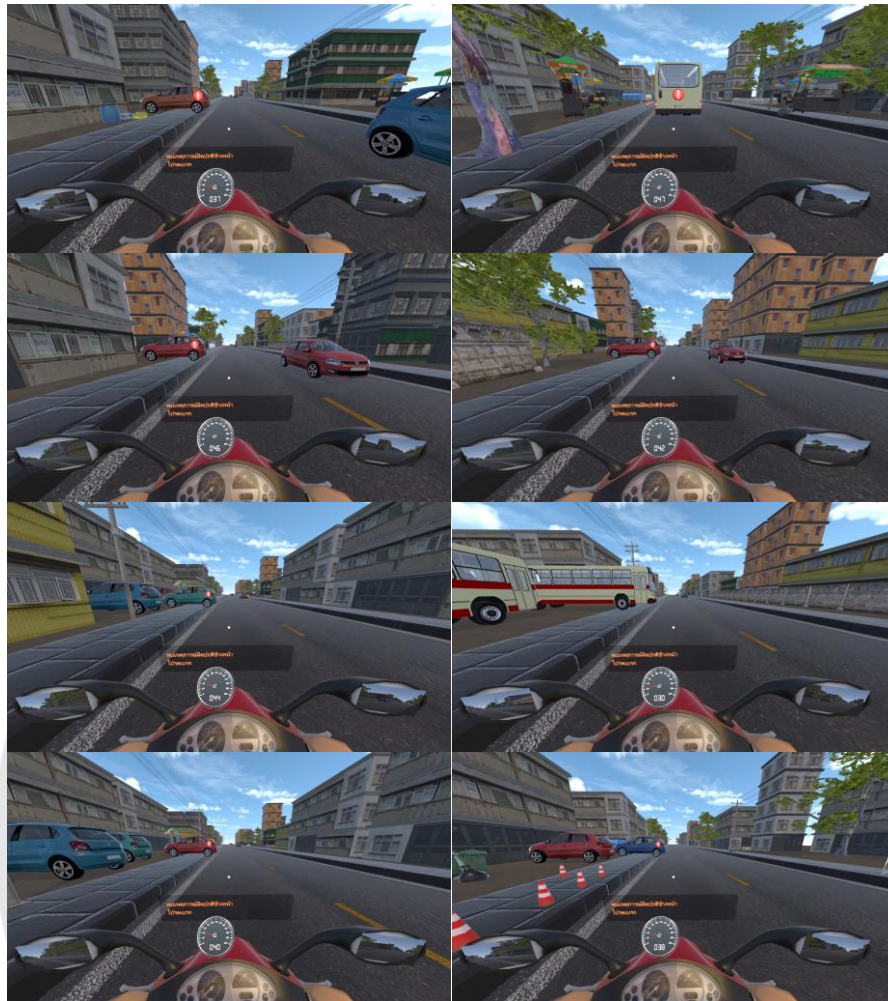
ภาพ 40 โปรแกรมสอนการขับขี่ในสนามสอนขับรถ

ตาราง 4 ทำทดสอบการขับขี่ในโปรแกรมจำลองเทียบกับของจริง

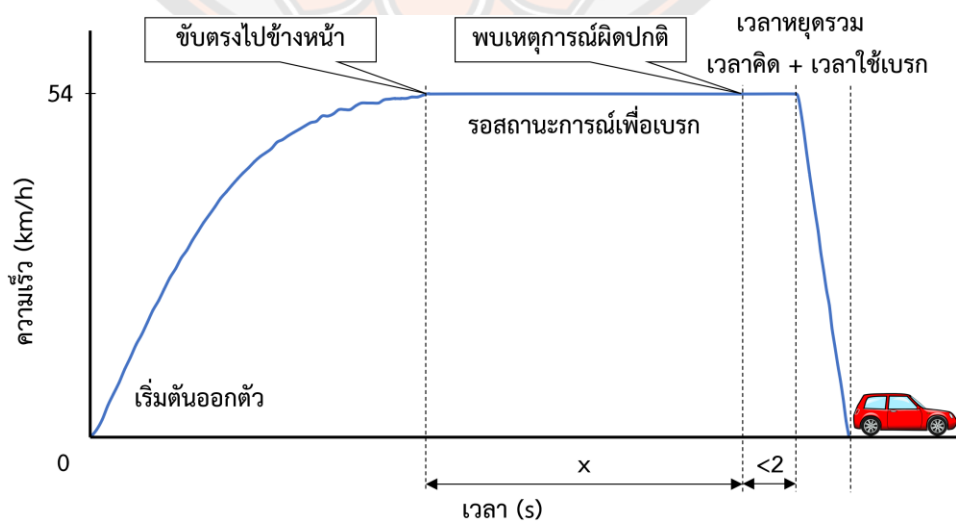
ทำทดสอบภาคปฏิบัติ	จริง	โปรแกรมจำลอง
ขับโดยปฏิบัติตามเครื่องหมายจราจร	มี	มี
ขับทรงตัวบนทางแคบ ไม่ให้เท้าแตะพื้น 10 วินาที	มี	มี
ขับซิกแซกเข้าโค้งแคบรูปตัว Z ห้ามชนกรวยล้ม	มี	มี
ขับเข้าโค้งรูปตัว S ห้ามชนกรวยล้ม	มี	มี
ขับซิกแซก หลบสิ่งกีดขวาง	มี	มี
ขับวนรูปเลข 8	ไม่มี	มี
ขับในวงเวียน	ไม่มี	มี
ขับขึ้นลงสะพาน	ไม่มี	มี

## 2. โปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก

ในการพัฒนาโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก (Hazard Perception Test) นี้ ได้ใช้ฉากโมเดลสามมิติเป็นต้นแบบจากสภาพจราจรการขับขี่ในเมืองทั่วไป โดยโปรแกรมจะจำลองสถานการณ์ที่ผู้ขับขี่ขับรถมาในทางตรง ด้วยความเร็วประมาณ 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และต้องเจอกับสถานการณ์ที่ต้องใช้เบรกกะทันหัน โดยจะเป็นการสุ่ม เช่น มีรถออกจากซอยในมุมอับแบบกะทันหันหรือรถคันหน้าเบรกกะทันหัน โดยสถานการณ์จำลองในเบื้องต้นทั้งหมดมีอยู่ด้วยกัน 8 สถานการณ์ แสดงในภาพ 41 เพื่อไม่ให้เกิดการจดจำเหตุการณ์ที่ซ้ำตำแหน่งเดิม สำหรับทดสอบทักษะการใช้เบรก ผู้ขับขี่ต้องทำการเบรกให้ทันก่อนเกิดการชน โดยในโปรแกรมจะแบ่งออกเป็นช่วง แสดงในภาพ 42 เริ่มต้นออกตัวจนถึงความเร็วคงที่ เมื่อถึงสถานการณ์ฉุกเฉินต้องใช้เบรกผู้ขับขี่ต้องเบรกให้ทัน ในโปรแกรมได้กำหนดมีระยะคิดไว้ไม่เกิน 2 วินาที โดยใช้แรงเบรกสูงสุดจึงจะสามารถหยุดรถได้ทันก่อนเกิดการชนขึ้น หลังจากนั้นโปรแกรมจะแสดงผลการทดสอบประกอบด้วย เวลาคิดเบรกหน้า เวลาคิดเบรกหลัง (โดยจะเริ่มจับเวลาเมื่อถึงสถานการณ์ฉุกเฉินต้องใช้เบรก จุดที่กำหนดไว้ก่อนเกิดการชนตามมาตรฐานระยะหยุดที่ปลอดภัย) และเวลาในการใช้เบรก (โดยจะเริ่มจับเวลาหลังมีการใช้เบรกจะรถหยุดนิ่ง)



ภาพ 41 การสุ่มการเกิดอุบัติเหตุเพื่อใช้เบรกกะทันหัน 8 สถานการณ์



ภาพ 42 แสดงการใช้ความเร็วโปรแกรมทดสอบการใช้เบรก



## วิธีทดสอบการพัฒนาชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดสอบสำหรับชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริง เพื่อส่งเสริมการขับขี่ที่ปลอดภัย โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วย ส่วนที่หนึ่ง การทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ได้แก่ การทดสอบระบบเครื่องจำลองจักรยานยนต์และการทดสอบการทำงานซอฟต์แวร์จำลองจักรยานยนต์ และส่วนที่สองการทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก โดยมีจุดมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อพัฒนาต้นแบบชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเบื้องต้นสำหรับฝึกการขับขี่ เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ของเยาวชนในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัย

### 1. การทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์

1.1 การทดสอบระบบเครื่องจำลองจักรยานยนต์ โดยทดสอบการทำงานและการรับส่งสัญญาณ ประกอบด้วย การวัดระยะคันเร่งมือปิดด้วยคันเร่งไฟฟ้า การวัดองศาแฮนด์ด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ การวัดระยะเบรกหลังด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน การวัดระยะเบรกด้านด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์ และการอ่านค่าสถานะสวิทช์ของจักรยานยนต์

1.2 การทดสอบการทำงานซอฟต์แวร์จำลองจักรยานยนต์ เป็นการทดสอบเครื่องจำลองกับโมเดลจำลองจักรยานยนต์ด้วยโปรแกรมการขับขี่ในสนาม โดยทดสอบอัตราการเร่งความเร็วและการเบรกที่ล้อหน้า เบรกที่ล้อหลัง และเบรกทั้งสองล้อพร้อมกัน โดยทำการขับขี่เครื่องจำลองจักรยานยนต์ในโปรแกรมสอนการขับขี่ในสนามสอนขับรถ และทำการบันทึกผลระหว่างความเร็วกับเวลาแสดงในภาพ 43 สำหรับเทียบกับการขับขี่รถจักรยานยนต์จริงเพื่อทดสอบความสมจริงของเครื่องจำลอง



ภาพ 43 การขับขี่เครื่องจำลองจักรยานยนต์ในโปรแกรมสนามสอนขับรถ

สำหรับการเก็บข้อมูลอัตราการเร่งความเร็วและการเบรกของจักรยานยนต์จริง จะมี 2 ประเภท ได้แก่ จักรยานยนต์ครอบครัวหรือจักรยานยนต์เกียร์ธรรมดา ในการเก็บข้อมูลเลือกใช้รุ่น Honda Wave 110i และรถสกู๊ตเตอร์หรือจักรยานยนต์อัตโนมัติเลือกใช้รุ่น Yamaha Mio 115 เพื่อทำการเปรียบเทียบกับจักรยานยนต์จำลอง โดยใช้เครื่องมือ GPS Logger หรือ Data Logger ซึ่งเก็บข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (GPS) และข้อมูลเซนเซอร์อื่น ๆ อย่างความเร็ว, ความสูง, และเวลา ที่แสดงในภาพ 44



ภาพ 44 GPS Lap Timer Qstarz LT-Q6000

## 2. การทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก

เก็บข้อมูลการทดสอบเบื้องต้นของเครื่องจำลองการขับขี่รถจักรยานยนต์กับการทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก ประกอบด้วย เวลาคิดในการใช้เบรก หน้าหลังผ่านจุดที่กำหนด เวลาคิดในใช้เบรกหลังผ่านจุดที่กำหนด และเวลาที่ใช้ในการหยุดรถหลังจากเริ่มมีการใช้เบรก โดยมีเกณฑ์การทดสอบ ดังนี้

2.1 เริ่มต้นออกตัวจนจักรยานยนต์มีความเร็วคงที่ประมาณ 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 15 เมตรต่อวินาที เป็นเวลาหนึ่ง

2.2 เมื่อถึงสถานการณ์ฉุกเฉินต้องใช้เบรกผู้ขับขี่ต้องเบรกให้ทัน ผู้ขับขี่ต้องเบรกให้ทัน ในระยะเวลาคิดไม่เกิน 2 วินาที หรืออยู่ในช่วงไม่เกิน 30 เมตร ก่อนถึงจุดใช้เบรกที่ปลอดภัยสูงสุด ถ้าใช้เวลาคิดก่อนทำการใช้เบรกมากกว่า 2 วินาที จะเกิดการชนและเริ่มทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง

2.3 ระยะทางสูงสุดที่เริ่มใช้เบรกจนความเร็วเหลือ 0 ที่กำหนด คือไม่เกิน 17 เมตร ถ้าใช้ระยะทางเบรกมากกว่านี้ จะเกิดการชนและเริ่มทำการทดสอบใหม่

2.4 บันทึกผลการทดสอบ ประกอบด้วย เวลาคิดเบรกหน้า เวลาคิดเบรกหลัง โดยจะเริ่มจับเวลาเมื่อถึงสถานการณ์ฉุกเฉินต้องใช้เบรก จุดที่กำหนดไว้ก่อนเกิดการชนตามมาตรฐานระยะหยุดที่ปลอดภัย และเวลาในการใช้เบรก โดยจะเริ่มจับเวลาหลังมีการใช้เบรก

การทดสอบของผู้ใช้งานเครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากอาสาสมัครนิสิตมหาวิทยาลัยนเรศวรผู้ขับขี่ที่เริ่มขับรถจักรยานยนต์จำนวน 50 คน มีช่วงอายุเฉลี่ยที่ 19 ปี เป็นเพศชาย 37 คน และเพศหญิง 13 คน เพื่อทำการทดสอบและเก็บข้อมูลได้เบื้องต้น



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สำหรับผลการวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักที่ได้พัฒนาขึ้น คือ ผลทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองการขับเคลื่อนจักรยานยนต์และผลการทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก

#### การทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองการขับเคลื่อนจักรยานยนต์

##### 1. การทดสอบระบบเครื่องจำลองจักรยานยนต์

อุปกรณ์ที่ติดตั้งในเครื่องจำลองรถจักรยานยนต์ประกอบด้วย เอ็นโค้ดเดอร์ทำหน้าที่วัดองศาแฮนด์ทำหน้าที่วัดองศาเลี้ยวติดตั้งที่คอแฮนด์ คันเร่งไฟฟ้าทำหน้าที่วัดระยะคันเร่งมือบิดติดตั้งที่ปลายแฮนด์ข้างขวา โพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์ทำหน้าที่วัดระยะเบรกหน้าติดตั้งที่ดุมล้อหน้า โพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุนทำหน้าที่วัดระยะเบรกหลังติดตั้งที่แกนหมุนแป้นเบรกเท้า และสวิทช์ของจักรยานยนต์ ค่าที่อ่านจากเซนเซอร์ที่กล่าวมาจะถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และส่งค่าพารามิเตอร์จำลองการขับเคลื่อนไปที่ซอฟต์แวร์จำลอง แสดงดังตาราง 5

ตาราง 5 ผลทดสอบการส่งข้อมูลของเครื่องจำลองไปยังซอฟต์แวร์จำลอง

ลำดับการส่งข้อมูล	การรับสัญญาณ	การส่งข้อมูล	ผลการทดสอบ
1	สวิทช์กุญแจ	0 หรือ 1	ผ่าน
2	คันเร่ง	ช่วง 0 ถึง 100	ผ่าน
3	เบรกหน้า	ช่วง 0 ถึง 100	ผ่าน
4	เบรกหลัง	ช่วง 0 ถึง 100	ผ่าน
5	องศาเลี้ยว	ช่วง -280 ถึง 280	ผ่าน
6	ไฟเลี้ยวซ้าย	0 หรือ 1	ผ่าน
7	ไฟเลี้ยวขวา	0 หรือ 1	ผ่าน
8	แตร	0 หรือ 1	ผ่าน
9	เปิดไฟ	0 หรือ 1	ผ่าน
10	ไฟสูง	0 หรือ 1	ผ่าน

ตาราง 6 ผลการแปลงสัญญาณจากเซนเซอร์

หน้าที่	ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์		ค่าที่ทำการแปลง		พารามิเตอร์ซอฟต์แวร์จำลอง	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
องศาเลี้ยว	0	560	-280	280	-45 องศา	45 องศา
คันเร่ง	179	860	0	100	0%	100%
เบรกหน้า	0	10	0	100	0%	100%
เบรกหลัง	0	100	0	100	0%	100%

จากตาราง 6 พบว่า ผลการทดสอบองศาเลี้ยวจริงของรถจักรยานยนต์ เมื่อหักเลี้ยวซ้ายสุดวัดค่าจริงเป็นมุม -45 องศา จากจุดกลางแฮนด์ อ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 0 เลี้ยวขวาสุดวัดค่าจริงเป็นมุม 45 องศาจากจุดกลางแฮนด์ อ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 560 เข้าฟังก์ชันแมปสัญญาณเพื่อส่งออกไปที่โปรแกรมจำลองได้ -280 ขณะเลี้ยวซ้ายสุดและ 280 ขณะเลี้ยวขวาสุด ดังนั้นเซนเซอร์องศาเลี้ยวมีความละเอียดเท่ากับ 0.16 องศา

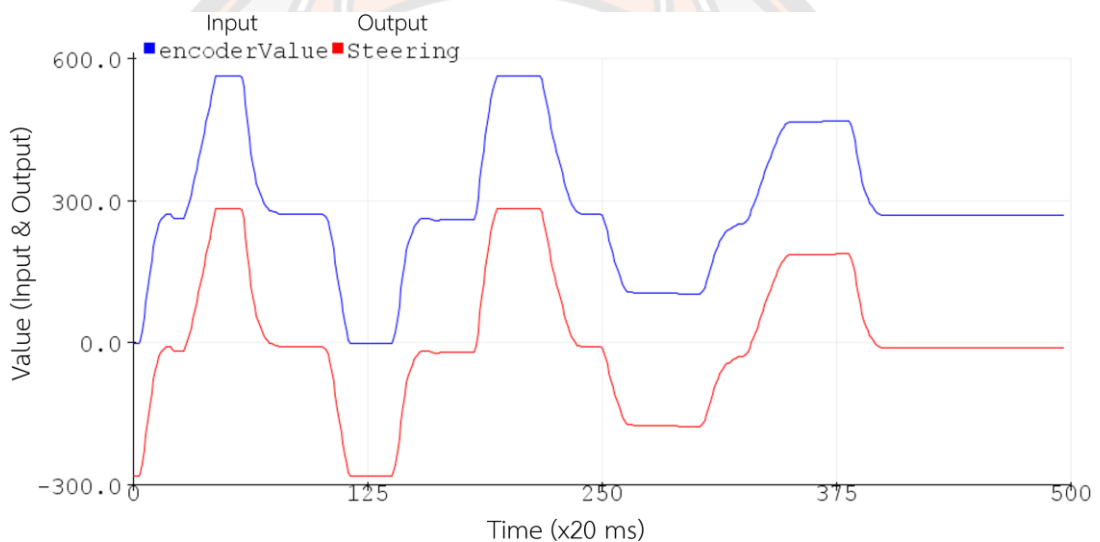
ผลการทดสอบคันเร่งเมื่อไม่มีการบิดคันเร่งอ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 179 เมื่อทำการบิดคันเร่งจนสุดอ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 860 เข้าฟังก์ชันแมปสัญญาณเพื่อส่งออกไปที่โปรแกรมจำลองได้ 0 ขณะไม่มีการบิดคันเร่งและ 100 ขณะบิดคันเร่งสุด ดังนั้นเซนเซอร์คันเร่งมีความละเอียดเท่ากับ 0.15

ผลการทดสอบเบรกหน้าเมื่อไม่มีการเบรกหน้า อ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 0 เมื่อมีการเบรกหน้าสูงสุดอ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 10 เข้าฟังก์ชันแมปสัญญาณเพื่อส่งออกไปที่โปรแกรมจำลองได้ 0 ขณะไม่มีการใช้เบรก และ 100 ขณะมีการใช้เบรกหน้าสูงสุด ดังนั้นเซนเซอร์เบรกหน้ามีความละเอียดเท่ากับ 10

ผลการทดสอบเบรกหลังเมื่อไม่มีการเบรกหลัง อ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 0 เมื่อมีการเบรกหลังสูงสุดอ่านค่าจากเซนเซอร์ได้ 100 เข้าฟังก์ชันแมปสัญญาณเพื่อส่งออกไปที่โปรแกรมจำลองได้ 0 ขณะไม่มีการใช้เบรก และ 100 ขณะมีการใช้เบรกหลังสูงสุด ดังนั้นเซนเซอร์เบรกหลังมีความละเอียดเท่ากับ 1

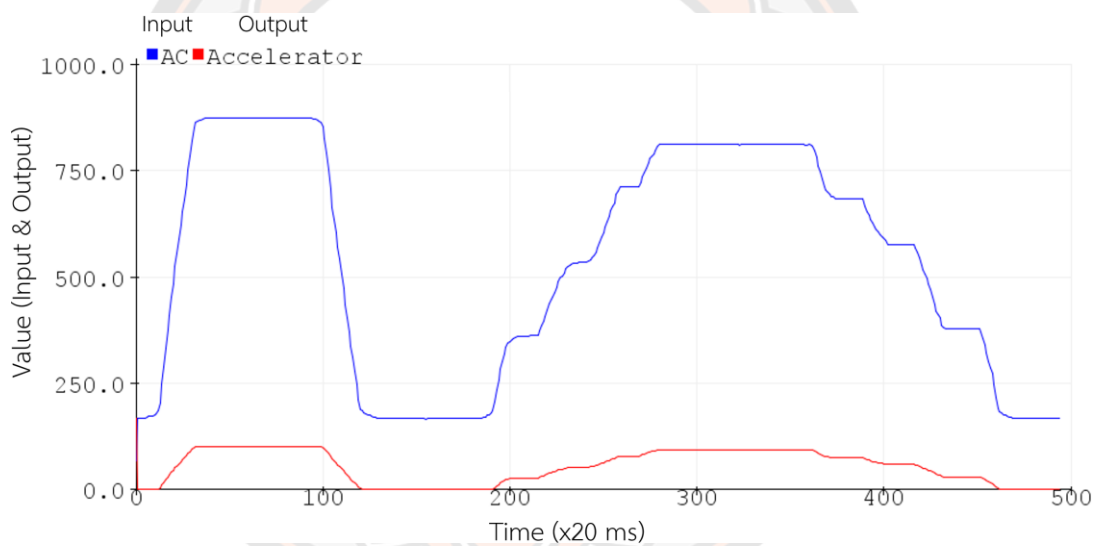
จากตารางผลการทดสอบ พบว่า เซนเซอร์เบรกหน้ามีความละเอียดน้อยกว่าเซนเซอร์เบรกหลังเนื่องจากมีพื้นที่จำกัดในการติดตั้ง แต่สามารถใช้ทำการทดสอบเพียงพอสำหรับการจำลองเบื้องต้น โดยผลทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ในเครื่องจำลองแสดงดังต่อไปนี้

ผลทดสอบการทำงานแฮนด์บังคับเลี้ยว โดยเก็บค่าการทดสอบการใช้งานแสดงผลเป็นกราฟแสดงในภาพ 45 ด้วยการหักเลี้ยวซ้ายสุดแล้วกลับมาอยู่ตรงกลาง เลี้ยวขวาสุดแล้วกลับมาอยู่ตรงกลาง เพื่อทดสอบความเสถียรภาพในการรับส่งข้อมูลของเครื่องจำลอง โดยแกนแนวตั้งคือค่าของเซนเซอร์เอ็นโค้ดเดอร์ แกนแนวนอนคือเวลามีค่าคุณ 20 มิลลิวินาที เส้นสีน้ำเงินคืออินพุตที่อ่านจากเซนเซอร์เอ็นโค้ดเดอร์ เส้นสีแดงคือเอาต์พุตที่ส่งออกไปซอฟต์แวร์จำลององศาเลี้ยว โดยเส้นกราฟที่มีค่าต่ำสุดคือเลี้ยวซ้ายสุด เส้นกราฟที่มีค่าตรงกลางคือแฮนด์อยู่ตรงกลาง และเส้นกราฟที่มีค่าสูงสุดคือเลี้ยวขวาสุด พบว่า การจำลององศาเลี้ยวเส้นสีแดง ให้ค่าที่เที่ยงตรงกับองศาเลี้ยวของแฮนด์รถจริง เส้นสีน้ำเงิน มีความละเอียดในการจำลององศาเลี้ยวที่ 0.16 องศา ให้ความเร็วในการรับและส่งข้อมูลใน 50 ครั้งต่อวินาที หรือ 50 Hz โดยสามารถรับส่งสัญญาณได้ดีและมีเสถียรภาพ



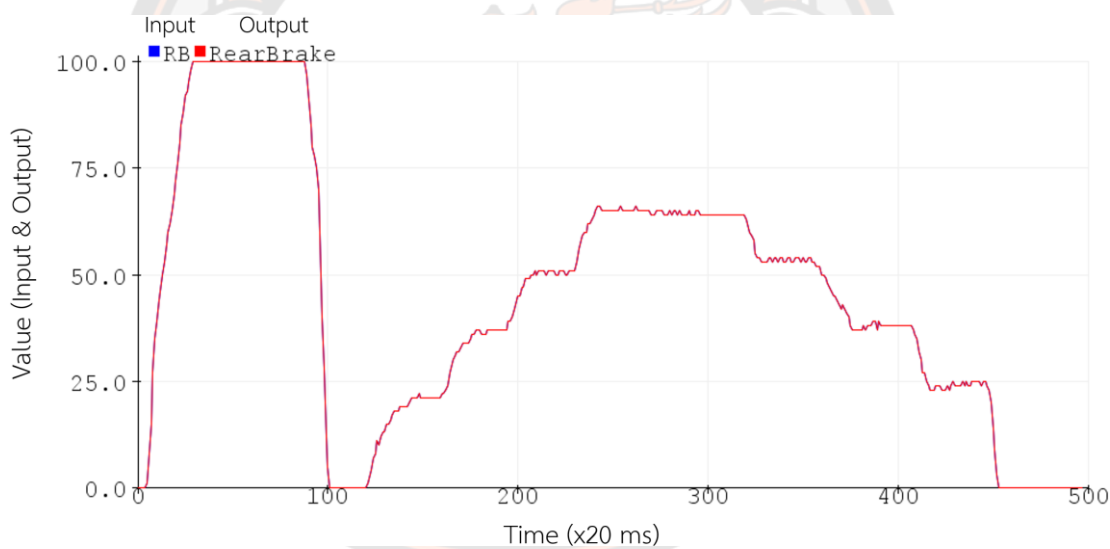
ภาพ 45 ผลทดสอบการทำงานแฮนด์บังคับเลี้ยว

ผลทดสอบการทำงานคันเร่ง โดยเก็บค่าการทดสอบการใช้งานแสดงผลเป็นกราฟแสดงในภาพ 46 ด้วยการเร่งสุดจากนั้นรักษาระดับคันเร่งไว้แล้วผ่อนคันเร่งให้สุด และไล่ระดับคันเร่งขึ้นเป็นขั้นรักษาระดับคันเร่งไว้จากนั้นไล่ระดับคันเร่งลงเพื่อจำลองการใช้งานคันเร่งโดยทั่วไป โดยแกนแนวตั้งคือค่าของเซนเซอร์คันเร่งไฟฟ้า แกนแนวนอนคือเวลามีค่าคูณ 20 มิลลิวินาที เส้นสีน้ำเงินคืออินพุตที่อ่านจากเซนเซอร์คันเร่งไฟฟ้า เส้นสีแดงคือเอาต์พุตที่ส่งออกไปซอฟต์แวร์จำลองการเร่งความเร็ว โดยเส้นกราฟที่มีค่าต่ำสุดคือไม่มีการเร่งความเร็ว และเส้นกราฟที่มีค่าสูงสุดคือมีการเร่งความเร็วสูงสุด ลูกกราฟที่สองเป็นการไล่ระดับคันเร่งขึ้น และรักษาระดับคันเร่งไว้หลังจากนั้นไล่ระดับคันเร่งลง พบว่า การจำลองการเร่งความเร็วเส้นสีแดง ให้ค่าที่เที่ยงตรงกับระยะคันเร่งของรถจริงเส้นสีน้ำเงิน โดยมีความละเอียดในการจำลองการเร่งความเร็วที่ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ให้ความเร็วในการรับและส่งข้อมูลใน 50 ครั้งต่อวินาที หรือ 50 Hz โดยสามารถรับส่งสัญญาณได้ดีและมีเสถียรภาพ



ภาพ 46 ผลทดสอบการทำงานคันเร่ง

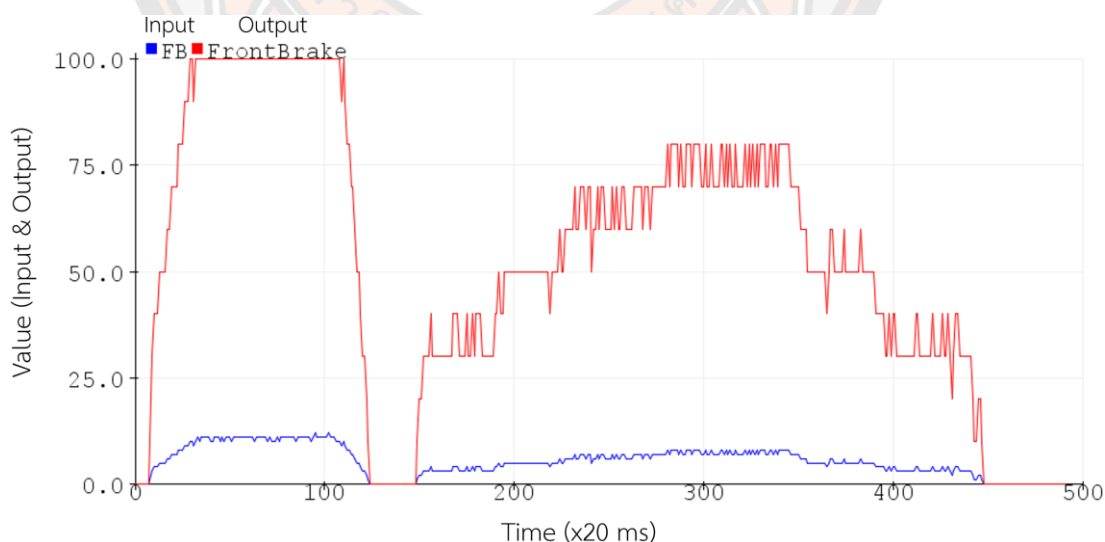
ผลทดสอบการทำงานเบรกหลัง โดยเก็บค่าการทดสอบการใช้งานแสดงผลเป็นกราฟ แสดงในภาพ 47 ด้วยการเบรกหลังสุดจากนั้นรักษาระดับไว้แล้วผ่อนให้สุด และไล่ระดับเบรกหลังขึ้น เป็นชั้นรักษาระดับไว้จากนั้นไล่ระดับลง เพื่อจำลองการใช้งานเบรกหลังโดยทั่วไป โดยแกนแนวตั้งคือ ค่าของเซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน แกนแนวนอนคือเวลามีค่าคูณ 20 มิลลิวินาที เส้นสีน้ำเงิน คืออินพุตที่อ่านจากเซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน เส้นสีแดงคือเอาต์พุตที่ส่งออกไปซอฟต์แวร์ จำลองการใช้เบรกหลัง โดยเส้นกราฟที่มีค่าต่ำสุดคือไม่มีการเบรกหลังและเส้นกราฟที่มีค่าสูงสุดคือมีการเบรกหลังสูงสุด ลูกกราฟที่สองเป็นการไล่ระดับเบรกหลังขึ้น และรักษาระดับไว้หลังจากนั้นไล่ระดับลง พบว่า การจำลองการเบรกหลังเส้นสีแดง ให้ค่าที่เที่ยงตรงกับระยะเวลาการกดเบรกหลังของรถจริงเส้นสีน้ำเงิน เส้นทั้งสองทับกันเนื่องจากอินพุตและเอาต์พุตมีค่าเท่ากัน โดยมีความละเอียดในการ จำลองการเบรกหลังที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ความเร็วในการรับและส่งข้อมูลใน 50 ครั้งต่อวินาที หรือ 50 Hz โดยสามารถรับส่งสัญญาณได้ดีและมีเสถียรภาพ



ภาพ 47 ผลทดสอบการทำงานเบรกหลัง

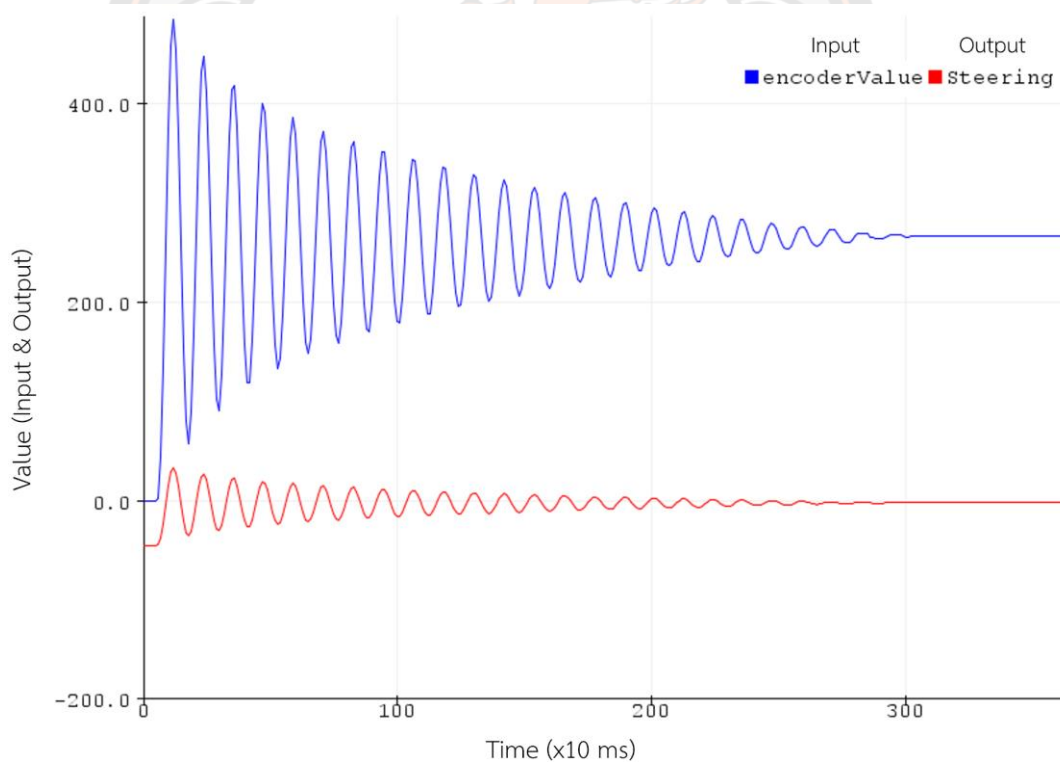


ผลทดสอบการทำงานเบรกหน้า โดยเก็บค่าการทดสอบการใช้งานแสดงผลเป็นกราฟแสดงในภาพ 48 ด้วยการเบรกหน้าสุดจากนั้นรักษาระดับไว้แล้วผ่อนให้สุด และไล่ระดับเบรกหน้าขึ้นเป็นขั้นรักษาระดับไว้จากนั้นไล่ระดับเพื่อจำลองการใช้งานเบรกหน้าโดยทั่วไป โดยแกนแนวตั้งคือค่าของเซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์ แกนแนวนอนคือเวลามีค่าคูณ 20 มิลลิวินาที เส้นสีน้ำเงินคืออินพุตที่อ่านจากเซนเซอร์โพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์ เส้นสีแดงคือเอาต์พุตที่ส่งออกไปซอฟต์แวร์จำลองการใช้เบรกหน้า โดยเส้นกราฟที่มีค่าต่ำสุดคือไม่มีการเบรกหน้า และเส้นกราฟที่มีค่าสูงสุดคือมีการเบรกหน้าสูงสุด ลูกกราฟที่สองเป็นการไล่ระดับเบรกหน้าขึ้น และรักษาระดับเบรกหน้าไว้หลังจากนั้นไล่ระดับเบรกหน้าลง พบว่า การจำลองการเบรกหน้าเส้นสีแดง ลูกกราฟที่สองมีความถี่ขึ้นลงเกิดขึ้นเนื่องจากค่าอินพุตระยะการกดเบรกหน้าของรถจริงเส้นสีน้ำเงินมีค่าน้อยกว่าและมีการแกว่งเกิดขึ้น เหตุเกิดจากตำแหน่งติดตั้งของเซนเซอร์มีข้อจำกัดทำให้การอ่านระยะการกดเบรกหน้าได้ 0 เมื่อไม่เบรก ถึง 10 เมื่อเบรกสุด และเมื่อทำการแปลงสัญญาณเป็นค่าการจำลองการเบรกหน้าที 0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ จะให้ความละเอียดในการส่งสัญญาณจำลองการเบรกหลังที่ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่สามารถให้ความเร็วในการรับและส่งข้อมูลใน 50 ครั้งต่อวินาที หรือ 50 Hz โดยสามารถรับสัญญาณอินพุตและส่งสัญญาณเอาต์พุตได้ตามกัน แต่ยังสามารถใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ในโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก จะใช้การทดสอบเบรกแบบกะทันหันด้วยการกดเบรกสูงสุดหรือที่ 100 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟทดสอบเบรกหน้าพบว่า การส่งสัญญาณจำลองการกดเบรกสูงสุดให้ค่ามีเสถียรภาพเพียงพอต่อการทดสอบ



ภาพ 48 ผลทดสอบการทำงานเบรกหน้า

ผลทดสอบการทำงานสปริงดีงแฮนด์ โดยเก็บค่าการทดสอบการใช้งานแสดงผลเป็นกราฟ แสดงในภาพ 49 เส้นสีน้ำเงินคือค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์และเส้นสีแดงคือองศาแฮนด์ของจักรยานยนต์จริง โดยแกนแนวตั้งคือค่าของเซนเซอร์และองศาแกนแนวนอนคือเวลาที่มีค่าคูณ 10 มิลลิวินาที การทดสอบเริ่มจากการปล่อยแฮนด์จากซ้ายสุดที่ -45 องศา เก็บค่าเซนเซอร์เพื่อวัดองศาเทียบกับเวลาจนแฮนด์เข้าสู่ 0 องศาหรือกลางแฮนด์ โดยพบว่าใช้เวลา 30 วินาที จนแฮนด์หยุดนิ่ง ลักษณะแบบคลื่นไซน์แบบลดทอน (Damped sine wave) คือคลื่นไซน์ชนิดหนึ่งที่มีความถี่ (frequency) สม่ำเสมอ แต่จะมีแอมพลิจูด (amplitude) ที่ลดลงเรื่อย ๆ ตามเวลา นั่นคือคลื่นจะมีลักษณะเหมือนคลื่นไซน์ปกติ แต่ความสูงของยอดคลื่นจะลดเรื่อย ๆ จนแทบจะเป็นเส้นตรง ทั้งนี้การสร้างสปริงดีงกลับเพื่อใช้เป็นการจำลองแรงบิดที่เกิดขึ้นเบื้องต้น โดยการบังคับเลี้ยวของแฮนด์ในจักรยานยนต์จริงการปล่อยแฮนด์เมื่อเสียสมดุลจะเกิดการสะบัดที่แฮนด์ และเมื่อรถได้สมดุลการปล่อยแฮนด์จะทำให้รถวิ่งต่อไปได้และแฮนด์จะอยู่ตรงกลางเสมอ

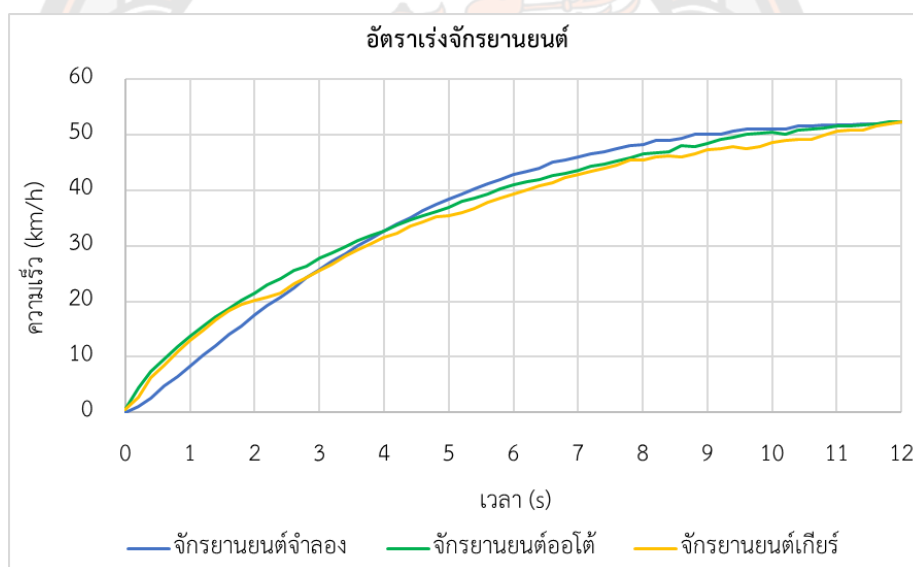


ภาพ 49 ผลทดสอบการทำงานสปริงดีงแฮนด์

## 2. การทดสอบการทำงานซอฟต์แวร์จำลองจักรยานยนต์

เป็นการทดสอบเครื่องจำลองกับซอฟต์แวร์จำลองจักรยานยนต์ด้วยโปรแกรมการขับขี่ในสนาม โดยผลการทดสอบ ประกอบด้วย ผลทดสอบอัตราการเร่งความเร็ว ผลการทดสอบเบรกเบรกล้อหลัง ผลการทดสอบเบรกล้อหน้า และผลการทดสอบเบรกหน้าหลัง (เบรกพร้อมกันสองล้อ) เทียบกับการขับขี่รถจักรยานยนต์จริงเพื่อดูผลการทำงานของเครื่องจำลอง

จากผลการทดสอบอัตราเร่ง แสดงในภาพ 50 และแสดงในตาราง 7 พบว่า จักรยานยนต์ทั้งสามประเภทมีความเร็วใกล้เคียงกันในช่วงเวลา 0 ถึง 12 วินาที จักรยานยนต์จำลองมีความเร็วสูงสุดเล็กน้อย 52.4 km/h จักรยานยนต์อโต้และจักรยานยนต์เกียร์มีความเร็วสูงสุดเท่ากัน 52.3 km/h ทั้งสามประเภทมีความเร่งเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 1.21 m/s<sup>2</sup> ผลการทดสอบนี้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพถนน สภาพอากาศ น้ำหนักบรรทุก และทักษะการขับขี่ ข้อมูลในกราฟและตารางเป็นเพียงค่าเฉลี่ย อาจจะมีค่าที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละคัน

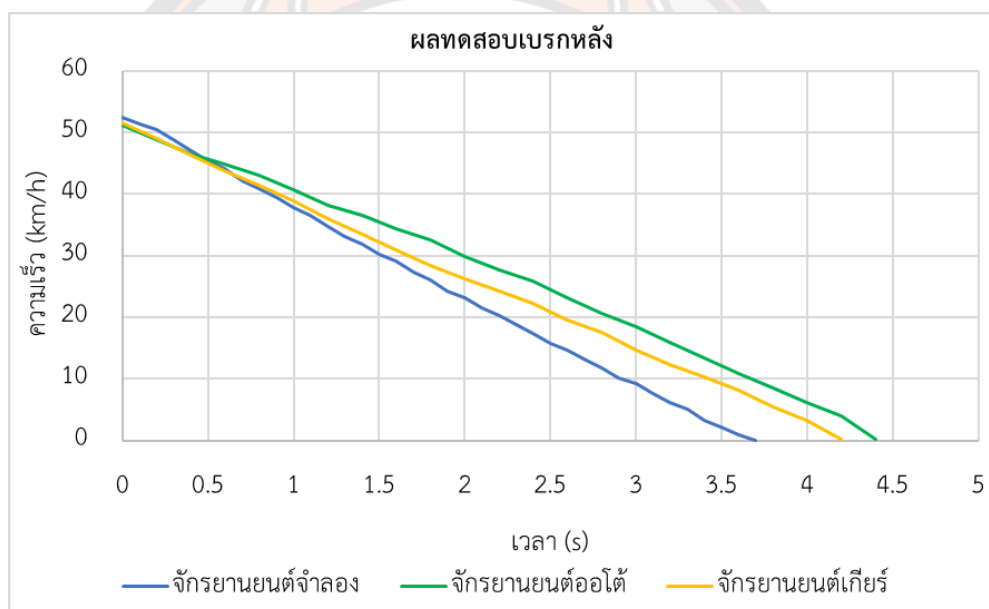


ภาพ 50 อัตราเร่งจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง

ตาราง 7 ผลทดสอบอัตราเร่งจักรยานยนต์ช่วงเวลา 0 ถึง 12 วินาที

ประเภท	ความเร็ว (km/h)	ความเร่งเฉลี่ย (m/s <sup>2</sup> )
จักรยานยนต์จำลอง	52.4	1.21
จักรยานยนต์อโต้	52.3	1.21
จักรยานยนต์เกียร์	52.3	1.21

ผลการทดสอบเบรกหลัง ในการลดความเร็วจาก 54 km/h ลงเหลือ 0 km/h แสดงในภาพ 51 พบว่า จักรยานยนต์เกียร์มีระยะเบรกหน้า สั้นที่สุด โดยใช้เวลาประมาณ 3.7 วินาที รองลงมาคือ จักรยานยนต์จำลองใช้เวลาประมาณ 4.2 วินาที และจักรยานยนต์อโต้ใช้เวลาประมาณ 4.4 วินาที ตามลำดับ จากผลทดสอบเวลาใช้เบรกสามารถแสดงผลเป็น ระยะเบรก ความเร่งเบรกเฉลี่ย และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน แสดงในตาราง 8 นอกจากนี้ กราฟยังแสดงให้เห็นว่า จักรยานยนต์จำลองมีอัตราการชะลอความเร็วที่สม่ำเสมอที่สุด โดยความเร็วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 0 km/h ในขณะที่จักรยานยนต์อโต้และจักรยานยนต์เกียร์มีความเร็วลดลงอย่างช้าลงในช่วงแรกก่อนที่จะเพิ่มการลดความเร็วขึ้นในตอนท้าย และพบว่าความเร่งเฉลี่ยกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทั้งสามประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้มีระยะเบรกเบรกหลังที่ใกล้เคียงกัน

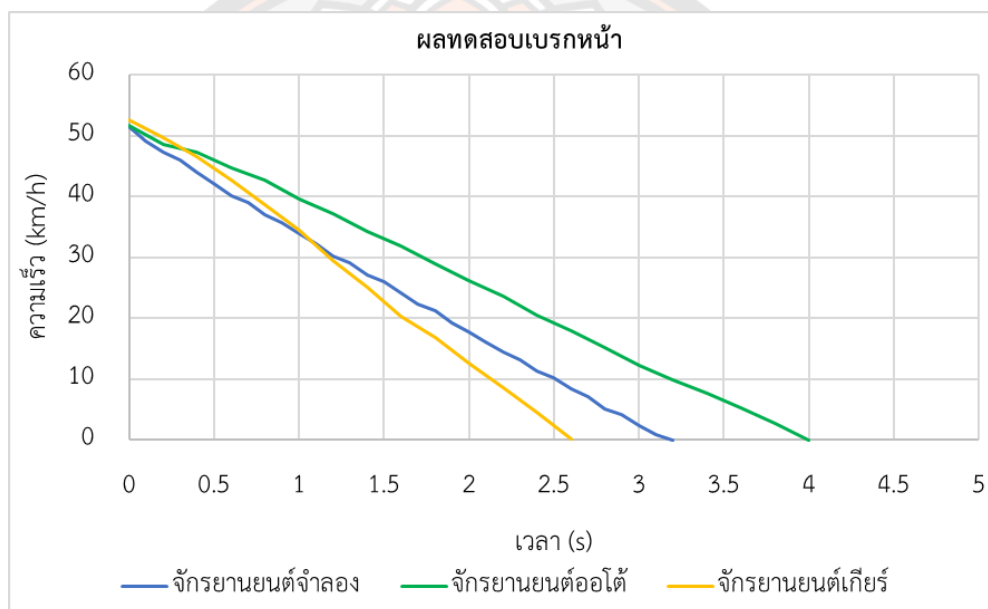


ภาพ 51 ผลทดสอบเบรกหลังจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง

#### ตาราง 8 การวิเคราะห์ผลทดสอบเบรกหลัง

ประเภท	เวลาเบรก (s)	ระยะเบรก (m)	ความเร่งเบรกเฉลี่ย (m/s <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu = a/g$ )
จักรยานยนต์จำลอง	3.7	26.93	3.93	0.40
จักรยานยนต์อโต้	4.4	31.24	3.23	0.33
จักรยานยนต์เกียร์	4.2	30.10	3.41	0.35

ผลการทดสอบเบรกหน้า ในการลดความเร็วจาก 54 km/h ลงเหลือ 0 km/h แสดงในภาพ 52 พบว่า จักรยานยนต์เกียร์มีระยะเบรกหน้า สั้นที่สุด โดยใช้เวลาประมาณ 2.6 วินาที รองลงมาคือ จักรยานยนต์จำลองใช้เวลาประมาณ 3.2 วินาที และจักรยานยนต์อโต้ใช้เวลาประมาณ 4 วินาที ตามลำดับ จากผลทดสอบเวลาใช้เบรกสามารถแสดงผลเป็น ระยะเบรก ความเร่งเบรกเฉลี่ย และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน แสดงในตาราง 9 นอกจากนี้ กราฟยังแสดงให้เห็นว่าจักรยานยนต์จำลองมีอัตราการชะลอความเร็วที่สม่ำเสมอที่สุด โดยความเร็วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 0 km/h ในขณะที่จักรยานยนต์อโต้และจักรยานยนต์เกียร์มีความเร็วลดลงอย่างช้าลงในช่วงแรกก่อนที่จะเพิ่มการลดความเร็วขึ้นในตอนท้าย

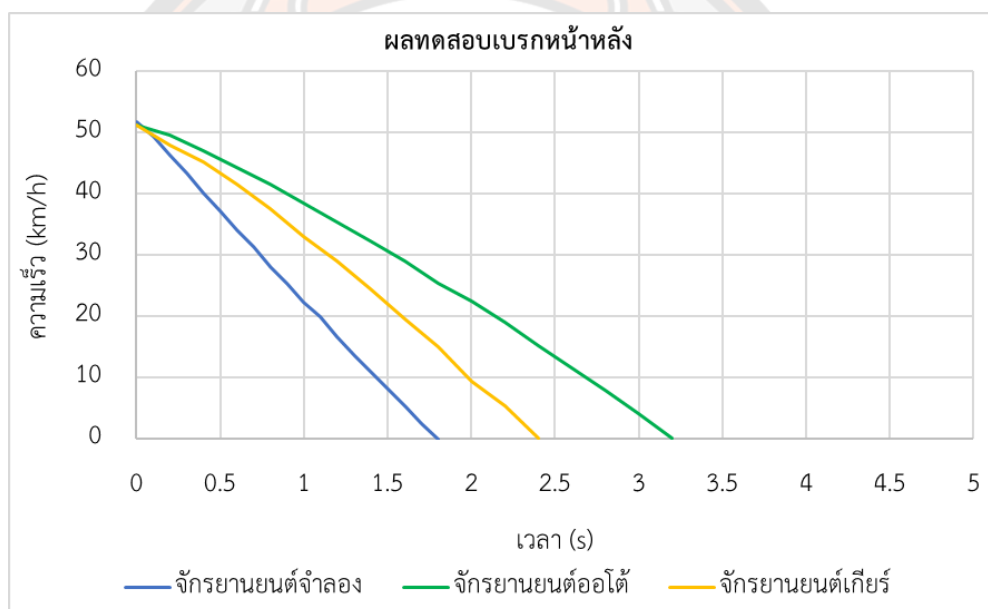


ภาพ 52 ผลทดสอบเบรกหน้าจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง

ตาราง 9 การวิเคราะห์ผลทดสอบเบรกหน้า

ประเภท	เวลาเบรก (s)	ระยะเบรก (m)	ความเร่งเบรกเฉลี่ย (m/s <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ( $\mu = a/g$ )
จักรยานยนต์จำลอง	3.2	22.89	4.47	0.46
จักรยานยนต์อโต้	4	28.75	3.59	0.37
จักรยานยนต์เกียร์	2.6	19.02	5.63	0.57

ผลการทดสอบเบรกหน้าหลังในการลดความเร็วจาก 54 km/h ลงเหลือ 0 km/h แสดงในภาพ 53 พบว่า ระยะเบรกหน้าหลังของที่สามประเภทมีระยะที่น้อยกว่าในเบรกหน้าและเบรกหลังข้างต้น จักรยานยนต์จำลองมีระยะเบรกหน้าหลังสั้นที่สุด โดยใช้เวลาประมาณ 1.8 วินาที รองลงมาคือ จักรยานยนต์เกียร์ใช้เวลาประมาณ 2.4 วินาที และจักรยานยนต์อโต้ใช้เวลาประมาณ 3.2 วินาที ตามลำดับ จากผลทดสอบเวลาใช้เบรกสามารถแสดงผลเป็น ระยะเบรก ความเร่งเบรกเฉลี่ย และสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน แสดงในตาราง 10 นอกจากนี้ กราฟยังแสดงให้เห็นว่าจักรยานยนต์จำลองมีอัตราการชะลอความเร็วที่สม่ำเสมอที่สุด โดยความเร็วจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึง 0 km/h ในขณะที่จักรยานยนต์อโต้และจักรยานยนต์เกียร์มีความเร็วลดลงอย่างช้าลงในช่วงแรกก่อนที่จะเพิ่มการลดความเร็วขึ้นในตอนท้าย



ภาพ 53 ผลทดสอบเบรกหน้าหลังจักรยานยนต์จำลองเทียบจักรยานยนต์จริง

#### ตาราง 10 การวิเคราะห์ผลทดสอบเบรกหน้าหลัง

ประเภท	เวลาเบรก (s)	ระยะเบรก (m)	ความเร่งเบรกเฉลี่ย (m/s <sup>2</sup> )	สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ = a/g)
จักรยานยนต์จำลอง	1.8	12.95	7.99	0.81
จักรยานยนต์อโต้	3.2	22.75	4.44	0.45
จักรยานยนต์เกียร์	2.4	17.07	5.93	0.60

จากผลการทดสอบ เบรกหลัง เบรกหน้า และเบรกหน้าหลัง ในตารางที่ 8 9 และ 10 พบว่า เบรกหลังและเบรกหน้าของทั้งสามประเภทมีค่าต่างกันเล็กน้อย ในส่วนของเบรกหน้าหลังของทั้งสามประเภทมีความต่างกัน โดยที่จักรยานยนต์จำลองมีประสิทธิภาพการเบรกที่ดีที่สุด รองลงมาคือ จักรยานยนต์เกียร์ และจักรยานยนต์อโต้ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะระบบจักรยานยนต์จำลองได้มีพารามิเตอร์ที่มาจากฟิสิกส์ของซอฟต์แวร์เริ่มต้น จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนนของจักรยานยนต์จำลองมีค่ามากกว่าจักรยานยนต์จริงทั้งสองประเภท และจักรยานยนต์เกียร์มีระยะเบรกที่มากกว่าจักรยานยนต์อโต้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนนมีค่ามากกว่า เนื่องจากจักรยานยนต์แต่ละคันขึ้นส่วนมีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานที่ไม่เท่ากัน

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลนี้เป็นเพียงผลการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น ประสิทธิภาพการเบรกที่แท้จริงนั้นแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์และปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพของล้อยาง ผ้าเบรคน้ำหนัก รวมถึงอุปกรณ์ส่งแรงจากคนไปที่ผ้าเบรก และพื้นผิวถนนที่ขับขี่ขณะนั้น ส่งผลให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นถนนที่ต่างกันจึงทำให้ระยะเบรกต่างกัน ถึงแม้ว่าระยะเบรกของจักรยานยนต์จำลองจะมากกว่าจักรยานยนต์จริงแต่ก็เพียงพอที่ใช้สำหรับการทดสอบเบื้องต้นกับโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรกในการวิจัยครั้งนี้ และเพื่อใช้เป็นข้อมูลการพัฒนาต่อยอดสำหรับระยะเบรกของซอฟต์แวร์จำลองให้ใกล้เคียงกับรถจริงเพื่อความสมจริงมากขึ้นในรุ่นถัดไป

### ผลทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก

ผลทดสอบของส่วนนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากอาสาสมัครนิสิตมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ผู้ขับขี่ที่เริ่มขับรถจักรยานยนต์จำนวน 50 คน มีช่วงอายุเฉลี่ยที่ 19 ปี เป็นเพศชาย 37 คน คิดเป็นร้อยละ 74 และเพศหญิง 13 คน คิดเป็นร้อยละ 26 ทั้ง 50 คน พบว่ามีผู้ที่มีใบขับขี่ 40 คน คิดเป็นร้อยละ 80 และผู้ที่ไม่มีใบขับขี่ 10 คน คิดเป็นร้อยละ 20 ทำการทดสอบโดยการขับขี่จักรยานยนต์จำลองกับโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก เพื่อเก็บข้อมูลได้เบื้องต้น ซึ่งในการทดสอบในแต่ละคนทั้งหมด 50 คน จะเก็บข้อมูลทดสอบสามครั้งเฉพาะครั้งที่ผ่านการทดสอบหรือไม่เกิดการชนเพื่อบันทึกผลเวลา และเก็บข้อมูลผู้ที่มีการชนในครั้งแรกหรือไม่ผ่านในการทดสอบครั้งแรกเพื่อบันทึกผลเปรียบเทียบความต่างโดยแยกเป็นเพศและใบขับขี่ โดยผลการทดสอบประกอบด้วยเวลาคิดก่อนการใช้เบรกเป็นเวลาที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะเบรกหรือไม่หลังจากที่ผู้ขับขี่รับรู้ถึงสิ่งกีดขวาง เวลาใช้เบรกเป็นเวลาที่ผู้ขับขี่เริ่มใช้เบรกจนรถหยุดนิ่ง เปรียบเทียบระหว่าง เพศ ใบขับขี่ และผลทดสอบการทดสอบครั้งแรก

เปรียบเทียบผลทดสอบเวลาคิดก่อนการใช้เบรก แสดงในตาราง 11 พบว่า เพศชายมีเวลาคิดก่อนการใช้เบรกเฉลี่ยในการบันทึกผลครั้งแรกมากกว่าเพศหญิงเล็กน้อย ผู้ที่มีใบขับขี่มีเวลาคิดก่อนการใช้เบรกเฉลี่ยมากกว่าผู้ที่ไม่ใช่ใบขับขี่เล็กน้อย และพบว่าเวลาคิดก่อนการใช้เบรกมีแนวโน้มที่จะลดลงเล็กน้อยในทุกครั้งที่ทำการทดสอบ โดยพบว่าค่าเฉลี่ยในการทดสอบทั้งสามครั้งของทุกประเภทมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ 0.77 วินาที แสดงให้เห็นว่าประเภทของผู้ทดสอบมีนัยสำคัญต่างกันไม่มากต่อเวลาคิดก่อนใช้เบรก เนื่องจากข้อมูลของผู้เข้าทดสอบแต่ละประเภทมีจำนวนไม่เท่ากันและมีจำนวนไม่มากเป็นการทดสอบเบื้องต้น แต่ในการทดสอบสามารถทำได้ดีขึ้นเนื่องจากผู้ขับขี่มีการทำความเข้าใจพร้อมที่จะใช้เบรกมากกว่าในการทดสอบครั้งแรก

ตาราง 11 เปรียบเทียบผลทดสอบเวลาคิดก่อนการใช้เบรก

ประเภท	จำนวน (คน)	ร้อยละ (%)	เวลาคิดก่อนใช้เบรก (s)			ค่าเฉลี่ย	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
เพศ	ชาย	37	74	0.85	0.73	0.72	0.77
	หญิง	13	26	0.81	0.72	0.77	0.77
ใบขับขี่	มี	40	80	0.86	0.71	0.73	0.77
	ไม่มี	10	20	0.75	0.81	0.73	0.76

จากการเก็บข้อมูลของการทดสอบครั้งแรก พบว่า หากแยกประเภทตามเพศ เพศชายมีพฤติกรรมการขับขี่ ขับชนร้อยละ 59 (22 คน) ไม่ชนร้อยละ 41 (15 คน) มากกว่าเพศหญิงเล็กน้อยที่มีพฤติกรรมขับชนร้อยละ 23 (3 คน) ไม่ชนร้อยละ 77 (10 คน) และเมื่อแยกประเภทตามใบขับขี่ พบว่า ผู้ที่มีใบขับขี่ มีพฤติกรรมขับชนร้อยละ 55 (22 คน) ไม่ชนร้อยละ 45 (18 คน) มากกว่าผู้ที่ไม่ใช่ใบขับขี่เล็กน้อย ที่มีพฤติกรรมขับชนร้อยละ 30 (3 คน) ขับไม่ชนร้อยละ 70 (7 คน) จำนวนผู้เข้าทดสอบทั้งหมดมีพฤติกรรมขับชนร้อยละ 50 (25 คน) ขับไม่ชนร้อยละ 50 (25 คน) สรุปได้ว่า แยกตามเพศ เพศชาย จะมีพฤติกรรมขับชนมากกว่าเพศหญิง และแยกตามการมีใบขับขี่ผู้ที่มีใบขับขี่มีพฤติกรรมขับชนมากกว่าผู้ที่ไม่ใช่ใบขับขี่ การที่ผู้ที่มีใบขับขี่ขับชนมากกว่าผู้ที่ไม่ใช่ใบขับขี่เป็นเรื่องที่อาจดูแปลก เนื่องจากข้อมูลของผู้เข้าทดสอบแต่ละประเภทมีจำนวนไม่เท่ากันและมีจำนวนไม่มากเป็นการทดสอบเบื้องต้น แต่ในการทดสอบทั้งหมด 50 คน ให้แนวโน้มในการขับชนร้อยละ 50 และขับไม่ชนร้อยละ 50 แสดงในตาราง 12



ตาราง 12 เปรียบเทียบผลทดสอบครั้งแรกที่เกิดการชน

ประเภท	ชน		ไม่ชน		
	จำนวน (คน)	ร้อยละ (%)	จำนวน (คน)	ร้อยละ (%)	
เพศ	ชาย	22	59	15	41
	หญิง	3	23	10	77
ใบขับขี่	มี	22	55	18	45
	ไม่มี	3	30	7	70
รวมผู้ทดสอบทั้งหมด		25	50	25	50

ผลทดสอบผู้ขับขี่เครื่องจำลองกับโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก เวลาเฉลี่ยของผู้ทดสอบทั้งหมด 50 คน โดยเก็บข้อมูลการทดสอบเฉพาะครั้งที่ทดสอบผ่านหรือไม่มีการชนทั้งหมด 3 ครั้ง พบว่า เวลาคิดก่อนการใช้เบรกมีแนวโน้มที่จะลดลงในทุกครั้งที่ทำการทดสอบ เวลาคิดเบรกหน้ามีค่ามากกว่าเวลาคิดเบรกหลังเล็กน้อย โดยมีเวลาคิดเฉลี่ยของเบรกหน้าและเบรกหลังคือ 0.77 วินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบทั้งหมดมีค่าน้อย หมายความว่า ข้อมูลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย และพบว่าค่าเฉลี่ยเวลาใช้เบรกเมื่อเริ่มใช้เบรกจนรถหยุดนิ่งพบว่ามีค่า 1.99 วินาที ผลการทดสอบนี้สามารถนำไปใช้ในการประเมินความสามารถในการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรกของผู้ขับขี่ แสดงในตาราง 13

ตาราง 13 ผลทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก

ผลทดสอบ	เวลาคิดเบรกหน้า (s)	เวลาคิดเบรกหลัง (s)	เวลาคิดเฉลี่ย (s)	เวลาใช้เบรก (s)
ครั้งที่ 1	0.87	0.80	0.84	2.00
S.D.	0.28	0.25	0.25	0.14
ครั้งที่ 2	0.75	0.71	0.73	1.97
S.D.	0.22	0.25	0.21	0.42
ครั้งที่ 3	0.77	0.70	0.73	1.99
S.D.	0.24	0.30	0.25	0.18
ค่าเฉลี่ย	0.80	0.74	0.77	1.99
S.D.	0.25	0.27	0.24	0.27

จากผลการทดสอบโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก แสดงดังตาราง 13 ข้างต้น ทำการคำนวณหาระยะทางในการหยุดรถเทียบกับจากมาตรฐาน Highway Code ของประเทศอังกฤษ จากตาราง 1 และระยะเบรกของจริงจากผลทดสอบสำหรับจักรยานยนต์ออโต้ และจักรยานยนต์เกียร์ จากตาราง 10 สามารถหาระยะคิดหรือระยะรับรู้และตอบสนองในการเบรก และระยะทางที่ต้องใช้เบรก เพื่อเปรียบเทียบกับผลทดสอบการใช้งานเครื่องจำลองรถจักรยานยนต์กับโปรแกรมทดสอบการตัดสินใจสถานการณ์การรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรกแสดงในตาราง 14 ตารางนี้แสดงผลการทดสอบระยะเบรกของกลุ่มตัวอย่าง 50 คน ทำการขับขี่ที่ความเร็วเดียวกัน 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่า ผู้เข้ารับการทดสอบมีระยะคิดก่อนใช้เบรกเฉลี่ยประมาณ 11.5 เมตร ระยะใช้เบรกเฉลี่ยประมาณ 14.9 เมตร และระยะหยุดรวมเฉลี่ยประมาณ 26.4 เมตร นั้นหมายถึงระยะคิดก่อนใช้เบรกจากผลทดสอบมีค่ามากกว่าระยะคิดก่อนใช้เบรกตามมาตรฐานเล็กน้อยที่ 1.3 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 12.7 ของระยะคิดก่อนใช้เบรกตามมาตรฐาน ระยะใช้เบรกจากผลทดสอบมีค่าน้อยกว่าระยะใช้เบรกตามมาตรฐานเล็กน้อยที่ 2.4 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 13.9 ของระยะคิดก่อนใช้เบรกตามมาตรฐาน ระยะหยุดรวมจากผลทดสอบมีค่าน้อยกว่าระยะหยุดรวมตามมาตรฐานเล็กน้อยที่ 1.1 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4 ของระยะคิดก่อนใช้เบรกตามมาตรฐาน สรุปได้ว่าผลการทดสอบนี้สามารถนำไปใช้ในการประเมินความสามารถในการหยุดรถของผู้ขับขี่สามารถเป็นระยะหยุดที่ปลอดภัยได้

ตาราง 14 ผลคำนวณเปรียบเทียบระยะเบรกที่ความเร็ว 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ผลการคำนวณ	ระยะคิดก่อนใช้เบรก (m)	ระยะใช้เบรก (m)	ระยะหยุดรวม (m)
จักรยานยนต์ออโต้	-	25.3	-
จักรยานยนต์เกียร์	-	19.0	-
จากผลทดสอบ	11.5	14.9	26.4
ระยะหยุดมาตรฐาน	10.2	17.3	27.5

จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่าจักรยานยนต์ออโต้มีระยะเบรกที่ยาวที่สุด รองลงมาคือจักรยานยนต์เกียร์แต่น้อยกว่าระยะหยุดมาตรฐาน และจักรยานยนต์จำลองมีระยะเบรกที่สั้นที่สุดแต่มากกว่าระยะหยุดมาตรฐาน ทั้งนี้ ผลการทดสอบนี้เป็นเพียงตัวอย่างเบื้องต้น เท่านั้น ระยะเบรกที่แท้จริงของรถจักรยานยนต์แต่ละคันอาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพของรถ สภาพของถนน สภาพอากาศ และพฤติกรรมกรขับขี่ของผู้ขับขี่

สรุปได้ว่าระยะใช้เบรรมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานเนื่องจากปัจจัยของตัวแปรที่ใช้ในการจำลองทำให้มีเบรคที่ดีกว่าความเป็นจริงเล็กน้อยเนื่องจากในโปรแกรมจำลองไม่ได้มีการสิ้นเปลืองเกิดขึ้นเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาครั้งต่อไป และพบว่าระยะหยุดรวมมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานจึงสามารถใช้เป็นระยะหยุดที่ปลอดภัยได้



## บทที่ 5

### บทสรุป

#### สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้เป็นการพัฒนาชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการขับขี่ที่ปลอดภัย มีจุดมุ่งหมายของการวิจัยเพื่อศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่และพารามิเตอร์ของจักรยานยนต์ จากงานวิจัยได้ทราบแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนและพารามิเตอร์ของการเบรกสำหรับใช้ในการพัฒนาและทดสอบชุดจำลองจักรยานยนต์

จุดมุ่งหมายถัดมาของการวิจัยเพื่อพัฒนาต้นแบบชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงสำหรับฝึกขับขี่เบื้องต้น ได้พัฒนาเครื่องจำลองแบบ 2 ล้อ สำหรับฝึกหัดขับขี่มีโครงสร้างแบบแท่นวาง 1 องศาอิสระ ใช้สปริงในการจำลองแรงบิดที่เกิดขึ้นกับแกนองศาอิสระที่แฮนด์บังคับแล้ว โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สื่อสารระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ จากผลทดสอบเครื่องจำลองจักรยานยนต์พบว่าสามารถรับและส่งค่าพารามิเตอร์ไปที่โปรแกรมจำลองได้ตามที่ออกแบบไว้ ส่วนหลักประกอบด้วย องศาเลี้ยว คันเร่ง เบรกหน้า และเบรกหลัง ส่วนรองประกอบด้วย สวิตช์กุญแจ ไฟเลี้ยวซ้าย ไฟเลี้ยวขวา แตร เปิดไฟ และไฟสูง ทั้งนี้พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเบรกหน้ามีความละเอียดน้อยส่งผลให้การไล่ระดับเบรกทำได้ไม่เที่ยงแต่ใช้ได้ดีในการเบรกสูงสุดเพียงพอต่อการทดสอบเบื้องต้น ทั้งนี้เครื่องจำลองมีความเสถียรให้ค่าถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วสามารถใช้จำลองการขับขี่และตอบสนองได้ดีในเบื้องต้น การทำงานซอฟต์แวร์จำลองจักรยานยนต์สามารถทำอัตราเร่งได้เท่ากับจักรยานยนต์จริงประเภทเกียร์ธรรมดาและออโต้ ส่วนการเบรก จักรยานยนต์จำลองมีประสิทธิภาพการเบรกที่ดีที่สุด ข้อมูลนี้เป็นเพียงผลการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น ประสิทธิภาพการเบรกที่แท้จริงอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพถนน ทักษะการขับขี่ของผู้ขับขี่ รวมประสิทธิภาพของผ้าเบรกของรถจริงและพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์จำลอง

จากนั้นจุดมุ่งหมายสุดท้ายของการวิจัยเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ของเยาวชนในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัย ด้วยการศึกษากฎติกรรมการใช้เบรกโดยการฝึกหัดและทดสอบกับโปรแกรมทดสอบการตัดสินใจสถานการณ์การรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรก พบว่าอาสาสมัครนิสิตที่ได้ทำการทดสอบเบื้องต้น 50 คน ในการทดสอบครั้งแรกร้อยละ 50 จะเบรกไม่ทันจนเกิดการชน และเมื่อทำการทดสอบซ้ำสามารถเบรกได้ทันและใช้เวลาได้ดีขึ้นในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าระยะเบรกที่วัดได้จากโปรแกรมจำลองนั้นใกล้เคียงกับระยะหยุดมาตรฐานสามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนาโปรแกรมจำลองและประเมินความสามารถในการหยุดรถของผู้ขับขี่

สำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์จำลองในชุดโครงการนวัตกรรมเพื่อถนนปลอดภัย ได้พัฒนาร่วมกันระหว่างศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมยานยนต์ และศูนย์วิจัยด้านเทคโนโลยีทัศนศาสตร์คอมพิวเตอร์และการโต้ตอบกับมนุษย์ มหาวิทยาลัยรัตนนคร ภายใต้ชุดโครงการนวัตกรรมเพื่อถนนปลอดภัย สำหรับงานวิจัยได้มุ่งเน้นในการพัฒนาโปรแกรมสอนการขับขี่รถจักรยานยนต์ในสนามสอนขับรถ จากการพัฒนาพบว่าซอฟต์แวร์จำลองมีสภาพแวดล้อม ถนนและการขับขี่ ใกล้เคียงกับสภาพในสนามสอนขับรถจริง และในโปรแกรมมีการจำลองทำสอบภาคปฏิบัติสำหรับรถจักรยานยนต์ เหมือนกับกรมขนส่งและทำทดสอบเพิ่มเติมจากโรงเรียนสอนขับรถ และโปรแกรมทดสอบการรับรู้การเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุโดยการใช้เบรกโดยสถานการณ์อันตรายแบบสุ่มมีทั้งหมด 8 สถานการณ์ เพื่อไม่ให้เกิดการจดจำเหตุการณ์ที่ซ้ำตำแหน่งเดิมสำหรับทดสอบทักษะการใช้เบรกผู้ขับขี่ต้องทำการเบรกให้ทันก่อนเกิดการชน และส่วนของโปรแกรมที่ไม่ได้กล่าวถึงในงานวิจัยแต่อยู่ในโครงการนวัตกรรมเพื่อถนนปลอดภัยประกอบด้วยโปรแกรมจำลองการขับขี่ข้ามแยกที่มีสัญญาณไฟจราจร และโปรแกรมจำลองการขับขี่ข้ามแยกที่ไม่มีสัญญาณไฟจราจร

จากการพัฒนาต้นแบบและทดสอบฟังก์ชันการทำงานเบื้องต้นพบว่า ชุดจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงมีศักยภาพ ใช้ในการกระตุ้นจิตสำนึกในการขับขี่จักรยานยนต์อย่างปลอดภัยได้ ซึ่งสามารถจำลองการขับขี่และตอบสนองได้เปรียบเสมือนการขับขี่ในสภาวะจริงได้อย่างใกล้เคียงโดยรวมแล้ว เครื่องจำลองการขับขี่จักรยานยนต์ทำงานได้ถูกต้องตามที่ตั้งใจไว้ โดยมีอุปกรณ์และหน้าที่ที่ใช้ในการพัฒนาต้นแบบเครื่องจำลองขับขี่จักรยานยนต์แสดงดังตาราง 15

ตาราง 15 สรุปฟังก์ชันเครื่องจำลองขับขี่จักรยานยนต์

ลำดับ	อุปกรณ์	ทำหน้าที่
1	โครงรถจักรยานยนต์	จำลองทำนั่งขับขี่จริง
2	คันเร่งไฟฟ้า	จำลองการบิดคันเร่ง
3	โพเทนซีโอมิเตอร์แบบสไลด์	วัดระยะการกดเบรกหน้า
4	โพเทนซีโอมิเตอร์หมุน	วัดระยะการกดเบรกหลัง
5	เอ็นโค้ดเดอร์	วัดองศาของแฮนด์บังคับเลี้ยว
6	สปริงชนิดดึง	ใช้แรงดึงแฮนด์ให้อยู่ตรงกลาง
7	ประกบสวิทช์	จำลองสัญญาณเปิดปิดระบบไฟในรถ
8	Arduino MEGA	รับส่งข้อมูลระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์

### ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยต้องทำการพัฒนาต่อไปนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนโดย ส่วนแรกฮาร์ดแวร์เป็นการพัฒนาและทดสอบเครื่องจำลองจักรยานยนต์เพื่อให้มีความเสมือนจริงมากขึ้นโดยจะขึ้นอยู่กับจำนวนองศาอิสระ เช่น การจำลองการเอียงสำหรับเข้าโค้ง การจำลองระบบช่วงล่างสำหรับผิวถนน รวมถึงเมื่อเร่งและเบรก การจำลองแรงต้านด้วยระบบป้อนกลับ แสดงในภาพ 29 ระบบการจำลองการขับขี่จักรยานยนต์เสมือนจริงแบบ Close-loop โดยการใช้มอเตอร์ในการจำลองแรงบิดที่เกิดขึ้นกับการบังคับเลี้ยว การเอียงตัว และการสั่นของช่วงล่าง เป็นต้น

ส่วนที่สองซอฟต์แวร์เป็นการพัฒนาและทดสอบโปรแกรมบทเรียนเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบการจำลองการขับขี่ให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง ดำเนินการเผยแพร่และอบรมให้แก่เยาวชนที่สนใจสามารถประเมินผลจากการทดสอบภาคสนามหรือผลสอบภาคปฏิบัติในการขอรับใบขับขี่ เยาวชนสามารถได้รับการฝึกอบรมการขับขี่จักรยานยนต์ปลอดภัยโดยใช้ชุดการขับขี่เสมือนจริง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ของเยาวชนในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัยต่อไป

สำหรับในส่วนของการทดสอบเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ในการขับขี่จักรยานยนต์ที่ปลอดภัยควรมุ่งเน้นการทดสอบกับกลุ่มเด็กหรือเยาวชนที่เพิ่งเริ่มหรือก่อนได้ขับขี่ในช่วงอายุก่อน 15 ปี ที่ยังมีวุฒิภาวะในด้านอารมณ์หรือความยับยั้งชั่งใจยังน้อย หรือผู้สูงอายุในปัจจุบันที่มีการขับขี่จักรยานยนต์โดยมีความลดทอนความสามารถทางร่างกายตามอายุ ซึ่งช่วงอายุที่กล่าวมานี้ อาจส่งผลทำให้เกิดการเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุมากกว่าช่วงอายุอื่นๆ เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบที่แม่นยำมากขึ้น

## บรรณานุกรม

- กรมการขนส่งทางบก. (2566). *คู่มืออบรมการสอบใบอนุญาตนัดขี่รถยนต์และรถจักรยานยนต์*. จาก <https://safedrivedlt.com/?r3d=driving-license-dlt>
- ธีระยุทธ สุวรรณประณีป. (2559). *วิศวกรรมยานยนต์*. (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.
- ภณ เพียรทงกิจ. (2561). *การเอียงรถประเภทต่างๆ*. จาก <https://www.motorival.com/how-lean-angle-bike-can-do/>
- วัชรพงษ์ เรือนคำ, และณรงค์ศักดิ์ หนูสอน. (2562). *อุบัติเหตุรถจักรยานยนต์ในประเทศไทย : มุมมองทางวิทยาการระบาด*. HCU Journal, 23(1), 146-160.
- ศุภวิทย์ อิศรนาเวศ, สุทธิพันธ์ ชาตรุประชีวิน, และสุริยา เขตประทุม. (2560). *การพัฒนาออกแบบระบบช่วงล่างรถยนต์ อินวิวิ ทีแมค พอร์มูล่า*. (ปริญญาานิพนธ์). มหาวิทยาลัยรัตนนคร.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2561). *รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของกระทรวงคมนาคม*. จาก <http://www.otp.go.th/>
- สำนักกระบวนวิชา. (2560). *สรุปรายงานการเฝ้าระวังประจำปี 2560*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย:
- Chiyoda, S., Yoshimoto, K., Kawasaki, D., Murakami, Y., & Sugimoto, T. (2002). *Development of a motorcycle simulator using parallel manipulator and head mounted display*. The Proceedings of the International Conference on Motion and Vibration Control, 6.1, 599-602. doi:10.1299/jsmeintmovic.6.1.599
- Cossalter, V. (2006). *Motorcycle Dynamics*: Lulu.com.
- Cossalter, V., Lot, R., Massaro, M., & Sartori, R. (2011). *Development and validation of an advanced motorcycle riding simulator*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 225, 705-720. doi:10.1177/0954407010396006
- Driver and Vehicle Standards Agency (DVSA). (2022). *The Official Highway Code*. from <https://www.highwaycodeuk.co.uk/>
- Ferrazzin, D., Barbagli, F., Avizzano, C. A., Di Pietro, G., & Bergamasco, M. (2003). *Designing new commercial motorcycles through a highly reconfigurable virtual reality-based simulator*. Advanced Robotics, 17(4), 293-318. doi:10.1163/156855303765203010

- Haworth, N., Mulvihill, C., & Symmons, M. (2005). *Hazard perception and responding by motorcyclists: Background and literature review*. (No. 235).
- Honda Motor. (2001). *Motorcycle Riding Simulator*. from <https://global.honda/en/newsroom/news/2001/c010417a-eng.html>
- Ito, K., Tateyama, Y., Lee, H., Nishimura, H., & Ogi, T. (2013). *Development of Head-Up Display for Motorcycle Navigation System*. In Asia-Pacific Conference on Systems Engineering (APCOSEC), No. TS-05-2.
- Kwon, D.-S., Yang, G.-H., Lee, C.-W., Shin, J.-C., Park, Y., Jung, B., . . . Ahn, J.-H. (2001). *KAIST interactive bicycle simulator*. In Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164) 2313-2318 vol.2313. doi:10.1109/ROBOT.2001.932967
- Nehaoua, L., Arioui, H., & Mammar, S. (2011). *Review on single track vehicle and motorcycle simulators*. 2011 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), 940-945.
- Simon, B. C. (2024). *10 Types of Potentiometer: How to choose & Applications*. from <https://www.etechnophiles.com/types-of-potentiometer-applications/>
- Simpson, P. (2020). *Motorcycle Stopping distance*. from <https://begin-motorcycling.co.uk/the-5-elements-of-cbt/element-c/braking/>
- Thaicontrol. (2014). *Digital Encoder*. from <https://thaicontrol.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/10/e0b89ae0b897e0b897e0b8b5e0b98811-encoder.pdf>
- Vidotto, G., Bastianelli, A., Spoto, A., Torre, E., & Sergeys, F. (2008). *Using a riding trainer as a tool to improve hazard perception and awareness in teenagers*. *Advances in Transportation Studies an international*, Section B 16, 51-60.



## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก โค้ดโปรแกรมรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องจำลองกับโปรแกรมจำลอง

```
1    int KeySwitchPin= 4;    //อ่านสวิตช์กุญแจ
2    int LeftTurnSignal = 5; //อ่านไฟเลี้ยวซ้าย
3    int RightTurnSignal = 6; //อ่านไฟเลี้ยวขวา
4    int HornSignal = 7;    //อ่านแตร
5    int LowBeamSignal = 8; //อ่านไฟต่ำ
6    int HighBeamSignal = 9; //อ่านไฟสูง
7    int AC = 0;            //อ่านคันเร่งไฟฟ้า
8    int FB = 0;            //อ่านโพเทนชิโอมิเตอร์แบบหมุน
9    int RB = 0;            //อ่านโพเทนชิโอมิเตอร์แบบสไลด์
10   int KeySwitch = 0;     //ส่งออกสวิตช์กุญแจ
11   int LeftTurn = 0;      //ส่งออกไฟเลี้ยวซ้าย
12   int RightTurn = 0;     //ส่งออกไฟเลี้ยวขวา
13   int Horn = 0;          //ส่งออกแตร
14   int LowBeam = 0;       //ส่งออกไฟต่ำ
15   int HighBeam = 0;      //ส่งออกไฟสูง
16   float Accelerator = 0; //ส่งออกคันเร่ง
17   float FrontBrake = 0;  //ส่งออกเบรกหน้า
18   float RearBrake = 0;   //ส่งออกเบรกหลัง
19   float Steering = 0;    //ส่งออกแฮนด์เลี้ยว
20   int encoderPin1 = 2;
21   int encoderPin2 = 3;
22   volatile int lastEncoded = 0;
23   volatile long encoderValue = 0;
24   long lastencoderValue = 0;
25   int lastMSB = 0;
26   int lastLSB = 0;
```

```
27   unsigned long period = 20;
28   unsigned long last_time = millis();
29   void setup() {
30       pinMode(KeySwitchPin, INPUT);
31       pinMode(LeftTurnSignal, INPUT);
32       pinMode(RightTurnSignal, INPUT);
33       pinMode(HornSignal, INPUT);
34       pinMode(LowBeamSignal, INPUT);
35       pinMode(HighBeamSignal, INPUT);
36       pinMode(encoderPin1, INPUT);
37       pinMode(encoderPin2, INPUT);
38       digitalWrite(encoderPin1, HIGH);
39       digitalWrite(encoderPin2, HIGH);
40       attachInterrupt(0, updateEncoder, CHANGE);
41       attachInterrupt(1, updateEncoder, CHANGE);
42       Serial.begin(9600);
43   }
44   double mapf(double val, double in_min, double in_max, double out_min,
45   double out_max) {
46       return (val - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
47   }
48   void loop() {
49       if ( millis() - last_time >= period) {
50           AC = analogRead(A0);
51           FB = analogRead(A5);
52           RB = analogRead(A6);
53           if (RB > 100) {
54               RB = 100;
55           }
56           Accelerator = mapf(AC, 179, 860, 0, 100);
57           FrontBrake = mapf(FB, 0, 10, 0, 100);
```

```
57     RearBrake = mapf(RB, 0, 100, 0, 100);
58     Steering = mapf(encoderValue, 0, 560, -280, 280);
59     KeySwitch = digitalRead(KeySwitchPin);
60     LeftTurn = digitalRead(LeftTurnSignal);
61     RightTurn = digitalRead(RightTurnSignal);
62     Horn = digitalRead(HornSignal);
63     LowBeam = digitalRead(LowBeamSignal);
64     HighBeam = digitalRead(HighBeamSignal);
65     if (FrontBrake < 0) {
66         FrontBrake = 0;
67     }
68     if (FrontBrake > 100) {
69         FrontBrake = 100;
70     }
71     if (RearBrake < 0) {
72         RearBrake = 0;
73     }
74     if (RearBrake > 100) {
75         RearBrake = 100;
76     }
77     if (Accelerator < 0) {
78         Accelerator = 0;
79     }
80     if (Accelerator > 100) {
81         Accelerator = 100;
82     }
83     String text = String(KeySwitch) + '_' + String(Accelerator) + '_' +
String(FrontBrake) + '_' + String(RearBrake) + '_' + String(Steering) + '_' +
String(LeftTurn) + '_' + String(RightTurn) + '_' + String(Horn) + '_' +
String(LowBeam) + '_' + String(HighBeam);
84     Serial.println(text);
```

```
85     last_time += period;
86 }
87 }
88 void updateEncoder() {
89     int MSB = digitalRead(encoderPin1);
90     int LSB = digitalRead(encoderPin2);
91     int encoded = (MSB << 1) | LSB;
92     int sum = (lastEncoded << 2) | encoded;
93     if (sum == 0b1101 || sum == 0b0100 || sum == 0b0010 || sum == 0b1011)
94         encoderValue ++;
95     if (sum == 0b1110 || sum == 0b0111 || sum == 0b0001 || sum == 0b1000)
96         encoderValue --;
97     lastEncoded = encoded;
98 }
```

