



การศึกษาค้นคว้ารถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงและพัฒนา  
Study of Electric Golf Cart for the purpose of improvement  
and development.

นายทีปกร สุริยะคำวงศ์	รหัสสนិត 60361743
นายยศกร โตแทนสมบัติ	รหัสสนិត 60363808
นายสุบรรณ คำโสภา	รหัสสนិត 60365291

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม  
ศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2563



## ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงการ : การศึกษาค้นคว้ารถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงและพัฒนา  
(Study of Electric Golf Cart for the purpose of  
improvement and development)

ผู้ดำเนินโครงการ : นายทีปกร สุริยะคำวงศ์ รหัสสนิสิต 60361743  
นายยศกร โตแทนสมบัติ รหัสสนิสิต 60363808  
นายสุบรรณ คำโสภา รหัสสนิสิต 60365291

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว


สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

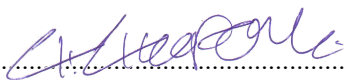
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

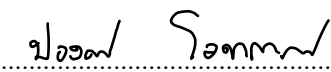
ปีการศึกษา : 2563

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

 ..... ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

 ..... กรรมการ  
(อาจารย์ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

 ..... กรรมการ  
(อาจารย์ปองพันธ์ โทกานนท์)

## บ

หัวข้อโครงการ : การศึกษาค้นคว้ารถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อปรับปรุงและพัฒนา  
ผู้ดำเนินโครงการ : นายทีปกร สุริยะคำวงศ์ รหัสสนิสิต 60361743  
นายยศกร โตแทนสมบัติ รหัสสนิสิต 60363808  
นายสุบรรณ คำโสภา รหัสสนิสิต 60365291  
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว  
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา : 2563

### บทคัดย่อ

การซ่อมบำรุงรักษาและดูแลรถกอล์ฟไฟฟ้า เป็นการบำรุงรักษาและปรับปรุงพัฒนารถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ทั้งด้านการออกแบบและจัดระเบียบของรถกอล์ฟไฟฟ้ารวมถึงการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อนำมาเป็นความรู้ในการปรับปรุงและพัฒนา ซึ่งมีการจัดระเบียบของการวางแบตเตอรี่ใหม่รวมถึงระบบสายไฟและกล่องควบคุมเพื่อให้มีความเป็นระเบียบจากเดิมและมีการออกแบบตัวรถใหม่แบบเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Solid Work และสร้างส่วนของตัวรถใหม่โดยใช้แผ่นเหล็กหนา 1.2 มิลลิเมตร เป็นวัสดุ ซึ่งใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่มีภายในอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกลเป็นหลักในการจัดทำโครงการรวมถึงใช้พื้นที่ในมหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นสถานที่ทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้า

จากการทดสอบใช้งานรถกอล์ฟไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่ารถกอล์ฟไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ระยะทางสูงสุด 6.836 กิโลเมตรต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง ที่ความเร็วเฉลี่ยในการขับที่ 13.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง 7 ชั่วโมง มีระยะเบรกที่สั้นที่สุดที่ความเร็ว 10, 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงอยู่ที่ 1.77, 2.48, 4.82 เมตร ตามลำดับ มีรัศมีความโค้งแคบที่สุดที่สามารถเลี้ยวได้ขณะความเร็ว 10, 15, 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงอยู่ที่ 4.03, 4.24 และ 5.35 เมตร ตามลำดับ

**Project Title** : Study of Electric Golf Cart for the purpose improvement and development

**Name** : Mr.Teepakorn Suriyakhamwong Code 60361743  
 Mr. Yodsakon Totansombat Code 60363808  
 Mr. Suban Comsopa Code 60365291

**Project Advisor** : Assist.professor Dr. Ananchai Ukaew

**Department** : Mechanical Engineering

**Academic** : 2020

---

**Abstract**

This project for maintaining and caring for electric golf carts. It is the maintenance and improvement of electric golf carts in order to achieve knowledge of electric golf cart design and organization Including study of theories related to electric golf carts to be used as knowledge for improvement and development. The new battery was reorganized including the wiring and control box to keep the original tidy and the new car body was redesigned with the Solid Work program and rebuilt the car body using thick steel plates 1.2mm as material. Use of equipment and tools in the Mechanical Engineering laboratory mainly in project, including using the area in Naresuan University as a testing place for electric golf carts.

From the testing of electric golf carts within Naresuan University, it was found that the electric golf cart can run a maximum distance of 6.836 kilometers per charge, an average driving speed of 13.6 kilometers per hour. It took 7 hours for one electric charge and had the shortest braking distance at speeds of 10, 15 and 20 km/hr at 1.77, 2.48, 4.82 meters respectively. The narrowest turning radius at speeds of 10, 15, 20 km/hr was 4.03, 4.24 and 5.35 m respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงาน ต้อง ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษาและ ชี้แนะแนวทางการแก้ไข ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการ ตลอดจนติดตาม ประเมินผลการดำเนินโครงการมาโดย ตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่าง สูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมา จนถึง ปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจ จนกระทั่งโครงการนี้เสร็จ สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้ดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ นายชัยชัย อินเขียน และพีๆนิสิตป.โทที่ช่วยสร้างและจัดหาอุปกรณ์สำคัญ ของรถฟอร์ มูล่าไฟฟ้าหลายชิ้น

ขอขอบพระคุณบุคลากรและเพื่อนๆทุกคนสำหรับคำปรึกษา แนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ ในการ ดำเนินโครงการนี้

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ มีส่วน ร่วมในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงาน ต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินงาน  
ทีปกร สุริยะคำวงศ์  
ยศกร โต้แทนสมบัติ  
สุบรรณ คำโสภา

เมษายน 2564

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ญ
ลำดับสัญลักษณ์ (การหาจุดศูนย์กลางมวล).....	ฐ
บทที่1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	3
บทที่2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์.....	4
2.1.1 แรงต้านการเคลื่อนที่.....	4

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า .....	9
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง .....	11
2.3 ระบบการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า.....	16
2.3.1 ระบบพลังงาน (Power system) .....	16
2.3.2 ระบบควบคุม (Controller system) .....	16
2.3.3 ระบบขับเคลื่อน (Driving system).....	17
2.3.4 ระบบการชาร์จพลังงาน (Charging system).....	17
2.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้า .....	17
2.4.1 แรงดันไฟฟ้าแต่ละชนิดของแบตเตอรี่ .....	18
2.4.2 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid) .....	18
2.4.3 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบการคายประจุสูง (Deep cycle) .....	18
2.4.4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.....	19
2.4.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส .....	19
2.5 การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก.....	23
2.6 การหาจุดศูนย์กลางมวล .....	25
2.6.1 การทรงตัวในทางตรงของรถ.....	27
2.7 การเข้าโค้งบนโค้งราบ .....	29
บทที่3 วิธีการดำเนินงาน .....	30
3.1 การออกแบบและการจัดระเบียบพื้นที่ของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 การออกแบบและสร้างโมเดลชิ้นส่วนเสริม.....	31
3.1.2 การออกแบบการจัดระเบียบของแบตเตอรี่รถกอล์ฟไฟฟ้า.....	34
3.1.3 การออกแบบการจัดระเบียบของสายไฟและอุปกรณ์ควบคุม.....	35
3.2 การหาจุดศูนย์กลางมวลของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	37
3.3 การคำนวณหาความเร่งสูงสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้าขณะออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง.....	39
3.4 การคำนวณระยะทางในการเบรก.....	39
3.5 การคำนวณหารัศมีวงเลี้ยวบนถนนราบ.....	41
3.6 การคำนวณพื้นที่ในการใช้งานหลังจากทำการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	42
3.7 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์.....	43
3.8 วิธีการทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	45
3.8.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง.....	45
3.8.2 การทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	46
3.8.3 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ.....	47
3.8.4 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยว.....	49
3.8.5 การทดสอบหาจุดศูนย์กลางถ่วงของรถ (CG).....	50
บทที่4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	53
4.1 ผลการทดลอง.....	53
4.1.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง.....	53
4.1.2 การทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	54
4.1.3 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ.....	55



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.4 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยว.....	55
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	56
4.2.1 วิเคราะห์ระยะทางสูงสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้า ต่อการประจุไฟหนึ่งครั้ง .....	56
4.2.2 วิเคราะห์อัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	57
4.2.3 วิเคราะห์ระยะทางในการเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	58
4.2.4 วิเคราะห์รัศมีวงเลี้ยวของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	59
บทที่5 สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ .....	61
5.1 สรุปผลโครงการ.....	61
5.1.1 สรุปผลการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการใช้งาน .....	61
5.1.2 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	61
5.1.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก.....	65
การออกแบบและปรับปรุงพัฒนารถกอล์ฟไฟฟ้า.....	65
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน .....	2
2.1 ข้อมูลจำเพาะของยานยนต์ประเภทต่างๆ.....	6
2.2 เปรียบเทียบแบตเตอรี่ตะกั่วกรด กับ LiFePO4.....	21
2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานสถิต ( $\mu_s$ )และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ( $\mu_k$ ).....	24
2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ในการคำนวณเมื่อมีการไถล .....	24
4.1 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาระยะทางสูงสุดในการขับขี่ต่อการประจุไฟหนึ่งครั้ง.....	54
4.2 ผลการทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	54
4.3 ผลการทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ.....	55
4.4 ผลการทดสอบบรัคมีงเฉลี่ยที่ความเร็วต่างๆ.....	56



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แรงขับเคลื่อนที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนในขณะที่ รถยนต์มีการเคลื่อนที่กับแรงต้านทั้งหมด.....	5
2.2 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรูปทรงต่างๆ .....	8
2.3 แรงต้านทางขึ้น.....	9
2.4 Performance curve-Torque-Speed.....	10
2.5 Classification of electric motor.....	11
2.6 Brushed DC Motor Construction.....	11
2.7 Brushed DC Motor Main Components .....	12
2.8 Brushed DC Motor Rotor.....	12
2.9 Series wound motor .....	13
2.10 Construction of Brushless DC Motor .....	14
2.11 Construction of Stator Brushless DC Motor.....	14
2.12 Hall Sensors on BLDC.....	15
2.13 Brushless DC Motor.....	15
2.14 การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า .....	16
2.15 โครงสร้างอย่างง่ายของแบตเตอรี่.....	17
2.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ตะกั่วกรดกับแบตเตอรี่ Deep cycle .....	18
2.17 แสดง State of Charge .....	19
2.18 การจ่ายแรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มา .....	20
2.19 แรงกระทำกับรถในการเบรก.....	23
2.20 การหาจุดศูนย์กลางมวล.....	26
2.21 แสดงการเปรียบเทียบยานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อกว้างและมีจุดศูนย์ถ่วงต่ำ จะมีการทรงตัวดีกว่ายานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อแคบและมีจุดศูนย์ถ่วงสูง .....	27

## สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 เมื่อยานยนต์ทรงตัวอยู่ในตำแหน่งมุมเอียงสูงสุด .....	28
2.23 แรงกระทำต่อรถในขณะเลี้ยวบนถนนโค้งราบ .....	29
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน .....	30
3.2 การออกแบบชิ้นส่วนโมเดล รถกอล์ฟไฟฟ้า .....	31
3.3 สภาพเดิมของรถไฟฟ้าหลังจากทำการจัดระเบียบสายไฟและระบบควบคุมแล้ว .....	32
3.4 การประกอบชิ้นส่วน .....	32
3.5 ขั้นตอนการประกอบชิ้นรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	33
3.6 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	33
3.7 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	34
3.8 การวางแบตเตอรี่แบบเดิมของรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	35
3.9 การวางแบตเตอรี่แบบใหม่ .....	35
3.10 ภาพแสดงตำแหน่งการวางชุดอุปกรณ์ควบคุมจุดเดิม .....	36
3.11 ภาพแสดงการย้ายตำแหน่งของชุดควบคุม .....	36
3.12 ประกอบการคำนวณหา CG ในแนวแกน X .....	37
3.13 ประกอบการหา CG ในแนวแกน Y .....	38
3.14 การเปลี่ยนแปลงความยาวของพื้นที่ใช้งานหลังจากทำการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	42
3.15 เหล็กแผ่นดำ ( SS400 ) ขนาด 4x8 ฟุต หนา 1.4 มิลลิเมตร .....	43
3.16 สายไฟ .....	43
3.17 ท่อหุ้มสายไฟ .....	44
3.18 น็อต .....	44
3.19 สีสเปรย์ .....	44
3.20 GPS Lap Time LT-Q6000 .....	45
3.21 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง .....	46

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 การทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า .....	47
3.23 จุดเริ่มเบรก .....	48
3.24 การวัดระยะเบรกจากล้อหน้ากับจุดเริ่มเบรก.....	48
3.25 การทดสอบเบรคมีวงเลี้ยว .....	49
3.26 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมที่เกิดจากการกลิ้งของล้อ.....	50
3.27 ลิฟท์ยกรถ.....	51
3.28 เครื่องชั่งน้ำหนัก HASON A12E .....	51
3.29 แอปพลิเคชันเครื่องมือวัด.....	52
3.30 การทดสอบเพื่อหาหาจุดศูนย์กลางมวลของรถกอล์ฟไฟฟ้า.....	52
4.1 แผนที่แสดงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร .....	53
4.2 กราฟแสดงวัฏจักรการขับเคลื่อนภายในบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร .....	54
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะในการเบรกกับความเร็ว .....	55
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา .....	57
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา.....	57
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเบรกกับระยะเบรก .....	58
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเบรคมีวงเลี้ยว .....	59

## ลำดับสัญลักษณ์ (การหาจุดศูนย์กลางมวล)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$x$	ระยะจุด CG จากเพลาล้อในแนวแกน X	cm
$y$	ระยะจุด CG จากเพลาล้อในแนวแกน Y	cm
$F$	น้ำหนักที่ซิ่งได้ของแต่ละล้อ	kg
$W$	น้ำหนักรวมของรถ	kg
$W_f$	น้ำหนักส่วนเพลาหน้า	kg
$W_r$	น้ำหนักส่วนเพลาหลัง	kg
$b$	ระยะเพลาล้อหน้าถึงเพลาล้อหลัง	cm



## ลำดับสัญลักษณ์ (การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$F$	แรงเสียดทานการเบรก	N
$m_R$	มวลที่กดลงบนล้อที่ทำการเบรก	kg
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$m/s^2$
$m_t$	มวลทั้งหมดของรถ	kg
$a$	ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก	$m/s^2$
$s$	ระยะทางในการเบรก	m
$u$	ความเร็วรถเมื่อรถเริ่มทำการเบรก	m/s
$v$	ความเร็วเมื่อรถหยุดนิ่ง	m/s
$\mu_k$	สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน	

## ตม

### ลำดับสัญลักษณ์ (แรงต้านการเคลื่อนที่)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$F_r$	แรงต้านการหมุนของล้อ	N
$f_r$	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	
$m$	มวลของรถ	kg
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$m/s^2$
$\theta$	มุมความลาดเอียงของทางชันและพื้นถนน	
$F_d$	แรงต้านอากาศ	N
$\rho$	ความหนาแน่นของอากาศ	$kg/m^3$
$A$	พื้นที่หน้าตัดรถ	$m^2$
$C_d$	สัมประสิทธิ์ความต้านทานอากาศ	
$V$	ความเร็วของรถ	m/s
$F_{ct}$	แรงต้านทางชัน	N



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากปัจจุบันรถกอล์ฟไฟฟ้า นั้นใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ สำหรับทำงานและการขับเคลื่อนรถ เป็นพลังงานที่สะอาดและไม่ส่งผลเสียต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานทางเลือกใหม่ในอนาคต ซึ่งในปัจจุบันรถกอล์ฟไฟฟ้า นั้นมีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยนิสิต นักวิจัย และอาจารย์ภายในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล แต่ทั้งนี้การใช้งานรถกอล์ฟและการพัฒนาระบบต่างๆ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพและซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้เกิดความคิดที่จะรวมทีมเพื่อทำการศึกษาค้นคว้ารายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างรถกอล์ฟไฟฟ้าและทำการซ่อมบำรุงเพื่อทำให้เกิดองค์ความรู้และประสบการณ์ในการทำงานจริง และนำข้อมูลจากการลงมือปฏิบัติและค้นคว้ามาประยุกต์ใช้และพัฒนาระบบไฟฟ้าในอุตสาหกรรมยานยนต์ได้ในอนาคต

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาหลักการทำงานและอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ในรถกอล์ฟ
- 2) เพื่อศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของระบบไฟฟ้าที่ใช้ในรถกอล์ฟ
- 3) เพื่อฝึกฝนประสบการณ์ในการทำงานซ่อมบำรุงและพัฒนารถกอล์ฟไฟฟ้า
- 4) เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการใช้งานของรถกอล์ฟไฟฟ้า

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาส่วนประกอบและระบบการทำงานต่างๆ ของรถกอล์ฟไฟฟ้า
- 2) ศึกษาข้อดีและข้อเสียของส่วนประกอบและระบบการทำงาน
- 3) นำข้อมูลข้อดีข้อเสียของส่วนประกอบและระบบการทำงานมาทำการปรับแก้ไขและพัฒนาเพื่อให้ได้รถกอล์ฟไฟฟ้าที่ดีที่สุด
- 4) นำข้อมูลที่ได้มาทำการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้า เพื่อเพิ่มพื้นที่ใช้งานของรถกอล์ฟไฟฟ้า

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2563						2564		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง									
2.ศึกษาหลักการทำงานของส่วนประกอบรถกอล์ฟไฟฟ้า และชิ้นส่วนที่สึกหรอ									
3.วางแผนและออกแบบการปรับปรุง Body ของรถกอล์ฟไฟฟ้า									
4. วางแผนและออกแบบการจัดระเบียบของแบตเตอรี่และระบบวงจรของรถกอล์ฟไฟฟ้า									
5. จัดหาและสั่งซื้อวัสดุอุปกรณ์									

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน(ต่อ)

6. บำรุงซ่อมแซมและปรับปรุงพัฒนารถ กอล์ฟไฟฟ้า									
7. วิเคราะห์และสรุปจากการศึกษา									
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับความรู้หลักการทำงานและอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าในรถกอล์ฟ
- 2) ได้รับความรู้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของระบบไฟฟ้าที่ใช้ในรถกอล์ฟ
- 3) นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและบำรุงไปพัฒนาประสิทธิภาพของรถกอล์ฟไฟฟ้าได้
- 4) สามารถปรับปรุงพัฒนาและเพิ่มพื้นที่ใช้งานในรถกอล์ฟไฟฟ้าได้

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

เหล็กแผ่นดำ หนา 1.2 มม. ฟันขาว จำนวน 2 แผ่น รวมค่าขนส่ง	1,778 บาท
ชิ้นส่วนซ่อมบำรุงและเครื่องมือสำหรับรถกอล์ฟไฟฟ้า	308 บาท
<b>รวม</b>	<b>2,086 บาท</b>

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์

การเคลื่อนที่ของรถยนต์นั้นจำเป็นต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนที่มาจากเครื่องยนต์ โดยเครื่องยนต์จะถ่ายทอดการหมุนของเครื่องยนต์ไปยังล้อขับเคลื่อนเพื่อให้เกิดแรงขับเคลื่อน ให้เคลื่อนที่ไปได้

แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างล้อรถกับพื้นถนนซึ่งทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อนำแรงขับเคลื่อนทั้งหมดมาพิจารณา จะได้เป็นกำลังขับเคลื่อนซึ่งเป็นพื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์ได้ดังนี้

##### 2.1.1 แรงต้านการเคลื่อนที่

รถยนต์จะเกิดการเคลื่อนที่ได้ต้องอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์และส่งผ่านระบบถ่ายทอดกำลังมาจนถึงล้อขับเคลื่อน โดยอาศัยความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นผิวถนนทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนในขณะที่ยานยนต์กำลังวิ่ง การเคลื่อนที่ขึ้น ในขณะเดียวกันกับที่รถยนต์เกิดการเคลื่อนที่จะเกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ขึ้นด้วย ซึ่งจะเกิดแรงต้านในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงขับเคลื่อน เช่น ถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ ด้วยอัตราเร็วคงที่ที่ 90 km/h อาศัยกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันจะได้ว่า

$$\text{แรงขับเคลื่อน} = \text{แรงต้านทั้งหมด} \quad (2.1)$$

กล่าวคือ วัตถุจะรักษาสภาพอยู่นิ่งหรือสภาวะการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง นอกจากมีแรงลัพธ์ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ คือ ถ้าวัตถุอยู่นิ่งก็ยังคงอยู่นิ่งเหมือนเดิมหรือถ้าวัตถุ เกิดการเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ความเร็วคงที่ หรือความเร่งจะเป็นศูนย์ ซึ่งจะเรียกว่า วัตถุ อยู่ในสภาวะสมดุลสถิต (static equilibrium) และอีกกรณีหลังจะเรียกว่า วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลจลน์ (kinetic equilibrium)

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนมีค่ามากกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น หรือมีอัตราเร่ง จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนจะมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมดของการเคลื่อนที่อีกครั้ง แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะเคลื่อนที่ด้วยความหน่วงหรือมี อัตราเร็วลดลง ในขณะที่อัตราเร็วลดลงนั้น แรงต้านทั้งหมดก็จะลดลงตามไปด้วย จนในที่สุดแรง ขับเคลื่อนจะเท่ากับแรงต้านทั้งหมดอีกครั้งและรถยนต์จะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ต่อไป



รูปที่ 2.1 แรงขับเคลื่อนที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนในขณะที่ยานยนต์มีการเคลื่อนที่กับแรงต้านทั้งหมด (ที่มา <http://www.auto2drive.com>)

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะมีบางส่วนสูญเสียไปในระบบถ่ายเทกำลัง เรียกว่าการสูญเสียในการถ่ายเท (transmission loss) กำลังส่วนที่เหลือ ที่ล้อขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านต่างๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านเหล่านั้นได้แก่

1. แรงต้านการหมุนของล้อ (rolling resistance)
2. แรงต้านอากาศ (air resistance)
3. แรงต้านทางชัน (gradient resistance)

นอกจากนี้ ในขณะเร่งเครื่องยนต์กำลังบางส่วนต้องสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเฉื่อยของรถยนต์ เรียกว่าแรงต้านความเฉื่อย (inertia resistance) แต่ในกรณีนี้จะไม่กล่าวถึงเนื่องจากความเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้ามีค่าน้อย ไม่ต้องการอัตราเร่งมาก

### 1) แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)

แรงต้านการหมุนของล้อรถนี้จัดว่าเป็นแรงต้านทานบนถนนอย่างหนึ่ง แรงต้านทานการหมุนนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยหลายอย่าง ตัวอย่างเช่น ลักษณะโครงสร้างของขนาดของยาง (ยางกลวงหรือยาง ตัน)

ลักษณะของพื้นผิวจราจร ลักษณะของดอกยางและสภาพของดอกยาง ความดันของลมในยาง ความเร็วของตัวรถ ความฝืดลูกปืนล้อ น้ำหนักของรถ โดยแรงต้านการหมุนของล้อนี้หาได้จาก

$$F_r = f_r w_r = mg \cos \theta \quad (2.2)$$

โดยที่  $F_r$  คือ แรงต้านการหมุนของล้อ (N)

$f_r$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

$m$  คือ มวลของรถ (Kg)

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $m / s^2$ )

$\theta$  คือ มุมความลาดเอียงของทางขึ้น

จะเห็นได้ว่า แรงต้านการหมุนของล้อมีผลเนื่องมาจากล้อได้รับแรงกระทำซึ่งเป็นผลมาจากความขรุขระของพื้นผิวถนนและหน้ายาง เป็นต้น และจากเหตุนี้แรงต้านทานจะขึ้นอยู่กับสภาพของ ถนน น้ำหนักรถ และในกรณีนี้มีการคำนึงถึงความลาดชันของพื้นถนนด้วย

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจำเพาะของยานยนต์ประเภทต่างๆ

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 (เช่นโตโยต้า)	1,200	0.30	1.9	0.012
รถยนต์ส่วนบุคคลขนาดกลาง (เช่นแคมรี่)	1,600	0.32	2.2	0.013
รถ SUV ขนาดกลาง (เช่นฟอร์ดจูนเนอร์)	2,000	0.42	2.8	0.015
รถโดยสารในเมือง (30 ที่นั่ง)	13,300	0.9	8	0.009

ที่มา : หนังสือวิศวกรรมยานยนต์ ,ธีระยุทธ สุวรรณประณีป

จากตารางที่ 2.1 จะได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อจะขึ้นอยู่กับประเภทของยานยนต์ โดยที่รถกอล์ฟไฟฟ้าที่ผู้จัดทำได้ปรับปรุงและพัฒนา นั้น จะประกอบด้วยล้อแม็กซ์จำนวน 4 ล้อ คือ ส่วนของล้อหน้าและล้อหลัง ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ เท่ากับ 0.012

## 2) แรงต้านอากาศ (Air Resistance)

รถทุกชนิดเมื่อวิ่งบนถนนนั้น เมื่อสัมผัสกับพื้นถนนในขณะที่ล้อมีการหมุน เพื่อวิ่งไปข้างหน้า จะเกิดแรงต้านทานการหมุนกลับขึ้น หรือแรงเสียดทาน และอีกอย่างคือแรงต้านทานจากตัวรถ เนื่องจากรถต้องวิ่งแหวกอากาศออกไปซึ่งที่ความเร็วต่ำ แรงต้านทานจากลมนั้นจะมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถไปเปรียบเทียบกับแรงต้านทานการหมุนได้ แต่ถ้าหากวิ่งด้วยความเร็วสูงๆ แรงต้านทานจากลมจะมีผลต่อการขับเคลื่อนอย่างยิ่ง แรงต้านทานภายนอกจากตัวถังที่รับลมจะต้องพยายามไม่ให้เกิดการหมุนวน ยิ่งถ้ากระแสอากาศที่ไหลเกิดเป็นเกลียวหมุนขึ้น จะทำให้มีแรงต้านทานมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องออกแบบให้ตัวถังรถยนต์มีลักษณะลู่ลม เพื่อลดแรงต้านทานที่จะเกิดขึ้น โดยจากการ ทดลอง

$$F_d = \frac{1}{2} \rho A C_d V^2 \quad (2.3)$$

โดยที่

- $F_d$  คือ แรงต้านอากาศ (N)
- $\rho$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg / m^3$ )
- $A$  คือ พื้นที่หน้าตัดรถ ( $m^2$ )
- $C_d$  คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานอากาศ (Drag coefficient)
- $V$  คือ ความเร็วของรถ ( $m / s$ )

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

Measured Drag Coefficients

รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรูปทรงต่างๆ

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าแรงต้านอากาศแปรผันกับความเร็วกำลังสอง ซึ่งหมายความว่าความเร็วของตัวรถมีผลต่อแรงต้านอากาศโดยตรง และแรงต้านอากาศยังมีผลเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของตัวรถอีกด้วย และที่สำคัญอีกหนึ่งค่าคือสัมประสิทธิ์ความต้านทาน ซึ่งรถกอล์ฟไฟฟ้า มีพื้นที่หน้าตัดเป็นแบบ Long Cylinder มีค่าเท่ากับ 0.82

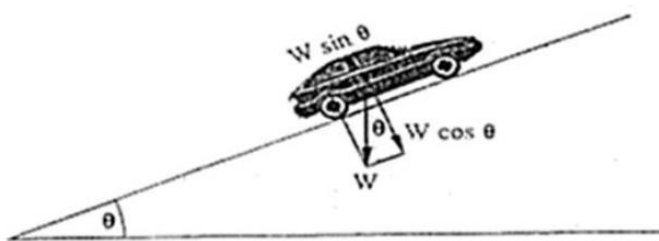
### 3) แรงต้านทางชัน (gradient resistance)

ในขณะที่รถยนต์วิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์บางส่วนต้องถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านทางชัน (gradient resistance) ทำให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักขึ้นมากกว่าการวิ่งบนถนนระดับแต่ในทางกลับกัน ถ้ารถยนต์วิ่งลงทางลาด เครื่องยนต์จะทำงานน้อยลงเพราะมีแรงเสริมจากแรงโน้มถ่วงของโลก

แรงต้านทางชันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

- 1) น้ำหนักของรถยนต์
- 2) ความชันของถนน





รูปที่ 2.3 แรงต้านทางชัน

ที่มา : หนังสือวิศวกรรมยานยนต์ ,ธีระยุทธ สุวรรณประณีป

น้ำหนัก  $W$  ของรถยนต์สามารถแตกออกเป็นสองแนวตามรูปที่ 2.3  $W \sin \theta$  และ  $W \cos \theta$  ซึ่งแรงต้านทางชันเกิดจาก  $W \sin \theta$  คือ รถยนต์จะต้องเพิ่มแรงขับเคลื่อนเพื่อเอาชนะแรง  $W \sin \theta$  ดังนั้น แรงต้านทางชันคือ

$$F_{cl} = mg \sin \theta \quad (2.4)$$

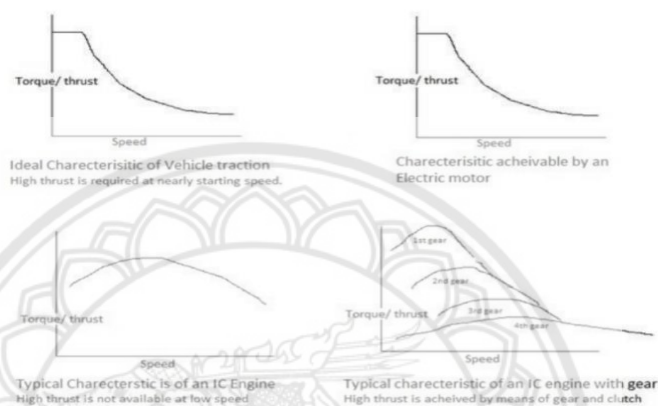
โดยที่  $F_{cl}$  คือ แรงต้านทางชัน (N)  
 $\theta$  คือ มุมความลาดเอียงของพื้นถนน

เมื่อรวมแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน จะได้แรงต้านทั้งหมด ของรถยนต์ในขณะที่กำลังวิ่งขึ้นทางชัน (ถ้ารถยนต์วิ่งบนถนนระดับ แรงต้านทั้งหมดจะมีเพียงแรงต้านการหมุนของล้อและแรงต้านอากาศ)

## 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล สำหรับการนำมาใช้ในระบบขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า หน้าที่หลักของมอเตอร์ขับเคลื่อนคือการสร้างแรงบิดเพื่อใช้เป็นแรงขับเคลื่อน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่รถเบรก เหตุผลสำคัญในการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามาเป็นต้นกำหนดกำลังบนรถยนต์เนื่องจากความสามารถในการ สร้างแรงบิดต่อรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ตอบสนองความต้องการใช้พลังงานของรถยนต์ได้เป็นอย่างดี ดังที่ แสดงไว้ในรูป 2.4 รูป 2.4 บนซ้าย แสดงความต้องการการใช้พลังงานของรถยนต์ในการ

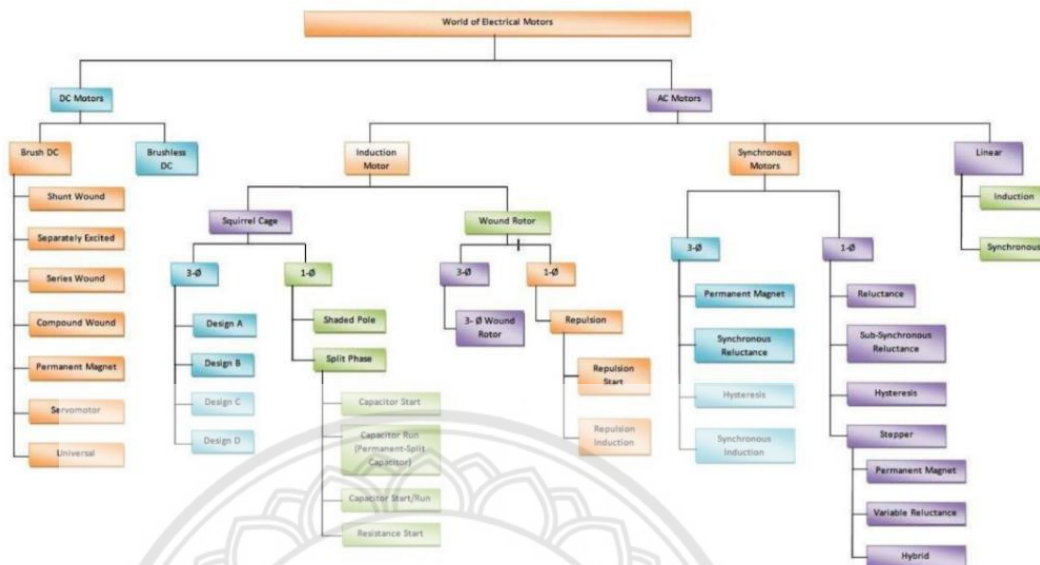
เคลื่อนที่ โดยในรอบความเร็วต่ำมีความต้องการใช้แรงบิดที่สูง จากนั้นจะคงที่จนถึงรอบเครื่องหนึ่ง แล้วแรงบิดที่ต้องการจะลดลง เมื่อ พิจารณาแรงบิดต่อรอบที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสร้างได้ (รูป 2.4 บนขวา) กับแรงบิดที่เครื่องยนต์สามารถให้ได้ ในช่วงรอบเดียวกัน (รูป 2.4 ซ้ายล่าง) พบว่ากราฟของมอเตอร์ไฟฟ้าใกล้เคียงมากกว่า ระบบขับเคลื่อนด้วย เครื่องยนต์จะสามารถตอบสนองความต้องการได้ดีขึ้น เมื่อทำงานร่วมกับชุดเกียร์ (รูป 2.4 ขวาล่าง)



รูปที่ 2.4 Performance curve-Torque-Speed

(ที่มา: Quora)

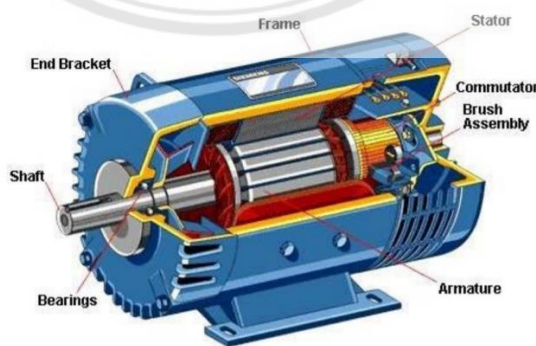
มอเตอร์ไฟฟ้ามีหลากหลายประเภทดังที่แสดงไว้ในรูป 2.5 ในที่นี้จะนำเสนอเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนในรถยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ตามลักษณะกระแสไฟฟ้าที่ มอเตอร์รับมาเพื่อใช้ทำงาน ได้แก่ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และ มอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor)



รูปที่ 2.5 Classification of electric motor  
(ที่มา: Electrical Knowhow)

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่นิยมนำมาใช้เป็น Traction motor ให้กับรถยนต์ไฟฟ้า มี 2 ประเภทได้แก่ Series wound motor และ Brushless DC Motor (BLDC) Series wound motor เป็นมอเตอร์แบบใช้แปรงถ่านชนิดหนึ่ง (DC brush motor) โดยโครงสร้างพื้นฐานดังที่แสดงในรูป 2.6

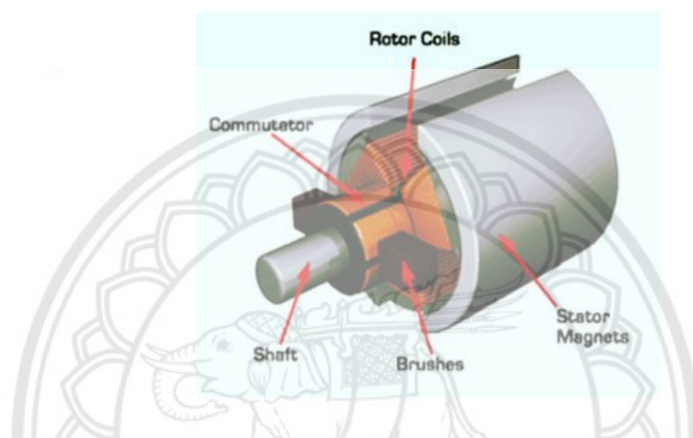


รูปที่ 2.6 Brushed DC Motor Construction

(ที่มา: <http://www.electrical-knowhow.com>)

ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ชนิดนี้จะประกอบไปด้วย stator rotor brushes และ commutator ดังที่แสดงใน รูป 2.6

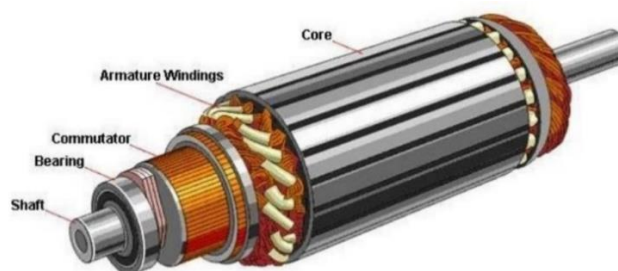
สเตเตอร์จะประกอบด้วย Frame เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาเป็นรูปทรงกระบอก สเตเตอร์จะสร้างสนามแม่เหล็กรอบ โรเตอร์ ด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) หรือแกนแม่เหล็กพันขดลวด (Electromagnetic Windings)



รูปที่ 2.7 Brushed DC Motor Main Components

(ที่มา: IER Services)

โรเตอร์หรือเรียกว่า Armature ดังรูปที่ 2.7 สำหรับมอเตอร์ชนิดนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวาง อยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) บนโรเตอร์จะประกอบไปด้วย แกนเพลลา (Shaft) แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding)



รูปที่ 2.8 Brushed DC Motor Rotor

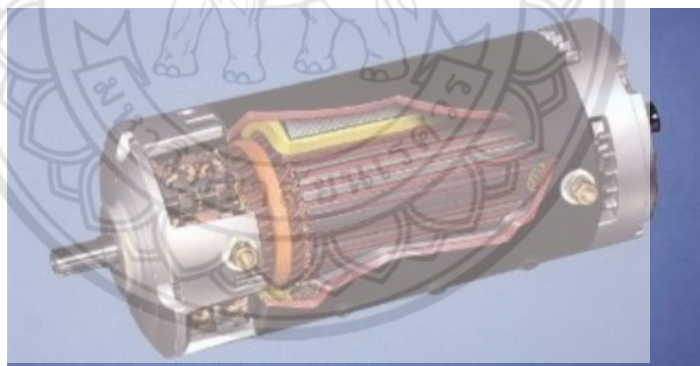
(ที่มา: IER Services)

แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) โดยแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออก แบบเป็นซี่ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่อง สำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์จะอัดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลม ทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes)

Brush ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ ถ่านสัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา

มอเตอร์ชนิดนี้จะต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อกระตุ้นตัวเองให้มีการสับเปลี่ยนตำแหน่งได้ด้วย ตนเอง ซึ่งต้องใช้แปรงถ่าน (Brush) และ Permanent magnet หรือ Electromagnetic Windings การสับเปลี่ยนดังกล่าวจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของโรเตอร์

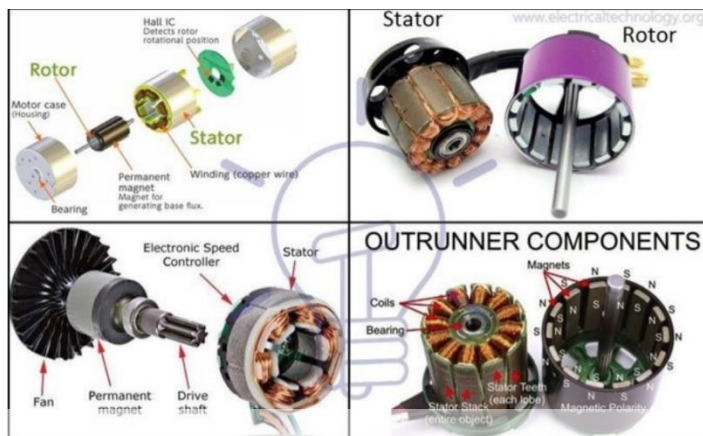
มอเตอร์ประเภทนี้มีราคาถูก ควบคุมการทำงานได้ง่าย หาซื้อได้ง่าย เป็นที่นิยมสำหรับผู้ทำการตัดแปลงรถยนต์ธรรมดาให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้า ข้อด้อยคือ การต้องหมั่นบำรุงรักษา commutator carbon brushes ตัวอย่างของ Series wound motor แสดงในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 Series wound motor

(ที่มา: <http://EVAoS.D.FarTooMuch.Info/emotor.htm>)

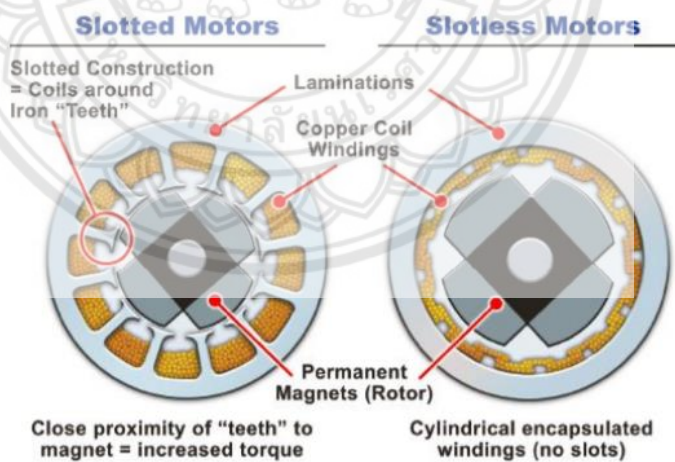
Brushless DC Motor (BLDC) ในมอเตอร์ชนิดนี้ได้มีการนำตัวสับเปลี่ยนกลไกรูปแบบสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกมาใช้แทนที่สวิตช์หมุน งดใช้ Commutator และ Brush ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของการหมุนได้แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 2.10 Construction of Brushless DC Motor

(ที่มา: Electrical Technology)

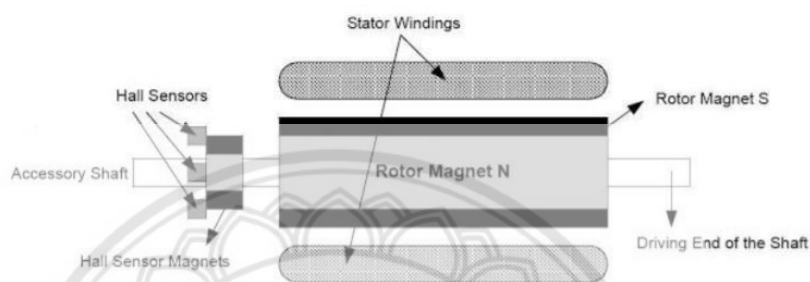
โครงสร้างหลักของ BLDC แสดงไว้ใน รูป 2.10 โดยภายใน สเตเตอร์อาจจะประกอบไปด้วย Stator Teeth ที่ทำจาก Stacked Steel Laminations และพันด้วยขดลวด (Windings) หรือเป็น Slotless Motor ที่ลดการใช้ Teeth ดังที่แสดงในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 Construction of Stator Brushless DC Motor

(ที่มา: Electrical Technology)

โรเตอร์จะประกอบไปด้วย Permanent magnet ทรงกระบอกที่ติดตั้งบน shaft โดยการจัดวางตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กเหนือใต้ มีความแตกต่างกันไปตามชนิดและขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการผลิต นอกจากนี้ BLDC ยังจำเป็นต้องมี Hall sensor เพื่อทำหน้าที่บอกตำแหน่งของ โรเตอร์โดยส่วนใหญ่ BLDC จะประกอบไปด้วย Hall Sensor 3 ชุด ดังที่แสดงในรูป 2.12



รูปที่ 2.12 Hall Sensors on BLDC

(ที่มา: <http://www.electrical-knowhow.com>)

ข้อเด่นของ BLDC คือเสียงเงียบ ประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีขนาดเล็กและตัวมอเตอร์สามารถทำเป็นโครงสร้างปิด ทำให้ไม่มีฝุ่นละอองผ่านเข้าไปได้ ทำให้สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำตลอดอายุการใช้งาน ข้อด้อยคือ ราคาที่สูง และควบคุมได้ยากในช่วงที่กำลังของมอเตอร์สูงมาก มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทนี้ นิยมใช้ในระบบขับเคลื่อนแบบไฮบริด รูป 2.13 แสดงตัวอย่างการติดตั้ง BLDC บนเพลารถยนต์



รูปที่ 2.13 Brushless DC Motor

(ที่มา : [www.uumotor.com/10kw-bldc-motor-for-electric-car.html](http://www.uumotor.com/10kw-bldc-motor-for-electric-car.html))

## 2.3 ระบบการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า

รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าจะเก็บอยู่ในแบตเตอรี่หรือ อุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าแบบอื่นๆ และด้วยข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ให้แรงบิดได้ทันทีทำให้รถพลังงานไฟฟ้ามี อัตราเร่งที่เรียบและรวดเร็ว โดยจะมีชุดอุปกรณ์หลักคือ ตัวแบตเตอรี่ที่มีความจุพลังงานไฟฟ้าสูงซึ่งเก็บไว้ในรถ และตัวมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ส่วนมากเรื่องของระยะเวลาและระยะทางของรถไฟฟ้าจะมากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับขนาดความจุของแบตเตอรี่เป็นสำคัญ



รูปที่ 2.14 การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า

(ที่มา : <https://xn--12c5b2anm1cwo.com/2014-03-06-09-28-49>)

### 2.3.1 ระบบพลังงาน (Power system)

รถไฟฟ้าจะเก็บไฟฟ้าในแบตเตอรี่และนำมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เมื่อต้องการ โดยมีเครื่องควบคุมการทำงานของชุดแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น เซลล์เชื้อเพลิง “Fuel cell” ซึ่งได้รับการพัฒนาสำหรับรถไฟฟ้าซึ่งมีหน้าที่สร้างไฟฟ้าผ่านกระบวนการทางเคมี ขณะขับเคลื่อนตามความต้องการของรถไฟฟ้าชนิดนั้นๆ

### 2.3.2 ระบบควบคุม (Controller system)

การไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าจากที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ไปยังมอเตอร์จะถูกกำหนดโดยตัวควบคุมเครื่อง (motor controller) ซึ่งเป็นเสมือน “สมอง” ของรถและเป็นองค์ประกอบหลักของระบบ



พลังงาน ถ้ารถไฟฟ้ามีระบบมอเตอร์แบบกระแสสลับ ระบบพลังงานจะมีส่วนที่เป็นตัวแปลงกลับ (inverter) เพื่อเปลี่ยนกระแสไฟแบบ DC จากแบตเตอรี่เป็นกระแส AC สำหรับมอเตอร์

### 2.3.3 ระบบขับเคลื่อน (Driving system)

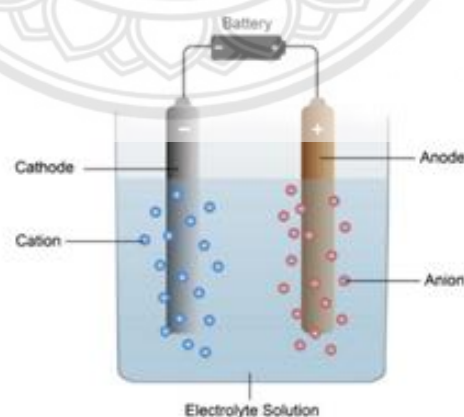
ส่วนนี้เป็นระบบส่งกำลังของรถไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ซึ่งถูกส่งไปยังล้อผ่านเพลา เพื่อขับเคลื่อนยานพาหนะ

### 2.3.4 ระบบการชาร์จพลังงาน (Charging system)

เครื่องชาร์จเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง เพื่อป้อนให้กับแบตเตอรี่ในการเก็บพลังงาน หลังจากได้ใช้ไปจนหมด รถไฟฟ้าบางประเภทมีเครื่องประจุแบตเตอรี่อยู่บนตัวรถ ขณะที่รถไฟฟ้าบางประเภทใช้เครื่องชาร์จติดตั้งภายนอกและทำการชาร์จในบริเวณที่จัดไว้ กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปยังรถโดยผ่านเครื่องชาร์จ

## 2.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้า

โดยพื้นฐานแล้ว แบตเตอรี่เป็นชื่อรวมของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่แปรรูปมาจากพลังงานเคมีที่เก็บสะสมไว้ในตัว โดยประกอบด้วยขั้วบวก ขั้วลบ สารอิเล็กโทรไลต์และแผ่นกั้นขั้วไฟฟ้า โดยขั้วลบ (negative electrode) หรือที่เรียกว่าแอโนด (anode) คือบริเวณที่คายอิเล็กตรอนออกสู่วงจรไฟฟ้าที่มาเชื่อมต่อ ส่วนขั้วบวก (positive electrode) หรือที่เรียกว่าแคโทด (cathode) คือบริเวณที่รับการเข้ามาของอิเล็กตรอนจากการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าจากภายนอก



รูปที่ 2.15 โครงสร้างอย่างง่ายของแบตเตอรี่

### 2.4.1 แรงดันไฟฟ้าแต่ละชนิดของแบตเตอรี่

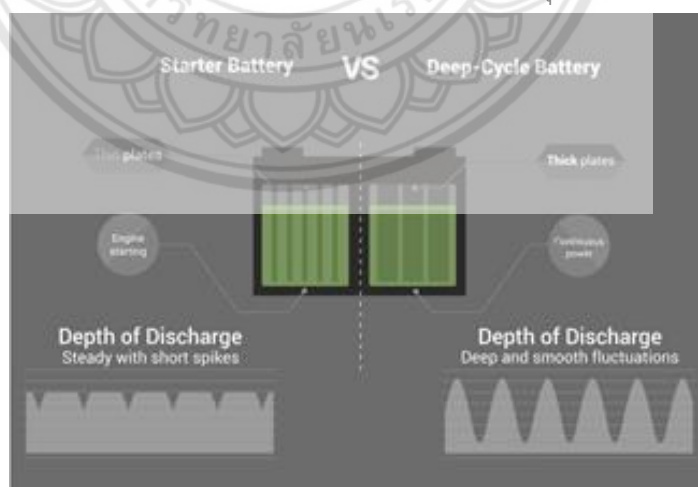
พฤติกรรมพลวัตของแบตเตอรี่จะมีผลกระทบอย่างมากกับประสิทธิภาพของรถยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ทั่วไปมี 3 ประเภทคือ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid), แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบการคายประจุสูง (Deep cycle) และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส แต่ละประเภทจะมีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (E) ของแบตเตอรี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถคำนวณการเสื่อมของแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้

### 2.4.2 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid)

แบตเตอรี่ที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าคือแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในและเป็นที่รู้จักกันดี อย่างไรก็ตาม สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจะใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ทนต่อการคายประจุได้มากขึ้น เซลล์ไฟฟ้าจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว

### 2.4.3 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบการคายประจุสูง (Deep cycle)

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดในเวลาต่อมายังมีการพัฒนาให้คายประจุได้มากกว่าแบบธรรมดา ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานมากขึ้น โดยการเพิ่มขนาดของแผ่นตะกั่วให้ความหนาขึ้นที่ขั้วบวกและลดพื้นที่ผิวสัมผัสตะกั่วกับสารละลายลง จึงทำให้เกิดการชาร์จและคายประจุใช้เวลานานกว่า



รูปที่ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ตะกั่วกรดกับแบตเตอรี่ Deep cycle

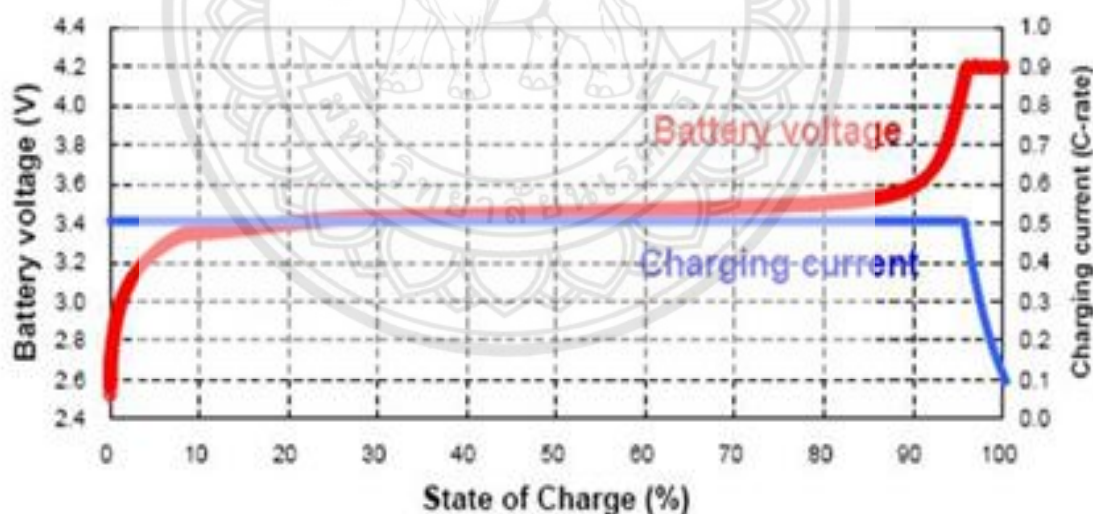
ที่มา : <https://no.co/blog/difference-between-starter-and-deep-cycle-batteries>

#### 2.4.4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ทำให้อุปกรณ์ที่เคยมีขนาดใหญ่ เทอะทะ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาสะดวก รวมถึงมีระยะเวลาใช้งานก่อนจะประจุไฟใหม่อีกยาวนานขึ้นมาก แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมรถยนต์ใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น รถยนต์ไฮบริด รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด และรถยนต์ไฟฟ้า และยังมีความพยายามนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านอวกาศ ด้านการทหาร ด้านการไฟฟ้า และสาธารณสุข

#### 2.4.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

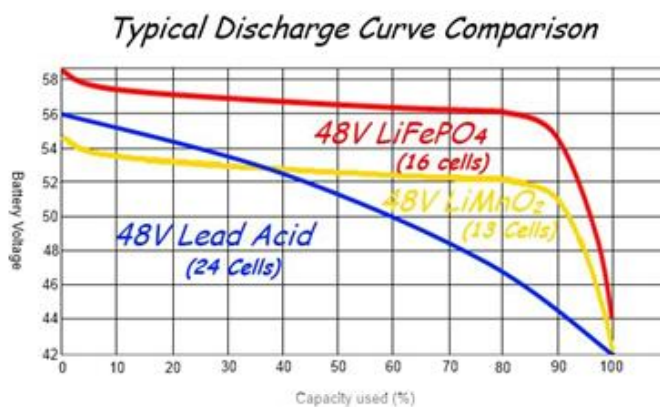
คิดค้นโดย John Goodenough's มหาวิทยาลัย Texas เมื่อปี 1996 และได้พัฒนาเป็นสินค้าออกสู่การตลาดในปี 2004 ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมีโครงสร้างทางเคมี เหมือนกับแบตเตอรี่ลิเทียมทั่วไป แต่สามารถประจุไฟได้ในแบบแรงดันคงที่ หมายความว่าผู้ใช้งานสามารถประจุไฟใหม่ด้วยอะแดปเตอร์ไฟตรง เหมือนกับแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด และใช้ระยะเวลาในการประจุไฟใหม่น้อยกว่าแบตเตอรี่แบบเก่า



รูปที่ 2.17 แสดง State of Charge

ที่มา : <http://blog.ebikr.com/posts/1975>

รูปด้านล่างแสดงกราฟการจ่ายแรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดปิดผนึกทั่วไป สังเกตว่า  $\text{LiFePO}_4$  ไม่สูญเสียแรงดันไฟฟ้าจนกว่าจะถึง 90% ของกำลังการผลิต



รูปที่ 2.18 การจ่ายแรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มา

<http://th.smartnewenergy.com/info/sth-you-need-to-know-about-lifepo4-batteries-23930288.html>

#### ข้อดีของ LiFePO<sub>4</sub>

- แรงดันไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาคงที่ - จะรักษาเอาท์พุทให้คงที่ตลอดอายุมาก มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ต่ำ
- เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานแบตเตอรี่
- ความหนาแน่นของพลังงานสูง
- มีอายุการใช้งานมากกว่าหนึ่งพันรอบการชาร์จเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ทั่วไปสองสามร้อยก้อน
- อายุการใช้งานที่ยาวนาน

#### ข้อเสีย

- ต้องใช้ที่ชาร์จพิเศษ
- ค่าใช้จ่ายการลงทุนสูงมาก (แต่ถูกชดเชยด้วยอายุการใช้งานที่ยาวนาน)
- ทำงานได้ไม่ดีในอุณหภูมิเย็นจัด

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบแบตเตอรี่ตะกั่วกรด กับ LiFePO4

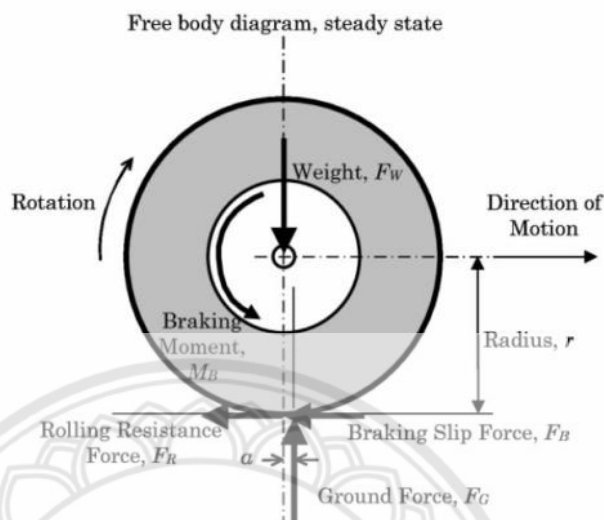
	ตะกั่วกรด	LiFePO4
อายุการใช้งานของวงจร (50% DoD ที่มีกำลังไฟ 80%, อุณหภูมิ	500 ถึง 1300 รอบขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและรุ่น	ได้ถึง 5000 รอบ
สิ่งแวดล้อม 30 องศาเซลเซียส		
อายุการใช้งาน	ปานกลาง (ไม่ดีในอุณหภูมิสูง/ดีเมื่อไม่ค่อยได้ใช้)	ดีเยี่ยม (ไม่เกิด sulfation/ทนต่อความร้อน)
ประสิทธิภาพการปล่อยประจุ	ทั่วไป 60-70% ขึ้นอยู่กับกระแส โดยทั่วไปความจุปกติจะขึ้นอยู่กับการจ่าย 10 ชั่วโมง (C 10)	96% ปล่อยประจุสม่ำเสมอ ความจุปกติจะขึ้นอยู่กับเวลาจ่าย 20 นาที (3C), การจ่าย 1 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น จะให้มากกว่าความจุปกติ 10%
ความทนทานต่ออุณหภูมิ	แย่ – อุณหภูมิที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียสจะทำให้ลดอายุการใช้งาน	ดีเยี่ยม – อุณหภูมิแวดล้อมสูงถึง 45 องศาเซลเซียสจะไม่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเซลล์
เงินลงทุน	ถูกกว่า	แพงกว่าประมาณ 3 เท่า
ค่าใช้จ่ายอายุการใช้งานต่อกิโลวัตต์ ชั่วโมง	2.5 – 6 ขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของแบตเตอรี่	1.5 (โดยประมาณ)
เวลาชาร์จ	โดยปกติไม่ควรน้อยกว่า 5 ชั่วโมง	มาตรฐาน 1 ชั่วโมง ,แบบเร็ว 30 นาที

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบแบตเตอรี่ตะกั่วกรด กับ LiFePO4 (ต่อ)

Gravimetric energy density & Volumetric energy density	แย้	ความสามารถในการเก็บพลังงานในเชิงมวล (Wh/kg) มากกว่า 3-4 เท่า ความสามารถในการเก็บพลังงานในเชิงปริมาตร (Wh/L) มากกว่า 2 เท่า , น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่ที่ต้องการ
การจ่ายกระแส	การคายประจุที่สูงกว่า C10 (10 ชั่วโมง) หรือระดับ 0.1xC ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพอย่างมากและส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งาน	C1 (การจ่าย 1 ชั่วโมง) เป็นมาตรฐานกระแสที่สูงขึ้นยังเป็นที่ยอมรับสูงถึง 3เท่า (3xAh) ต่อเนื่อง โดยไม่มีการสูญเสียประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของเซลล์
Package capacity	การสูญเสียความร้อน 30% (ประสิทธิภาพ 70% ของบรรจุภัณฑ์) หมายความว่าบรรจุภัณฑ์ต้องมีขนาดใหญ่ DoD ที่ใช้ได้จริงสูงสุด 50% ซึ่งต้องใช้บรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอายุการใช้งาน	บรรจุภัณฑ์สามารถมีขนาดแค่ 60% ของบรรจุภัณฑ์ของตะกั่วกรด เนื่องจากประสิทธิภาพ 96% และความสามารถในการปล่อยประจุถึง 80% ซึ่งมีผลน้อยมากในการลดอายุการใช้งาน

ที่มา : [th.smartnewenergy.com](http://th.smartnewenergy.com)

## 2.5 การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก



รูปที่ 2.19 แรงกระทำกับรถในการเบรก

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

จากรูปที่ 2.19 เมื่อรถกระทำการเบรกจะส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานการเบรก  $F$  ซึ่งสามารถหาแรงดังกล่าวได้จากสมการ

$$F = \mu_k m_R g \quad (2.5)$$

และจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$F = m_t a \quad (2.6)$$

นำสมการ (2.5) มาเท่ากับ (2.6)

จะได้

$$\mu_k m_R g = m_t a \quad (2.7)$$

จัดรูปสมการ

$$a = \frac{\mu_k m_R g}{m_t} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\mu_k$  คือ สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน

$m_R$  คือ มวลที่ตกลงบนล้อที่ทำการเบรก มีหน่วยเป็น (kg)

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 มีหน่วยเป็น ( $m/s^2$ )

$m_t$  คือ มวลทั้งหมดของรถ

*a* คือ ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์เสียดทานสถิต ( $\mu_s$ ) และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ( $\mu_k$ )

ผิวสัมผัส	$\mu_s$	$\mu_k$
ไม้กับไม้	0.70	0.40
เหล็กกล้ากับเหล็กกล้า	0.74	0.57
อะลูมิเนียมกับเหล็กกล้า	0.61	0.47
ทองแดงกับเหล็กกล้า	0.53	0.36
ทองเหลืองกับเหล็กกล้า	0.51	0.44
แก้วกับแก้ว	0.94	0.40
ทองแดงกับแก้ว	0.68	0.53
ยางกับคอนกรีต (แห้ง)	1	0.80
ยางกับคอนกรีต (เปียก)	0.30	0.25
ล้อยางกับถนน (แห้ง)	0.90	0.65
ล้อยางกับถนน (เปียก)	0.70	0.55

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

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ในการคำนวณเมื่อมีการไถล



### COEFFICIENT OF FRICTION

The following friction coefficients shall be considered in calculating the sliding friction forces :

Concrete to Soil / Rock	0.30
Concrete to Steel	0.45
Steel to Steel	0.30
Steel to Teflon Plate	0.10
Brick Masonry on moist clay	0.33
Brick Masonry on dry clay	0.50
Brick Masonry on sand	0.40
Brick Masonry on gravel	0.60
Brick Masonry to Brick	0.70
Brick Masonry on rock	0.75
Granite on Granite	0.60
Limestone on Limestone	0.75
Cement Blocks on Cement Blocks	0.65
Cement concrete on dry clay	0.40
Cement concrete on wet clay	0.20
Cement concrete on wet sand	0.40
Cement concrete on dry sand	0.50 - 0.60
Cement concrete on dry gravel	0.50 - 0.60
Cement concrete on dry rock	0.60 - 0.70
Cement concrete on wet rock	0.50
Brick on Brick	0.65
Wood on Wood	0.48

Note: Friction is more on dry surfaces of the same material compared to wet surface.

ที่มา : <https://www.bhumisiam.com/ตารางแสดงค่า-20170214/>

การหาระยะทางในการเบรกหาได้จากสมการการเคลื่อนที่

$$S = \frac{u^2 - v^2}{2a} \quad (2.9)$$

เมื่อ  $S$  คือ ระยะทางในการเบรก

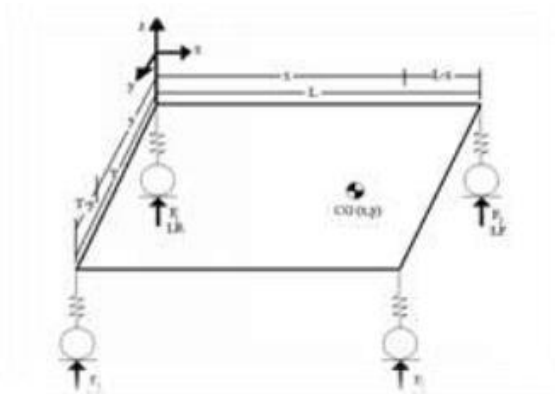
$v$  คือ ความเร็วเมื่อรถหยุดนิ่ง (มีค่า = 0)

$u$  คือ ความเร็วเฉลี่ยเมื่อรถทำการเบรก

$a$  คือ ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก (หาได้จากสมการที่ 2.6)

## 2.6 การหาจุดศูนย์กลางมวล

สำหรับการออกแบบรถอล์ฟไฟฟ้า นั้น จะต้องมีการออกแบบการจัดวางชุดแบตเตอรี่และชุดควบคุมใหม่ทั้งหมดทำให้น้ำหนักโดยรวมจะตกอยู่ที่ล้อด้านหลังทำให้จุดศูนย์กลางมวลของตัวรถเปลี่ยนไป การรักษาสมดุลของรถขณะ ขับเคลื่อนก็ต้องเปลี่ยนไป รวมถึงสมรรถนะในการขับเคลื่อนและการเลี้ยวด้วย ดังนั้น การหาจุดศูนย์กลาง มวลของรถ (CG) หาได้จาก



รูปที่ 2.20 การหาจุดศูนย์กลางมวล

$$\sum M_x = (F_2 + F_3)(L - x) - (F_1 + F_4)x = 0 \quad (2.10)$$

$$\sum M_y = (F_1 + F_2)y - (F_3 + F_4)(T - y) = 0 \quad (2.11)$$

ทำการแก้สมการเพื่อหา  $x$  และ  $y$

$$\begin{aligned} (F_2 + F_3)L - (F_2 + F_3)x - (F_1 + F_4)x &= 0 \\ (F_1 + F_2)y - (F_3 + F_4)T + (F_3 + F_4)y &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (F_1 + F_2 + F_3 + F_4)x &= (F_2 + F_3)L \\ (F_1 + F_2 + F_3 + F_4)y &= (F_3 + F_4)T \end{aligned}$$

จะได้

$$x = \frac{(F_2 + F_3)L}{(F_1 + F_2 + F_3 + F_4)} \quad (2.12)$$

$$y = \frac{(F_3 + F_4)T}{(F_1 + F_2 + F_3 + F_4)} \quad (2.13)$$

สำหรับในแนวตั้ง

$$\sum M_y = 0 ; W_f(b \cos \theta) - W \cos \theta (x) - W \sin \theta (y_1) = 0 \quad (2.14)$$

โดย  $W$  คือ น้ำหนักรวมของรถ มีหน่วยเป็น (kg)

$W_f$  คือ น้ำหนักส่วนเพลหน้า มีหน่วยเป็น (kg)

$x$  คือ ระยะเพลหลังถึงเพลหน้า มีหน่วยเป็น (cm)

$y_1$  คือ ความสูงของจุด CG จากแนวอ้างอิง มีหน่วยเป็น (cm)

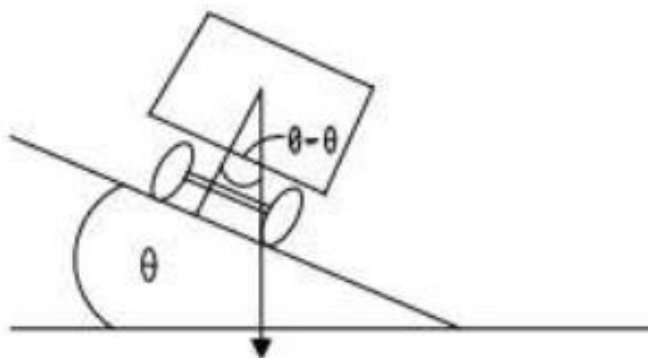
### 2.6.1 การทรงตัวในทางตรงของรถ

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของยานยนต์และความกว้างของช่วงล้อ สิ่งที่สำคัญสำหรับการพิจารณาถึงการทรงตัวของยานยนต์ในทางตรง กล่าวคือ เมื่อยานยนต์อยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่อยู่ในทางตรงที่มีความเอียง ยานยนต์ นั้นจะทรงตัวอยู่ได้ถ้าแนวตั้งที่ลากจากจุดศูนย์กลางถ่วงมาตัดกับแนวของพื้นถนนอยู่ ภายในช่วงล้อ



รูปที่ 2.21 แสดงการเปรียบเทียบยานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อกว้างและมีจุดศูนย์กลางถ่วงต่ำจะมีการทรงตัวดีกว่า ยานยนต์ที่มีช่วงฐานล้อแคบและมีจุดศูนย์กลางถ่วงสูง

การคำนวณเกี่ยวกับการทรงตัวของยานยนต์ในทางตรง



รูปที่ 2.22 เมื่อยานยนต์ทรงตัวอยู่ในตำแหน่งมุมเอียงสูงสุด

เส้นดิ่งที่ลากจากจุดศูนย์ถ่วงจะตัดกับแนวพื้นถนน ที่จุดสัมผัส ที่ล้อพอดีจึงยึดเอาตำแหน่งดังกล่าวนี้เป็นหลักเพื่อ พิจารณาว่า ยานยนต์จะสามารถทรงตัวได้หรือไม่ดังนี้

$$\tan \varphi = \frac{b/2}{h} \quad (2.15)$$

โดย  $b$  คือ ความกว้างของช่วงล้อ

$h$  คือ ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงจากพื้นถนน

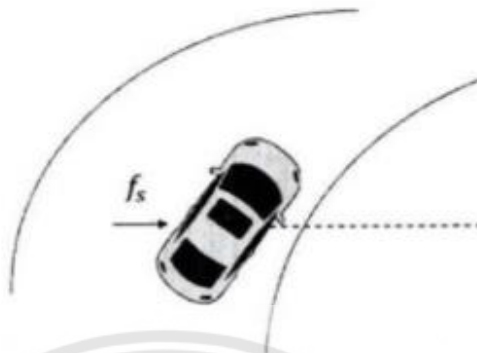
$\varphi$  คือ มุมที่จุดศูนย์ถ่วงของยานยนต์ เมื่อยานยนต์อยู่ในสภาพมุมเอียงสูงสุดและยังอยู่ในสภาพที่ยังทรงตัวอยู่ได้

$\theta$  คือ มุมเอียงของถนน

ดังนั้น จึงสรุปถึงสภาพการสมดุลของยานยนต์ได้ดังนี้

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

## 2.7 การเข้าโค้งบนโค้งราบ



รูปที่ 2.23 แรงกระทำต่อรถในขณะเลี้ยวบนถนนโค้งราบ  
(ที่มา : หนังสือ Apcen Physics)

ขณะที่รถเลี้ยวโค้งบนถนนโค้งราบ ซึ่งมีแนวทางการเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลมดังรูป 2.23 ดังนั้นต้องมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อรถ เมื่อพิจารณาแรงกระทำต่อรถในแนวระดับพบว่าขณะรถเลี้ยว พยายามไถลออกจากโค้ง จึงมีแรงเสียดทานที่พื้นกระทำต่อล้อรถในทิศทางพุ่งเข้าในแนวผ่านศูนย์กลาง ความโค้ง ดังนั้น แรงเสียดทาน จะเท่ากับ แรงสู่ศูนย์กลาง

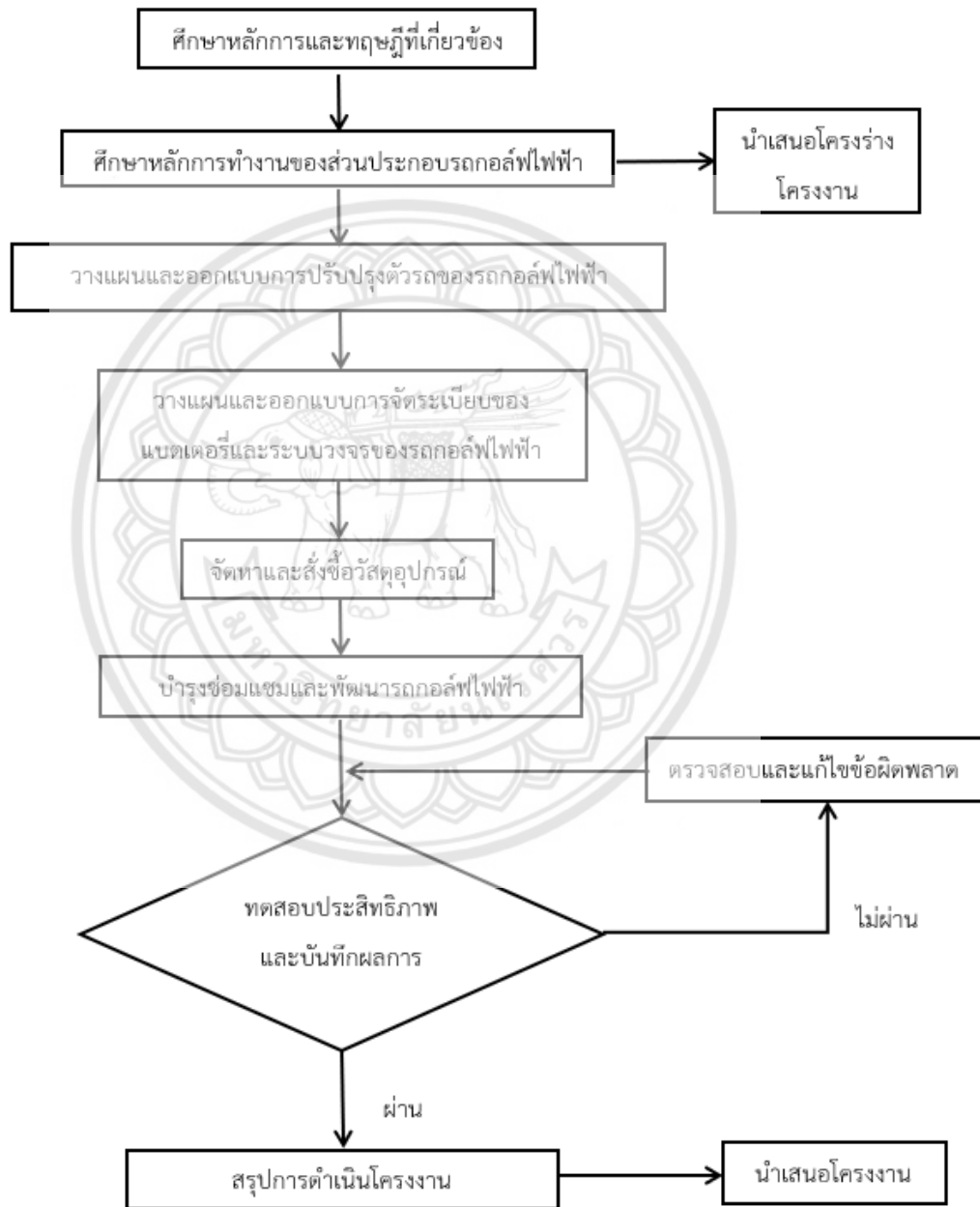
แรงเสียดทาน = แรงสู่ศูนย์กลาง

$$\begin{aligned} f_s &= F_C \\ \mu_s N &= m a_c \\ r &= \frac{v^2}{\mu_s g} \end{aligned} \quad (2.16)$$

โดยที่	$r$	คือ รัศมีความโค้งของการเลี้ยว มีหน่วยเป็น (m)
	$v$	คือ อัตราเร็วของรถที่ทำให้รถเริ่มไถล มีหน่วยเป็น (m/s)
	$\mu_s$	คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้อยางกับถนน (หาได้จากตารางที่ 2.3)
	$g$	คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก 9.81 มีหน่วยเป็น ( $m/s^2$ )

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

### 3.1 การออกแบบและการจัดระเบียบพื้นที่ของรถกอล์ฟไฟฟ้า

#### 3.1.1 การออกแบบและสร้างโมเดลชิ้นส่วนเสริม

การออกแบบส่วนของชิ้นส่วนรถไฟฟ้าใหม่ เป็นการออกแบบเพื่อรองรับการเพิ่มจำนวนของผู้โดยสาร และเพื่อความเป็นระเบียบของวงจรและระบบควบคุม โดยมีการคิดค้นการออกแบบด้วยโปรแกรม Solid Work ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งมีพื้นฐานการออกแบบจากสภาพเดิมของรถไฟฟ้าหลังจากทำการจัดระเบียบสายไฟและระบบควบคุมแล้ว ดังในภาพที่ 3.3 โดยการนำแผ่นเหล็กที่มีความหนา 1.4 mm มาใช้ในการสร้างซึ่งสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด โดยมีวัตถุประสงค์

- ความเป็นระเบียบของรถกอล์ฟไฟฟ้า
- สามารถเพิ่มพื้นที่โดยสารได้



รูปที่ 3.2 การออกแบบชิ้นส่วนโมเดล รถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 สภาพเดิมของรถไฟฟ้าหลังจากทำการจัดระเบียบสายไฟและระบบควบคุมแล้ว



รูปที่ 3.4 การประกอบชิ้นส่วน





รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนรถกอล์ฟไฟฟ้า

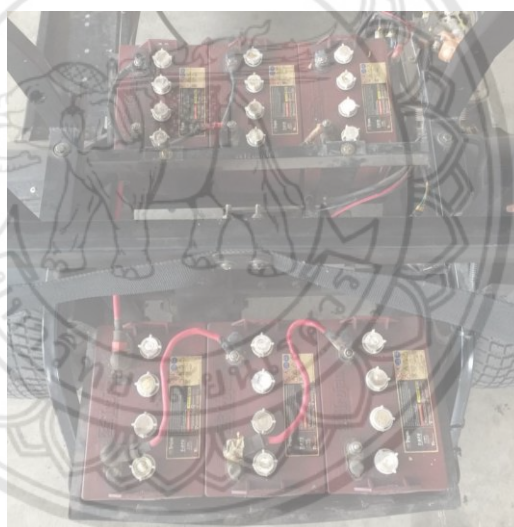
### 3.1.2 การออกแบบการจัดระเบียบของแบตเตอรี่รถกอล์ฟไฟฟ้า

จากการสำรวจและปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้า ทำให้เกิดแนวคิดที่จะเคลื่อนย้ายแบตเตอรี่ไปที่ด้านท้ายสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้า จำนวน 3 ลูก จากเดิมอยู่เป็นกลุ่ม 6 ลูกตำแหน่งใต้เบาะท้ายเดิมของรถกอล์ฟไฟฟ้า ตามรูปที่ 3.7 โดยมีวัตถุประสงค์

- ความเป็นระเบียบของรถกอล์ฟไฟฟ้า
- สามารถเพิ่มพื้นที่โดยสารได้



รูปที่ 3.8 การวางแบตเตอรี่แบบเดิมของรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 การวางแบตเตอรี่แบบใหม่

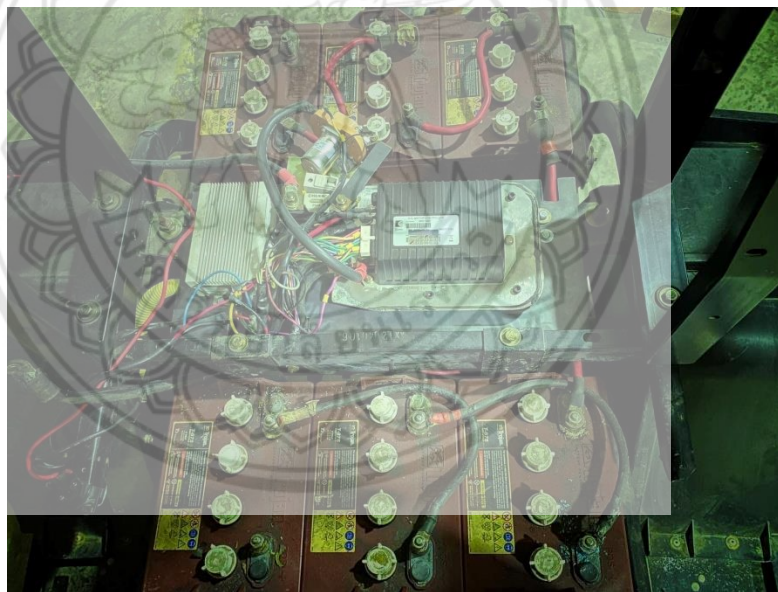
### 3.1.3 การออกแบบการจัดระเบียบของสายไฟและอุปกรณ์ควบคุม

จากการสำรวจและปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้า ทำให้เกิดแนวคิดที่จะจัดระเบียบของระบบสายไฟและชุดอุปกรณ์ควบคุมของรถกอล์ฟไฟฟ้า โดยจากเดิมอยู่ที่ตำแหน่งด้านซ้ายหลังของตัวรถ ตามภาพที่ 3.10 และทำการย้ายตำแหน่งมาส่วนท้ายของรถกอล์ฟไฟฟ้า ตามภาพที่ 3.11 โดยมีวัตถุประสงค์

- ความเป็นระเบียบของรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 3.10 ภาพแสดงตำแหน่งการวางชุดอุปกรณ์ควบคุมจุดเติม

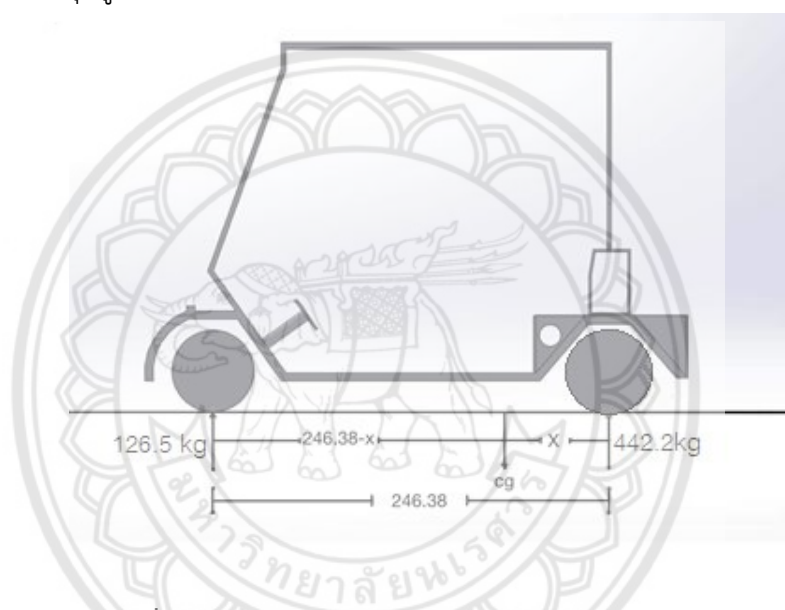


รูปที่ 3.11 ภาพแสดงการย้ายตำแหน่งของชุดควบคุม

### 3.2 การหาจุดศูนย์กลางมวลของรถกอล์ฟไฟฟ้า

ผู้ทำการทดลองได้ทำการชั่งน้ำหนักรถและคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล (CG) โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของรถ โดยการนำขึ้นลิฟท์ยกรถแล้วทำการชั่งน้ำหนักครั้งละ 1 ล้อ จนครบทั้ง 4 ล้อ ได้ค่าน้ำหนักรวมเท่ากับ 523.4 kg เพื่อหาจุดศูนย์กลางมวล (CG) ของรถกอล์ฟไฟฟ้า และจะทำการจะอ้างอิงจากตำแหน่งของเพลาล้อ

- การคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล(CG)ในแนวแกน X



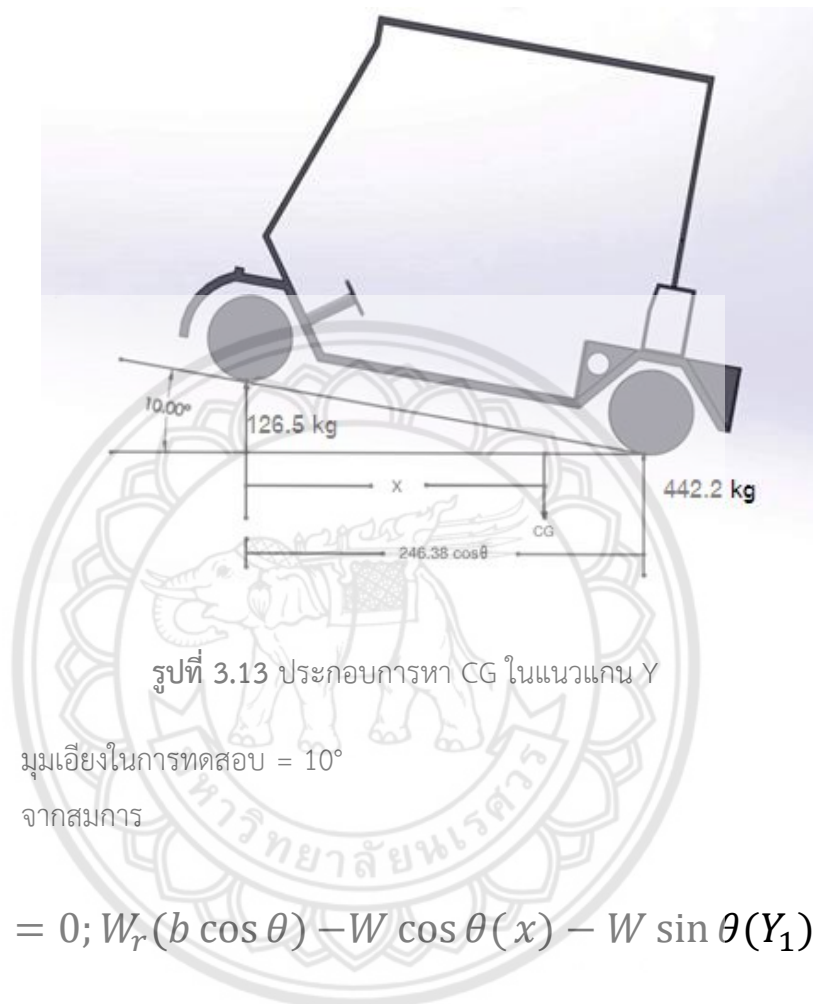
รูปที่ 3.12 ประกอบการคำนวณหา CG ในแนวแกน X

$$x = \frac{126.5 \times 246.38}{523.4}$$

$$x = 59.55 \text{ cm}$$

จะเห็นว่าจุด CG จะอยู่ห่างจากเพลาล้อหลังไปทางด้านหน้า 59.55 cm

- การคำนวณหาจุดศูนย์กลางมวล (CG) ในแนวแกน Y



$$\sum M_y = 0; W_r(b \cos \theta) - W \cos \theta(x) - W \sin \theta(Y_1) = 0$$

$$y_1 = \frac{442.2(246.38 \cos 10^\circ) - 523.4 \cos 10^\circ (246.38 - 59.55)}{523.4 \sin 10^\circ}$$

$$y_1 = 120.95 \text{ cm}$$

เพราะฉะนั้น จุด CG อยู่ห่างจากเพลาล้อหลังไปทางด้านหน้า 59.55 cm และอยู่สูงจากเพลาล้อ 120.95 cm

### 3.3 การคำนวณหาความเร่งสูงสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้าขณะออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง

ในขณะที่รถกอล์ฟไฟฟ้าออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง มอเตอร์จะถ่ายทอดทอร์กไปยังล้อขับเคลื่อนและทอร์กที่ขับเคลื่อนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแรงขับเคลื่อน รถกอล์ฟไฟฟ้าจะออกตัวได้แรงด้วยความเร่งสูงเมื่อแรงขับเคลื่อนมีมาก และรถกอล์ฟไฟฟ้าจะออกตัวได้ช้าเมื่อแรงขับเคลื่อนมีน้อย อย่างไรก็ตามแรงขับเคลื่อนสูงสุดจะมีค่าไม่เกินค่าความเสียดทานระหว่างยางกับถนน

จากสมการ

$$F = ma$$

$$\mu_k m_R g = ma$$

$$0.80 \times 593.4 \times 9.81 = 593.4a$$

$$a = 7.85 \text{ m / s}^2$$

### 3.4 การคำนวณระยะทางในการเบรก

การคำนวณระยะทางในการเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าบนพื้นถนนคอนกรีตที่ความเร็วในการเบรก 10, 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นคอนกรีตแห้งเป็นแรงเสียดทานจลน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\mu_k = 0.6$  (จากตารางที่ 2.3) โดยน้ำหนักของรถรวมกับคนขับเท่ากับ 593.4 กิโลกรัม และทำการเบรก

จากสมการ

$$F = ma$$

$$\mu_k m_R g = ma$$

$$0.6 \times 442.2 \times 9.81 = 593.4a$$

$$a = 4.386 \text{ m / s}^2$$

จะได้ความเร่งในการเบรกเท่ากับ  $a=4.386 \text{ m/s}^2$

1) ระยะเบรกที่ความเร็ว 10 km/hr

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

$$s = \frac{\left(\frac{10}{3.6}\right)^2 - 0^2}{2 \times 4.386}$$

$$s = 0.88 \text{ m}$$

2) ระยะเบรกที่ความเร็ว 15 km/hr

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

$$s = \frac{\left(\frac{15}{3.6}\right)^2 - 0^2}{2 \times 4.386}$$

$$s = 1.98 \text{ m}$$

3) ระยะเบรกที่ความเร็ว 20 km/hr

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

$$s = \frac{\left(\frac{20}{3.6}\right)^2 - 0^2}{2 \times 4.386}$$

$$s = 3.52 \text{ m}$$



### 3.5 การคำนวณหารัศมีวงเลี้ยวบนถนนราบ

การคำนวณหารัศมีวงเลี้ยวบนถนนราบของรถกอล์ฟไฟฟ้าบนพื้นถนนคอนกรีตที่ความเร็วในการเข้าโค้งเท่ากับ 10, 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นคอนกรีตแห้งเป็นแรงเสียดทานจลน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\mu_s = 1$  (จากตารางที่ 2.3)

- 1) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 10 km/hr

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

$$r = \frac{\left(\frac{10}{3.6}\right)^2}{1 \times 9.81}$$

$$r = 0.78 \text{ m}$$

- 2) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 15 km/hr

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

$$r = \frac{\left(\frac{15}{3.6}\right)^2}{1 \times 9.81}$$

$$r = 1.76 \text{ m}$$

- 3) รัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็ว 20 km/hr

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

$$r = \frac{\left(\frac{20}{3.6}\right)^2}{1 \times 9.81}$$

$$r = 3.15 \text{ m}$$

### 3.6 การคำนวณพื้นที่ในการใช้งานหลังจากทำการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้า

การคำนวณพื้นที่ในการใช้งานของรถกอล์ฟไฟฟ้าหลังจากทำการปรับปรุงแล้วนั้น เพื่อทำการเปรียบเทียบกับพื้นที่เดิมของรถกอล์ฟไฟฟ้า ซึ่งพื้นที่ในการใช้งานนั้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

- พื้นที่ใช้งานเดิมของรถกอล์ฟไฟฟ้า มีความกว้างและความยาวคือ 1.09 m, 1.18 m ตามลำดับ ซึ่งสามารถหาพื้นที่ได้จาก

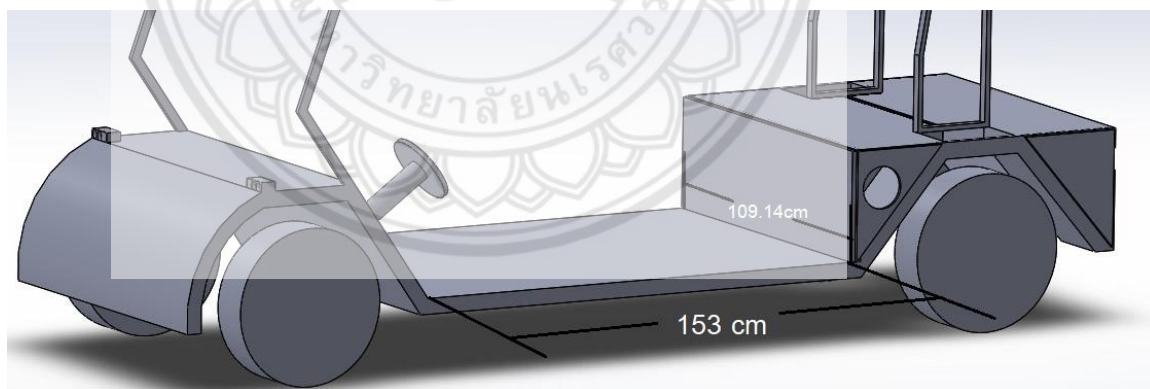
$$\text{กว้าง} \times \text{ยาว} = \text{พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า}$$

$$1.09 \times 1.18 = 1.286 \text{ m}^2$$

- พื้นที่ใช้งานหลังจากปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้าแล้ว มีความกว้างและความยาวคือ 1.09 m, 1.53 m ตามลำดับ ซึ่งสามารถหาพื้นที่ได้จาก

$$\text{กว้าง} \times \text{ยาว} = \text{พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า}$$

$$1.09 \times 1.53 = 1.667 \text{ m}^2$$



รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงความยาวของพื้นที่ใช้งานหลังจากทำการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้า

### 3.7 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์

- 1) เหล็กแผ่นดำ ( SS400 ) ขนาด 4x8 ฟุต หนา 1.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.15 เหล็กแผ่นดำ ( SS400 ) ขนาด 4x8 ฟุต หนา 1.4 มิลลิเมตร

- 2) สายไฟ



รูปที่ 3.16 สายไฟ

3) ท่อหุ้มสายไฟ



รูปที่ 3.17 ท่อหุ้มสายไฟ

4) นี้อต



รูปที่ 3.18 นี้อต

5) สีสเปรย์



รูปที่ 3.19 สีสเปรย์

### 3.8 วิธีการทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้า

การทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้าที่ทำการปรับปรุงขึ้นนี้ มีจุดประสงค์เพื่อต้องการทราบข้อมูลต่างๆ ของรถกอล์ฟไฟฟ้าในสภาพใช้งานจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลตามทฤษฎี เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาต่อไป และผลการทดสอบนี้ได้แสดงถึงสมรรถนะของรถกอล์ฟไฟฟ้าอีกด้วย ในการทดสอบจริงต้องมีการดัดแปลงให้เข้ากับความจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ ดังนั้นจึงทำให้ผลการทดสอบที่ได้ไม่สามารถถือเป็นมาตรฐานที่จะใช้เปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลได้

#### 3.8.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

การทดสอบเพื่อหาระยะทางสูงสุดที่รถกอล์ฟไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

อุปกรณ์

- 1) รถกอล์ฟไฟฟ้า พร้อมคนขับ
- 2) แบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 8V 170AH จำนวน 6 ลูก
- 3) GPS Lap Time LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.20 GPS Lap Time LT-Q6000

#### วิธีการทดสอบ

ทำการทดสอบการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 8V 170AH จำนวน 6 ลูก ที่ต่ออนุกรมกัน โดยการทดสอบหาระยะทางที่รถกอล์ฟไฟฟ้าวิ่งได้ไกลที่สุดที่แบตเตอรี่ชาร์จเต็ม ดังแสดงในรูปที่ 3.20 โดยใช้เครื่อง GPS Lap Timer ในการวัดระยะทาง



รูปที่ 3.21 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

### 3.8.2 การทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า

การทดสอบจะทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้าที่ความเร็ว 0 จนถึง 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

#### อุปกรณ์

- 1) รถกอล์ฟไฟฟ้า พร้อมคนขับ
- 2) แบตเตอรี่ Deep cycle ตะกั่วกรดแบบน้ำ ขนาด 8V 170AH จำนวน 6 ลูก
- 3) GPS Lap Time LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 3.19

#### วิธีทดสอบ

- 1) เลือกสถานที่ทดสอบที่มีระยะทางยาวและเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.21 ที่เหมาะสมกับการทดสอบ
- 2) กำหนดจุดออกตัวและจุดหยุดรถที่ปลอดภัย
- 3) ทำการขับขึ้นรถกอล์ฟไฟฟ้าโดยเร่งความเร็วจาก 0 จนถึง 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พร้อมจับเวลา
- 4) ทำการทดสอบซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และบันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 3.22 การทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า

### 3.8.3 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ

การทดสอบนี้เพื่อหาระยะเบรกที่สั้นที่สุดที่ความเร็วต่างๆ เพื่อความปลอดภัยในการขับขี่

#### อุปกรณ์

- 1) รถกอล์ฟไฟฟ้า พร้อมคนขับ
- 2) ตลับเมตร
- 3) GPS Lap Time LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 3.19

#### วิธีการทดสอบ

- 1) เลือกสถานที่ทดสอบที่มีระยะทางยาวและเรียบ ที่เหมาะสมกับการทดสอบ
- 2) กำหนดความเร็วที่จะเริ่มทำการเบรกที่ 10, 15, และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- 3) กำหนดจุดที่จะเริ่มเบรก ดังแสดงในรูปที่ 3.22 แล้วเริ่มเบรกเมื่อส่วนล้อหน้าของรถถึงจุดที่กำหนดไว้ เมื่อรถเบรกจนหยุดนิ่งจะวัดระยะทางตั้งแต่จุดที่กำหนดไว้ถึงล้อหน้าของรถกอล์ฟไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3.23 แล้วบันทึกค่า



รูปที่ 3.23 จุดเริ่มเบรก



รูปที่ 3.24 การวัดระยะเบรกจากล้อหน้ากับจุดเริ่มเบรก



### 3.8.4 การทดสอบรถมีวงล้อ

การทดสอบเพื่อหารัศมีวงล้อและความเร็วต่างๆในการขับเคลื่อนรถกอล์ฟไฟฟ้า ในขณะที่ขับขึ้นเขาทางโค้ง

#### อุปกรณ์

- 1) รถกอล์ฟไฟฟ้า
- 2) ตลับเมตร
- 3) GPS Lap Time LT-Q6000 ดังแสดงในรูปที่ 3.19

#### วิธีการทดสอบ

- 1) เลือกสถานที่ทดสอบที่กว้างและพื้นเรียบเหมาะสมกับการทดสอบ
- 2) ทดสอบโดยใช้รัศมีวงล้อแคบสุดขณะทำการเลี้ยวซ้ายสุดและขวาสุด ดังแสดงในรูปที่ 3.24 ที่ความเร็ว 10, 15, และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- 3) วัดเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมที่เกิดจากการกลิ้งของล้อ ซึ่งอยู่บนพื้นที่ทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.25 แล้วบันทึกค่า
- 4) ทำการทดลองที่ความเร็วต่างๆตามข้อที่ 2) จนครบ



รูปที่ 3.25 การทดสอบรถมีวงล้อ



รูปที่ 3.26 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมที่เกิดจากการกลิ้งของล้อ

### 3.8.5 การทดสอบหาจุดศูนย์กลางถ่วงของรถ (CG)

การทดสอบเพื่อหาหาจุดศูนย์กลางมวลของรถกอล์ฟไฟฟ้า โดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักของตัวรถ

#### อุปกรณ์

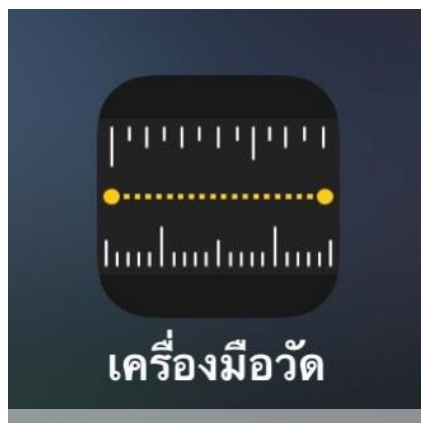
1. รถกอล์ฟไฟฟ้า
2. เครื่องชั่งน้ำหนัก HASON A12E ดังแสดงในรูปที่ 3.27
3. ลิฟท์ยกรถ ดังแสดงในรูปที่ 3.26
4. ตลับเมตร
5. แอปพลิเคชันเครื่องมือวัด ดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.27 ลิฟท์ยกกรรต  
ที่มา (<https://www.google.com/search>)



รูปที่ 3.28 เครื่องชั่งน้ำหนัก HASON A12E  
ที่มา (<https://www.google.com/search?q=Hason+a12>)



รูปที่ 3.29 แอปพลิเคชันเครื่องมือวัด

#### วิธีการทดสอบ

- 1) ยกรถกอล์ฟด้วยลิฟท์ยกรถ
- 2) นำเครื่องชั่งน้ำหนัก HASON A12E ดังแสดงในรูปที่ 3.27 มาวางไว้ที่ใต้ล้อที่ต้องการชั่งน้ำหนัก โดยล้อที่เหลือทั้ง 3 ลูกวางอยู่บนอิฐที่มีความสูงเท่าเครื่องชั่งน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.29
- 3) ทำการชั่งน้ำหนักซ้ำดังข้อที่ 2) จนครบทั้ง 4 ล้อ แล้วจดบันทึก



รูปที่ 3.30 การทดสอบเพื่อหาหาจุดศูนย์กลางมวลของรถกอล์ฟไฟฟ้า

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

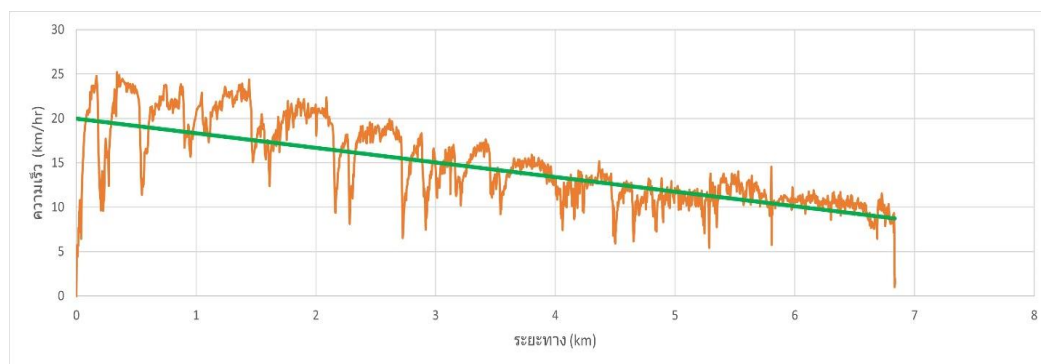
#### 4.1 ผลการทดลอง

##### 4.1.1 การทดสอบระยะทางการวิ่งต่อการประจุไฟฟ้าหนึ่งครั้ง

การทดสอบซ้ำขึ้นเพื่อหาระยะทางสูงสุดในการขับขี่ต่อการประจุไฟหนึ่งครั้ง โดยทดสอบที่ใช้ความเร็วเฉลี่ยที่ 13.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สถานที่ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.1 ในการทดสอบ ดังนี้



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงวัฏจักรการขับขี่ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการขับขี่เพื่อหาระยะทางสูงสุดในการขับขี่ต่อการประจุไฟหนึ่งครั้ง

ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ระยะทางสูงสุด (km)	เวลาที่ใช้ในการวิ่ง (min)	เวลาที่ใช้ในการชาร์จ (hr)
13.6	25	6.836	30.15	7

#### 4.1.2 การทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า

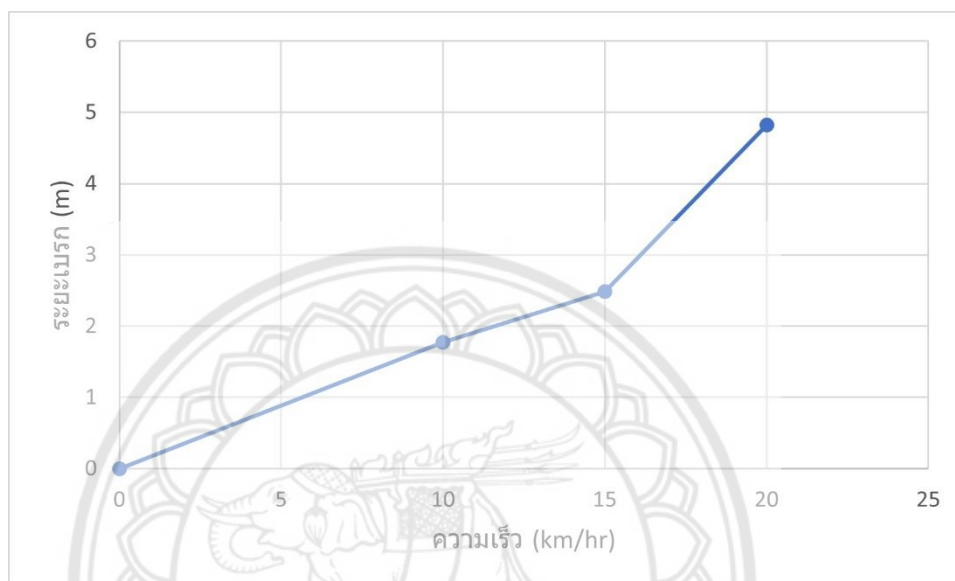
การทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า โดยการทดสอบจะทดสอบอัตราเร่งของรถที่ความเร็ว 0จนถึง 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า

ครั้งที่	เวลา (s)	ระยะทาง (m)	ความเร่ง ( $m/s^2$ )
1	15.880	62.28	1.21
2	15.359	62.75	1.19
3	17.17	65.34	1.20
เฉลี่ย	16.14	63.46	1.2

#### 4.1.3 การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ

การทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ การทดสอบนี้เพื่อหาระยะเบรกที่สั้นที่สุดที่ความเร็วต่างๆ เพื่อความปลอดภัยในการขับขี่



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะในการเบรกกับความเร็ว

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาระยะเบรกที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/hr)	ระยะเบรกจนรถหยุดนิ่ง (m)
10	1.77
15	2.48
20	4.82

#### 4.1.4 การทดสอบรัศมีวงเลี้ยว

การทดสอบรัศมีวงเลี้ยวในการขับขี่รถกอล์ฟไฟฟ้าขณะที่ขับเข้าทางโค้งที่ความเร็ว 10, 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบรัศมีวงเลี้ยวที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็วขณะทำการเข้าโค้ง(km/hr)	รัศมีวงเลี้ยวแคบสุดที่วัดได้ (m)
10	4.03
15	4.24
20	5.35

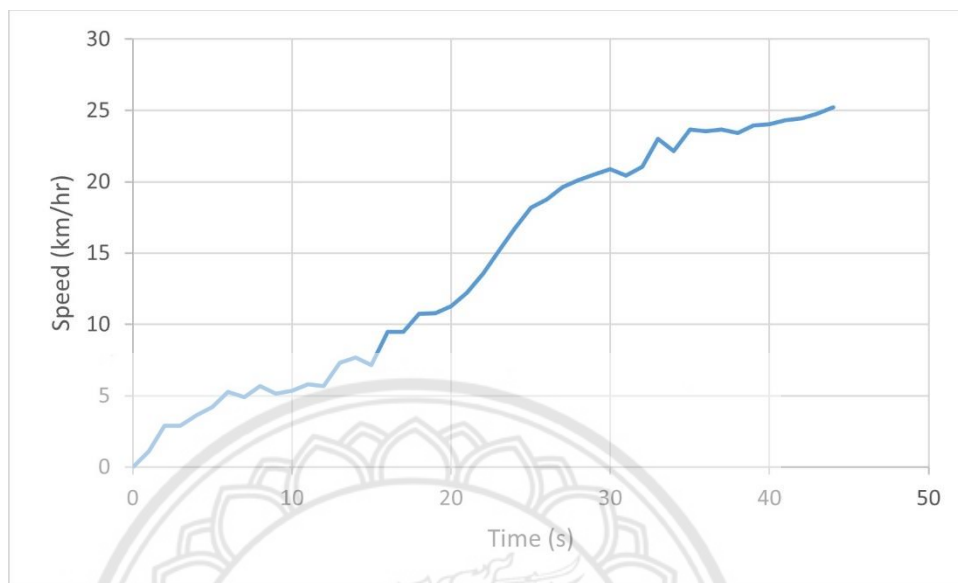
#### 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 4.2.1 วิเคราะห์ระยะทางสูงสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้า ต่อการประจุไฟหนึ่งครั้ง

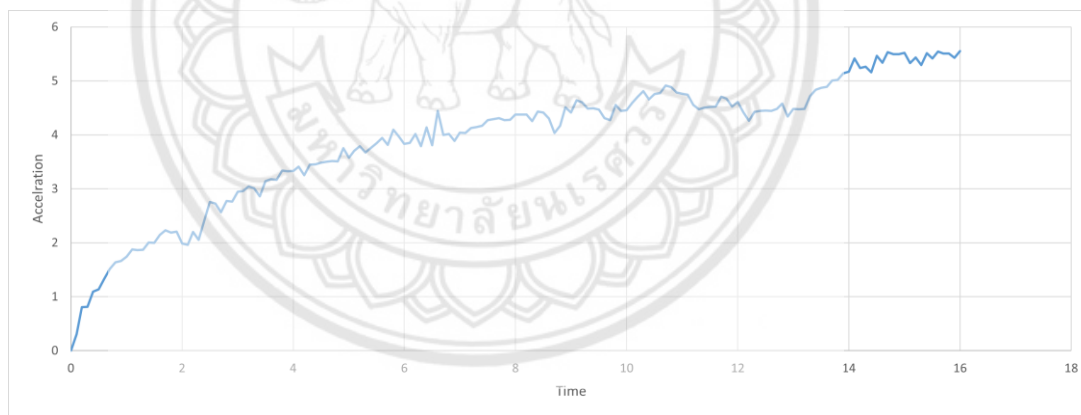
จากการทดลองเพื่อหาระยะทางสูงสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้าของรถที่น้ำหนักรวมคนขับเท่ากับ 593.4 kg มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 13.6 km/hr และความเร็วสูงสุดที่การขับขี่สำหรับการทดสอบในครั้งนี้อยู่ที่ 25 km/hr เนื่องจากไม่มีระยะทางที่ยาวและปลอดภัยในการทดสอบ และระยะทางสูงสุดของรถที่วิ่งอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 6.836 km เนื่องจากการวิ่งอย่างต่อเนื่องนั้นทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ตัวมอเตอร์ทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพของมอเตอร์และพลังงานของแบตเตอรี่ทำให้ได้ระยะทางที่น้อย จากรูปที่ 4.2 เมื่อขับขี่ได้ 4 km จะสามารถทำความเร็วได้เพียง 15 Km/hr เนื่องจากแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงทำให้มอเตอร์ส่งกำลังได้ไม่เต็มที่



#### 4.2.2 วิเคราะห์อัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลา

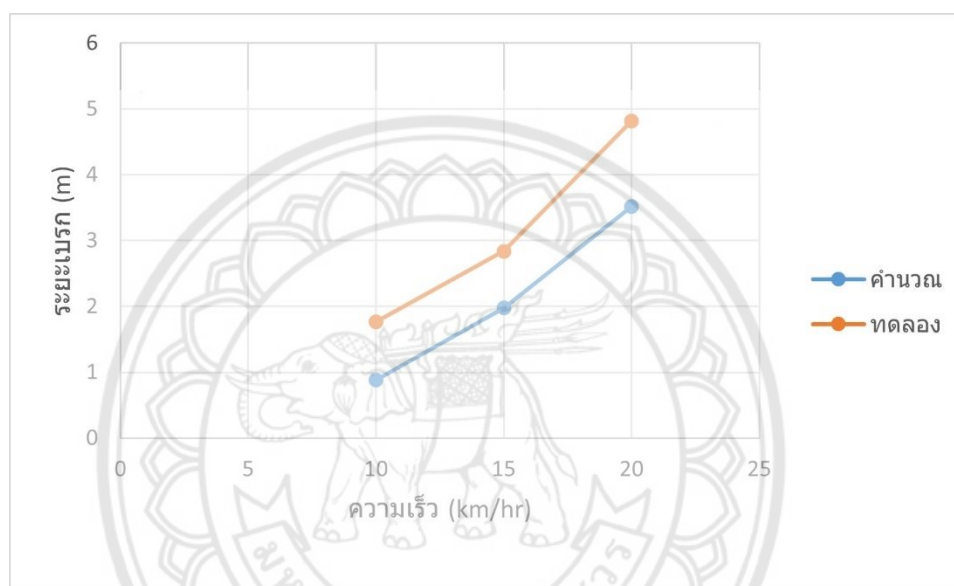


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

จากการทดลองเพื่อหาอัตราเร่งของรถกอล์ฟไฟฟ้า ที่น้ำหนักของรถรวมคนขับเท่ากับ 593.4 กิโลกรัม จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าใช้ความเร็วที่ 0-20 km/hr พบว่าจากการทดสอบทำเวลาที่ 16 วินาที ความเร่งสูงสุดเท่ากับ  $5.56 \text{ m/s}^2$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการคำนวณจำลองความเร่ง ดังสมการที่ (2.8) ซึ่งมีค่าความเร่งเท่ากับ  $7.85 \text{ m/s}^2$  สาเหตุเกิดจากตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณมีค่าแตกต่างกัน

จากค่าจริงในการทดลอง เช่น ค่าสัมประสิทธิ์แรงฉุดอากาศ และค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างล้อยางกับพื้นคอนกรีตซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎี ดังแสดงในตารางที่ (2.3)

#### 4.2.3 วิเคราะห์ระยะทางในการเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเบรกกับระยะเบรก

- ที่ความเร็ว 10 km/hr ระยะเบรกจากการคำนวณเท่ากับ 0.88 m จากการทดลองใช้ระยะเบรกเท่ากับ 1.77 m

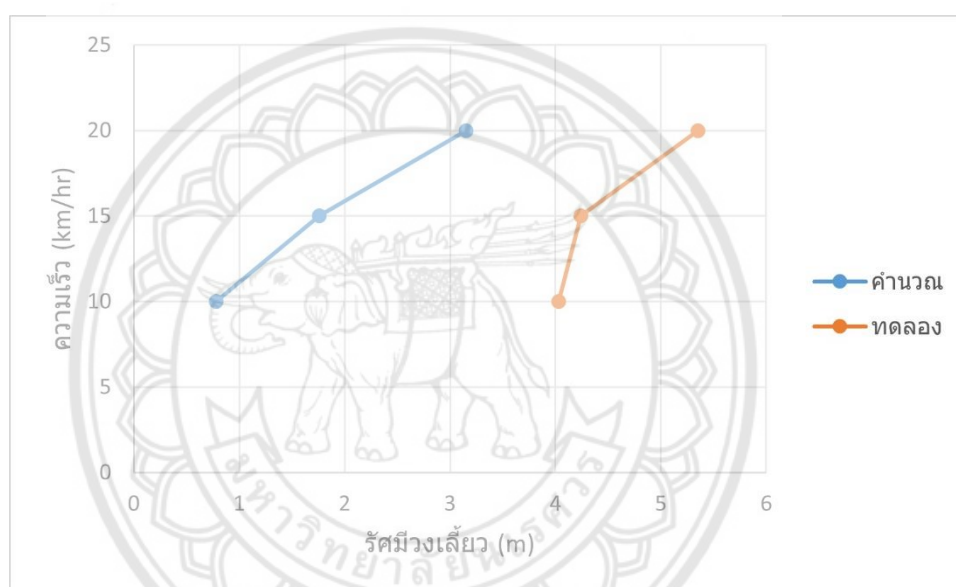
- ที่ความเร็ว 15 km/hr ระยะเบรกจากการคำนวณเท่ากับ 1.98 m จากการทดลองใช้ระยะเบรกเท่ากับ 2.84 m

- ที่ความเร็ว 20 km/hr ระยะเบรกจากการคำนวณเท่ากับ 3.52 m จากการทดลองใช้ระยะเบรก เท่ากับ 4.82 m

การทดลองเห็นได้ว่า ความเร็วในขณะก่อนการเบรกมีผลต่อระยะในการเบรก เมื่อความเร็วในขณะก่อนการเบรกเพิ่มขึ้น ระยะเบรกก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และจากรูปที่ 4.6 เมื่อนำค่าการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณจะเห็นว่าระยะทางในการเบรกจริงมีค่ามากกว่าจากการคำนวณ เนื่องจากระบบการเบรกของรถกอล์ฟไฟฟ้าเป็นแบบดรัมหน้าสัมผัสของผ้าเบรกอาจมีการสึกหรอ

ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างผ้าเบรกกับเบรกดรัม และสภาพของถนนที่ใช้ในการทดสอบเป็นพื้นแบบคอนกรีตที่ไม่ค่อยสะอาด ทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อยางกับพื้นคอนกรีตมีค่าน้อยลง ส่งผลให้ค่าความหน่วงในการเบรกรมีค่าน้อยลง ดังสมการ (2.8) ความหน่วงที่ลดลงนี้มีผลให้รถเคลื่อนที่ไปด้านหน้ามากขึ้นดังสมการ (2.9)

#### 4.2.4 วิเคราะห์รัศมีวงเลี้ยวของรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับรัศมีวงเลี้ยว

- ที่ความเร็ว 10 km/hr รัศมีวงเลี้ยวจากการค่านวน เท่ากับ 0.78 m รัศมีวงเลี้ยวจากการทดสอบเท่ากับ 4.03 m
- ที่ความเร็ว 15 km/hr รัศมีวงเลี้ยวจากการค่านวน เท่ากับ 1.76 m รัศมีวงเลี้ยวจากการทดสอบเท่ากับ 4.24 m
- ที่ความเร็ว 20 km/hr รัศมีวงเลี้ยวจากการค่านวน เท่ากับ 3.15 m รัศมีวงเลี้ยวจากการทดสอบเท่ากับ 5.35 m

จากผลการทดลอง จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าความเร็วในการเข้าโค้งที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อรัศมีวงเลี้ยว เนื่องจากขณะที่รถเข้าโค้งจะมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำกับตัวรถให้เกิดการลื่นไถล เมื่อความเร็วของรถเพิ่มมากขึ้น จนทำให้แรงเสียดทานระหว่างล้อยางกับถนนคอนกรีตมีค่าไม่มากพอ จึงทำให้เกิดการลื่นไถล และรัศมีโค้งมีค่ามากขึ้น เมื่อนำค่าการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณจะเห็นว่า รัศมีวงเลี้ยวจริงมีค่ามากกว่า รัศมีวงเลี้ยวจากการคำนวณ เนื่องจาก การทดสอบบนถนนคอนกรีตที่ไม่ค่อยสะอาดอาจมีดินทรายขนาดเล็ก ทำให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่าง ล้อยางกับพื้นคอนกรีตมีค่าน้อยลง ส่งผลให้ค่าของแรงเสียดทาน มีค่าน้อยลงจนมีค่าไม่มากพอ ที่จะต้านแรงสู่ศูนย์กลาง ทำให้รัศมีวงเลี้ยวเพิ่มขึ้นดังสมการ (2.16)



## บทที่ 5

### สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลโครงการ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของรถกอล์ฟไฟฟ้า เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลต่างๆของระบบและการทำงานเบื้องต้น ซึ่งสามารถนำมาต่อยอดเพื่อพัฒนาซ่อมแซมและปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้าให้มีคุณภาพมากขึ้น โดยมีการวางแผนและออกแบบการสร้างตัวรถแบบใหม่รวมถึงการจัดระเบียบของแบตเตอรี่ ระบบสายไฟและระบบควบคุม เพื่อให้รถกอล์ฟไฟฟ้ามีพื้นที่ว่างในตัวรถเพิ่มมากขึ้น

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรถกอล์ฟไฟฟ้า เพื่อเป็นความรู้ในการพัฒนาซ่อมแซมและปรับปรุง ซึ่งทำให้สามารถเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องของรถกอล์ฟไฟฟ้าได้ และทำให้สามารถวางแผนในการจัดระเบียบของแบตเตอรี่รวมถึงระบบสายไฟและแผงควบคุมได้อย่างปลอดภัย ซึ่งต่อมาได้ทำการออกแบบและสร้างตัวรถแบบใหม่ขึ้น สำหรับการพัฒนาซ่อมแซมและปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้าในครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบค่าต่างๆ ได้แก่ ระยะทางสูงสุดที่วิ่งได้ ความเร็วสูงสุด อัตราเร่ง ระยะเบรก รัศมีวงเลี้ยวและคำนวณหาค่า CG

##### 5.1.1 สรุปผลการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการใช้งาน

จากการปรับปรุงรถกอล์ฟไฟฟ้าเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการใช้งานโดยการจัดระเบียบแบตเตอรี่ระบบสายไฟและชุดระบบควบคุมของตัวรถทำให้รถกอล์ฟไฟฟ้ามีพื้นที่ในการใช้งานเพิ่มขึ้นเท่ากับ  $0.381 \text{ m}^2$

##### 5.1.2 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพรถกอล์ฟไฟฟ้า

1) ระยะทางสูงสุดที่สามารถวิ่งได้อย่างต่อเนื่องและความเร็วสูงสุดของรถกอล์ฟไฟฟ้า จากตารางที่ 4.1 ระยะทางสูงสุดที่ทดสอบได้เท่ากับ 6.836 กิโลเมตร และความเร็วสูงสุดที่ทดสอบเท่ากับ 25 กิโลเมตร/ชั่วโมง

2) รถกอล์ฟไฟฟ้ามีความเร่งเท่ากับ 1.20 เมตร/วินาที<sup>2</sup> (ที่ 0 ถึง 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง)

3) ระยะเบรกรถกอล์ฟไฟฟ้าที่ความเร็ว 10, 15, 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง เท่ากับ 1.77, 2.48, 4.82 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นระยะเบรกขึ้นอยู่กับความเร็วก่อนทำการเบรก ทำให้เห็นว่าการเบรกที่ความเร็วมาก ระยะเบรกจะมีระยะมากขึ้นเช่นกัน

4) รัศมีวงเลี้ยวของรถกอล์ฟไฟฟ้าที่ความเร็ว 10, 15, 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง เท่ากับ 4.03, 4.24, 5.35 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นรัศมีวงเลี้ยวขึ้นอยู่กับความเร็วในการเข้าโค้ง ทำให้เห็นว่าการเข้าโค้งด้วยความเร็วมาก จะมีรัศมีวงเลี้ยวที่มีระยะมากขึ้นเช่นกัน

### 5.1.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1) ในขณะที่ทำการทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้าทำให้สังเกตเห็นว่าแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่มีประสิทธิภาพที่น้อย ทำให้การวัดค่าความเร็วสูงสุดมีระยะเวลาที่น้อยเนื่องจากแบตเตอรี่ที่หมดอย่างรวดเร็ว

ข้อเสนอแนะคือ เปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่เพื่อทดแทน

2) ในขณะที่ทำการทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้า มอเตอร์ขับเคลื่อนของรถกอล์ฟไฟฟ้าเกิดความร้อนได้ง่าย เนื่องจากสภาพอากาศที่ร้อน ส่งผลให้มีความเร็วลดลงในขณะที่แบตเตอรี่ยังคงมีปริมาณของประจุที่มาก ซึ่งอาจทำให้ค่าจากการทดสอบคลาดเคลื่อน

ข้อเสนอแนะคือ ควรมีระยะเวลาในการทดสอบเป็นช่วงเพื่อลดการสะสมความร้อนของมอเตอร์ขับเคลื่อนหรือการใส่ระบบระบายความร้อนเพิ่มเติม

3) เนื่องจากรถกอล์ฟไฟฟ้ามีระยะของแฉีคพวงมาลัยในการเลี้ยวซ้ายและขวาไม่เท่ากัน ทำให้เกิดค่าของการทดสอบวงเลี้ยวที่คลาดเคลื่อนได้

ข้อเสนอแนะคือ จัดหาซื้อหรือปรับปรุงแฉีคพวงมาลัยที่สามารถทำการเลี้ยวได้ในระยะที่ใกล้เคียงกันที่สุด

4) หลังจากได้ทำการจัดระเบียบของแบตเตอรี่และระบบควบคุมของรถกอล์ฟไฟฟ้ารวมถึงการปรับปรุงแบบตัวรถใหม่ทำให้น้ำหนักของตัวรถถ่ายเทไปที่ด้านหลังของรถกอล์ฟไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ด้านหน้าของตัวรถสัมผัสกับพื้นถนนได้น้อยกว่าด้านหลัง และทำให้ใช้คหลังทำงานหนักรวมถึงทำให้ค่า CG ของตัวรถเปลี่ยนไปมาก

ข้อเสนอแนะคือ การเปลี่ยนใช้คหลังที่มีคุณภาพมากกว่าของเดิมเพื่อการรับน้ำหนักที่มากขึ้น

5) เวลาที่ใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่นาน เนื่องจากเครื่องชาร์จจ่ายกระแสต่ำ

ข้อเสนอแนะคือเปลี่ยนเครื่องชาร์จที่จ่ายกระแสได้สูงซึ่งจะทำให้ชาร์จแบตเตอรี่ได้รวดเร็วขึ้น

## บรรณานุกรม

กิตติพันธุ์ เตชะกิตติโรจน์, อังศิริ ศรีภาคกร. (2556). ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีระยุทธ สุวรรณประณีป. (2559). หนังสือวิศวกรรมยานยนต์. (พิมพ์ครั้งที่ 15), กรุงเทพฯ

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

นันทวัฒน์ วงศ์สุทธิเวช, พุฒิชัย นรินทร, ศราวุฒิ สดมพฤติ.(2561), การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าของระบบส่งกำลังภายในภายในรถกระบะไฟฟ้าสองแถว. วิทยานิพนธ์. วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

บริษัท สีขร จำกัด. (2561). โครงการศึกษาวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า.

ศุภวิทย์ อิศรนาเวศ, สุทธิพันธ์ ชาตรุประชีวิน, สุริยา เขตประทุม.(2560), การพัฒนาออกแบบระบบช่วงล่างรถยนต์ อินวิว ทีแมค ฟอรั่มล่า. วิทยานิพนธ์. วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

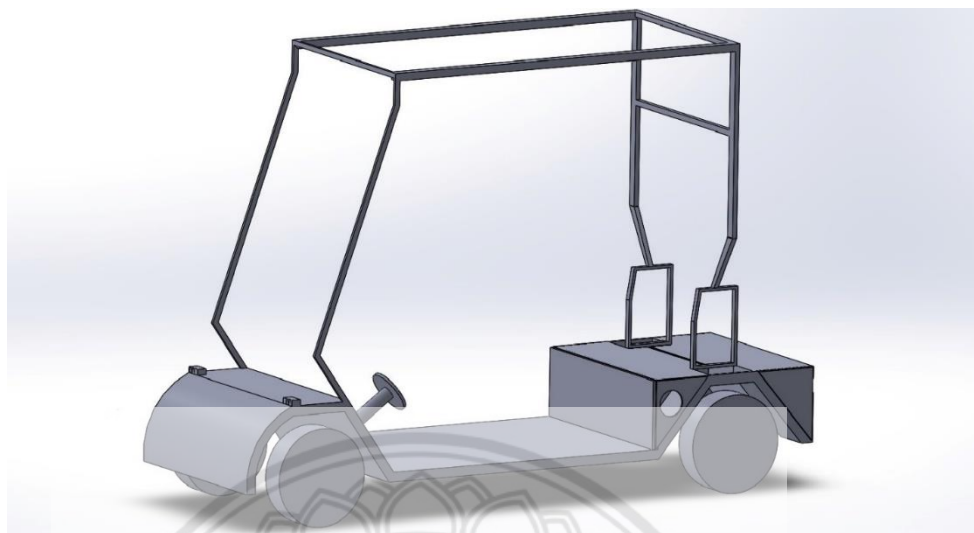




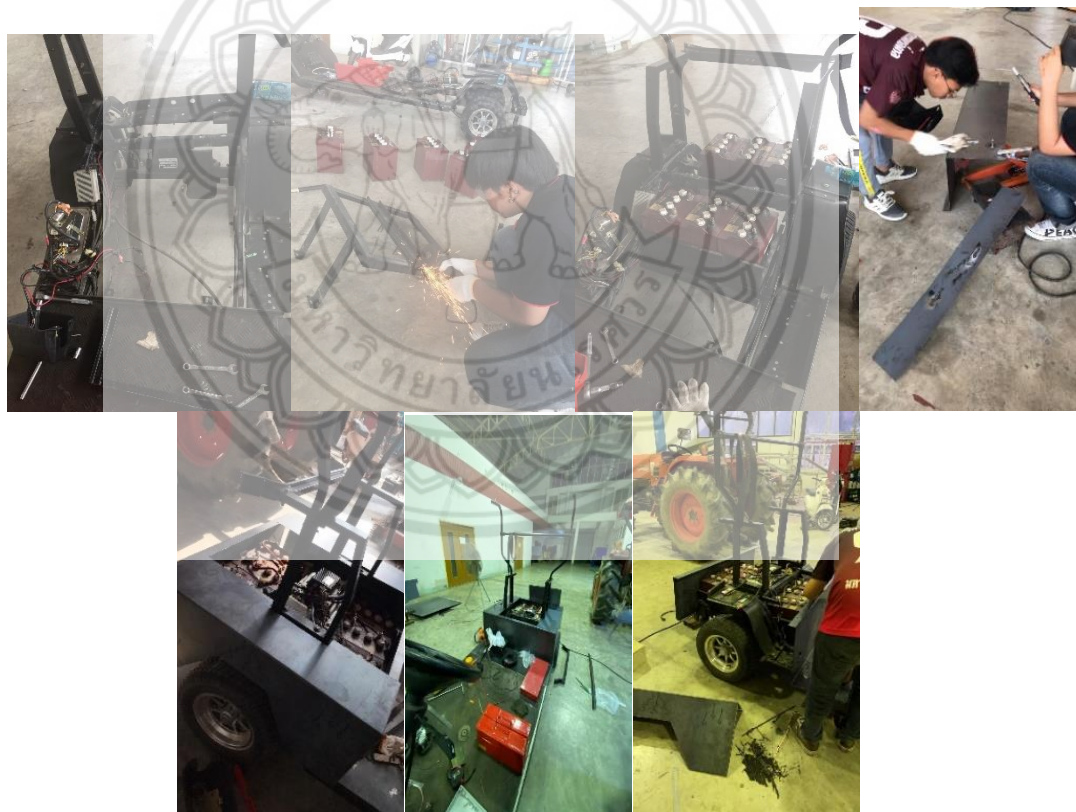


ภาคผนวก ก.

การออกแบบและปรับปรุงพัฒนารถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ ก.1 โมเดล 3 มิติ ของรถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ ก.2 บรรยากาศการปรับปรุงและพัฒนา รถกอล์ฟไฟฟ้า



รูปที่ ก.3 บรรยายการทดสอบรถกอล์ฟไฟฟ้า

