รถขนาดเล็กสำหรับผู้พิการ “เฟล็กซี่”

SMALL CARS FOR DISABLED PEOPLE “FLEXY”

นายกวีวัฒน์ แสนยะ รหัส 58361998

นายปุณยวีร์ ปานฟัก รหัส 58362575

นายวิชัย นามบุญ รหัส 58362742

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2561

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน รถขนาดเล็กสำหรับผู้พิการ “เฟล็กซี่”

ผู้ดำเนินโครงงาน นายกวีวัฒน์ แสนยะ รหัส 58361998

นายปุณยวีร์ ปานฟัก รหัส 58362575

นายวิชัย นามบุญ รหัส 58362742

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2561

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ

(ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	รถขนาดเล็กสำหรับผู้พิการ “เฟล็กซี่”		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกวีวัฒน์	แสนยะ	รหัส 58361998
	นายปุณยวีร์	ปานฟัก	รหัส 58362575
	นายวิชัย	นามบุญ	รหัส 58362742
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2561		

.....

บทคัดย่อ

รถเข็นผู้พิการมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตในการใช้เคลื่อนที่ไปยังสถานที่ต่างๆ ซึ่งรถเข็นผู้พิการแบบธรรมดาไม่สามารถทำให้ผู้พิการเคลื่อนที่ในระยะไกลได้ด้วยตนเองได้สะดวก จึงทำให้ผู้พิการอยู่กับสถานที่เดิม ๆ ซึ่งมีส่วนทำให้ผู้พิการเกิดความเครียดและเกิดปัญหาโรคซึมเศร้าได้ โครงงานนี้จึงนำเสนอการพัฒนารถเข็นผู้พิการให้เป็นรถ Flexy เพื่อให้เกิดความสะดวกในการเดินทางแก่ผู้พิการ ในระยะไกลได้ด้วยตนเองโดยการต่อยอดจากจากรถเข็นแบบเดิมที่มีอยู่แล้ว

จากการทดสอบ พบว่า รถ Flexy สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากับ 48 กิโลเมตร สำหรับการประจุแบตเตอร์รี่หนึ่งครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับรถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการ โดยทั่วไปแล้วสามารถเคลื่อนที่ได้ประมาณ 25-30 กิโลเมตร ดังนั้น ผู้พิการที่ไม่สามารถเดินทางได้จะสามารถเคลื่อนที่ในระยะไกลขึ้นกว่าเดิมได้ด้วยตัวเองเมื่อใช้รถ Flexy เมื่อผู้พิการสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลขึ้น จะทำให้ผู้พิการมีอิสระในการใช้ชีวิตมากขึ้นและส่งผลให้ผู้พิการมีความต้องการที่ใช้ชีวิต ทำให้ผู้พิการไม่เครียดได้พบปะผู้คนและสถานที่ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับรถเข็นไฟฟ้าแบบเดิม

Project title	Small cars of disabled people “FLEXY”		
Name	Mr. Kaweewat	Saenya	ID. 58361998
	Mr. Punyawee	Panfak	ID. 58362575
	Mr. Wichai	Namboon	ID. 58362742
Project advisor	Assistant Professor Dr.Ananchai Ukaew		
Major	Mechanical Engineering		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2018		

Abstract

Wheelchair are important for the mobility of people with mobility disabilities. This makes people with disabilities in the same place, which contributes to the stress and depression of the disabled. This project therefore presents the development of a wheelchair to be a Flexy car to facilitate the mobility of the disabled. Remotely by hand from the existing wheelchair. From the test, it was found that the Flexy car was able to move at a distance of 48 kilometers for the battery charge once. When compared to electric wheelchairs for people with disabilities In general, it can move about 25-30 kilometers. Therefore, disabled people who are unable to travel will be able to move at a greater distance on their own when using the Flexy car. When the disabled can move further Will make people with disabilities more free to live and result in the need for life Making people with disabilities less stressful, meeting more people and more diverse places compared to traditional electric wheelchairs.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆฝ่าย ผู้ดำเนินโครงงานจึงขอถือโอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนันตชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานและให้ความกรุณาในการตรวจสอบโครงงานและเนื้อหาในรูปเล่มปริญญานิพนธ์ ให้งานออกมาดีที่สุด รวมถึงให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความรู้ในการทำโครงงาน ผู้ดำเนินโครงงาน ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านตลอดไป

ขอขอบคุณ นายชัชชัย วังชากร ซึ่งเป็นบุคลากรประจำศูนย์ Drive nu ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยนเรศวร และนายเกดิษฐ์ กว้างตระกูล ครูช่างประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่คอยแนะนำให้ความรู้และให้คำปรึกษาในการทำโครงงานนี้ โดยเป็นความรู้ที่นอกเหนือจากที่ได้เรียนมา ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำโครงงาน อีกทั้งยังช่วยจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงารนี้ คณะผู้ดำเนินโครงารจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆตลอดระยะเวลา 4 ปี ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการทำโครงงานนี้และยังสามารถนำไปใช้ในการประกอบอาชีพในอนาคต

สุดท้ายนี้เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ ผู้ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมา ผู้ดำเนินโครงงานจึงขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่เป็นอย่างสูงและขอขอบคุณทุกๆคนในครอบครัวของผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายกวีวัฒน์ แสนยะ

นายปุณยวีร์ ปานฟัก

นายวิชัย นามบุญ

เมษายน 2561

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์ 5
2.1.1แรงต้านการเคลื่อนที่ 5
2.2 แรงเฉื่อย 10
2.2.1 แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น 10
2.2.2 แรงรวมทั้งหมดจากการส่งกำลังของมอเตอร์ 11
2.3 กำลังของมอเตอร์ (P) 11
2.4 มอเตอร์ขับเคลื่อน 11
2.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในรถ Flexy 12
2.4.2 แบบจำลองมอเตอร์ 14
2.5 การจำลองความเร่งยานยนต์ (Modeling Vehicle Acceleration) 17
2.6 การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7 การเข้าโค้ง 21
2.8 การหาจุดศูนย์กลางมวล 23
2.9 การทรงตัวในทางตรงของรถ 23
2.10 แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า 25
2.10.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด 25
2.10.2 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบน้ำ 25
2.10.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง 25
2.11 ชุดควบคุม 26
2.11.1 องค์ประกอบชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง 26
2.12 ระบบห้ามล้อที่ใช้ในรถ Flexy 27
2.12.1 ดิสก์เบรก (Disk Brakes) 27
2.12.2 ดรัมเบรก (Drum Brakes) 28
2.13 ระบบกันสะเทือน (Suspension System) 28
2.13.1 ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ (Independent Suspension) 28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 30
3.1 การออกแบบรถ Flexy 31
3.1.1 หลักการออกแบบรถ Flexy 31
3.1.2 การหาจุดศูนย์ถ่วง (CG) และน้ำหนัก ของรถ Flexy เพื่อการออกแบบ 32
3.2 การคำนวณระยะทางในการเบรก 35
3.3 การคำนวณรัศมีวงเลี้ยวบนถนนราบ 36
3.3.1 รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆขณะหดสุด 36
3.3.2 รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆขณะยืดสุด 37
3.4 การหาความเร็วและความเร่งรถ Flexy 38
3.5 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ 43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 วิธีการทดสอบรถ Flexy 48

3.6.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง 48

3.6.2 การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ในความเร็วต่างๆ 50

3.6.3 การทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy 51

3.6.4 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ 52

3.6.5 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยว 54

3.6.6 การทดสอบหาความเร็วสูงสุด 56

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 57

4.1 ผลการทดลอง 57

4.1.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง 57

4.1.2 การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ 59

4.1.3 การทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy 59

4.1.4 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ 60

4.1.5 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยว 60

4.1.6 การทดสอบหาความเร็วสูงสุด 61

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง 61

4.2.1 วิเคราะห์ระยะทางสูงสุดและการใช้พลังงานของรถ Flexy 61

4.2.2 วิเคราะห์การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ 62

4.2.3 วิเคราะห์อัตราเร่งของรถ Flexy 62

4.2.4 วิเคราะห์ระยะทางในการเบรกของรถ Flexy 63

4.2.5 วิเคราะห์รัศมีวงเลี้ยวของรถ Flexy 64

4.2.6 วิเคราะห์ความเร็วสูงสุดของรถ Flexy 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลโครงงานและข้อเสนอแนะ 59
5.1 สรุปผลโครงงาน 59
5.1.1 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถ Flexy 59
5.1.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 67

บรรณานุกรม 68

ภาคผนวก ก 69
ภาคผนวก ข 79
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 85

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....2
ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของยานยนต์ประเภทต่างๆ.....7
ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรของการหาประสิทธิ์ภาพของมอเตอร์.....16
ตารางที่ 4 แสดงค่าสเปคมอเตอร์ที่ใช้ในรถ Flexy.....16
ตารางที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานสถิตและสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์.....20
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาระยะทางสูงสุด.....58
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาพลังงานที่ใช้.....58
ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาพลังงานที่ความเร็วต่างๆ.....59
ตารางที่ 9 ผลการทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy.....59
ตารางที่ 10 ผลการทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ.....60
ตารางที่ 11 ผลการทดสอบรัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ.....60
ตารางที่ 12 ผลการทดสอบรัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ.....64
ตารางที่ 13 ผลการคำนวณรัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ.....64

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 แรงขับเคลื่อนเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่.....5
รูปที่ 2 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรูปทรงต่างๆ 8
รูปที่ 3 แรงต้านทางชัน.....9
รูปที่ 4 กราฟแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ 12
รูปที่ 5 มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน..... 13
รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างการวางตัวระหว่างมอเตอร์กับเพลา..... 13
รูปที่ 7 แรงกระทำกับรถในทำการเบรก 19
รูปที่ 8 แรงกระทำกับรถในขณะเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ..... 22
รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบยานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อและมีจุดศูนย์ถ่วงที่ต่างกัน 23
รูปที่ 10 เมื่อยานยนต์ทรงตัวอยู่ในตำแหน่งมุมเอียงสูงสุด 24
รูปที่ 11 การสัมผัสของผ้าเบรกกับจานโรเตอร์ 27
รูปที่ 12 ดรัมเบรก (Drum Brakes)..... 28
รูปที่ 13 ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ..... 29
รูปที่ 14 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีดำเนินงาน 32
รูปที่ 15 โครงของรถATVที่จะนำไปพัฒนาและออกแบบเป็นรถ Flexy 32
รูปที่ 16 การหาจุดศูนย์ถ่วงและน้ำหนักของรถไร้คนขับขณะยืด..... 33
รูปที่ 17 การหาจุดศูนย์ถ่วงและน้ำหนักของรถไร้คนขับขณะหด 34
รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์..... 39
รูปที่ 19 ตารางแสดงค่าต่างๆ ของมอเตอร์ 40
รูปที่ 20 การสร้างสมการ Interpolation ระหว่างความเร็วกับแรงบิด ใน Matlab..... 41
รูปที่ 21 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาและความเร่งกับเวลา 41
รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา 42
รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา 42
รูปที่ 24 โครงและชิ้นส่วนของรถATVที่จะนำไปพัฒนาและออกแบบเป็นรถflexy..... 43
รูปที่ 25 linear actuator ใช้สำหรับยืด-หดรถ 43
รูปที่ 26 คอนโทรลเลอร์..... 44

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 27 อุปกรณ์ชุดหน้า ATV 44
รูปที่ 28 แบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 12V 45AH 45
รูปที่ 29 ล้อแม็กซ์และยาง 45
รูปที่ 30 เบาะนั่ง 46
รูปที่ 31 สีสเปรย์ 46
รูปที่ 32 เหล็กและน็อตสำหรับยึดจุดต่างๆ 47
รูปที่ 33 เข็มขัดนิรภัย 47
รูปที่ 34 อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ 48
รูปที่ 35 คลิปแอมมิเตอร์ 49
รูปที่ 36 GPS Lap Timer LT-Q6000 49
รูปที่ 37 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง 50
รูปที่ 38 การทดสอบการหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่างๆ 51
รูปที่ 39 การทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy 52
รูปที่ 40 ตลับเมตร 53
รูปที่ 41 จุดเริ่มเบรก 53
รูปที่ 42 การวัดระยะเบรกจากกลางล้อหน้ากับจุดเริ่มเบรก 53
รูปที่ 43 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยวขณะรถหดสุด 54
รูปที่ 44 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยวขณะรถยืดสุด 55
รูปที่ 45 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมที่เกิดจากการกลิ้งของล้อ 55
รูปที่ 46 การทดสอบการหาความเร็วสูงสุด 56
รูปที่ 47 แผนที่แสดงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ บริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร 58
รูปที่ 48 กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางที่ทำได้ในการทดสอบ 58
รูปที่ 49 กราฟแสดงความเร็วต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ 61
รูปที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเบรกกับระยะเบรก 63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีผู้พิการจำนวนมากที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตนเอง จำเป็นต้องใช้รถเข็นผู้พิการช่วยในการเคลื่อนที่ ซึ่งรถเข็นผู้พิการแบบธรรมดาไม่สามารถทำให้ผู้พิการเคลื่อนที่ในระยะไกลได้ด้วยตนเองได้สะดวก จึงทำให้ผู้พิการอยู่กับสถานที่เดิม ๆ ซึ่งอาจทำให้ผู้พิการเกิดความเครียดและเกิดปัญหาโรคซึมเศร้าได้ ผู้ดำเนินโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะเรียนรู้และสร้างสิ่งที่อำนวยความสะดวกให้กับผู้พิการให้สามารถเคลื่อนที่ในระยะไกลได้ด้วยตนเองโดยการต่อยอดจากจากรถเข็นแบบเดิมที่มีอยู่แล้ว

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ผู้พิการที่ไม่สามารถเดินได้สามารถเคลื่อนที่ในระยะไกลได้ด้วยตนเอง
2. เพื่อลดสภาวะเครียดของผู้พิการที่ต้องอยู่กับสถานที่เดิม ๆ
3. เพื่อให้ผู้พิการมีอิสระในการใช้ชีวิตมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ออกแบบ สร้าง และทดสอบประสิทธิภาพรถ Flexy
2. ให้ใช้ความเร็วได้ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. ทำการทดสอบภาคสนามบริเวณภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการปฏิบัติงาน	ปี 2561					ปี 2562			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง									
2.ออกแบบรถ Flexy									
3.จัดหาและสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์									
4.สร้างรถ Flexy									
5.ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ									
6.วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ									
7.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้ด้านอุปกรณ์ และด้านการสร้างรถที่สามารถใช้ในพื้นที่ที่หลากหลายได้
2. ได้รถที่ให้ผู้พิการสามารถเคลื่อนที่ภายนอกบ้านได้เร็วขึ้นกว่าเดิม
3. รถ Flexy สามารถช่วยให้ผู้พิการที่เดินไม่ได้ สามารถเดินทางไกลได้ด้วยตัวเองได้

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

ชุด Linear Actuator 2 ตัว	7,000 บาท
แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด (12V45AH) จำนวน 5 ลูก	7,500 บาท
ล้อ จำนวน 2 ล้อ	3,200 บาท
ชุดอุปกรณ์โครงสร้างและอุปกรณ์ไฟฟ้า	12,500 บาท
ระบบเบรค	4,700 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามหมื่นสี่พันเก้าร้อยบาทถ้วน)	34,900 บาท

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์

การจะทำให้รถยนต์มีการเคลื่อนที่ได้จะต้องมีแรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อรถกับพื้นถนนและแรงจากมอเตอร์ที่ส่งไปยังเพลา ซึ่งทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปได้ ถ้านำเรื่องนี้มาพิจารณาจะได้แรงต่างๆที่ทำให้รถเคลื่อนที่ได้ ดังนี้

2.1.1แรงต้านการเคลื่อนที่

รถยนต์เคลื่อนที่ได้ต้องอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์ซึ่งส่งผ่านระบบถ่ายทอดกำลังมาที่ล้อขับเคลื่อนและอาศัยความเสียดทานระหว่างยางและผิวถนนทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนในขณะถ่ายทอดกำลัง รถยนต์จึงเคลื่อนที่ได้ ในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน เช่น ถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อาศัยกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันจะได้ว่า

แรงขับเคลื่อน = แรงต้านทั้งหมด

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนมากกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราเร่งซึ่งทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้น เช่น เมื่อเหยียบคันเร่งเพิ่มน้ำมันเชื้อเพลิงให้แก่เครื่องยนต์จะทำให้แรงขับเคลื่อนที่ล้อมากขึ้นและมากกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้นจึงทำให้อัตราเร็วของรถยนต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราเร็วของรถยนต์เพิ่มขึ้นนั้นแรงต้านทั้งหมดก็จะเพิ่มตามไปด้วย จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนจะเท่ากับแรงต้านทั้งหมดอีกครั้งหนึ่ง รถยนต์ก็จะวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่อีกครั้งหนึ่ง มีอัตราเร็ว 60 แล้วเพิ่มเป็น 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราหน่วงซึ่งทำให้อัตราเร็วลดลง ในขณะที่อัตราเร็วลดลงนั้นแรงต้านทั้งหมดก็จะลดลงด้วย จนในที่สุด

แรงขับเคลื่อนจะเท่ากับแรงต้านทั้งหมด รถยนต์จะวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ต่อไป เช่นเดิมมีอัตราเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อผ่อนคันเร่งเพื่อลดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์ แรงขับเคลื่อนจะลดลง รถยนต์จะวิ่งด้วยอัตราหน่วงจนมีอัตราเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และคงที่ต่อไปด้วยอัตราเร็วดังกล่าว

รูปที่ 1 แรงขับเคลื่อนเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่

ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์ , รศ.ธีรยุทธ สุวรรณประทีป

แต่เดิมนั้นรถยนต์ส่วนมากขับเคลื่อนล้อหลังซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น สามารถลดแรงกระตุกได้ดีเพราะมีเพลากลางและเพลาขับยาว ไต่ขึ้นทางชันได้มากกว่าเพราะน้ำหนักรถยนต์จะกดที่ล้อหลังมากขึ้นในขณะไต่ขึ้นทางชันทำให้การลื่นไถลของล้อหลังเกิดขึ้นได้ยาก ฯลฯ ส่วนรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหน้าก็มีข้อดีหลายอย่าง เช่น พื้นรถยนต์ต่ำลงและราบเรียบ ทำให้มีเนื้อที่ภายในรถยนต์กว้างมากขึ้น การทรงตัวอาจดีขึ้นเพราะล้อหน้าเป็นล้อนำทาง ฯลฯ

ในกรณีของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหลัง แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่ล้อหลังตรงบริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนน ถ้ารถยนต์ขับเคลื่อนล้อหน้า แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่ล้อหน้า และถ้ารถยนต์ขับเคลื่อนสี่ล้อ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นทั้งล้อหน้าและล้อหลัง แสดงดังรูปที่ 1

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะมีบางส่วนสูญเสียไปในระบบถ่ายทอดกำลัง เรียกว่าการสูญเสียในการถ่ายทอด (Transmission Loss) กำลังส่วนที่

เหลือที่ล้อขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านต่างๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านการเคลื่อนที่เหล่านั้นได้แก่

1. แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)

2. แรงต้านอากาศ (Air Resistance)

3. แรงต้านทางชัน (Gradient Resistance)

2.1.1.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)

แรงต้านการหมุนของล้อรถนี้จัดว่าเป็นแรงต้านทานบนถนนอย่างหนึ่ง แรงต้านทานการหมุนนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยหลายอย่าง ตัวอย่างเช่น ลักษณะโครงสร้างของขนาดของยาง (ยางกลวงหรือยางตัน) ลักษณะของพื้นผิวจราจร ลักษณะของดอกยางและสภาพของดอกยาง ความดันของลมในยางความเร็วของตัวรถ ความฝืดลูกปืนล้อ น้ำหนักของรถ โดยแรงต้านการหมุนของล้อนี้หาได้

จาก $$F_r = f_r w_r = f_r mg\cos\theta \quad (2.1)$$

โดยที่ F_r คือ แรงต้านทานการหมุนของล้อ (N)

f_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

m คือ มวลของรถ (kg)

g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

θ คือ มุมความลาดเอียงของทางชัน

จะเห็นได้ว่า แรงต้านการหมุนของล้อมีผลเนื่องมาจากล้อได้รับแรงกระแทกซึ่งเป็นผลมาจากความขรุขระของพื้นผิวถนนและหน้ายาง เป็นต้น และจากเหตุนี้แรงต้านทานจะขึ้นอยู่กับสภาพของถนน น้ำหนักรถ และในกรณีนี้มีการคำนึงถึงความลาดชั้นของพื้นถนนด้วย

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของยานยนต์ประเภทต่าง ๆ

ประเภทของยานยนต์	น้ำหนักรวม (กก.)	C_d	A (ตารางเมตร)	f_r
จักรยาน	130	0.9	0.30	0.0044
รถจักรยานยนต์	190	0.9	0.60	0.014
รถยนต์ส่วนบุคคลขนาดเล็ก (เช่นโคโรลล่า)	1,200	0.30	1.9	0.012
รถยนต์ส่วนบุคคลขนาดกลาง (เช่นแคมรี่)	1,600	0.32	2.2	0.013
รถ SUV ขนาดกลาง (เช่นฟอร์จูนเนอร์)	2,000	0.42	2.8	0.015
รถโดยสารในเมือง (30 ที่นั่ง)	13,300	0.9	8	0.009

ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์ , รศ.ธีรยุทธ สุวรรณประทีป

จากตารางที่ 2 จะได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงการต้านการหมุนของล้อจะขึ้นอยู่กับประเภทของยานยนต์ โดยที่รถ Flexy ที่ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการออกแบบไว้นั้น จะประกอบด้วยล้อจำนวน 4 ล้อ คือส่วนของล้อหน้าและล้อหลัง ซึ่งมีน้ำหนักรวมใกล้เคียงกับจักรยานยนต์ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ เท่ากับ 0.014

2.1.1.2 แรงต้านอากาศ (Air Resistance)

แรงต้านอากาศเป็นแรงที่มีทิศทางต่อต้านการเคลื่อนที่หรือทิศทางตรงข้ามกับแรงที่พยายามจะทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่เกิดขึ้นขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านกระแสอากาศ รถทุกชนิดเมื่อวิ่งบนถนนนั้น เมื่อยางสัมผัสกับพื้นถนนในขณะที่ล้อมีการหมุน เพื่อวิ่งไปข้างหน้า จะเกิดแรงต้านทานการหมุนกลิ้งขึ้น หรือแรงเสียดทาน และอีกอย่างคือแรงต้านทานจากตัวรถ เนื่องจากรถต้องวิ่งแหวกอากาศออกไปซึ่งที่ความเร็วต่ำแรงต้านทานจากลมนั้นจะมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถไปเปรียบเทียบกับแรงต้านทานการหมุนได้ แต่ถ้าหากรถวิ่งด้วยความเร็วสูงๆ แรงต้านทานจากลมจะมีผลต่อการขับเคลื่อนอย่างยิ่ง แรงต้านทานภายนอกจากตัวถังที่รับลมจะต้องพยายามไม่ให้เกิดการหมุนวน ยิ่งถ้ากระแสอากาศที่ไหลเกิดเป็นเกลียวหมุนขึ้น จะทำให้มีแรงต้านทานมากขึ้น ดังนั้น จึงต้องออกแบบให้ตัวถังรถยนต์มีลักษณะลู่ลม เพื่อลดแรงต้านทานที่จะเกิดขึ้น โดยจากการทดลอง

$$F_d = \frac{1}{2}\rho A C_d V^2 \qquad \textbf{(2.2)}$$

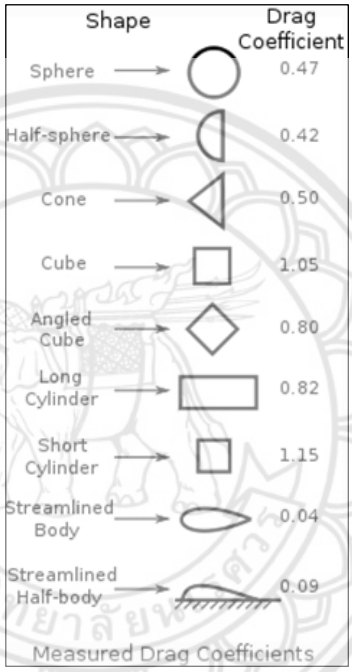
โดยที่ F_d คือ แรงต้านจากอากาศ (N)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

A คือ พื้นที่หน้าตัดรถ (m^2)

C_d คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทาน (Drag coefficient)

V คือ ความเร็วของรถ (m/s)



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรูปทรงต่างๆ

ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าแรงต้านอากาศแปรผันกับความเร็วกำลังสอง ซึ่งหมายความว่าความเร็วของตัวรถมีผลต่อแรงต้านอากาศโดยตรง และแรงต้านอากาศยังมีผลเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของตัวรถอีกด้วย และที่สำคัญอีกหนึ่งค่าคือสัมประสิทธิ์ความต้านทานหรือ ซึ่งรถ Flexy มีพื้นที่หน้าตัดเป็นแบบ Long Cylinder มีค่าเท่ากับ 0.82 แต่เนื่องจากรถ Flexy มีความสูงและมีพื้นที่ที่ต้านลม ซึ่งอากาศบางส่วนที่ไม่สามารถไหลผ่านได้ จึงพิจารณาให้ค่า ของรถ Flexy เท่ากับ 0.9

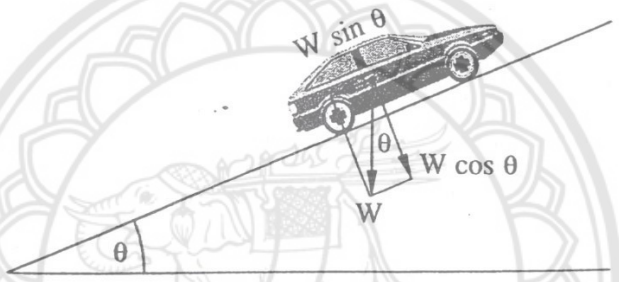
2.1.1.3 แรงต้านทางชัน (Gradient Resistance)

ในขณะที่รถยนต์วิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์บางส่วนต้องถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้าน ทางชัน (Gradient Resistance) ทำให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักขึ้นมากกว่าการวิ่งบนถนนระดับแต่ ในทางกลับกัน ถ้ารถยนต์วิ่งลงทางลาด เครื่องยนต์จะทำงานน้อยลงเพราะมีแรงเสริมจากแรงโน้มถ่วง ของโลก

แรงต้านทางชันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1) น้ำหนักของรถยนต์

2) ความชันของถนน



รูปที่ 3 แรงต้านทางชัน

ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์ , รศ.ธีรยุทธ สุวรรณประทีป

น้ำหนัก w ของรถยนต์สามารถแตกออกเป็นสองแนวตาม รูปที่ 3 ได้แก่ W sinθ และ W cosθ ซึ่งแรงต้านทางชันเกิดจาก W sinθ คือ รถยนต์จะต้องเพิ่มแรงขับเคลื่อนเพื่อเอาชนะแรง W sinθ ดังนั้น แรงต้านทางชันคือ

$$F_d = mg\sin\theta \text{ หรือ } F_d = \frac{WG}{100} \qquad \textbf{(2.3)}$$

โดยที่ F_d คือ แรงต้านทางชัน (N)

m คือ มวลของรถ (kg)

g คือ ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

θ คือ มุมความลาดเอียงของพื้นถนน

W คือ น้ำหนักของรถยนต์ (N)

G คือ ความชันมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

เมื่อรวมแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน จะได้แรงต้านทั้งหมด ของรถยนต์ในขณะที่กำลังวิ่งขึ้นทางชัน (ถ้ารถยนต์วิ่งบนถนนพื้นระดับ แรงต้านทั้งหมดจะมีเพียงแรงต้านการหมุนของล้อและแรงต้านอากาศ)

2.2 แรงเฉื่อย

การที่ยานยนต์จะขับเคลื่อนได้ หมายถึงการออกตัวจากหยุดนิ่ง รวมทั้งการเร่งตัวเพื่อไปสู่ความเร็วที่สูงขึ้น ซึ่งก็หมายถึงว่าที่ความเร็ว หนึ่งๆ นอกจากยานยนต์จะต้องการแรงขับที่จะเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่แล้ว ยังต้องการแรงขับที่เกินจากแรงต้านการเคลื่อนที่เพื่อสร้างความเร่งด้วย แรงเฉื่อยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น และแรงเพื่อความเร่งเชิงมุม

2.2.1 แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น

โดยปกติยานยนต์เคลื่อนที่ที่ความเร็วค่าหนึ่งๆ เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วของยานยนต์ เราจำเป็นต้องมีการเพิ่มแรงให้กับยานยนต์ โดยแรงที่เพิ่มให้กับยานยนต์นี้คือแรงเฉื่อยจากความเร่งเชิง เส้น ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่สองของนิวตัน (Newton's second law) สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$F_{a,l} = ma \qquad \textbf{(2.4)}$$

โดยที่ $F_{a,l}$ คือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น (N)

m คือ มวลของรถและน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (kg)

a คือ ความเร่งของรถ (m/s^2)

2.2.2 แรงรวมทั้งหมดจากการส่งกำลังของมอเตอร์

$$F_{te}=F_{r}+F_{d}+F_{cl}+F_{a,l}+F_{\omega a} \quad (2.5)$$

โดยที่ F_r คือ แรงต้านการหมุนของล้อ (N)

F_d คือ แรงต้านทานจากอากาศ (N)

F_{cl} คือ แรงต้านทางลาดชัน (N)

$F_{a,l}$ คือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น (N)

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

จากที่กล่าวมา ในการออกแบบรถ Flexy นั้นจำเป็นต้องคำนวณทุกแรงเนื่องจากรถ Flexy เป็นอุปกรณ์ต้องที่สามารถเคลื่อนที่ไปในพื้นที่ที่หลากหลายได้

2.3 กำลังของมอเตอร์ (Power Of Motor)

กำลังของมอเตอร์ คือการรวมแรงที่กระทำกับยานยนต์ทั้งหมดเพื่อที่จะหากำลังของมอเตอร์ ซึ่งเราสามารถเขียน สมการในรูปของกำลังจะได้ดังนี้

$$P = F_{te} \cdot V \quad (2.6)$$

โดยที่ V คือ ความเร็ว (m/s)

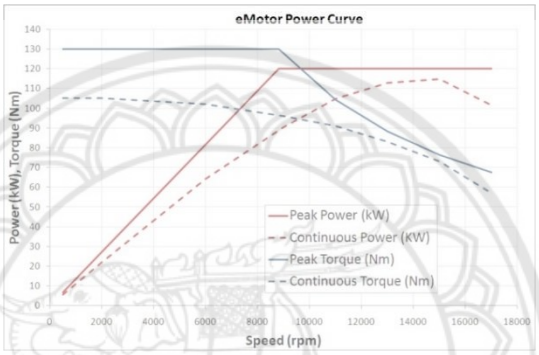
F_{te} คือ แรงรวมทั้งหมดในระบบ (N)

2.4 มอเตอร์ขับเคลื่อน

สำหรับการใช้งานยานยนต์ เพื่อให้ได้สมรรถนะในการขับขี่ที่ดีนั้น มอเตอร์ควรสามารถจ่ายแรงบิดและกำลังขับได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้อัตราเร่งในการออกตัวดีหรือในขณะที่ขับเคลื่อนที่ความเร็วสูง มอเตอร์จะต้องให้แรงบิดที่เพียงพอลักษณะการแปรผันระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่

เหมาะสมในการขับเคลื่อนดังรูปที่ 4 เมื่อที่ความเร็วเป็นศูนย์นั้นแรงบิดจะมีค่าสูงสุดและจะคงที่จนถึงความเร็วรอบหนึ่งที่เรียกว่าความเร็วฐานของมอเตอร์ซึ่งเป็นค่าความเร็วสำหรับการกำหนดค่ากำลังมอเตอร์ และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเกินความเร็วฐาน แรงบิดจะลดลงและทำให้กำลังขับคงที โดยมอเตอร์ที่ให้แรงบิดสูงที่รอบต่างจะทำให้การออกตัวและการขึ้นทางชันที่ดี

สำหรับการขับเคลื่อนยานยนต์นั้น นอกจากลักษณะของแรงบิดต่อความเร็วรอบแล้ว มอเตอร์ ไฟฟ้าต้องมีลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมอื่นๆ เช่น มีประสิทธิภาพสูงในช่วงความเร็วรอบและช่วงแรงบิดที่ กว้างและให้การทำงานแบบ Regenerative Braking ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



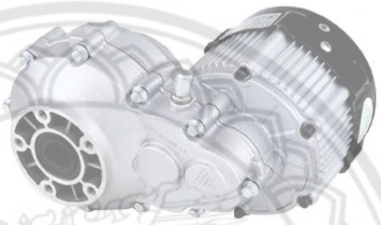
รูปที่ 4 กราฟตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ
ที่มา : http://www.mclarenelectronics.com

2.4.1 มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในรถ Flexy

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลโดยการทำงานจะเกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของกระแสในขดลวดกับสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวขดลวด สนามแม่เหล็กทั้งสองนี้จะทำให้เกิดแรงผลักและแรงดูดซึ่งแรงทั้งสองนี้จะเป็นตัวขับเคลื่อนแกนหมุนให้หมุน มีการออกแบบมอเตอร์หลากหลายรูปแบบตามชนิดของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายและโครงสร้างการส่งกำลัง โดยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในรถ Flexy ได้แก่

มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Motors) เป็นมอเตอร์ซึ่งมีแกนหมุน (Rotor) เป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnets) ส่วนสเตเตอร์ (Stator) เป็นขดลวดเหนี่ยวนำโดยจะมีขดลวดเหนี่ยวนำไม่ต่ำกว่าสามชุดซึ่งมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านจะวางโครงสร้างแกนหมุนและสเตเตอร์สลับกับมอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน มอเตอร์ชนิดนี้สามารถทำงานโดยการจ่ายไฟเข้าไปยัง

ขดลวดเหนี่ยวนำแต่ละชุดเป็นเฟสสลับกันไปเรื่อยๆเพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดเหนี่ยวนำตัดกับสนามแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงผลักและแรงดึงส่งผลให้แกนหมุน (Rotor) หมุนอย่างต่อเนื่อง โดยมีการตรวจจับตำแหน่งเพื่อเริ่มทำงานโดยใช้ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Hall Sensor) มอเตอร์ชนิดนี้สามารถปรับแรงบิดได้โดยปรับการจ่ายกระแสไฟ และปรับความเร็วรอบได้โดยการปรับความถี่ในการสลับกระแสไฟของขดลวด ซึ่งสามารถเรียกการทำงานของมอเตอร์ที่มีความเร็วในการหมุนตรงกับความเร็วของการหมุนของสนามแม่เหล็กว่าเป็นการทำงานแบบ Synchronous นั่นเอง แต่มอเตอร์ชนิดนี้ก็มีข้อเสียคือต้องการวงจรขับดันมอเตอร์ที่ซับซ้อน



รูปที่ 5 มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน

ที่มา : https://thai.alibaba.com

รูปแบบของมอเตอร์ที่ใช้ในรถ Flexy คือ มอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านแบ**บต่อกับเพลาล้อหลัง**ดังแสดงใน **รูป**ที่ 5 โดยมอเตอร์จะมีโครงสร้างการวางตัวกับเพลาดังแสดงใน รูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างการวางตัวระหว่างมอเตอร์กับเพลา

ที่มา : https://thai.alibaba.com

2.4.2 แบบจำลองมอเตอร์

แรงบิดมอเตอร์ (T)

แรงบิด (Torque) คือ แรงพยายามของการบิดหรือการหมุน แรงบิดของมอเตอร์นั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะสามารถใช้งานมอเตอร์ได้มีประสิทธิภาพ การเข้าใจเรื่องแรงบิดของมอเตอร์จะทำให้เลือกใช้งานมอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการทำและยังสามารถใช้งานมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะราคาของมอเตอร์นั้นขึ้นกับแรงบิดของมอเตอร์โดยตรง ถ้าสามารถเลือกมอเตอร์ที่มีแรงบิดเหมาะสมกับโหลด ก็จะทำให้มอเตอร์ทำงานได้ประสิทธิภาพ แต่ถ้าเลือกมอเตอร์ที่มีแรงบิดสูงๆ ไปใช้กับโหลดที่ต้องการแรงบิดต่ำแล้วประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์จะตกลงไปเป็นอย่างมาก โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$T = F_{te} r \ \text{N.m} \qquad \textbf{(2.7)}$$

โดยที่ F คือ ค่าของแรงที่กระทำ มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

r คือ รัศมีรอบการหมุน เนื่องจากแรงที่กระทำ มีหน่วยเป็น เมตร (m)

T คือ แรงบิดหรือทอร์ก มีหน่วยเป็น นิว.ตัน (N.m)

ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

ความเร็วเชิงมุม คือ มุมที่จุดศูนย์กลางที่รัศมีกวาดไปได้ใน 1 หน่วยเวลา วัตถุที่หมุนรอบแกนหมุนทุกๆจุดบนวัตถุจะมีความเร็วเชิงมุมเท่ากัน ความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของทุกๆจุดบนวัตถุจะแปรผันตามความเร็วเชิงมุมและระยะทางจากจุดหมุนมายังตำแหน่งนั้นๆ โดยมีสูตรการคำนวณความเร็วเชิงมุมและความเร่งเชิงมุมของมอเตอร์ ดังนี้

ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ $\omega = G\frac{v}{r}$ (rad/s) **(2.8)**

ความเร่งเชิงมุมของมอเตอร์ $$\dot{\omega} = G\frac{a}{r} \quad (rad/s^2) \qquad (2.9)$$

ประสิทธิ์ภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การสูญเสียที่สำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่แหล่งที่มาซึ่งเป็นเช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้าทุกประเภท สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

1) การสูญเสียในขดลวดทองแดง เกิดจากความต้านทานไฟฟ้าของสายไฟและบางส่วนของพลังงานไฟฟ้าจะกลายเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าพลังงานไฟฟ้า ผลของความร้อนกระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วรอบในการหมุน

2) การสูญเสียในแกนเหล็ก เมื่ออาร์เมเจอร์หมุนแกนเหล็กจะเคลื่อนที่ผ่านขั้วเหนือและใต้ของขั้วแม่แหล็ก ทำให้สนามแม่เหล็กที่ผ่านแกนเหล็กมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอรีซิสและกระแสไหลวน

3) การสูญเสียจากแรงเสียดทาน เกิดจากการเสียดสีหรือความฝืด

4) การสูญเสียคงที่นำไปใช้ที่ความเร็วใดๆ (ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและแรงบิด)

ตัวแปรของการหาประสิทธิ์ภาพของมอเตอร์หาได้จากตารางที่ 3 และค่าเสปคมอเตอร์ของรถ Flexy เป็นดังตารางที่ 4

$$\eta_m = \frac{\text{outputpower}}{\text{inputpower}} \qquad (2.10)$$

$$\eta_m = \frac{T\omega}{T\omega + k_c T^2 + k_i + k_w + C} \qquad (2.11)$$

โดยที่ k_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในขดลวดทองแดง

k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในแกนเหล็ก

k_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากแรงเสียดทาน

C คือ การสูญเสียคงที่นำไปใช้ที่ความเร็วใดๆ (ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและแรงบิด)

ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรของการหาประสิทธิ์ภาพของมอเตอร์

ตัวแปร	มอเตอร์ขนาด 2-5 kW	มอเตอร์ขนาด 100 kW
k_c	1.5	0.3
k_i	0.1	0.01
k_w	10^{-5}	$5x10^{-6}$
C	20	600

ที่มา : ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ , กิตติพันธุ์ เ**ตชะกิตติโรจน์**

ตารางที่ 4 แสดงค่าสเปคมอเตอร์ที่ใช้ในรถ Flexy

编号(No.)	电压(V)	电流(A)	输入功率(W)	功因(P.F)	转速(rpm)	转矩(N.m)	输出功率(W)	效率(%)	时间(s)
1	60.07	6.443	387	*	331	0	16.58	4.3	1
2	60.06	6.379	383.1	*	332	0	16.17	4.2	4
3	60.06	6.571	394.7	*	332	0	24.04	6.1	7
4	60.06	6.926	416	*	331	1	50.91	12.2	10
5	60.06	7.485	448.4	*	331	2	81.19	18.1	13
6	60.06	8.164	490.3	*	330	3	130	26.5	16
7	60.06	9.161	550.3	*	329	5	182.9	33.2	19
8	60.06	10.24	615.4	*	328	7	259.6	41.2	22
9	60.06	11.54	693.6	*	326	9	328.6	47.4	25
10	60.06	12.99	780.4	*	325	12	406.2	54.1	28
11	60.06	14.79	888.7	*	324	15	530.1	59.6	31
12	60.06	16.56	996.4	*	321	18	637.8	64.0	34
13	60.06	18.74	1125	*	320	22	756.3	67.2	37
14	60.06	20.79	1249	*	318	26	884.1	70.8	40
15	60.06	22.91	1378	*	316	30	1014	73.6	44
16	60.06	25.85	1553	*	313	35	1160	74.7	47
17	60.06	28.7	1724	*	311	40	1318	76.5	50
18	60.06	31.5	1891	*	309	45	1476	78.1	53
19	60.06	34.29	2059	*	306	51	1640	79.7	56
20	60.06	37.58	2257	*	303	57	1812	80.3	59
21	60.06	41.15	2472	*	301	63	2005	81.1	62
22	60.06	44.97	2701	*	299	70	2192	81.2	65
23	60.06	48.61	2920	*	296	77	2390	81.8	68
24	60.06	52.84	3173	*	293	84	2586	81.5	71
25	60.06	56.63	3401	*	291	91	2797	82.2	74
26	60.05	60.94	3660	*	289	99	3004	82.1	77
27	60.05	64.92	3899	*	286	107	3204	82.2	80
28	60.01	65.86	3952	*	264	113	3146	79.6	83
29	60.01	60.38	3623	*	227	120	2858	78.9	86
30	60	53.46	3208	*	182	128	2450	76.4	90
31	60.01	49.94	2997	*	167	135	2361	78.8	93
32	60	45.53	2732	*	144	142	2145	78.5	96
33	60	42.9	2574	*	128	150	2012	78.2	99
34	60.01	41.9	2514	*	116	157	1916	76.2	102
35	60.01	37.94	2277	*	91	165	1575	69.2	105
36	60.01	35.42	2125	*	78	172	1406	66.2	108
37	60.01	35.89	2154	*	77	180	1457	67.6	111
38	60.01	33.91	2035	*	66	188	1302	64.0	115
39	60.01	33.69	2021	*	62	197	1281	63.4	118
40	60.01	31.77	1906	*	51	205	1098	57.6	121
41	60	30.77	1846	*	46	214	1033	56.0	124
42	60	31.05	1863	*	43	222	1001	53.7	127
43	60	29.86	1792	*	37	230	894	49.9	130
44	60.01	29.87	1792	*	35	239	878.1	49.0	133
45	60	29.9	1794	*	31	248	806.7	45.0	136
46	60	29.86	1792	*	29	257	781.7	43.6	139
47	60.02	16.36	982.3	*	0	4	0	0.0	142

ที่มา : https://www.ebikethaikit.com

2.5 การจำลองความเร่งยานยนต์ (Modeling vehicle Acceleration)

ความเร่ง คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลาเป็นปริมาณเวกเตอร์ การเร่งความเร็วของรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพที่สำคัญแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานที่ใช้ในการวัด โดยปกติแล้วจะใช้เวลาในการเร่งจากหยุดนิ่งถึง 60 ไมล์ต่อชั่วโมงหรือ 30 หรือ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะเป็นค่าที่ใกล้ที่สุดกับมาตรฐาน สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าคือ 0-30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 0-50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ไม่ใช่ค่าสำหรับยานพาหนะทั้งหมด) ตัวเลขการเร่งความเร็วดังกล่าวพบได้จากการจำลองหรือการทดสอบจริงของยานยนต์ สำหรับการจำลองสมรรถนะของเครื่องยนต์สันดาปภายในจะกระทำที่กำลังสูงสุด หรือ ที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดกว้างที่สุด สำหรับการจำลองสมรรถนะของยานยนต์ไฟฟ้าจะกระทำที่แรงบิดสูงสุด

จะเห็นได้ว่าแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้าคือ ฟังก์ชั่นของความเร็วเชิงมุม ในกรณีส่วนใหญ่ความเร็วต่ำสุดคือค่าแรงบิดสูงสุด เป็นค่าคงตัวจนกระทั่งความเร็วของมอเตอร์ถึงค่าวิกฤตหลังจากนั้นแรงบิดจะตก

ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนเกียร์และรัศมีของล้อ ในสมการที่ 2.8 จากสมการแรงบิดมอเตอร์

$$T = K_m \Phi I \tag{2.12}$$

และ

$$I = \frac{V}{R_a} = \frac{E_s - E_b}{R_a} = \frac{E_s}{R_a} - \frac{K_m \Phi}{R_a}\omega \tag{2.13}$$

ดังนั้น

$$T = \frac{K_m \Phi E_s}{R_a} - \frac{(K_m \Phi)^2}{R_a}\omega \tag{2.14}$$

ถ้าไม่คิดแรงต้านทางชัน จะได้สมการ ดังนี้

$$F_{te} = F_r + F_d + F_{a,l} + F_{\omega a} \tag{2.15}$$

จะสามารถจำลองความเร่งได้จากสมการ

$$\frac{\text{Gearratio}}{r} \times \eta_{gear} \times T = f_r \times mg + \frac{1}{2}\rho C_d A V^2 + ma + m_{5\%}a \qquad \textbf{(2.16)}$$

ดังนั้น สามารถจำลองความเร็วได้จากสมการ

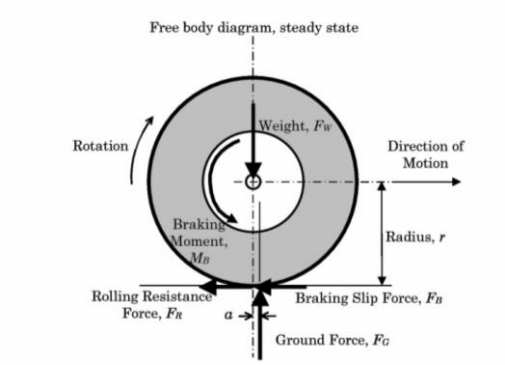
$$\frac{\text{Gearratio}}{r} \times \eta_{gear} \times T = f_r \times mg + \frac{1}{2}\rho C_d A V^2 + (m + m_{5\%})\frac{dv}{dt} \qquad \textbf{(2.17)}$$

โดยที่

K_m	คือ	ค่าคงที่ของมอเตอร์	$\emptyset$	คือ	ค่าฟลักซ์ไฟฟ้า
T	คือ	ค่าทอร์ก	R_a	คือ	ความต้านทานของอารมาเจอร
ω	คือ	ความเร็วเชิงมุม	G	คือ	อัตราทดเกียร์
r	คือ	รัศมีของล้อ	η_{gear}	คือ	ประสิทธิภาพเกียร์
g	คือ	แรงโน้มถ่วงของโลก	m	คือ	มวลทั้งหมด (มวลคน+มวลรถ)
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของรถ	V	คือ	ความเร็ว
f_r	คือ	สัมประสิทธิ์แรงต้านที่ล้อ	E_s	คือ	แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์
ρ	คือ	ความหนาแน่นอากาศ มีค่า 1.2 kg/m^3	C_d	คือ	สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ

2.6 การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก

ระบบเบรกเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งในเรื่องการขับขี่อย่างปลอดภัย เมื่อผู้ขับขี่กระทำการเบรกจะส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานการเบรก F ดังรูปที่ที่ 7



รูปที่ 7 แรงกระทำกับรถในทำการเบรก

ที่มา : https://www.nap.edu/read/23038/chapter/5#23

ซึ่งสามารถหาแรงดังกล่าวได้จากสมการ

$$F = \mu_k m_R g \qquad \textbf{(2.18)}$$

และจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$F = m_{total} a \qquad \textbf{(2.19)}$$

นำสมการทั้งสองมาเท่ากัน
จะได้

$$\mu_k m_R g = m_{total} a \qquad \textbf{(2.20)}$$

จัดรูปสมการ

$$a = \frac{\mu_k m_R g}{m_{total}} \qquad \textbf{(2.21)}$$

เมื่อ μ_k คือ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน (หาได้จากตารางที่ 5)

m_R คือ มวลที่กดลงบนล้อที่ทำการเบรก

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

m_{total} คือ มวลทั้งหมดของรถ

a คือ ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก

ตารางที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานสถิต (μ_s)และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ (μ_k)

ผิวสัมผัส	μ_s	μ_k
ไม้กับไม้	.70	.40
เหล็กกล้ากับเหล็กกล้า	.74	.57
อะลูมิเนียมกับเหล็กกล้า	.61	.47
ทองแดงกับเหล็กกล้า	.53	.36
ทองเหลืองกับเหล็กกล้า	.51	.44
แก้วกับแก้ว	.94	.40
ทองแดงกับแก้ว	.68	.53
ยางกับคอนกรีต (แห้ง)	1	.80
ยางกับคอนกรีต (เปียก)	.30	.25
ล้อยางกับถนน (แห้ง)	.90	.65
ล้อยางกับถนน (เปียก)	.70	.55

ที่มา : http://www.vcharkarn.com/lesson/1120

การหาระยะทางในการเบรกหาได้จากสมการการเคลื่อนที่

$$s = \frac{u^2 - v^2}{2a} \qquad (2.22)$$

เมื่อ s คือ ระยะทางในการเบรก

v คือ ความเร็วเมื่อรถหยุดนิ่ง (มีค่า = 0)

u คือ ความเร็วเมื่อรถเริ่มทำการเบรก

a คือ ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก (หาได้จากสมการความเร่ง)

2.7 การเข้าโค้ง

เมื่อรถเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ อาจเกิดการพลิกคว่ำหรือลื่นไถลออกนอกถนนได้ การพลิกคว่ำหรือลื่นไถล มีผลมาจากแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นในขณะเลี้ยวโค้งนั่นเอง รถจะถูกกระทำด้วยแรงดังรูปที่ 8 เมื่อพิจารณารถพลิกคว่ำรอบแกน A-A แรงที่ทำให้คว่ำคือแรงหนีศูนย์กลาง F_c แรงที่ทำให้ทรงตัวได้คือน้ำหนักของรถ W ดังนั้น เมื่อพิจารณาโมเมนต์รอบแกน A-A และรถเริ่มจะพลิกคว่ำ จะได้

โมเมนต์พลิกคว่ำ = โมเมนต์ทรงตัว (2.23)

$$F_c = W\frac{t}{2} \qquad (2.24)$$

$$\frac{mv^2}{r}(h) = mg\left(\frac{t}{2}\right) \qquad (2.25)$$

$$v^2 = \frac{grt}{2h} \qquad (2.26)$$

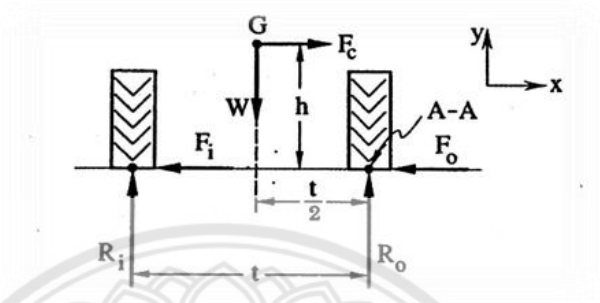
$$v = \sqrt{\frac{grt}{2h}} \qquad (2.27)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วของรถที่ทำให้รถเริ่มพลิกคว่ำ มีหน่วยเป็น m/s

r คือ รัศมีความโค้งของการเลี้ยว มีหน่วยเป็น m

t คือ ระยะห่างล้อข้างซ้ายกับล้อข้างขวา มีหน่วยเป็น m

h คือ ความสูงของจุดศูนย์กลางมวล G จากพื้นถนน มีหน่วยเป็น m



รูปที่ 8 แรงกระทำกับรถในขณะเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ

ที่มา : วิศวกรรมยานยนต์ , รศ.ธีรยุทธ สุวรรณประทีป

ขณะที่รถเลี้ยวโค้งบนถนนโค้งราบ เมื่อพิจารณาแรงกระทำต่อรถในแนวระดับ พบว่า ขณะรถเลี้ยวพยายามไถลออกจากโค้ง จึงมีแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อล้อรถในทิศทางพุ่งเข้าในแนวผ่านศูนย์กลางความโค้ง ดังนั้น แรงเสียดทาน จะเท่ากับ แรงสู่ศูนย์กลาง

แรงเสียดทาน = แรงสู่ศูนย์กลาง

$$f_s = F_C$$

$$\mu_s N = ma_c$$

$$\mu_s mg = m\frac{V^2}{r}$$

$$r = \frac{V^2}{\mu_s g} \qquad (2.28)$$

โดยที่ r คือ รัศมีความโค้งของการเลี้ยว มีหน่วยเป็น (m)

V คือ อัตราเร็วของรถที่ทำให้รถเริ่มไถล มีหน่วยเป็น (m/s)

μ_s คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อยางกับถนน (หาได้จากตารางที่ 2.4)

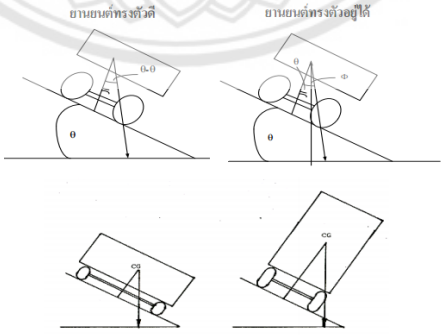
g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก 9.81 มีหน่วยเป็น (m/s^2)

2.8 การหาจุดศูนย์กลางมวล

จุดศูนย์ถ่วง หรือ จุดศูนย์กลางของความโน้มถ่วง จะเป็นจุดที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดของโลกต่อส่วนต่างๆ ของวัตถุกระทำ ในสถานการณ์ธรรมดาทั่วๆ ไป ค่าสนามความโน้มถ่วงมีค่าคงที่สม่ำเสมอตลอดทั่ววัตถุที่พิจารณาจุดศูนย์ถ่วงและจุดศูนย์กลางมวลจะเป็นจุดเดียวกัน แต่กรณีที่วัตถุมีขนาดใหญ่มาก จนแต่ละส่วนของวัตถุนั้นอยู่ในสนามความโน้มถ่วงที่มีค่าต่างกัน เป็นไปได้ที่จุดศูนย์ถ่วงและจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่คนละจุดกัน เราอาจจะกล่าวได้ในอีกแง่หนึ่งว่า จุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ คือ จุดที่น้ำหนักรวมทั้งหมดของวัตถุได้พิจารณาว่ารวมอยู่ที่จุดนั้น หาก พิจารณาเป็นแนวดิ่งเส้นตรงเรา พบว่า น้ำหนักรวมทั้งหมดของวัตถุต้องผ่านแนวดิ่งเส้นตรงนี้ ผ่านจุดที่เราเรียกว่า จุดศูนย์ถ่วง จะทำให้วัตถุที่วางตัวอยู่ในแบบนี้อยู่ในสภาวะสมดุล สำหรับการออกแบบ Flexy นั้น การหาจุดศูนย์กลางมวลของรถ (CG) หาได้จากโปรแกรม Autodesk Fusion 360

2.9 การทรงตัวในทางตรงของรถ

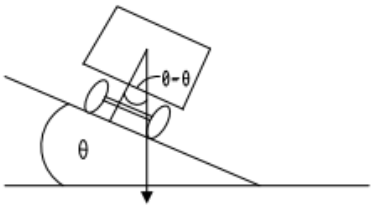
จุดศูนย์ถ่วงของยานยนต์และความกว้างของช่วงล้อ เป็นสิ่งที่สำคัญในการพิจารณาถึงการทรงตัวของยานยนต์ เมื่อยานยนต์อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่อยู่ในทางตรงที่มีความเอียง ยานยนต์ นั้นจะทรงตัวอยู่ได้ถ้าแนวดิ่งที่ลากจากจุดศูนย์ถ่วงมาตัดกับแนวของพื้นถนนอยู่ภายในช่วงล้อ



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบยานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อและมีจุดศูนย์ถ่วงที่ต่างกัน

ที่มา : http://www.pattayatech.ac.th/files/150511088485246_15110613130521.pdf

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่ายานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อกว้างและมีจุดศูนย์ถ่วงต่ำจะมีการทรงตัวดีกว่ายานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อแคบและมีจุดศูนย์ถ่วงสูง การคำนวณเกี่ยวกับการทรงตัวของยานยนต์ในทางตรง



รูปที่ 10 เมื่อยานยนต์ทรงตัวอยู่ในตำแหน่งมุมเอียงสูงสุด

ที่มา : http://www.pattayatech.ac.th/files/150511088485246_15110613130521.pdf

เส้นดิ่งที่ลากจากจุดศูนย์ถ่วงจะตัดกับแนวพื้นถนน ที่จุดสัมผัส ที่ล้อพอดีดังรูปที่ 10 จึงยึดเอาตำแหน่งดังกล่าวนี้เป็นหลักเพื่อ พิจารณาว่า ยานยนต์จะสามารถทรงตัวได้หรือไม่ดังนี้

$$\tan\varphi = \frac{b/2}{h} \qquad \textbf{(2.29)}$$

โดย b คือ ความกว้างของช่วงล้อ

H คือ ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงจากพื้นถนน

φ คือ มุมที่จุดศูนย์ถ่วงของยานยนต์ เมื่อยานยนต์อยู่ในสภาพมุมเอียงสูงสุดและยังอยู่ในสภาพที่ยังทรงตัวอยู่ได้

θ คือ มุมเอียงของถนน

ดังนั้น จึงสรุปถึงสภาพการสมดุลของยานยนต์ได้ดังนี้

1. ถ้า $\varphi > \theta$ หรือมุมที่จุดศูนย์ถ่วงมากกว่ามุมเอียงของถนน ยานยนต์จะทรงตัวอยู่ได้
2. ถ้า $\varphi = \theta$ หรือมุมที่จุดศูนย์ถ่วงเท่ากับมุมเอียงของถนน ยานยนต์จะทรงตัวอยู่ได้พอดี
3. ถ้า $\varphi < \theta$ หรือมุมที่จุดศูนย์ถ่วงน้อยกว่ามุมเอียงของถนน ยานยนต์จะเสียการทรงตัว

2.10 แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

2.10.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นทางเลือกของแบตเตอรี่ที่มีความจุพลังงานต่อน้ำหนักต่ำ แต่ก็ยังมีราคาเริ่มต้นที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบต่อหน่วยพลังงานด้วย ดังนั้น จึงเหมาะกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ทำงานที่ความเร็วต่ำ ทั้งนี้ก็ด้วยน้ำหนักของแบตเตอรี่ในตัวรถ ตัวอย่างการใช้งานก็เช่น รถกอล์ฟไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า (Forklift) หรือรถโดยสารที่ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กที่นิยมใช้กันอยู่ค่อนข้างกว้างขวาง ในปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ทำงานที่ความเร็วสูงก็เฉพาะกับรถกระบะที่มีพื้นที่พอติดตั้งแบตเตอรี่

2.10.2 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบน้ำ

เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในระบบโซล่าเซลล์และระบบพลังงานทางเลือก เพราะเมื่อเปรียบเทียบกัน ต่อ แอมป์ชั่วโมง แล้ว เป็นชนิดแบตเตอรี่ที่คุ้มค่าต่อการลงทุนที่สุด แต่ก็เป็นแบตเตอร์รี่ที่ต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น การเติมน้ำกลั่น หรือ การทำความสะอาดขั้วแบตเตอรี่ ส่วนการติดตั้ง ต้องติดตั้งในพื้นที่ที่มีอากาศถ่ายเท และวางในลักษณะตั้งขึ้นได้เท่านั้น

2.10.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง แบ่งเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุดูดซับกรด เรียกว่า แบตเตอรี่ แบบเจล และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวดูดซึม เรียกว่า แบตเตอรี่แบบ AGM ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ ของแบตเตอรี่ แต่การแบ่งประเภทของ แบตเตอรี่ ตะกั่วกรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็น แบตเตอรี่ แบบใช้งานทั่วไป หรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ แบบคายประจุลึกและแบบลูกผสม

2.11 ชุดควบคุม

2.11.1 องค์ประกอบชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง

ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลังในยานยนต์ไฟฟ้า จะทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้าในระดับแรงดันที่แตกต่างกัน และแปรให้เป็นระดับแรงดันที่ต้องการ เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้านั้นมีอุปกรณ์หลายชิ้นที่ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าในระดับแรงดันที่ต่างกันไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ หรือชุดประจุไฟฟ้า

ตัวรับรู้

ตัวรับรู้ ทำหน้าที่หลักในการดูสถานะของมอเตอร์ในกรณีชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า หรือดูสถานะของแบตเตอรี่ในกรณีชุดควบคุมไฟฟ้าสำหรับประจุแบตเตอรี่ เมื่อรับรู้สถานะปัจจุบันแล้ว ตัวรับรู้ก็จะส่งข้อมูลสถานะให้ชุดควบคุมตัดสินใจสั่งงาน

ตัวรับรู้ทางกลเป็นอุปกรณ์ที่พบมากในการควบคุมมอเตอร์ ในการควบคุมมอเตอร์ให้ได้การตอบสนองตามที่ต้องการชุดควบคุมไฟฟ้ามีความจำเป็นที่จะต้องรู้สถานะทางกลของมอเตอร์เพื่อที่จะสามารถปรับแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการทำงาน

ส่วนขยายไฟฟ้ากำลัง

ส่วนขยายไฟฟ้ากำลังเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการปรับกระแสไฟฟ้า เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบที่ต้องการ ถ้าเป็นวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ความเร็วรอบของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน ส่วนขยายไฟฟ้ากำลัง จะทำการจ่ายไฟฟ้ากำลังให้มีระดับแรงดันที่แตกต่างกัน ตามแต่ได้รับคำสั่งจากส่วนควบคุม ในกรณีที่ต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทาง ส่วนขยายไฟฟ้ากำลังจะทำการจ่ายไฟฟ้ากำลังกลับขั้ว

ส่วนควบคุม

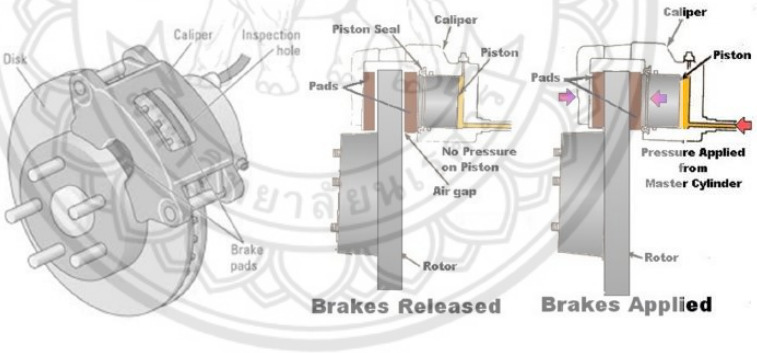
ส่วนควบคุมทำหน้าที่ในการนำความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง มาประมวลผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้ แล้วตัดสินใจสั่งงานส่วนขยายไฟฟ้ากำลังให้สร้างรูปแบบของไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสมออกมาเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์หรือชุดแบตเตอรี่

2.12 ระบบห้ามล้อที่ใช้ในรถ Flexy

ห้ามล้อเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ ลดความเร็วของรถหรือทำให้รถหยุด ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ห้ามล้อถือเป็นระบบสำคัญระบบหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยในการให้ความปลอดภัยกับผู้ขับขี่ ซึ่งห้ามล้อที่ใช้ในรถ Flexy คือ ห้ามล้อแบบ ดิสก์เบรก และดรัมเบรก

2.12.1 ดิสก์เบรก (Disk Brakes)

ดิสก์เบรก (Disk Brakes) จะประกอบด้วยจานโรเตอร์หรือจานดิสก์เบรกที่ทำจากเหล็กหล่อและติดตั้งให้หมุนเคลื่อนที่ไปพร้อมกับล้อรถยนต์ โดยที่มันจะหมุนอยู่ระหว่างผ้าเบรกทั้งสองด้าน ดังแสดงในรูปที่ 11 และถูกผลักดันเพื่อให้เกิดความฝืดขึ้นที่จานโรเตอร์ด้วยแรงเบรกที่เกิดจากลูกสูบซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันของไฮดรอลิกในขณะที่เหยียบเบรก เบรกชนิดนี้จะยอมให้เกิดการสึกหลอที่ผ้าเบรก โดยรักษาความดันบนพื้นผิวสัมผัสของผ้าเบรกให้คงที่ เบรกประเภทนี้จะมีข้อดีคือ มีพื้นผิวเปิดที่สัมผัสกับบรรยากาศได้มากขึ้น ทำให้เป็นการเพิ่มความสามารถในการหล่อเย็นไปในตัว



รูปที่ 11 การสัมผัสของผ้าเบรกกับจานโรเตอร์

ที่มา : https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=4294

2.12.2 ดรัมเบรก (Drum Brakes)

ดรัมเบรก (Drum Brakes) จะมีผ้าเบรกโค้ง ๆ (Shoe) อยู่สองอัน เรียกว่า “ฝักนำกับฝักตาม” เมื่อมีการเหยียบคันเบรกเพื่อชะลอความเร็วหรือหยุดรถ ผ้าเบรกจะถูกดันให้ไปติดยันเข้ากับด้านในของฝาครอบเบรก (Drum) ซึ่งฝาครอบเบรกนี้จะยึดติดไว้กับล้อรถอีกที โดยจะทำให้เกิดแรงเสียดทานทำให้ล้อรถชะลอความเร็วและหยุดลงได้ ตัวอย่างดรัมเบรก แสดงดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 ดรัมเบรก (Drum Brakes)

ที่มา : https://www.amazon.fr

2.13 ระบบกันสะเทือน (Suspension System)

ระบบกันสะเทือน ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของตัวรถ เครื่องยนต์ ผู้โดยสาร และสิ่งของใดๆ ที่อยู่ในรถอีกทั้งยังช่วยรองรับแรงสะเทือนจากถนนและยังช่วยทำให้ผู้ขับรถสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ไปตามทุกสภาพ และความเร็วของถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกด้วยอุปกรณ์รองรับน้ำหนักที่สำคัญในระบบกันสะเทือนคือ สปริง (Spring) และโช๊คอัพ (Shock Absorber)

2.13.1 ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ (Independent Suspension)

ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 13 เป็นระบบกันสะเทือนที่ได้รับการพัฒนาให้แยกหน้าที่ รองรับน้ำหนักและแรงสะเทือนระหว่างล้อซ้ายและล้อขวาออกจากกัน เมื่อล้อใดล้อหนึ่งตกหลุมหรือกระแทกสิ่งกีดขวางแรงสะเทือนที่เกิดขึ้นก็จะกระทำต่อล้อนั้นเสียส่วนใหญ่และจะส่งแรงสะเทือนนี้ไปสู่ตัวรถและอุปกรณ์ต่อเนื่องกันให้น้อยที่สุดเพื่อให้เกิดความนุ่มนวลในห้องโดยสารมากที่สุด รถที่ขับเคลื่อนล้อหน้า หรือขับเคลื่อนล้อหลัง ที่ใช้ระบบกันสะเทือนแบบอิสระจะมีข้อต่ออ่อน (Universal Joint) อยู่ระหว่างเพลาขับไปจนถึงล้อเพื่อที่ว่าเวลาล้อเคลื่อนที่ไปตามสภาพถนนแล้วเกิดตกหลุมหรือค่อมสิ่งกีดขวางใดๆ จุดศูนย์กลางของล้อ

จะไม่ตรงกับแกนเพลาหมุนข้อต่ออ่อนก็ยังคงส่งแรงหมุนนี้ไปตามเพลาหมุนไปจนถึงล้อได้แม้ว่าสภาพถนนจะเป็นอย่างไรก็ตาม

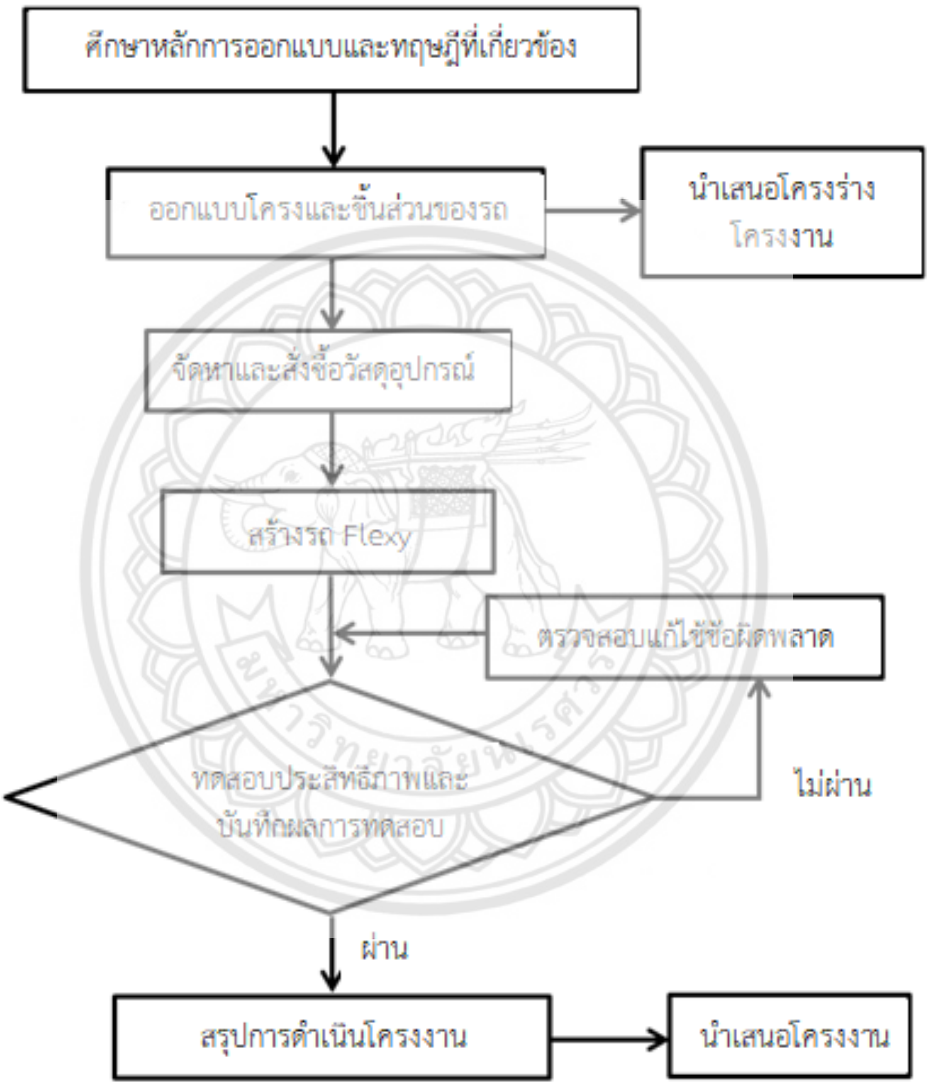
รูปที่ 13 ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ

ที่มา : https://pantip.com/topic/33686709

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 14 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีดำเนินงาน

การดำเนินโครงงานตามแผนผังแสดงในรูปที่ 14 เริ่มจาก ศึกษาหลักการการออกแบบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการออกแบบชุดหน้าของรถ ATV พร้อมทั้งชิ้นส่วนบางส่วนที่เพิ่มความสามารถในการยืดและหดของตัวรถ แล้วนำชุดหลังที่มีอยู่มาต่อกันและสร้างเป็นรถได้ แล้วนำเสนอโครงร่างโครงงาน จะทำการจัดหาและสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในประกอบสร้างและสร้างรถ Flexy เพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร แล้วสรุปผลการดำเนินโครงการ

3.1 การออกแบบรถ Flexy

3.1.1 หลักการออกแบบรถ Flexy

หลักการออกแบบรถ Flexy เป็นการนำเอาโครงของชุดหน้า ATV ดังแสดงในรูปที่ 15 มาสร้างเป็นรถ Flexy ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะนำชิ้นส่วนชุดหน้าของรถ ATV ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ที่ยังสามารถใช้ได้มาเป็นส่วนประกอบ และชิ้นส่วนส่วนๆอื่นที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมาประยุกต์ใช้ในการสร้างรถ Flexy ในครั้งนี้ ทั้งนี้เพราะการสร้างชิ้นส่วนขึ้นมาเองนั้นมีต้นทุนสูงและมีความยุ่งยากในการสร้างมาก ดังนั้น การเลือกใช้ชิ้นส่วนประยุกต์สามารถทำ ได้รวดเร็วกว่า การจัดหาชิ้นส่วนสำรองและอุปกรณ์ซ่อมบำรุงสามารถจัดหาได้สะดวก และมีราคาที่ไม่สูงมาก เช่น ชุดหน้า ATV ปีกนก เบรค เป็นต้น

ส่วนลักษณะเฉพาะของรถ Flexy ที่แตกต่างจากรถทั่วไปก็คือ ชุดเลื่อน จะทำการออกแบบโดยให้รถสามารถยืด-หดได้ จะทำการออกแบบเพื่อจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ

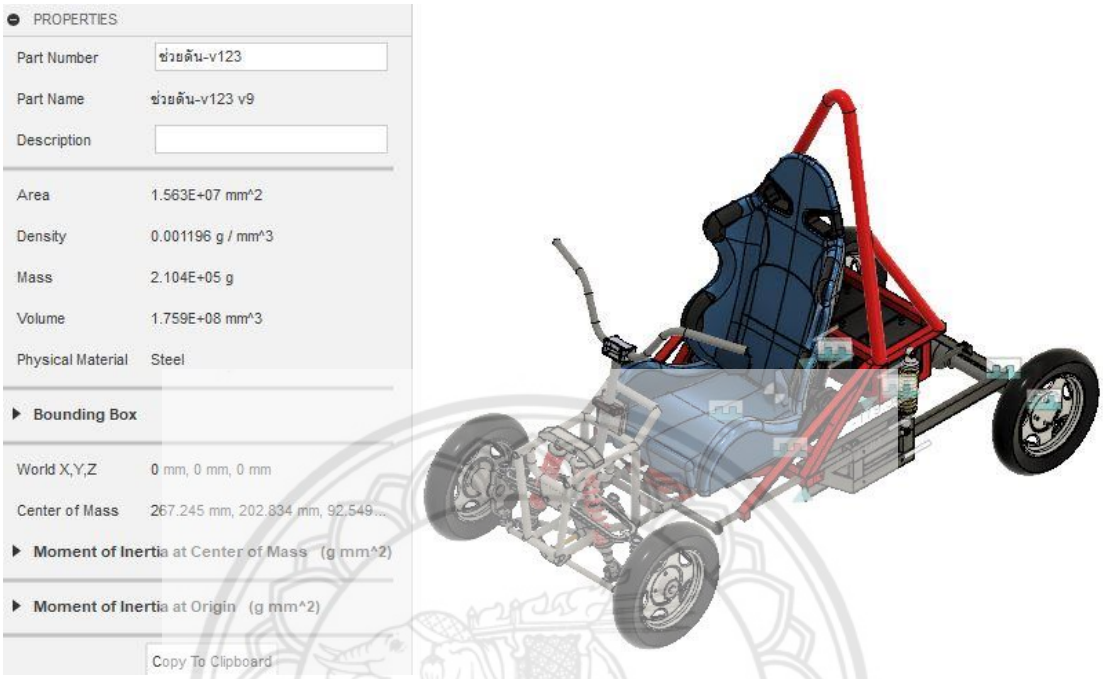
1) ออกแบบสร้างชิ้นส่วนสำหรับ Flexy 1 ที่นั่ง
2) ใช้ Linear actuator เป็นตัวยืด-หด
3) ติดตั้งชุดเพลาท้ายพร้อมมอเตอร์ไฟฟ้า
4) ใช้แบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด (12V 45AH) จำนวน 5 ลูก

รูปที่ 15 โครงของรถ ATV ที่จะนำไปพัฒนาและออกแบบเป็น**รถ** Flexy

3.1.2 การหาจุดศูนย์ถ่วง (CG) และน้ำหนัก ของรถ Flexy เพื่อการออกแบบ

ในการออกแบบรถ Flexy จะต้องมีการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง (CG) และน้ำหนักของตัวรถ เพื่อความเหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์ในตำแหน่งต่างๆ ของรถ ให้รถอยู่ในสภาพที่สมดุลในขณะเคลื่อนที่และจอดหยุดนิ่ง ซึ่งในการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง (CG) จะคำนวณจากโปรแกรม Autodesk Fusion 360 โดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) การหาจุดศูนย์ถ่วงของรถไร้คนขับขณะยืด

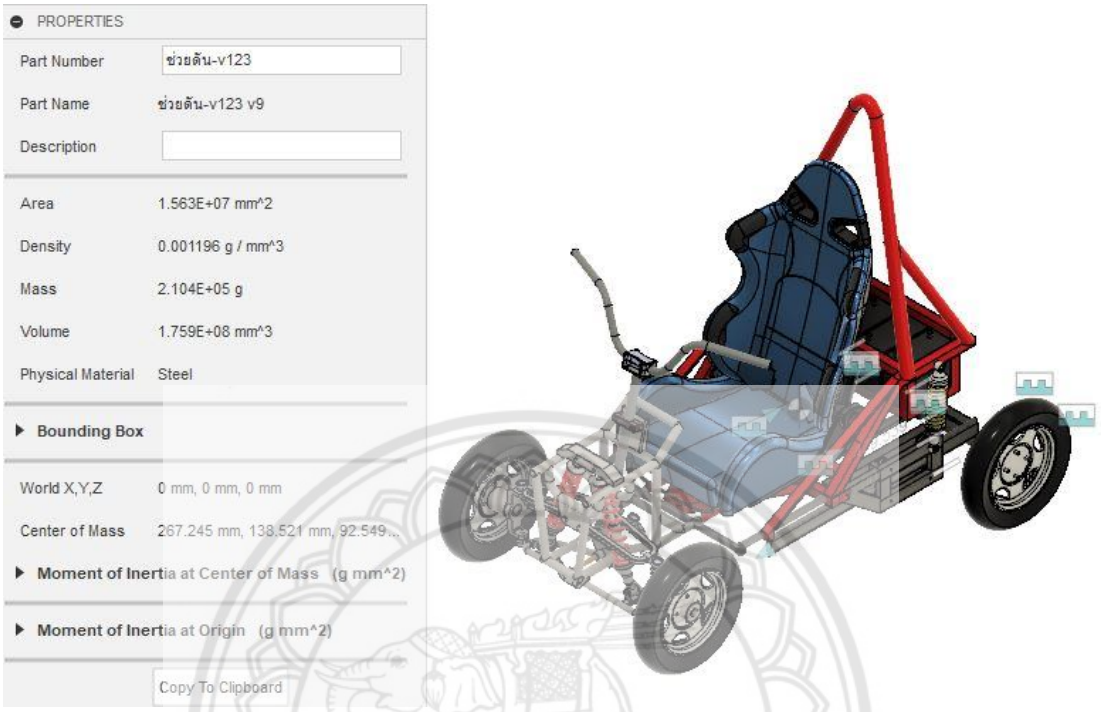


รูปที่ 16 การหาจุดศูนย์ถ่วงและน้ำหนักของรถไร้คนขับขณะยืด

ที่มา : โปรแกรม Fusion 360

จากรูปที่ 16 ใช้โปรแกรมคำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงโดยอ้างอิงจากจุด Origin ของแบบ 3 มิติ โดยการออกแบบระยะห่างของล้อดังนี้ ล้อหน้ามีระยะห่างจากล้อหลังขณะยืด 187 เซนติเมตร และระยะห่างล้อซ้ายกับล้อขวาสูงสุด 100 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าจุดศูนย์ถ่วงของรถขณะไร้คนขับอยู่ที่ตำแหน่งเยื้องไปทางด้านหลัง ห่างจากกึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลังพอสมควร สูงจากพื้น 39 เซนติเมตร กึ่งกลางระหว่างล้อซ้ายกับล้อขวา ห่างจากล้อหน้า 95 เซนติเมตร และห่างจากล้อหลัง 92 เซนติเมตร และมีน้ำหนักของรถขณะไร้คนขับ 210 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักที่วัดจริงมีค่าเท่ากับ 257 กิโลกรัม เนื่องจากในการสร้างจริงมีองค์ประกอบที่ทำให้น้ำหนักเกิดการความคลาดเคลื่อน

2) การหาจุดศูนย์ถ่วงของรถไร้คนขับขณะหด



รูปที่ 17 การหาจุดศูนย์ถ่วงและน้ำหนักของรถไร้คนขับขณะหด

ที่มา : โปรแกรม Fusion 360

จากรูปที่ 17 ใช้โปรแกรมคำนวณหาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงโดยอ้างอิงจากจุด Origin ของแบบ 3 มิติ โดยการออกแบบระยะห่างของล้อดังนี้ ล้อหน้ามีระยะห่างจากล้อหลังขณะยืด 153 เซนติเมตร และระยะห่างล้อซ้ายกับล้อขวาสูงสุด 100 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าจุดศูนย์ถ่วงของรถขณะไร้คนขับอยู่ที่ตำแหน่งเยื้องไปทางด้านหลัง ห่างจากกึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลังพอสมควร สูงจากพื้น 41.3 เซนติเมตร กึ่งกลางระหว่างล้อซ้ายกับล้อขวา ห่างจากล้อหน้า 90 เซนติเมตร และห่างจากล้อหลัง 63 เซนติเมตร และมีน้ำหนักของรถขณะไร้คนขับ 210 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักที่วัดจริงมีค่าเท่ากับ 257 กิโลกรัม เนื่องจากในการสร้างจริงมีองค์ประกอบที่ทำให้น้ำหนักเกิดการความคลาดเคลื่อน

3.2 การคำนวณระยะทางในการเบรก

การคำนวณระยะทางในการเบรกของรถ Flexyบนพื้นคอนกรีตแห้งที่ความเร็วในการเบรก 10, 20 และ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นคอนกรีตแห้งเป็นแรงเสียดทานจลน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\mu_K = 0.65$ (ตารางที่ 5) โดยน้ำหนักรวมของรถรวมคนขับเท่ากับ 257 กิโลกรัม และทำการเบรกทั้ง 4 ล้อ

จากสมการ $F = ma$

$$\mu_k m_R g = ma$$

$$0.65 \times 257 \times 9.81 = 257a$$

$$a = 6.3765 \text{ m/s}^2$$

จะได้ความเร่งในการเบรกเท่ากับ 6.3765 m/s^2

1) ระยะเบรกที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$s = \frac{u^2 - V^2}{2a}$$

$$s = \frac{\left(\frac{10}{3.6}\right)^2 - 0^2}{2(6.3765)}$$

$$s = 0.61 \text{ m}$$

2) ระยะเบรกที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$s = \frac{u^2 - V^2}{2a}$$

$$s = \frac{\left(\frac{20}{3.6}\right)^2 - 0^2}{2(6.3765)}$$

$$s = 2.42 \text{ m}$$

3) ระยะเบรกที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$s = \frac{u^2 - v^2}{2a}$$

$$s = \frac{\left(\frac{30}{3.6}\right)^2 - 0^2}{2(6.3765)}$$

$$s = 5.45 \text{ m}$$

3.3 การคำนวณรัศมีวงเลี้ยวบนถนนราบ

การคำนวณรัศมีวงเลี้ยวบนถนนราบของรถ Flexy บนพื้นคอนกรีตที่ความเร็ว 5, 10 และ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในขณะที่รถหดสุดและคำนวณรัศมีวงเลี้ยวบนถนนราบของรถ Flexy บนพื้นคอนกรีตที่ความเร็ว 10, 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในขณะที่รถยืดสุด โดยให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นคอนกรีตแห้งเป็นแรงเสียดทานจลน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\mu_s = 0.9$ (ตารางที่ 5)

3.3.1 รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆขณะหดสุด

1) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$r = \frac{v^2}{\mu_s g}$$

$$r = \frac{\frac{5^2}{3.6^2}}{0.90(9.81)}$$

$$r = 0.218 \text{ m}$$

2) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$r = \frac{v^2}{\mu_s g}$$

$$r = \frac{\frac{10^2}{3.6^2}}{0.90(9.81)}$$

$$r = 0.605 \text{ m}$$

3) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$r = \frac{v^2}{\mu_s g}$$

$$r = \frac{\frac{15^2}{3.6^2}}{0.90(9.81)}$$

$$r = 1.361 \text{ m}$$

3.3.2 รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆขณะยืดสุด

1) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$r = \frac{v^2}{\mu_s g}$$

$$r = \frac{\frac{10^2}{3.6^2}}{0.90(9.81)}$$

$$r = 0.874 \text{ m}$$

2) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$r = \frac{v^2}{\mu_s g}$$

$$r = \frac{\frac{15^2}{3.6^2}}{0.90(9.81)}$$

$$r = 1.966 \text{ m}$$

3) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$r = \frac{v^2}{\mu_s g}$$

$$r = \frac{\frac{20^{2}}{3.6^{2}}}{0.90(9.81)}$$

$$r = 3.5 \text{ m}$$

3.4 การหาความเร็วและความเร่งรถ Flexy

การจำลองการหาความเร็วและความเร่งของรถ Flexy เพื่อหาสมรรถนะภาพของตัวรถ Flexyในทางทฤษฎี

ตัวแปรที่ใช้

Gearratio	เท่ากับ 1 (เพราะไม่มีอัตราทดเกียร์)
r	เท่ากับ 0.24 m (รัศมีล้อ)
η_{gear}	เท่ากับ 0.98% (เนื่องจากไม่มีเกียร์)
f_r	เท่ากับ 0.014 (จากตารางที่ 2)
m	เท่ากับ 257 kg (มวลของรถรวมคนขับ)
$m_{5\%}$	เท่ากับ 12.85 (มวล 5% โดยประมาณ เกิดจากการหมุนของชิ้นส่วนของรถ)
C_d	เท่ากับ 0.9 (ประมาณจากรูปที่ 2)
A	เท่ากับ 1.65 m^2 (จากการประมาณพื้นที่หน้าตัดของรถ)
ρ	เท่ากับ ความหนาแน่นอากาศ มีค่า 1.2 kg/m^3

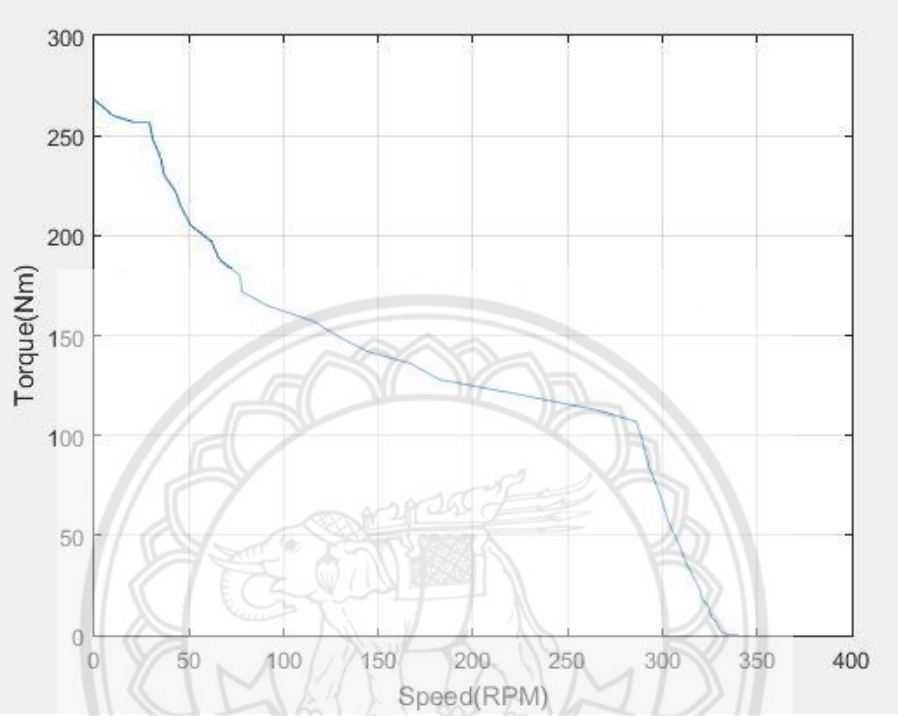
จากสมการที่ (2.16)

$$\frac{\text{Gearratio}}{r} \times \eta_{gear} \times T = f_r \times mg + \frac{1}{2}\rho C_d A V^2 + (m + m_{5\%})\frac{dv}{dt}$$

จะได้

$$\frac{1}{0.24} x0.98xT=0.014x(257)(9.81)+\frac{1}{2}(1.2)(0.9)(1.65)V^2+(257+12.85)\frac{dv}{dt} \qquad (3.1)$$

ทำการ Interpolation ระหว่างค่าความเร็วรอบ (RPM) กับค่าแรงบิดมอเตอร์ (Nm) จากตารางในรูปที่ 19 ลงใน Matlab เพื่อนำไปแทนค่า T ในสมการ (3.1)
โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้แสดงดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์

ที่มา : โปรแกรม MATLAB

编号(No.)	电压(V)	电流(A)	输入功率(W)	功因(P.F)	转速(rpm)	转矩(N.m)	输出功率(W)	效率(%)	时间(s)
1	60.07	6.443	387	*	331	0	16.58	4.3	1
2	60.06	6.379	383.1	*	332	0	16.17	4.2	4
3	60.06	6.571	394.7	*	332	0	24.04	6.1	7
4	60.06	6.926	416	*	331	1	50.91	12.2	10
5	60.06	7.465	448.4	*	331	2	81.19	18.1	13
6	60.06	8.164	490.3	*	330	3	130	26.5	16
7	60.06	9.161	550.3	*	329	5	182.9	33.2	19
8	60.06	10.24	615.4	*	328	7	253.6	41.2	22
9	60.06	11.54	693.6	*	326	9	328.6	47.4	25
10	60.06	12.99	780.4	*	325	12	422.2	54.1	28
11	60.06	14.79	888.7	*	324	15	530.1	59.6	31
12	60.06	16.58	996.4	*	321	18	637.8	64.0	34
13	60.06	18.74	1125	*	320	22	756.3	67.2	37
14	60.06	20.79	1249	*	318	26	884.1	70.8	40
15	60.06	22.94	1378	*	316	30	1014	73.6	44
16	60.06	25.85	1553	*	313	35	1160	74.7	47
17	60.06	28.7	1724	*	311	40	1318	76.5	50
18	60.06	31.5	1891	*	309	45	1476	78.1	53
19	60.06	34.29	2059	*	306	51	1640	79.7	56
20	60.06	37.58	2257	*	303	57	1812	80.3	59
21	60.06	41.15	2472	*	301	63	2005	81.1	62
22	60.06	44.97	2701	*	299	70	2192	81.2	65
23	60.06	48.61	2920	*	296	77	2390	81.8	68
24	60.06	52.84	3173	*	293	84	2586	81.5	71
25	60.06	56.63	3401	*	291	91	2797	82.2	74
26	60.05	60.94	3660	*	289	99	3004	82.1	77
27	60.05	64.92	3899	*	286	107	3204	82.2	80
28	60.01	65.86	3952	*	264	113	3146	79.6	83
29	60.01	60.38	3623	*	227	120	2858	78.9	86
30	60	53.46	3208	*	182	128	2450	76.4	90
31	60.01	49.94	2997	*	167	135	2361	78.8	93
32	60	45.53	2732	*	144	142	2145	78.5	96
33	60	42.9	2574	*	128	150	2012	78.2	99
34	60.01	41.9	2514	*	116	157	1916	76.2	102
35	60.01	37.94	2277	*	91	165	1575	69.2	105
36	60.01	35.42	2125	*	78	172	1406	66.2	108
37	60.01	35.89	2154	*	77	180	1457	67.6	111
38	60.01	33.91	2035	*	66	188	1302	64.0	115
39	60.01	33.69	2021	*	62	197	1281	63.4	118
40	60.01	31.77	1906	*	51	205	1098	57.6	121
41	60	30.77	1846	*	46	214	1033	56.0	124
42	60	31.05	1863	*	43	222	1001	53.7	127
43	60	29.86	1792	*	37	230	894	49.9	130
44	60.01	29.87	1792	*	35	239	878.1	49.0	133
45	60	29.9	1794	*	31	248	806.7	45.0	136
46	60	29.86	1792	*	29	257	781.7	43.6	139
47	60.02	16.36	982.3	*	0	1	0	0.0	142

รูปที่ 19 ตารางแสดงค่าต่างๆ ของมอเตอร์

ที่มา : https://www.ebikethaikit.com

ค่าต่าง ๆของมอเตอร์เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้รู้ความสามารถของมอเตอร์ที่ใช้งาน ค่าต่างๆของมอเตอร์ที่ใช้ในรถ Flexy สามารถหาได้จากรูปที่ 19

```
function [T_Nm] =N( X )
N=[340 337 335 333 331 330 329 328 326 325 324 321 320 318 316 313 311 309 306
   303 301 299 296 293 291 289 286 264 227 182 167 144 128 116 91 78 77  66  62
   51  46  43  37  35  31  29 20 10 5 0];
T=[0 0.3 0.5 1 2 3 5 7 9 12 15 18 22 26 30 35 40 45 51 57 63 70 77 84 91 99 107
    113 120 128 136 142 150 157 165 172 180 188 197 205 214 222 230 239 248 257
    257 260 264 268];
X=(1/0.235)*(60/6.28)
T_Nm=interp1(N,T,X)
n=length(N)
end
```

รูปที่ 20 การสร้างสมการ Interpolation ระหว่างความเร็วกับแรงบิด

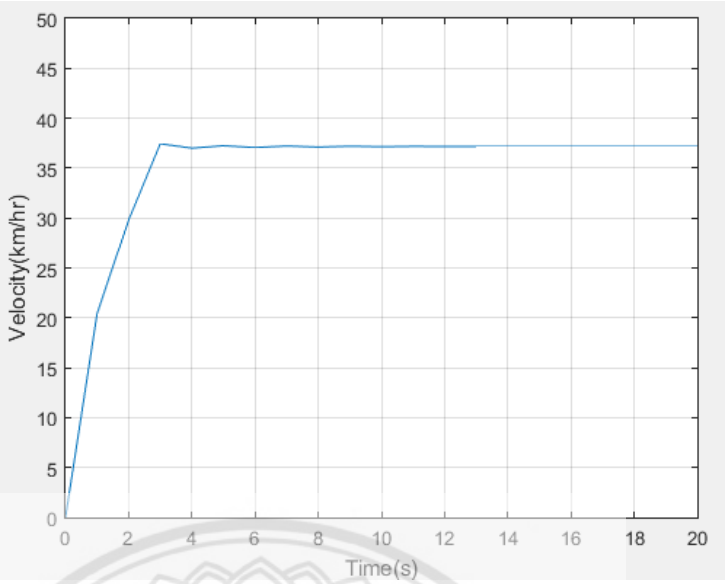
ที่มา : โปรแกรม MATLAB R2015a

นำสมการ Interpolation ที่ได้จาก รูปที่ 20 ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาและความเร่งกับเวลา ใน Matlab โดยใช้คำสั่งดังรูปที่ 21 การแสดงผลของคำสั่งเป็นดังรูปที่ 22

```
t=linspace(0,1000,1001);
vel=zeros(1,1001);
d=zeros(1,1001);
T=zeros(1,1001);
dT=1;
for n=1:400
    W(n)=vel(n)*(1/0.24)*(60/6.28);
    T(n)= N(W(n));
    vel(n+1) = vel(n)+(dT*(((0.98/(0.24*269.85))*T(n))-(0.014*257*9.81/269.85)-(0.6*0.9*1.65/269.85)*vel(n)^2));
    d(n+1)=d(n)+ vel(n);
end;
vel=vel*3.6;
AC=(vel/6)/3.6
figure(1)
plot(t,vel);
axis([0 20 0 50]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('Velocity(km/hr)');
grid on
figure(2)
plot(t,AC);
axis([0 10 0 3]);
xlabel('Time(s)');
ylabel('Acceleration(m/s^2)');
grid on
```

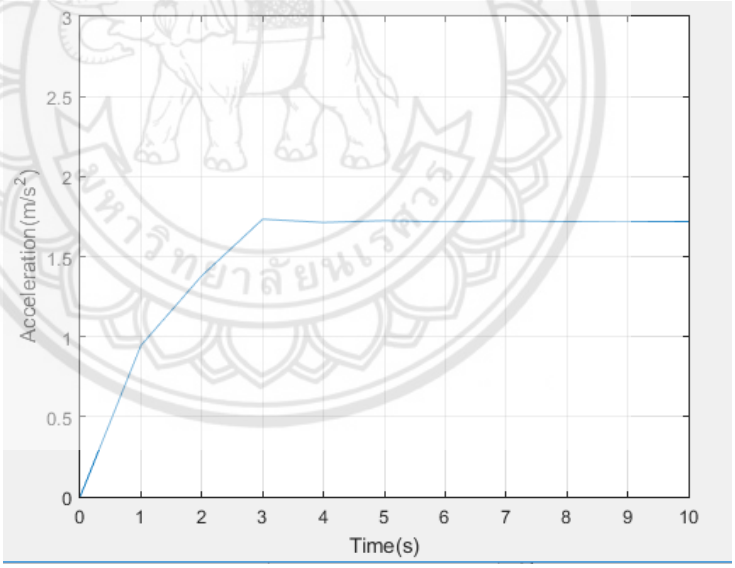
รูปที่ 21 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาและความเร่งกับเวลา

ที่มา : โปรแกรม MATLAB R2015a



รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

ที่มา : โปรแกรม MATLAB R2015a



รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

ที่มา : โปรแกรม MATLAB R2015a

จากรูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา และรูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา จะได้ค่าความเร็วสูงสุดเท่ากับ 37.29 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่วินาทีที่ 2.5 วินาที และจะเห็นว่าค่าที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะทำได้ในเวลา 2 วินาที

3.5 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการสร้างรถ Flexy ที่ได้ทำการจัดหามา แสดงดังรูปที่ 24-34

1) โครงและชิ้นส่วนประกอบของรถ Flexy

รูปที่ 24 โครงและชิ้นส่วนของรถATVที่จะนำไปพัฒนาและออกแบบเป็นรถflexy

2) linear actuator

รูปที่ 25 linear actuator ใช้สำหรับยืด-หดรถ

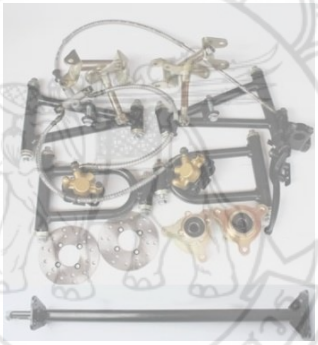
ที่มา : https://www.firgelliauto.com/products/premium-linear-actuators

3) คอนโทรลเลอร์

รูปที่ 26 คอนโทรลเลอร์

ที่มา : https://www.lifesmoving.co.th/products/controller-em3.html

4) อุปกรณ์ชุดหน้า ATV



รูปที่ 27 อุปกรณ์ชุดหน้า ATV

ที่มา : http://www.china-hai.com/Default.aspx?pageid=1&PRODUCT_ID=73

5) แบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 12V 45AH

รูปที่ 28 แบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 12V 45AH

ที่มา : http://th.himaxbattery.net

6) ล้อแม็กซ์และยาง

รูปที่ 29 ล้อแม็กซ์และยาง

7) เบาะนั่ง

รูปที่ 30 เบาะนั่ง

8) สีสเปรย์

รูปที่ 31 สีสเปรย์

ที่มา : https://portal.weloveshopping.com/product/L91308584

9) เหล็กและน็อตสำหรับยึดจุดต่างๆ

รูปที่ 32 เหล็กและน็อตสำหรับยึดจุดต่างๆ

ที่มา : https://store.scg.com/site/steel/

10) เข็มขัดนิรภัย

รูปที่ 33 เข็มขัดนิรภัย

11) อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

รูปที่ 34 อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ

ที่มา : http://www.thevoice9d.com/news/accessories.html

3.6 วิธีการทดสอบรถ Flexy

การทดสอบรถ Flexy มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบข้อมูลต่างๆ ของรถในสภาพใช้งานจริง เปรียบเทียบกับข้อมูลตามทฤษฎี เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาต่อไป และผลการทดสอบนี้ได้แสดงถึงสมรรถนะของรถ Flexy อีกด้วย ในการทดสอบจริงต้องมีการดัดแปลงให้เข้ากับความจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ ดังนั้น จึงทำให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่สามารถถือเป็นมาตรฐานที่จะใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลได้ เนื่องจากรถ Flexy ได้สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นต้นแบบของรถเข็นคนพิการที่สามารถยืด-หดได้ สำหรับการศึกษาพัฒนาระบบช่วงล่างและระบบขับเคลื่อนของรถ Flexy ดังนั้น จึงต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพ สมรรถนะ และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนี้

3.6.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

การทดสอบเพื่อหาระยะทางที่สูงที่สุดที่รถ Flexy สามารถวิ่งได้ต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง อุปกรณ์

1) รถ Flexy

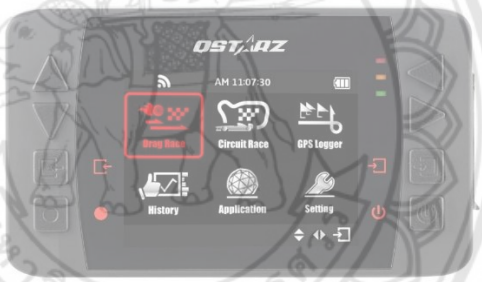
2) แบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 12V 45AH จำนวน 5 ลูก

3) คลิปแอมมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 35

4) GPS Lap Timer LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 36

รูปที่ 35 คลิปแอมมิเตอร์

ที่มา https://www.powered.jp/SHOP/S12.html



รูปที่ 36 GPS Lap Timer LT-Q6000

ที่มา https://www.veloxracing.com/wp/wp-content/uploads/2015/11/unnamed-7.jpg

วิธีทดสอบ

ทำการทดสอบการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 12V 45AH จำนวน 5 ลูก ที่ต่ออนุกรมกัน โดยการทดสอบหาระยะทางที่รถ Flexy วิ่งได้ไกลที่สุดที่แบตเตอรี่ชาร์จเต็ม ดังแสดงในรูปที่ 37 โดยใช้เครื่อง GPS Lap Timer ในการวัดระยะทาง และหาการใช้พลังงานต่อ 1 กิโลเมตร โดยใช้คลิปแอมมิเตอร์

รูปที่ 37 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้า**หนึ่งครั้ง**

3.6.2 การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ในความเร็วต่างๆ

ทดสอบเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้ในความเร็วต่างๆ

อุปกรณ์

1) รถ Flexy พร้อมคนขับ

2) GPS Lap Timer LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 36

3) คลิปแอมมิเตอร์

วิธีทดสอบ

1) เลือกสถานที่ทดสอบที่ระยะทางยาวและพื้นเรียบเหมาะสมกับการ**ทดสอบ**

2) ทำการขี่โดยใช้ความเร็วคงที่ที่ 10 , 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง **ดังแสดงในรูปที่ 38**

3) **ใช้คลิปแอมมิเตอร์ในการเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าพลังงานที่ใช้จากกระแสไฟฟ้า**

รูปที่ 38 การทดสอบการหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่างๆ

3.6.3 การทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy

การทดสอบจะทดสอบอัตราเร่งของรถที่ความเร็ว 0 จนถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

อุปกรณ์

1) รถ Flexy พร้อมคนขับ

2) GPS Lap Timer LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 36

วิธีทดสอบ

1) เลือกสถานที่ทดสอบที่มีระยะทางยาว ที่เหมาะสมกับการทดสอบ

2) กำหนดจุดออกตัวและจุดหยุดรถที่ปลอดภัย

3) ทำการขับขี่รถ Flexy โดยเร่งความเร็วจาก 0 จนถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พร้อมจับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 39

4) ทำการทดสอบซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และบันทึกผลการทดลอง

รูปที่ 39 การทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy

3.6.4 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ

การทดสอบนี้เพื่อหาระยะเบรกที่สั้นที่สุดที่ความเร็ว 10, 20 และ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อความปลอดภัยในการขับขี่

อุปกรณ์

1) รถ Flexy พร้อมคนขับ

2) ตลับเมตร ดังแสดงในรูปที่ 40

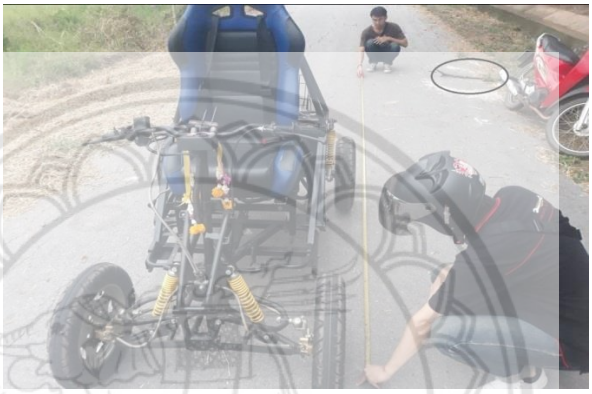
3) GPS Lap Timer LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 36

รูปที่ 40 ตลับเมตร

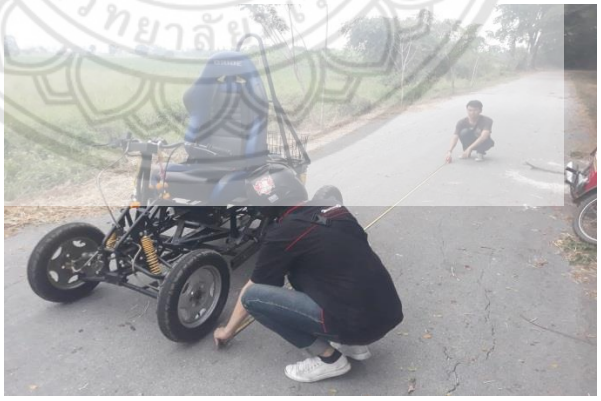
ที่มา : https://www.finn.no/bap/webstore/ad.html?finnkode=53578563

วิธีทดสอบ

1) เลือกสถานที่ทดสอบที่มีระยะทางยาวและเรียบ เหมาะสมกับการทดสอบ
2) กำหนดความเร็วที่จะเริ่มทำการเบรกที่ 10, 20, และ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3) กำหนดจุดที่จะเริ่มเบรก ดังแสดงในรูปที่ 41 แล้วเริ่มเบรกเมื่อส่วนล้อหน้าของรถถึงจุดที่กำหนดไว้ เมื่อรถเบรกจนหยุดนิ่งจะวัดระยะทางตั้งแต่จุดที่กำหนดไว้ถึงกลางล้อหน้าของรถFlexyดังแสดงในรูปที่ 42 แล้วบันทึกค่า
4) ทำการทดลองที่ความเร็วต่างๆ ตามข้อที่ 2) จนครบ



รูปที่ 41 จุดเริ่มเบรก



รูปที่ 42 การวัดระยะเบรกจากกลางล้อหน้ากับจุดเริ่มเบรก

3.6.5 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยว

การทดสอบเพื่อหารัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ ขณะยืดและหด

อุปกรณ์

1) รถ Flexy พร้อมคนขับ

2) ตลับเมตร ดังแสดงในรูปที่ 40

3) GPS Lap Timer LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 36

วิธีทดสอบ

1. เลือกสถานที่ทดสอบที่กว้างและพื้นเรียบเหมาะสมกับการทดสอบ

2) ทดสอบโดยใช้รัศมีวงเลี้ยวแคบสุด ดังแสดงในรูปที่ 43 ที่ความเร็ว 5, 10, 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขณะรถหดตัว และในความเร็ว 10, 15, 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขณะที่รถยืดตัว ดังแสดงในรูปที่ 44

3) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมที่เกิดจากการกลิ้งของล้อ ซึ่งอยู่บนพื้นที่ทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 45 แล้วบันทึกค่า

4) ทำการทดลองที่ความเร็วต่างๆตามข้อที่ 2) จนครบ

รูปที่ 43 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยวขณะรถหดสุด

รูปที่ 44 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยวขณะรถยืดสุด

รูปที่ 45 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมที่เกิดจากการกลิ้งของล้อ

3.6.6 การทดสอบหาความเร็วสูงสุด

การทดสอบเพื่อหาความเร็วสูงสุดของรถ Flexy โดยการขี่ด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่สามารถทำได้หลายๆรอบเพื่อหาค่าความเร็วสูงสุด

อุปกรณ์

1) รถ Flexy พร้อมคนขับ

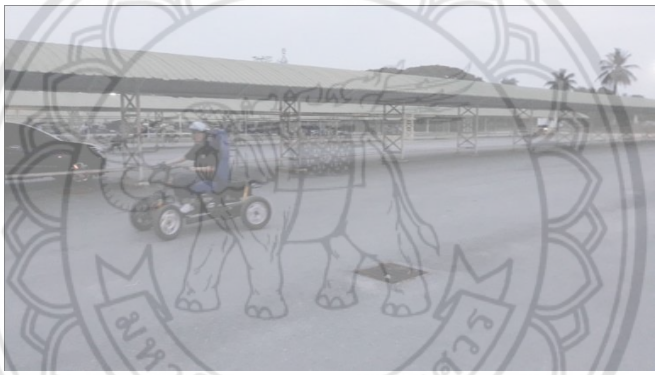
2) GPS Lap Timer LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 36

วิธีทดสอบ

1) เลือกสถานที่ทดสอบที่ระยะทางยาวและพื้นเรียบเหมาะสมกับการทดสอบ

2) ทำการขี่โดยให้ความเร็วมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 46

3) ทำซ้ำ 3 รอบเพื่อหาความเร็วที่มากที่สุด



รูปที่ 46 การทดสอบการหาความเร็วสูงสุด

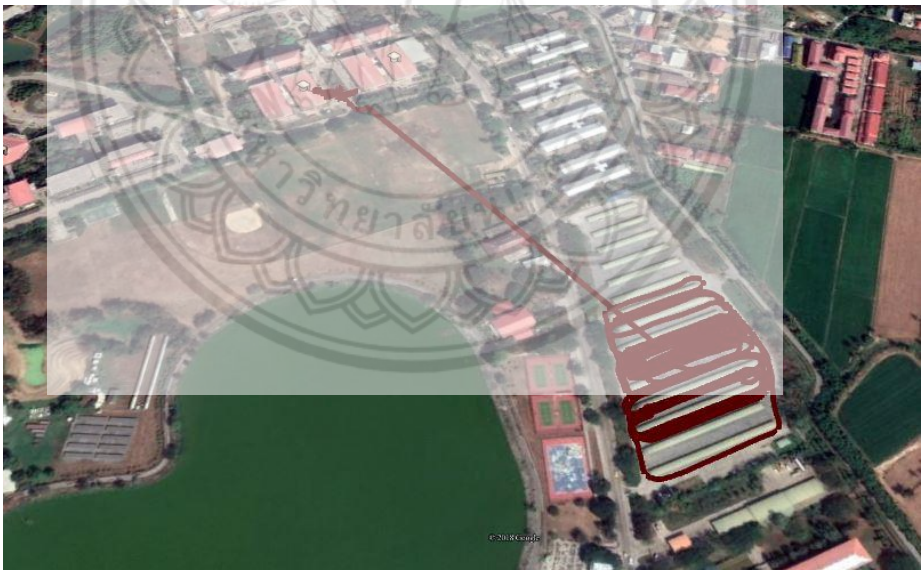
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

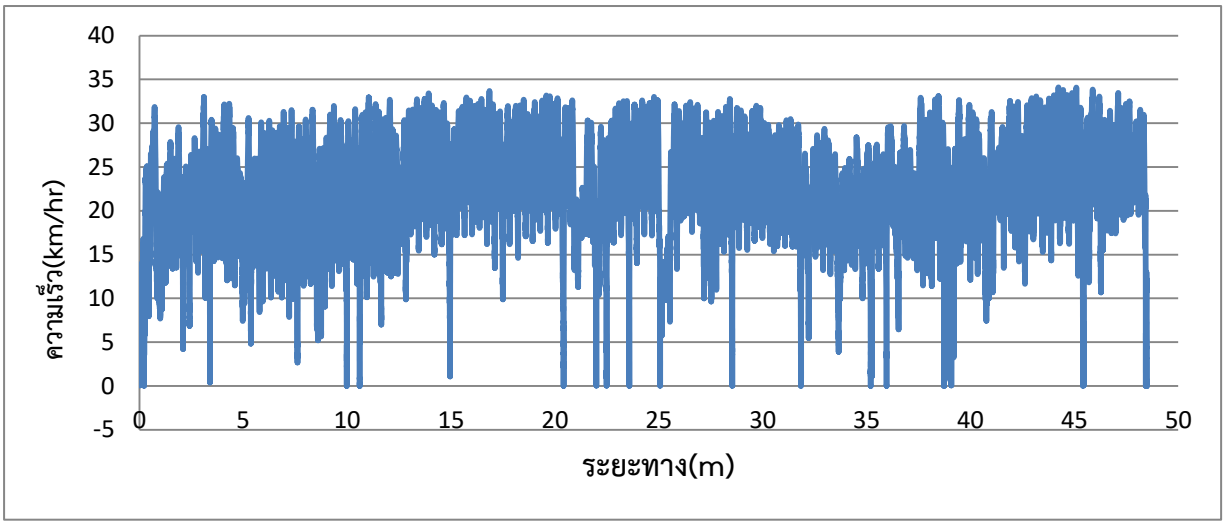
4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

การทดสอบเพื่อระยะทางทั้งหมดที่สามารถขับขี่ต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง สถานที่ทดสอบแสดงดังรูปที่ 47 ผลการทดสอบที่ได้ นำมาสร้างกราฟความเร็วกับระยะทางได้ดังรูปที่ 48 ค่าที่ได้ในการทดสอบต่าง ๆ จะแสดงดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7 เมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จด้วยเครื่องชาร์จขนาด 64V20Ah



รูปที่ 47 แผนที่แสดงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ บริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 48 กราฟแสดงความเร็วกับระยะทางที่ทำได้ในการทดสอบ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาระยะทางสูงสุดในการขับขี่ต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ระยะทางสูงสุด (km)	เวลาที่ใช้ในการวิ่ง (hr)	เวลาที่ใช้ในการชาร์จ (hr)
19	34.09	48	3	9

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาพลังงานที่ใช้ในการขับขี่ต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

พลังงานที่ใช้/กิโลเมตร (kW-hr)	ค่าไฟที่ใช้/กิโลเมตร (บาท)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (kW-hr)	ค่าไฟที่ใช้ทั้งหมด (บาท)
0.04	0.12	1.92	5.76

4.1.2 การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ

การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ ในการทดสอบจะหาที่ความเร็ว 10, 15, 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าที่ได้จากการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาพลังงานที่ความเร็วต่าง ๆ

ความเร็ว (km/hr)	พลังงานที่ใช้/ชั่วโมง (kW-hr)
10	0.288
15	0.540
20	0.700

4.1.3 การทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy

การทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy โดยการทดสอบจะทดสอบหาอัตราเร่งของรถที่ความเร็ว 0 จนถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าที่ได้จากการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบอัตราเร่งของรถ Flexy

ครั้งที่	ความเร็ว (km/hr)	เวลา (s)	ความเร่ง (m/s^2)
1	0 - 30	5.7	1.462
2	0 - 30	6.7	1.244
3	0 - 30	4.7	1.773
เฉลี่ย		5.7	1.493

4.1.4 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ

การทดสอบหาระยะเบรก ณ ความเร็ว 10, 20 และ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อหาระยะเบรกที่สั้นที่สุดของรถ Flexy เพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ ค่าที่ได้จากการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/hr)	เวลาเบรกจนรถหยุดนิ่ง (s)	ระยะเบรกจนรถหยุดนิ่ง (m)
10	0.7	1.2
20	1.3	3.1
30	1.8	5.2

4.1.5 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยว

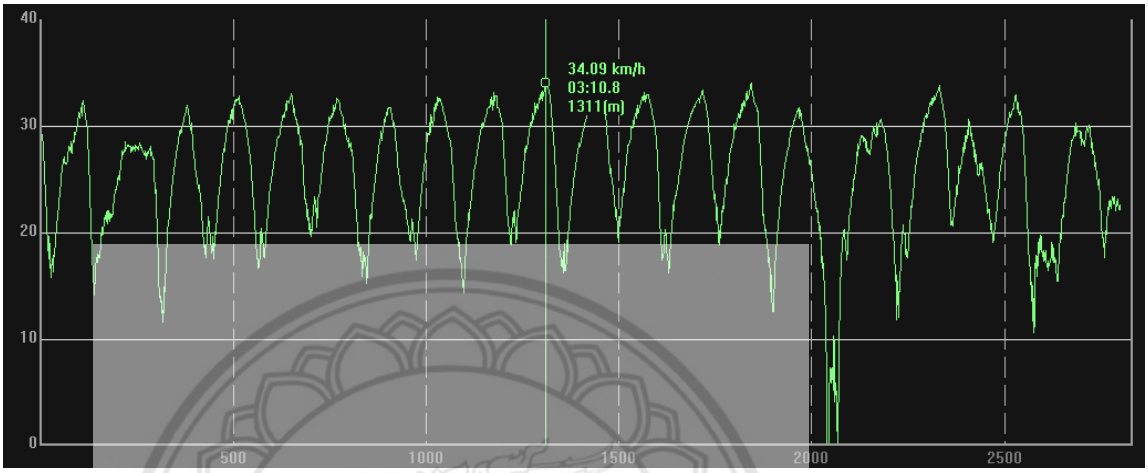
การทดสอบหารัศมีวงเลี้ยวแคบสุด ที่ความเร็ว 5, 10, 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขณะรถหดตัว และในความเร็ว 5, 10, 15, 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขณะที่รถยืดตัว ค่าที่ได้จากการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบรัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/hr)	รัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดขณะยืด (m)	รัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดขณะหด(m)
5	-	0.87
10	1.2	1.12
15	2.35	1.83
20	3.60	-

4.1.6 การทดสอบหาความเร็วสูงสุด

การทดสอบเพื่อหาความเร็วสูงสุดของรถ Flexy ทำการขี่ด้วยความเร็วสูงสุดเท่าที่สามารถทำได้ หลาย ๆรอบเพื่อหาค่าความเร็วสูงที่สุด จากรูปที่ 49 จะเห็นได้ว่ากราฟมีการขึ้นและลงหลายรอบ โดยที่ความเร็วขึ้นไปถึงจุดสูงสุดและลงต่ำสุดหมายถึง 1 รอบการทดสอบ



รูปที่ 49 กราฟแสดงความเร็วต่าง ๆที่ได้จาก**การทดสอบ**

ที่มา : โปรแกรม Qstarz QRacing

จากรูปที่ 49 จะเห็นได้ว่า ความเร็วสูงสุดที่ทำได้มีค่าเท่ากับ 34.09 km/hr

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 วิเคราะห์ระยะทางสูงสุดและการใช้พลังงานของรถ Flexy

จากการทดลองหาระยะทางสูงสุดและการใช้พลังงานของรถ Flexy ที่มีน้ำหนักรวมคนขับเท่ากับ 257 กิโลกรัม ที่มีความเร็วเฉลี่ย 19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถทำความเร็วสูงสุดในการขับขี่สำหรับทดลองนี้ได้ 34.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะทางสูงสุดที่ทำได้เท่ากับ 48 กิโลเมตร และใช้เวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เป็นเวลา 9 ชั่วโมงเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ให้กลับมาเต็มอีกครั้ง เมื่อใช้ที่ชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 64V20Ah จากการคำนวณสามารถทำความเร็วได้มากกว่านี้แต่ทางที่ทดสอดมีความต่างระดับทำให้ผู้ทดสอบทำความเร็วสูงสุดได้ยาก อีกทั้งต้องทำการหยุดรถเพื่อบันทึกค่าของข้อมูลที่ทำการเก็บ จึงทำให้ได้ระยะทางน้อย จากตารางที่ 6 และ 7 จะเห็นได้

ว่ามีค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดเท่ากับ 1.92 หน่วย หรือใช้พลังงาน 0.04 หน่วยต่อกิโลเมตร สำหรับการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง จะเห็นได้ว่ารถ Flexy มีค่าใช้จ่าย 0.12 บาทต่อกิโลเมตร

4.2.2 วิเคราะห์การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ

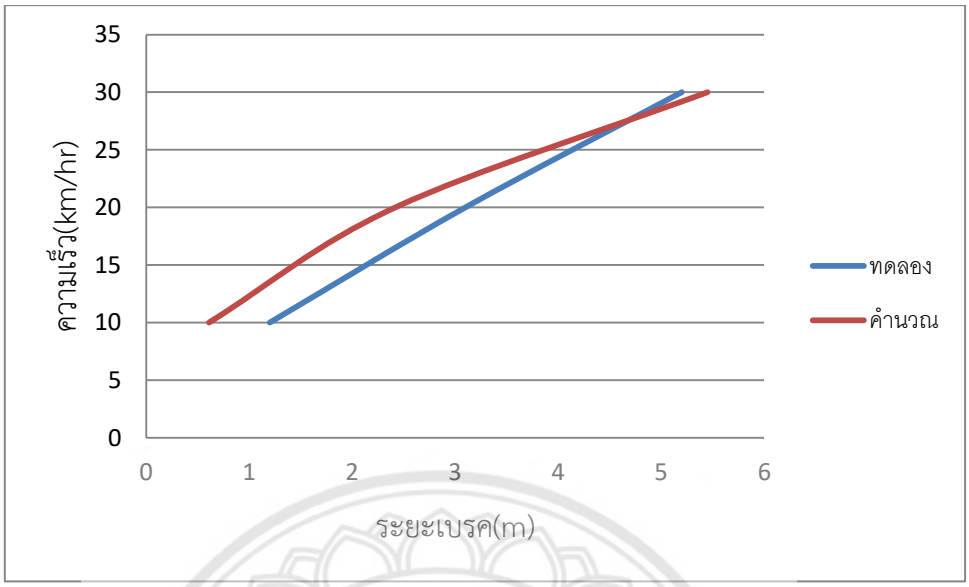
การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ ในการทดสอบจะหาที่ความเร็ว 10, 15, 20 เมตรต่อวินาที จากตารางที่ 8 จะเห็นว่า

- เมื่อทำความเร็วคงที่ที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ 0.288 หน่วยต่อชั่วโมง
- เมื่อทำความเร็วคงที่ที่ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ 0.540 หน่วยต่อชั่วโมง
- เมื่อทำความเร็วคงที่ที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีค่าการใช้พลังงานอยู่ที่ 0.7 หน่วยต่อชั่วโมง

4.2.3 วิเคราะห์อัตราเร่งของรถ Flexy

จากผลการทดลองเพื่อหาอัตราเร่งของรถ Flexy ที่มีน้ำหนักของรถรวมคนขับเท่ากับ 257 กิโลกรัม จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มความเร็วตั้งแต่ 0 ถึง 30 กิโลเมตรต่อวินาที จะได้ความเร่งเฉลี่ยเท่ากับ 1.493 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ในเวลา 5.7 วินาที เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณจำลองความเร่งดังรูปที่ 23 พบว่า ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจำลองความเร่ง ที่เวลา 5.7 วินาทีซึ่งมีความเร่งเท่ากับ 1.75 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง เนื่องจาก ค่าตัวแปรที่ใช้คำนวณมีค่าแตกต่างจากค่าจริงในการทดลอง เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แรงฉุดอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างล้อยางกับพื้นถนนซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎี ดังสมการที่ (2.16)

4.2.4 วิเคราะห์ระยะทางในการเบรกของรถ Flexy



รูปที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเบรกกับระยะเบรก

- ที่ ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเบรกจากการคำนวณเท่ากับ 0.61 เมตร จากการทดลองใช้ระยะเบรก 1.2 เมตร

- ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเบรกจากการคำนวณเท่ากับ 2.42 เมตร จากการทดลองใช้ระยะเบรก 3.1 เมตร

- ที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระยะเบรกจากการคำนวณเท่ากับ 5.45 เมตร จากการทดลองใช้ระยะเบรก 5.2 เมตร

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความเร็ว 10, 20, 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเบรก 0.61, 2.42, 5.45 เมตร ตามลำดับ ซึ่งความเร็วก่อนการเบรกส่งผลต่อระยะเบรคเมื่อความเร็วมากขึ้นระยะเบรคก็ยิ่งเพิ่มขึ้น จะได้ว่า ความเร็วก่อนการเบรกแปรผันตรงกับระยะเบรก จากรูปที่ 50 เมื่อนำค่าการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณจะเห็นว่าระยะทางในการเบรกจริงมีค่ามากกว่าเพราะจากการที่ออกรถให้มีความสามารถยืดหดได้ทำให้สายเบรคของดัมเบรคล้อหลังหักงอ ทำให้แรงเบรกไม่พอที่จะเรครถหยุดได้โดยปกติ และ สภาพถนนของที่ใช้ในการทดสอบเป็นพื้นคอนกรีตที่ไม่ค่อยสะอาด ทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อยางกับพื้นคอนกรีตมีค่าน้อยลง ส่งผลให้ค่าความหน่วงในการเบรกมีค่าน้อยลงตามดังสมการ (2.21) ความหน่วงที่ลดลงนี้มีผลให้รถเคลื่อนที่ไปด้านหน้ามากขึ้นดังสมการ (2.22)

4.2.5 วิเคราะห์รัศมีวงเลี้ยวของรถ Flexy

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบรัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/hr)	รัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดขณะยืด (m)	รัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดขณะหด (m)
5	-	0.87
10	1.2	1.12
15	2.35	1.83
20	3.7	-

ตารางที่ 13 ผลการคำนวณรัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/hr)	รัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดขณะยืด (m)	รัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดขณะหด (m)
5	-	0.218
10	0.874	0.605
15	1.966	1.361
20	3.500	-

จากตารางที่ 12 และ 13 ขณะยืด

- ที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะยืดมีรัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดจากการคำนวณเท่ากับ 0.874 เมตร รัศมีวงเลี้ยวจากการทดลอง เท่ากับ 1.2 เมตร
- ที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะยืดมีรัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดจากการคำนวณเท่ากับ1.966 เมตร รัศมีวงเลี้ยวจากการทดลอง เท่ากับ 2.35 เมตร
- ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะยืดมีรัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดจากการคำนวณเท่ากับ 3.5 เมตร รัศมีวงเลี้ยวจากการทดลอง เท่ากับ 3.7 เมตร

จากตารางที่ 12 และ 13 ขณะหด

- ที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะหดมีรัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดจากการคำนวณ เท่ากับ 0.218 เมตร รัศมีวงเลี้ยวจากการทดลอง เท่ากับ 0.87 เมตร
- ที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะหดมีรัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดจากการคำนวณ เท่ากับ 0.605 เมตร รัศมีวงเลี้ยวจากการทดลอง เท่ากับ 1.12 เมตร
- ที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะหดมีรัศมีวงเลี้ยวแคบที่สุดจากการคำนวณ เท่ากับ 1.361 เมตร รัศมีวงเลี้ยวจากการทดลอง เท่ากับ 1.83 เมตร

จากตารางที่ 12 และ 13 จะเห็นได้ว่า เมื่อความเร็วในการเข้าโค้งที่เพิ่มขึ้นจะมีรัศมีวงเลี้ยวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งขณะหดหรือขณะยืด จากตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่าขณะยืดจะมีค่ารัศมีวงเลี้ยวมากกว่า ขณะหดเนื่องจากตัวรถที่ยาวขึ้นทำให้รัศมีวงเลี้ยวเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งขณะที่รถเข้าโค้งจะมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำกับตัวรถให้เกิดการลื่นไถล เมื่อความเร็วของรถเพิ่มมากขึ้นจนทำให้แรงเสียดทานระหว่างยางกับถนนคอนกรีตมีค่าไม่มากพอจึงทำให้เกิดการลื่นไถลและรัศมีโค้งมีค่ามากขึ้น เมื่อนำค่าการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณจะเห็นว่า รัศมีวงเลี้ยวจริงมีค่ามากกว่ารัศมีวงเลี้ยวจากการคำนวณ เนื่องจาก ทดสอบบนถนนคอนกรีตที่ไม่ค่อยสะอาดอาจมีดินทรายขนาดเล็ก ทำให้ให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อยางกับพื้นคอนกรีตมีค่าน้อยลง ส่งผลให้ค่าของแรงเสียดทานมีค่าน้อยลงจนมีค่าไม่มากพอที่จะต้านแรงสู่ศูนย์กลางทำให้รถมีรัศมีวงเลี้ยวเพิ่มขึ้นดังสมการ (2.28)

4.2.6 วิเคราะห์ความเร็วสูงสุดของรถ Flexy

จากผลการทดลองดังรูปที่ 49 จะเห็นว่าความเร็วสูงสุดที่รถ Flexy สามารถทำได้ในการทดลองครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 34.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่เมื่อนำไปเทียบความเร็วสูงสุดที่ทำได้จากการคำนวณ ดังรูปที่ 22 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 37.29 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งมีค่าห่างกันพอสมควร เนื่องจากไม่มีระยะทางยาวที่ปลอดภัยสำหรับการขับขี่ในการทดสอบ

บทที่ 5

สรุปผลโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

จากการทดสอบ พบว่า รถ Flexy สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากับ 48 กิโลเมตรสำหรับการประจุแบตเตอร์รี่หนึ่งครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับรถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการ โดยทั่วไปแล้วสามารถเคลื่อนที่ได้ประมาณ 25-30 กิโลเมตร ดังนั้น ผู้พิการที่ไม่สามารถเดินทางได้จะสามารถเคลื่อนที่ในระยะไกลขึ้นกว่าเดิมได้ด้วยตัวเองเมื่อใช้รถ Flexy เมื่อผู้พิการสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลขึ้น จะทำให้ผู้พิการมีอิสระในการใช้ชีวิตมากขึ้นและส่งผลให้ผู้พิการมีความต้องการที่ใช้ชีวิต ทำให้ผู้พิการไม่เครียดได้พบปะผู้คนและสถานที่ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับรถเข็นไฟฟ้าแบบเดิม

จุดเด่นของรถ Flexy คือ สามารถวิ่งได้ระยะทางไกล มีความเร็วสูงกว่ารถเข็นไฟฟ้าสำหรับคนพิการแบบทั่วไป เมื่อยืดความยาวตัวรถจะทำให้มีการทรงตัวที่ดีขึ้นในเวลาขับขี่ด้วยความเร็วสูง เมื่อลดความยาวตัวรถจะช่วยลดพื้นที่ในการขับขี่ ซึ่งจะช่วยให้เข้าไปในพื้นที่ที่หลากหลายได้

จุดด้อยของรถ Flexy คือ รถมีความสูงพอสมควรอาจเป็นอุปสรรคต่อการขึ้นลง และเมื่อยืดความยาวตัวรถจะมีลักษณะการแอ่นตัวเกิดขึ้น

5.1.1 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถ Flexy

1) การใช้พลังงานของรถ Flexy จากตารางที่ 6 เท่ากับ 0.04 กิโลวัตต์/ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 0.12 บาท/กิโลเมตร

2) การใช้พลังงานที่ใช้ที่ความเร็วต่าง ๆ จากตารางที่ 7

- ที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้พลังงาน 0.288 หน่วยต่อชั่วโมง คิดเป็นเงิน 0.0864 บาทต่อกิโลเมตร
- ที่ความเร็ว 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้พลังงาน 0.54 หน่วยต่อชั่วโมง คิดเป็นเงิน 0.108 บาทต่อกิโลเมตร
- ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้พลังงาน 0.7 หน่วยต่อชั่วโมง คิดเป็นเงิน 0.105 บาทต่อชั่วโมง

3) รถ Flexy มีความเร่งเท่ากับ 1.493 เมตรต่อวินาที^{2} (ที่ความเร็ว 0 ถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

4) ระยะเบรกของรถ Flexy ที่ความเร็ว 10, 20, 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับ 1.2, 3.1, 5.2 เมตร ตามลำดับ

5) รัศมีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดของรถ Flexy ที่ความเร็ว 10, 15, 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขณะยืด เท่ากับ 1.2, 2.35, 3.60 เมตร ตามลำดับ

รัศมีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดของรถ Flexy ที่ความเร็ว 5, 10, 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขณะหด เท่ากับ 0.87, 1.12, 1.83 เมตร ตามลำดับ

6) ความเร็วสูงสุดของรถ Flexy เท่ากับ 34.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

7) รถ Flexy ขณะหดมีขนาด 98 x 130 x 165 ซม. มีจุดศูนย์กลางมวลสูงจากพื้น 41.3 ซม. อยู่กึ่งกลางระหว่างล้อซ้ายกับล้อขวา ห่างจากล้อหน้า 90 ซม. และห่างจากล้อหลัง 63 ซม. ขณะยืดมีขนาด 98 x 172 x 165 ซม. สูงจากพื้น 39 ซม. กึ่งกลางระหว่างล้อซ้ายกับล้อขวา ห่างจากล้อหน้า 95 ซม. และห่างจากล้อหลัง 92 ซม. รถ Flexy มีน้ำหนัก 197 กิโลกรัม

5.1.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

- เรื่องการทรงตัว เนื่องจากโครงงานนี้ยังขาดผลการทดสอบเรื่องการทรงตัว ทำให้ขาดข้อมูลเรื่องการทรงตัวของรถ Flexy
- เรื่องของช่วงล่าง เนื่องจากโครงงานนี้ยังขาดผลการทดสอบวัดแรงสั่นสะเทือนในส่วนช่วงล่างของรถ Flexy ซึ่งช่วงล่างมีความสำคัญโดยเฉพาะเมื่อผู้ขับขี่เป็นผู้พิการ
- เรื่องความปลอดภัยกรณีรถพลิกตะแคงซึ่งเมื่อเกิดการตะแคงอาจมีผลทำให้ผู้ขับขี่ได้รับบาดเจ็บจึงต้องมีการทดสอบและอาจเสริมความปลอดภัยด้านข้างขึ้นมา
- การยืดและหดของตัวรถยังเป็นระบบควบคุมด้วยผู้ใช้งานอยู่ การพัฒนาต่อคือการทำให้มีการยืดและหดแบบอัตโนมัติตามความเร็ว ณ ขณะนั้นๆ
- การขึ้นไปนั่งจะยากสำหรับผู้พิการ เนื่องจากเบาะอยู่สูงและมีพื้นที่ที่แคบ การพัฒนาก็คือมีการเลื่อนเบาะออกมาจากตัวรถเพื่อมารองรับผู้พิการ

บรรณานุกรม

ธีระยุทธ สุวรรณประธีป. (2559). **หนังสือวิศวกรรมยานยนต์.** (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์.

ธนวัฒน์ สุวนานนท์, สัณฐิติ ตาลเพชร, สิทธิเดช ประโยชน์ดี. (2559). **สามล้อไฟฟ้านำเที่ยว.** วิทยานิพนธ์. วศ.บ. , มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

บรรเลง ศรนิล. (2559). **คู่มือตารางเทคนิคยานยนต์.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำรา เรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

คงศิลป์ แสงเพชรไพบูรณ์, เฉลิมชาติ เมฆเมืองทอง, นวพล เถาทอง. (2554). **การประยุกต์ออกแบบสร้างประกอบรถสูตรนักศึกษา เฉพาะระบบเครื่องยนต์ ระบบส่งกาลัง และระบบบังคับเลี้ยว**. วิทยานิพนธ์. วศ.บ. , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, เชียงใหม่.

กิตติพันธุ์ เตชะกิตติโรจน์, อังคีร์ ศรีภคากร. **ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ**. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556

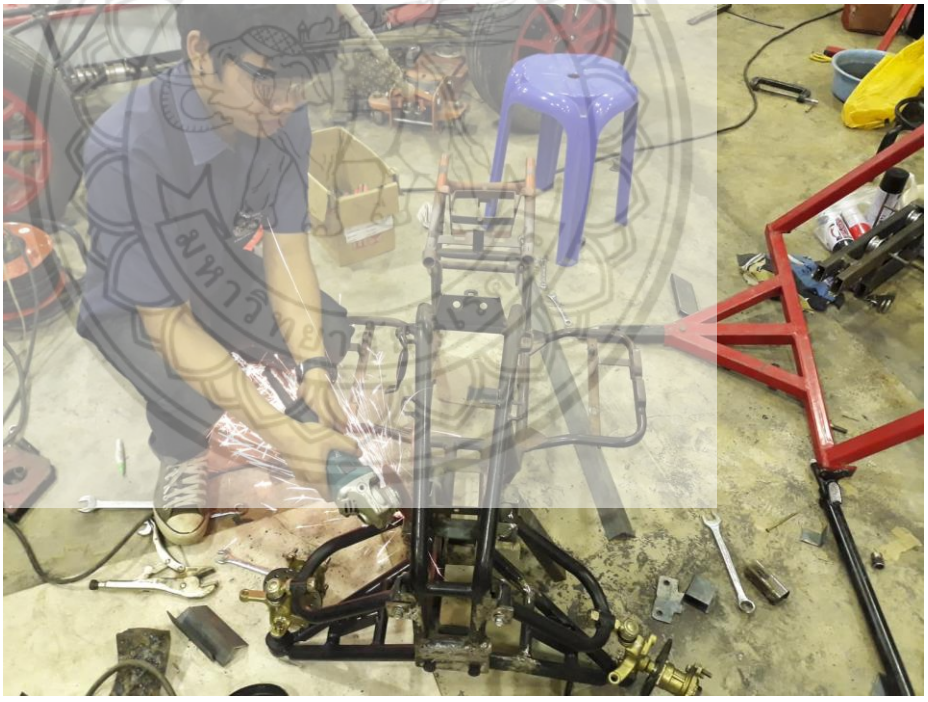
Ebikethaikit.(30 มีนาคม 2562).**ชุดเพลาท้ายพร้อมมอเตอร์ Brushless**. สืบค้นเมื่อ 30 มีนาคม 2562 , จาก https://www.ebikethaikit.com

Wheelchair.(30 พฤษจิกายน 2557). **Electric Wheelchair** สืบค้นเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2562 , จาก https://eng-old.najah.edu/graduation-projects/7562

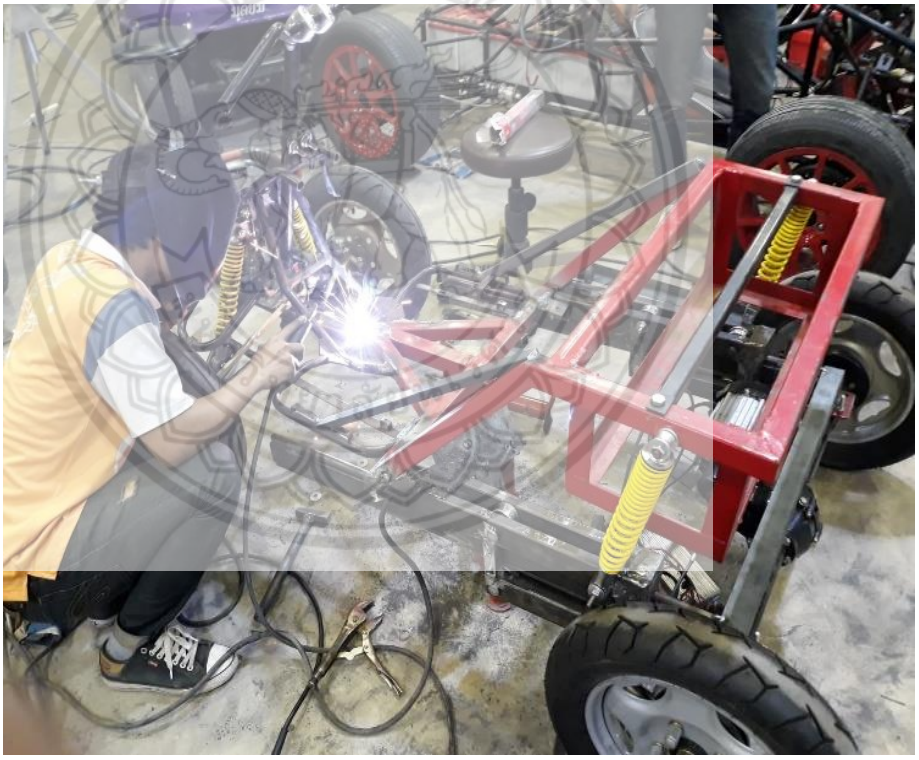
GeMing linear Drive.(2556).**linear Actuator** สืบค้นเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2562 , จาก http://th.micro-linearactuator.com

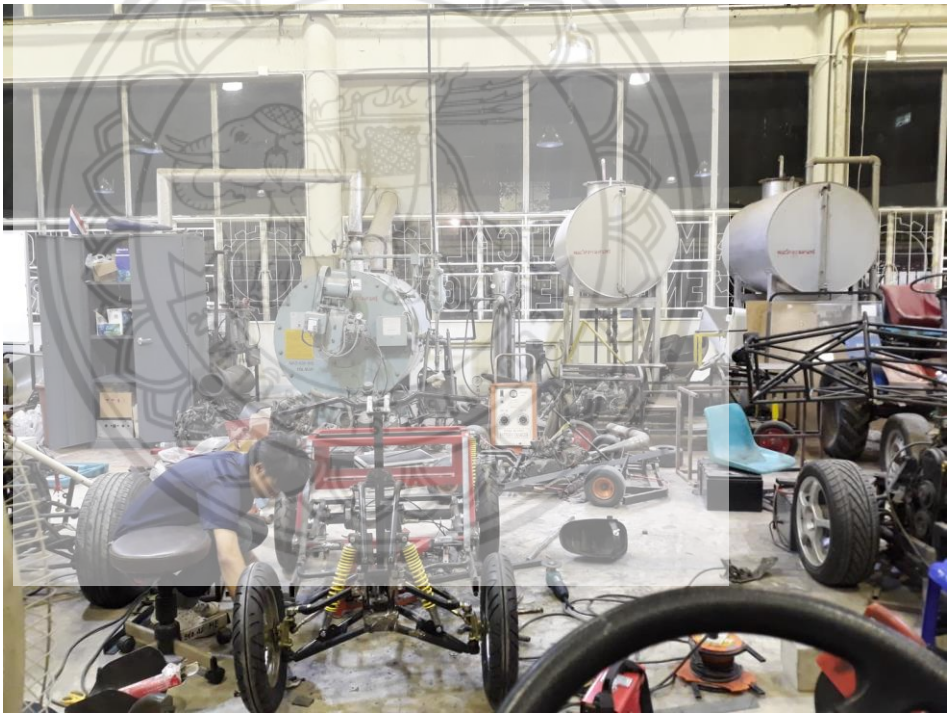
ภาคผนวก ก

รูประหว่างการดำเนินงาน



YSS





BRIDE

ภาคผนวก ข

รูประหว่างทำการทดสอบ

HASON