ออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

Design and Installation Electrical System of Electric Vehicle Conversion for Used as Education Material

นายธนัฐชัย แสงอาทิตย์

นายธีรภัทร์ พงษ์จรัส

นายสิริพงศ์ จารุจรัสพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

Design and Installation Electrical System of Electric Vehicle Conversion for Used as Education Material

นายธนัฐชัย แสงอาทิตย์

นายธีรภัทร์ พงษ์จรัส

นายสิริพงศ์ จารุจรัสพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Installation Electrical System of Electric Vehicle Conversion for Used as Education Material

Thanutchai Saenratit
Theerapat Pongjarat
Siripong Charucharuspong

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2565
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน
Design and Installation Electrical System of Electric Vehicle Conversion for Used as Education Material

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนัฐชัย แสงอาทิตย์ **รหัสนักศึกษา** 63015071
นายธีรภัทร์ พงษ์จรัส **รหัสนักศึกษา** 63015088
นายสิริพงศ์ จารุจรัสพงศ์ **รหัสนักศึกษา** 63015186

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ.อัครวรรษ เริงรื่น	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน Design and Installation Electrical System of Electric Vehicle Conversion for Used as Education Material.			
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนัฐชัย	แสงอาทิตย์	รหัสนักศึกษา	63015071
	นายธีรภัทร์	พงษ์จรัส	รหัสนักศึกษา	63015088
	นายสิริพงศ์	จารุจรัสพงศ์	รหัสนักศึกษา	63015186
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.อัครวรรษ เริงรื่น			
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์			
ปีการศึกษา	2565			

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน โดยทำการดัดแปลงรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ยี่ห้อ Alfa Romeo รุ่น GIULIETTA 2.0 ให้สามารถขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า การขับเคลื่อนอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปลงถ่าน (BLDC Motor) ขนาดกำลังสูงสุด 20 KW โดยมีแบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) เป็นแหล่งกักเก็บพลังงาน โดยรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงนี้มีแผงสาธิตการเชื่อมต่อเพื่อใช้สำหรับวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทดสอบการทำงาน แผนผังการเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียน นอกจากนี้ระบบไฟฟ้าภายในถูกออกแบบให้ควบคุมด้วยระบบควบคุม พีแอลซี พร้อมหน้าจอสัมผัส (HMI) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของ ไฟหน้า ไฟเลี้ยว และกระจกไฟฟ้า ในการทดสอบบนเครื่องไดนาโมมิเตอร์ พบว่า รถยนต์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้เกินกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นเวลาต่อเนื่องนานกว่า 30 นาที ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมขนส่งทางบก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design and Installation Electrical System of Electric Vehicle Conversion for Used as Education Material
Authors	Mr.Thanutchai Saenratit
	Mr.Theerapat Pongjarat
	Mr.Siripong Charucharauspoong
Thesis Advisor	Asst. Prof. Prapas Roengruen
Co-Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Taweepol Suesut
Year	2022

ABSTRACT

This thesis presents the design and installation of electrical system for an electric vehicle conversion, which has been used as education materials. The Alfa Romeo GIULIETTA 2.0 liters internal combustion engine were changed to be the BLDC motor with a maximum power of 20KW with Lithium nickel manganese cobalt oxides (NMC) battery. The demonstration panel for measuring voltage and current in order to testing the electric vehicle operations were designed. The schematic diagram between the motor and inverter is labeled on the demonstration panel as learning material. In addition, the electrical system for user is designed by using Programmable Logic Controller (PLC) with Human Machine Interface (HMI Touch screen) is used to control the operation of the headlamp, turn signal lamp and electric rearview mirror. The experiment results were performed on the dynamometer, the speed of electric vehicles can exceed 90 km/h for more than 30 minutes which complied to the requirements of the Department of Land Transport.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อัครวรรษ เริงรื่น และ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมทุกท่าน รวมไปถึงนายวรจิต ชูชื่นกลิ่น และ นายปฐวัตร คำศรีทา ผู้มากประสบการณ์ทางด้านยานยนต์ ที่ให้คำแนะนำและถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VIII
สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ระบบการทำงานรถยนต์ไฟฟ้า 3
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า 6
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 8
2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 13
2.2.3 การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท 17
2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) 19
2.4 ระบบส่งกำลังรถยนต์ (Powertrain System) 20
2.4.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 21
2.4.1.1 มอเตอร์ 21
2.4.1.2 ระบบส่งกำลัง 21
2.4.1.3 โครงรถ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ส่วนประกอบและหน้าที่ของระบบส่งกำลัง 21
2.4.2.1 คลัตช์ (Clutch) 21
2.4.2.2 กระปุกเกียร์ (Transmission) 22
2.4.2.3 เพลากลาง (Propeller Shaft) 22
2.4.2.4 เฟืองท้าย (Differential) 23
2.4.2.5 เพลาท้าย (Rear Axles) 24
2.5 ระบบปรับอากาศภายในรถยนต์ (Air conditioning system) 24
2.6 การคำนวณขนาดมอเตอร์ (Calculate motor size) 25
2.7 การคำนวณทางไฟฟ้า (Electrical Calculations) 28
2.7.1 การหาค่าพลังของอุปกรณ์ 28
2.7.2 การหาขนาดสายไฟขาเข้า Inverter Controller (DC) 29
2.7.3 การหาขนาดกระแสขาออก Inverter Controller 3 เฟส (AC) 29
2.8 การจดทะเบียนยานยนต์ไฟฟ้าทั่วไป 29
2.8.1 คุณสมบัติของรถยนต์ไฟฟ้าในการจดทะเบียน 29
2.8.1.1 ขนาดสัดส่วนของรถ 29
2.8.1.2 ส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์สำหรับรถ 30
2.8.1.3 กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถ 30
2.8.2 ขั้นตอนการจดทะเบียนรถ 31
2.8.2.1 การรับรองเครื่องอุปกรณ์ของรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ 31
2.8.2.2 การส่งบัญชีรับและจำหน่ายรถ 33
2.8.2.3 การตรวจสภาพ 33
2.8.2.4 ดำเนินการจดทะเบียน 33
2.8.3 การแก้ไขจากเครื่องยนต์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า 33
2.8.3.1 หนังสือรับรองของวิศวกร 34
2.8.3.2 ผลทดสอบ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินการ 35

3.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 35

3.1.1 โครงสร้างรถ Alfa Romeo Giulietta 2.0 MT 1987 35

3.1.2 ระบบภายในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 36

3.1.2.1 ระบบไฟฟ้า 36

3.1.2.2 ระบบเครื่องกล 36

3.2 แบตเตอรี่ 37

3.3 ชุดควบคุมที่ใช้ในการขับมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน 20KW BLDC Motor Controller 38

3.4 การคำนวณมอเตอร์ของรถพลังงานไฟฟ้า 40

3.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปลงถ่านขนาด 10 Kw (Peak 20KW BLDC Motor) 45

3.6 อุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง 46

3.7 PLC และ HMI สำหรับควบคุมการทำงาน 46

บทที่ 4 ผลการทดลอง 50

4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 50

4.1.1 การประเมินความเร็วสูงสุดขณะวิ่งบนถนนลาดยาง (Asphalt) ที่มียานพาหนะสัญจร 50

4.1.2 การประเมินความเร็วสูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง 51

4.1.3 การประเมินแรงบิดสูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง 52

4.1.4 การประเมินความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) สูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง 53

4.1.5 การประเมิน Power (HP) สูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 56

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 56

5.1.1 วิธีการเลือกมอเตอร์ 56

5.1.2 รูปแบบการขับของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าดัดแปลง 56

5.2 ปัญหาและข้อจำกัด 57

5.3 ข้อเสนอแนะ 57

บรรณานุกรม 58

ภาคผนวก 59

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 60

ภาคผนวก ข รายงานผลการทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง 65

ภาคผนวก ค ประวัติผู้เขียน 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท 17
2.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท 18
2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ 18
2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ 29
2.5 แสดงส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์สำหรับรถที่จะรับจดทะเบียน 30
2.6 กำหนดคุณสมบัติ คุณลักษณะ และการติดตั้งสำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์ 32
3.1 แสดง Dimension ของรถ Alfa Romeo Giulietta 2.0 MT 1987 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 HEV/EV Powertrain main components 4
รูปที่ 2.2 EV system configuration 5
รูปที่ 2.3 Pure Electric Powertrain Layout 6
รูปที่ 2.4 Performance curve-Torque-Speed 7
รูปที่ 2.5 Classification of electric motor 8
รูปที่ 2.6 Brushed DC Motor Construction 8
รูปที่ 2.7 Brushed DC Motor Main Components 9
รูปที่ 2.8 Brushed DC Motor Rotor 9
รูปที่ 2.9 Series wound motor 10
รูปที่ 2.10 Construction of Brushless DC Motor 11
รูปที่ 2.11 Construction of Stator Brushless DC Motor 11
รูปที่ 2.12 Hall Sensors on BLDC 12
รูปที่ 2.13 Brushless DC Motor 12
รูปที่ 2.14 Construction of Induction Motor and Permanent Magnet AC Motor 13
รูปที่ 2.15 Construction of IM and PMAC Stator 14
รูปที่ 2.16 Interior Permanent Magnet IPM-Rotor 14
รูปที่ 2.17 Construction of Induction Motor Rotor 15
รูปที่ 2.18 Permanent Magnet and Induction motor 15
รูปที่ 2.19 Cross section IPM Motor-Induction Motor 16
รูปที่ 2.20 Induction Motor 16
รูปที่ 2.21 Permanent Magnet AC Motor 16
รูปที่ 2.22 การทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) 19
รูปที่ 2.23 โครงสร้างภายใน Inverter 20
รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของระบบส่งกำลังรถยนต์ 21
รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะของชุดคลัตช์ 22
รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะของกระปุกเกียร์ 22
รูปที่ 2.27 แสดงลักษณะของเพลากลาง 23
รูปที่ 2.28 แสดงลักษณะของเฟืองท้าย 23
รูปที่ 2.29 แสดงลักษณะของเพลาท้าย 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.30 แสดงระบบปรับอากาศภายในรถยนต์ (Air-conditioning system) 25
รูปที่ 2.31 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน 26
รูปที่ 3.1 รูปร่างโครงสร้างรถ Alfa Romeo Giulietta 2.0 MT 1987 35
รูปที่ 3.2 ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า 36
รูปที่ 3.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) 37
รูปที่ 3.4 ตารางแสดงข้อมูลแบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) 37
รูปที่ 3.5 20KW BLDC Motor Controller 38
รูปที่ 3.6 20KW BLDC Motor Controller Installation size (mm.) 39
รูปที่ 3.7 20KW BLDC Motor Controller Fault List and Trouble Shooting 39
รูปที่ 3.8 รูปตารางแสดงค่า Rolling Resistance 41
รูปที่ 3.9 รูปตารางแสดงค่า Aerodynamics เพื่อคำนวณ Air Drag Force 42
รูปที่ 3.10 10 Kw 96 Volt (Peak 20KW BLDC Motor) 45
รูปที่ 3.11 10 Kw 96 Volt (Peak 20KW BLDC Motor) Installation size (mm.) 45
รูปที่ 3.12 ศูนย์ความเป็นเลิศทางการทดสอบสมรรถนะยานยนต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. 46
รูปที่ 3.13 FX3U-48MR Device configuration. 46
รูปที่ 3.14 ชุด Wiring สายควบคุมหลอดไฟเลี้ยว. 47
รูปที่ 3.15 ชุด Wiring สายควบคุมไฟส่องสว่าง 47
รูปที่ 3.16 ชุด Wiring สายควบคุม High/Low Speed 48
รูปที่ 3.17 ชุด Wiring สายควบคุมเกียร์ 48
รูปที่ 3.18 การเขียน ladder diagram เพื่อควบคุมการทำงาน 49
รูปที่ 4.1 กราฟค่าเฉลี่ยความเร็วเทียบกับเวลา (ผลการทดสอบในกรณีที่ 1) 50
รูปที่ 4.2 กราฟค่าเฉลี่ยความเร็วเทียบกับเวลา (ผลการทดสอบในกรณีที่ 2) 50
รูปที่ 4.3 กราฟค่าเฉลี่ยของความเร็วเทียบกับเวลา (เปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2) 51
รูปที่ 4.4 กราฟค่าของความเร็วเทียบกับเวลา (เปรียบเทียบ Speed Test และ Speed Ref.) 51
รูปที่ 4.5 กราฟค่าของแรงบิด (Torque) เทียบกับเวลา 52
รูปที่ 4.6 กราฟค่าของแรงบิด (Torque) เทียบกับความเร็วรถ 52
รูปที่ 4.7 กราฟค่าของความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับเวลา 53
รูปที่ 4.8 กราฟค่าของความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับความเร็วรถ 53
รูปที่ 4.9 กราฟค่าของการประเมินแรงบิด (Torque) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับเวลา 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.10 กราฟค่าของการประเมินแรงบิด (Torque) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับความเร็วรถ.....54
รูปที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ย Power (HP) เทียบกับ Motor Speed (RPM).....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยานยนต์ของโลกกำลังปรับเปลี่ยนทิศทางใหม่ในช่วงทศวรรษนี้ หลังจากมีการเริ่มต้นพัฒนายานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ามานานกว่า 20 ปี ปัจจุบัน ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle : EV) มีผู้ผลิตเพิ่มมากขึ้นและแพร่หลายอยู่ในบางประเทศ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประเทศไทยจำเป็นต้องทำความเข้าใจและสร้างเสริมศักยภาพในการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศเพื่อรักษาอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ให้ยังคงมีการผลิตในประเทศไทยและสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง

เนื่องจากยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้านั้นยังคงเป็นลักษณะการใช้งานในรูปแบบเดิมเพียงแต่เปลี่ยนแปลงระบบขับเคลื่อนจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้รถพลังงานไฟฟ้าในเขตชุมชน จะช่วยลดมลภาวะทางเสียงและอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคทางเดินหายใจ พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์อาจจะมาจากการเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ หรือใช้เซลล์เชื้อเพลิงสร้างพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดพิเศษ ปัจจุบันยังคงมีการวิจัยค้นคว้าเพื่อหาระบบทำงานที่ดีที่สุด ทั้งความปลอดภัย ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการรักษาสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีการพัฒนามาจนถึงปัจจุบันนั้นยังมีโอกาสที่จะพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดน้ำหนัก รวมถึงการพัฒนาแรงบิดให้มีคุณลักษณะตรงตามการใช้งานได้มากขึ้น

คณะผู้จัดทำฯ ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาศักยภาพและขีดความสามารถในการสร้างความรู้ การออกแบบ และการบำรุงรักษา ชิ้นส่วนสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อเป็นการรักษาฐานการผลิตยานยนต์ที่อนาคตจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า คณะผู้จัดทำฯ จึงได้จัดทำโครงการศึกษาการดัดแปลงรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางต่อยอดให้โครงการฯ ดังกล่าวต่อไปมีประโยชน์ต่อผู้สนใจ และเป็นสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะ นักเรียน นักศึกษา และผู้ประกอบการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ หรืออู่ที่ดำเนินการเกี่ยวข้องกับยานยนต์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1.2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า ภายหลังจากทำการดัดแปลงรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

1.2.3 เพื่อลดมลพิษในอากาศอันเกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ควันและเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1.3.1 ออกแบบระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์ไฟฟ้า (Power train) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามระเบียบกรมการขนส่งทางบก ว่าด้วยหลักเกณฑ์การขออนุญาตให้ใช้รถที่ทำการแก้ไขเพิ่มเติม หรือดัดแปลงตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ.2562 ดังต่อไปนี้

1.3.1.1 สามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.3.1.2 สามารถวิ่งตามความเร็วสูงสุดตามที่กำหนดต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 30 นาที

1.3.2 พัฒนาออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงให้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า

1.4.2 ออกแบบโครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้า

1.4.3 ศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

1.4.4 ออกแบบและคำนวณมอเตอร์ที่ต้องการใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า

1.5.2 สามารถออกแบบโครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้า

1.5.3 มีความรู้ในด้านการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ารถยนต์

1.5.4 สามารถออกแบบและคำนวณมอเตอร์ที่ต้องการใช้ได้

1.5.5 สามารถดัดแปลงรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน เป็นรถยนต์ไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รถยนต์ไฟฟ้า เป็นชื่อเรียกยานพาหนะทางบกสำหรับใช้เดินทางบนถนน โดยยานพาหนะดังกล่าวมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการสร้างแรงขับเคลื่อน ซึ่งเป็นที่มาขอชื่อเรียกยานยนต์ประเภทนี้ มอเตอร์ไฟฟ้าได้รับกระแสไฟฟ้าจากแหล่งเก็บพลังงานที่ติดตั้งไว้บนรถยนต์ นั้นคือ แบตเตอรี่

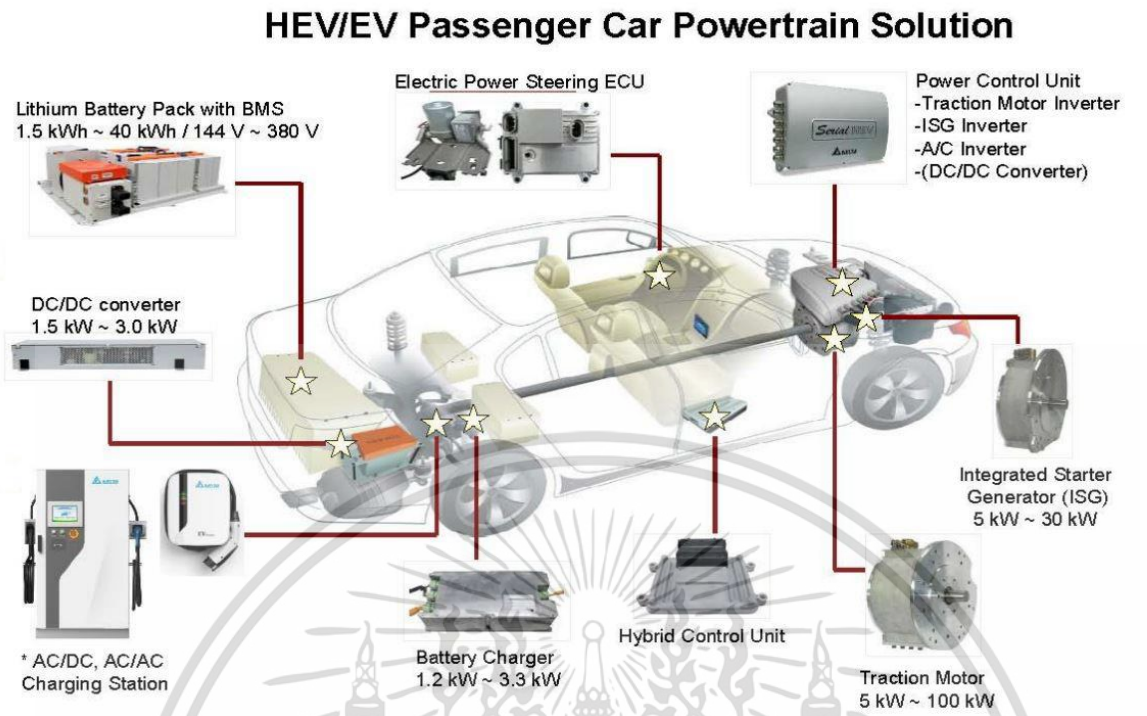
รถยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ 5 ประเภทตามระดับ Powertrain Electrification เป็น ได้แก่ Micro Hybrid Electric Vehicle (μHEV) Mild Hybrid Electric Vehicle (Mild HEV) Full Hybrid Electric Vehicle (Full HEV) Plug-in Hybrid Electric Vehicle และ Pure Electric Vehicle โดยแบ่งย่อยได้เป็น Battery Electric Vehicle (BEV) และ Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

สำหรับการศึกษานี้จะเน้นการศึกษา รถยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า (Pure Electric Powertrain) แบบ Battery Electric Vehicle ซึ่งหมายถึงรถยนต์ที่มีการสร้างแรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยได้รับกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว โดยพลังงานไฟฟ้าจะมีการถูกชาร์จเพิ่มจากแหล่งพลังงานด้านนอก

2.1 ระบบการทำงานรถยนต์ไฟฟ้า

ส่วนประกอบที่สำคัญของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความแตกต่างจากรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมากที่สุดคือ ระบบขับเคลื่อน ซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลักได้แก่ มอเตอร์ขับเคลื่อน (Traction Motor) พร้อมด้วยส่วนควบคุมอินเวอร์เตอร์ (Traction Motor Inverter) และระบบกักเก็บพลังงาน (Energy storage system) ในที่นี้หมายถึงแบตเตอรี่ (Battery) พร้อมกับหน่วยควบคุมแบตเตอรี่ (Battery management system/BMS) และอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีที่อุปกรณ์ดังกล่าวติดตั้งไว้บนรถ จะเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า On-board charger นอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าหรือ DC/DC converter ประกอบในระบบขับเคลื่อนด้วย รูป 2.1 แสดงชิ้นส่วนหลักของระบบขับเคลื่อนและระบบกักเก็บพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



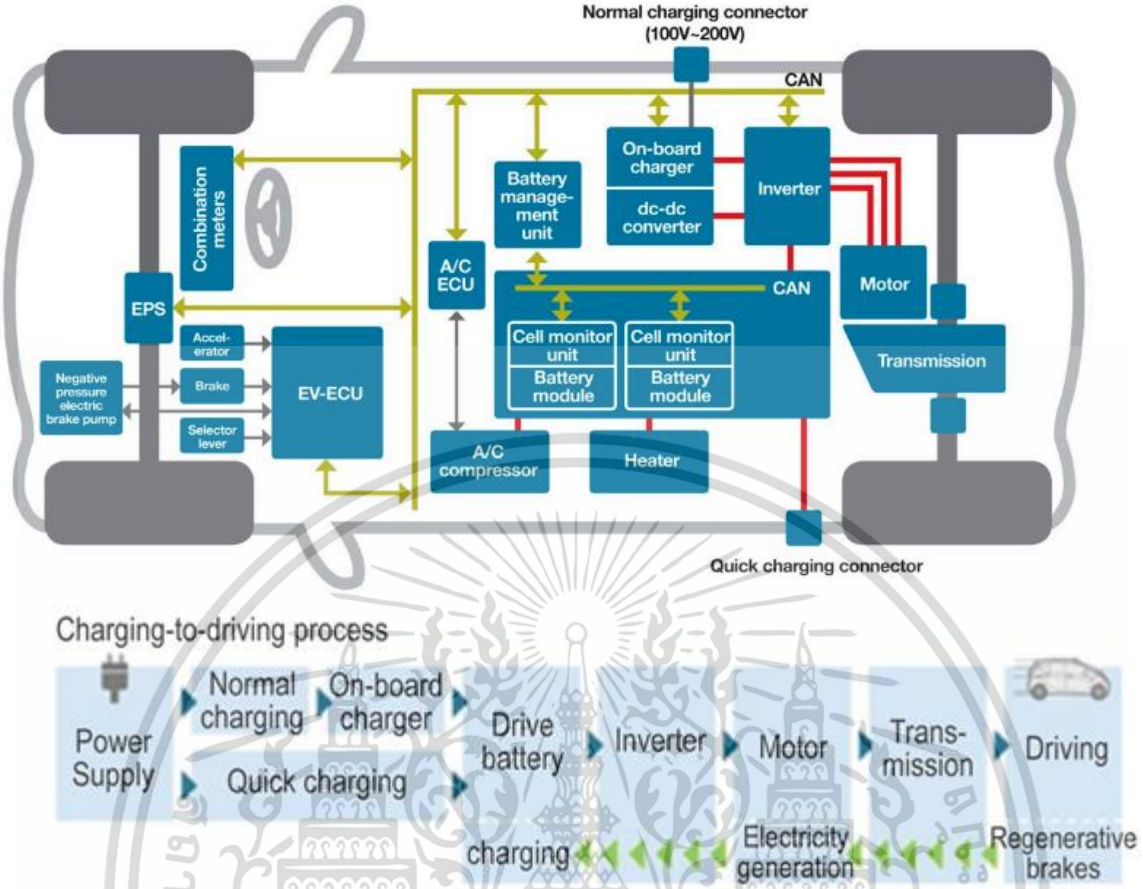
รูป 2.1 HEV/EV Powertrain main components

(Source: https://www.deltaww.com/en-us/products/Automotive-Electronics/ALL/)

รูป 2.2 แสดงเส้นทางการไหลเวียนพลังงานไฟฟ้าในรถยนต์ไฟฟ้า พร้อมหน้าที่ของแต่ละอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง Power supply ทำหน้าที่ผ่านจ่ายประจุไฟฟ้าให้กับระบบกักเก็บพลังงาน โดยอาจจะผ่านชาร์จแบบปกติ (Normal charging) แล้วผ่าน On-board charger ไปยัง Traction Battery หรือใช้การชาร์จแบบเร็ว (Quick Charging) ตรงเข้าไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เมื่อ Motor ต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ Inverter จะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าตรงที่ได้รับจากแบตเตอรี่เป็นกระแสสลับ ในกรณีที่มอเตอร์ไฟฟ้าต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ และเปลี่ยนแรงดันและความถี่กระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์

มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ส่งถ่ายผ่านชุดเกียร์ (Transmission) เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ ในกรณีที่รถยนต์เบรก จะเกิดกระบวนการ Regenerative brakes ขึ้นโดยมอเตอร์ไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์เปลี่ยนพลังงานกลกลับเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วนำไปชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 EV system configuration

(Source: https://www.silabs.com/products/isolation)

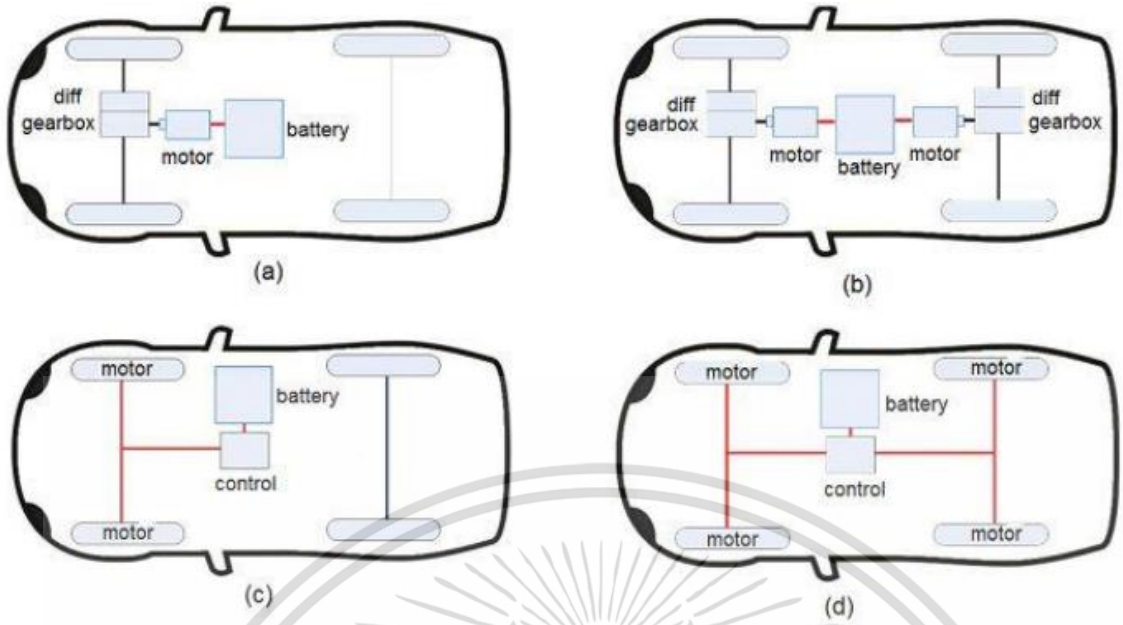
การจัดวางชิ้นส่วนระบบขับเคลื่อนสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบดังเช่น ตัวอย่างที่แสดงในรูป 2.3 รูปแบบการจัดวางชิ้นส่วนระบบขับเคลื่อนมีผลกระทบโดยตรงต่อชิ้นส่วนอุปกรณ์และระบบอื่น ๆ ของรถยนต์ไฟฟ้า

รูป 2.3 a) แสดงการจัดวางระบบขับเคลื่อนซึ่งประกอบไปด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า 1 ตัว จะรับพลังงานจากแบตเตอรี่และสร้างแรงขับเคลื่อนผ่านชุดเกียร์ไปยังเพลาขับด้านหน้า ก่อนที่จะส่งต่อไปที่ล้อ การจัดวางในลักษณะนี้คล้ายคลึงกับการวางระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์

รูป 2.3 b) แสดงการจัดวางด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 2 ตัว โดยแต่ละตัวจะส่งแรงขับไปยังเพลาที่ต่างกัน ทำให้รถยนต์สามารถขับเคลื่อนได้ทั้ง 4 ล้อ

ความแตกต่างที่เด่นชัดระหว่างระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากับระบบขับเคลื่อนอื่น คือ ความสามารถในการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าไว้ที่ดุมล้อ (In-Wheel Motor) โดยมอเตอร์ไฟฟ้าถ่ายทอดสร้างแรงขับเคลื่อนไปยังล้อ โดยไม่ผ่านอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น เกียร์ และเพลาขับอีกต่อไป ดังแสดงใน รูป 2.3 c) และ รูป 2.3 d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 Pure Electric Powertrain Layout

รถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันยังคงมีโครงสร้างหลักและส่วนประกอบที่ใกล้เคียงกับรถยนต์สันดาปภายใน กล่าวคือ โครงฐาน ตัวถัง และภายนอกตัวรถยังคล้ายเดิม ระบบกันสะเทือน ระบบบังคับเลี้ยว และระบบเบรก จะมีการปรับเปลี่ยนตามขนาดหรือประเภทรถยนต์ไฟฟ้านั้น ๆ อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนประกอบพื้นฐานของระบบดังกล่าวยังคงคล้ายเดิม เช่นเดียวกับชิ้นส่วนพื้นฐานสำหรับอุปกรณ์ภายในรถยนต์ ทั้งนี้ อาจจะมีการปรับเปลี่ยนบ้างในบางรายการที่ลดความสำคัญในการใช้งานลง เช่น คันเกียร์ หรือมีการเพิ่มรายละเอียดของอุปกรณ์ที่เพิ่มบทบาทมากขึ้น เช่น อุปกรณ์แสดงผลหน้าจอ

ชุดเกียร์ รวมถึงเพลาขับ เป็นชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนไปตามรูปแบบการจัดวางระบบ ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ในกรณีที่ใช้จัดวางมอเตอร์ขับเคลื่อนเพียง 1 หรือ 2 ตัว ติดตั้งอยู่บริเวณกลางรถยนต์คล้ายกับการวางเครื่องรถยนต์ จะยังคงใช้ชุดเกียร์และเพลาขับ แต่จะลดจำนวนฟันเฟืองลง และปรับเปลี่ยนอัตราทดให้เหมาะสมกับการใช้งานกับมอเตอร์ขับเคลื่อนในแต่ละแบบ หากเป็นระบบที่ใช้ In-Wheel-Motor ชุดเกียร์และเพลาขับจะไม่ถูกนำมาใช้

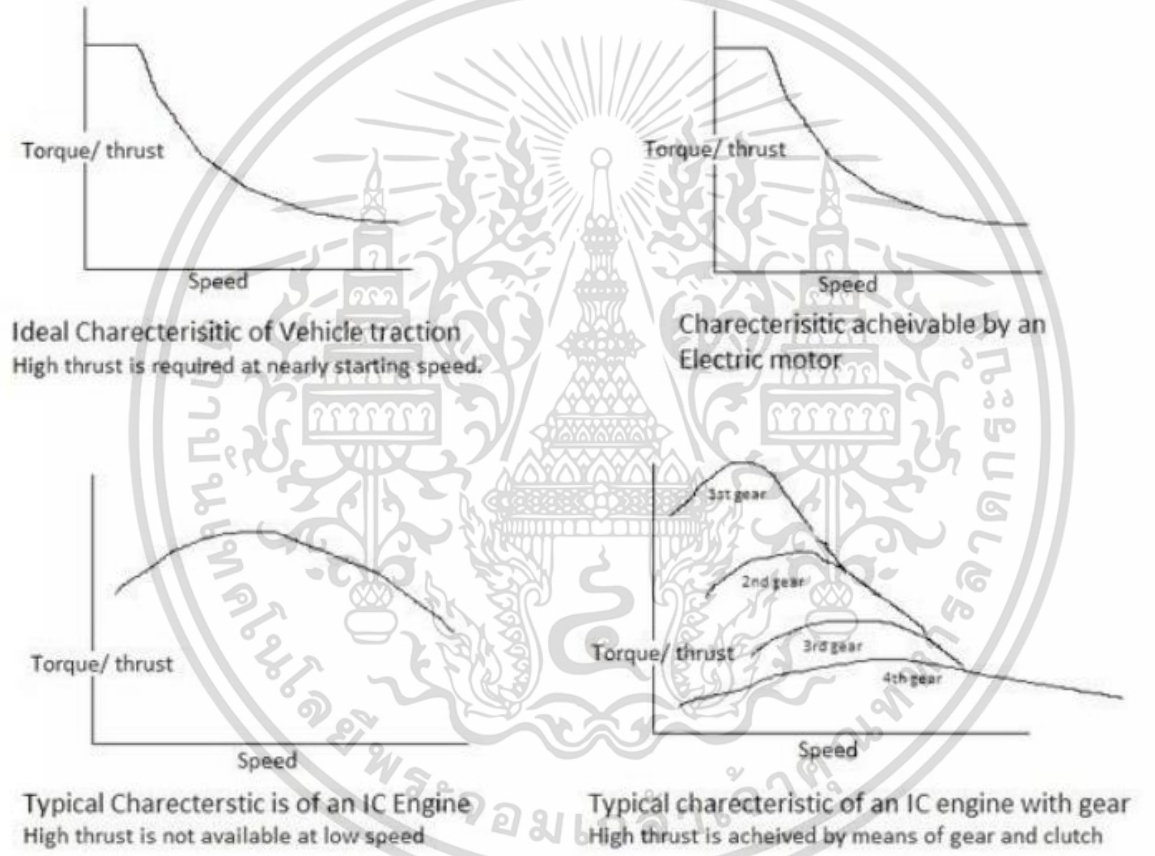
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล สำหรับการนำมาใช้ในระบบขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า หน้าที่หลักของมอเตอร์ขับเคลื่อนคือการสร้างแรงบิดเพื่อใช้เป็นแรงขับเคลื่อน นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นเจเนอเรเตอร์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าในขณะที่รถเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุผลสำคัญในการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามาเป็นตัวกำหนดกำลังบนรถยนต์เนื่องจากความสามารถในการสร้างแรงบิดต่อรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ตอบสนองความต้องการใช้พลังงานของรถยนต์ได้เป็นอย่างดี ดังแสดงไว้ในรูป 2.4

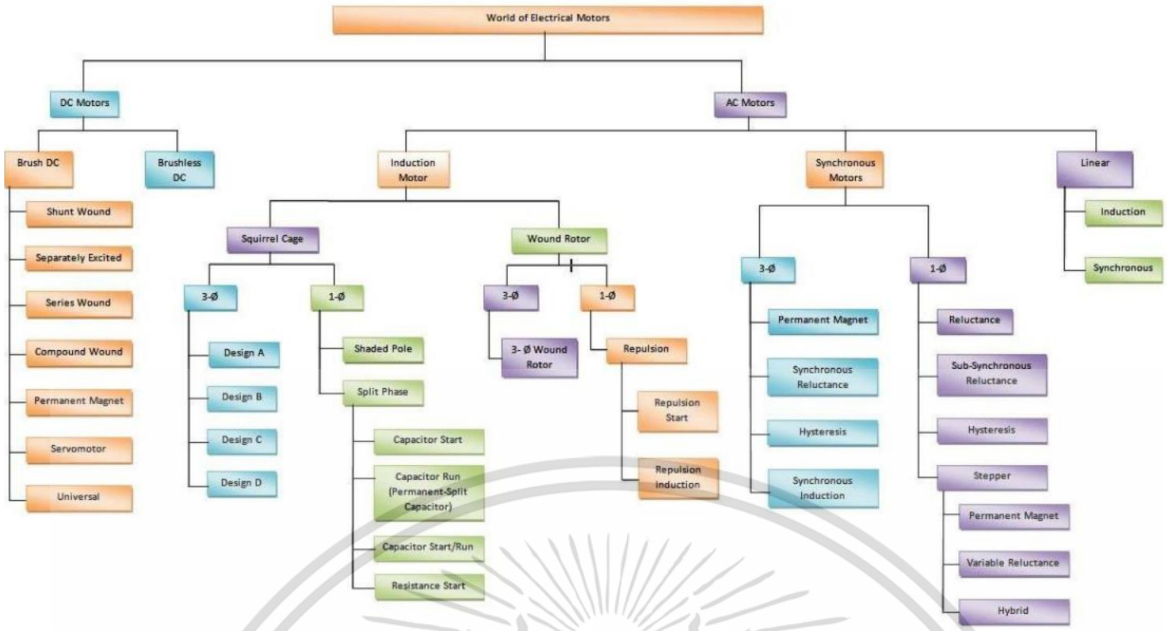
รูป 2.4 บนซ้าย แสดงความต้องการการใช้พลังงานของรถยนต์ในการเคลื่อนที่ โดยในรอบความเร็วต่ำมีความต้องการใช้แรงบิดที่สูง จากนั้นจะคงที่จนถึงรอบเครื่องหนึ่ง แล้วแรงบิดที่ต้องการจะลดลง เมื่อพิจารณาแรงบิดต่อรอบที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสร้างได้ (รูป 2.4 บนขวา) กับแรงบิดที่เครื่องยนต์สามารถให้ได้ในช่วงรอบเดียวกัน (รูป 2.4 ซ้ายล่าง) พบว่ากราฟของมอเตอร์ไฟฟ้าใกล้เคียงมากกว่า ระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์จะสามารถตอบสนองความต้องการได้ดีขึ้น เมื่อทำงานร่วมกับชุดเกียร์ (รูป 2.4 ขวาล่าง)



รูป 2.4 Performance curve-Torque-Speed

มอเตอร์ไฟฟ้ามีหลากหลายประเภทดังแสดงไว้ในรูป 2.5 ในที่นี้จะนำเสนอเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนในรถยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ตามลักษณะกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์รับมาเพื่อใช้ทำงาน ได้แก่ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และมอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

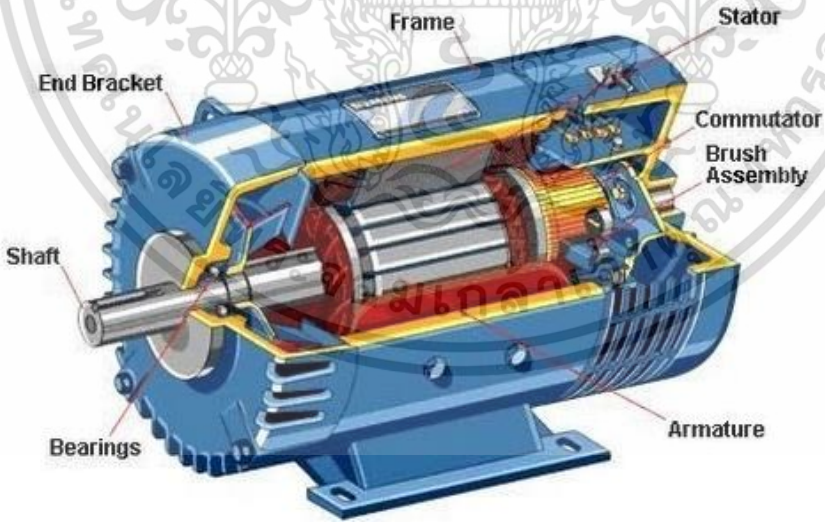


รูป 2.5 Classification of electric motor

2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่นิยมนำมาใช้เป็น Traction motor ให้กับรถยนต์ไฟฟ้ามี 2 ประเภท ได้แก่ Series wound motor และ Brushless DC Motor (BLDC)

Series wound motor เป็นมอเตอร์แบบใช้แปรงถ่านชนิดหนึ่ง (DC brush motor) โดยโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูป 2.6



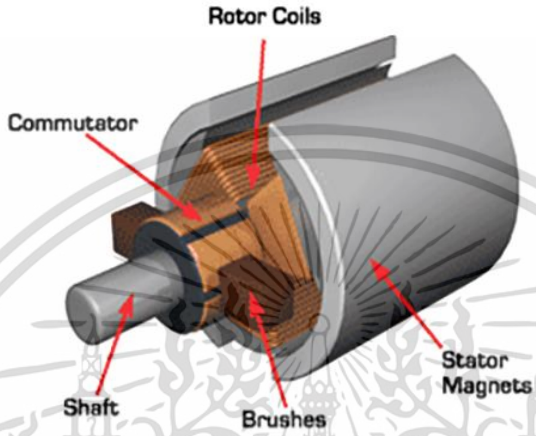
รูป 2.6 Brushed DC Motor Construction

(Source: https://www.theengineeringprojects.com/2020/12/brushed-dc-motor.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ชนิดนี้จะประกอบไปด้วย stator rotor brushes และ commutator ดังแสดงในรูป 2.7

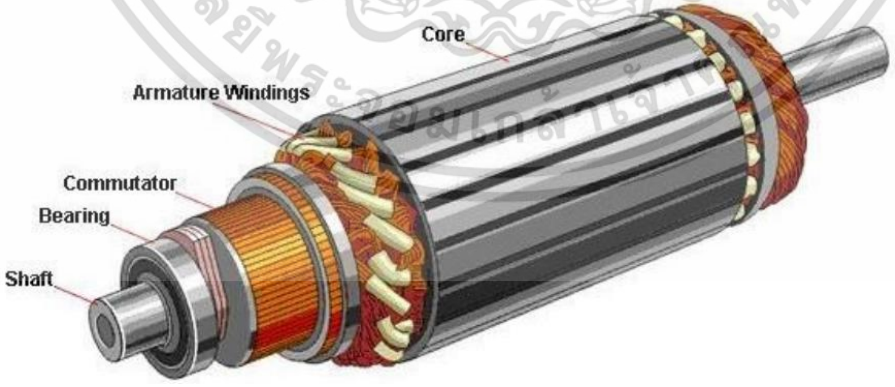
สเตเตอร์ จะประกอบไปด้วย Frame เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก สเตเตอร์ จะสร้างสนามแม่เหล็กรอบ โรเตอร์ ด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) หรือแกนแม่เหล็กพันขดลวด (Electromagnetic Windings)



รูป 2.7 Brushed DC Motor Main Components

(Source: https://www.linearmotiontips.com/are-brushed-motors-suitable-for-industrial-applications/)

โรเตอร์ หรือจะเรียกว่า Armature (รูป 2.8) สำหรับมอเตอร์ชนิดนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแนววางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) บน โรเตอร์ จะประกอบไปด้วย แกนเพลา (Shaft) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding)



รูป 2.8 Brushed DC Motor Rotor

(Source: https://www.nayoktech.ac.th/webnew/attachments/article/917)

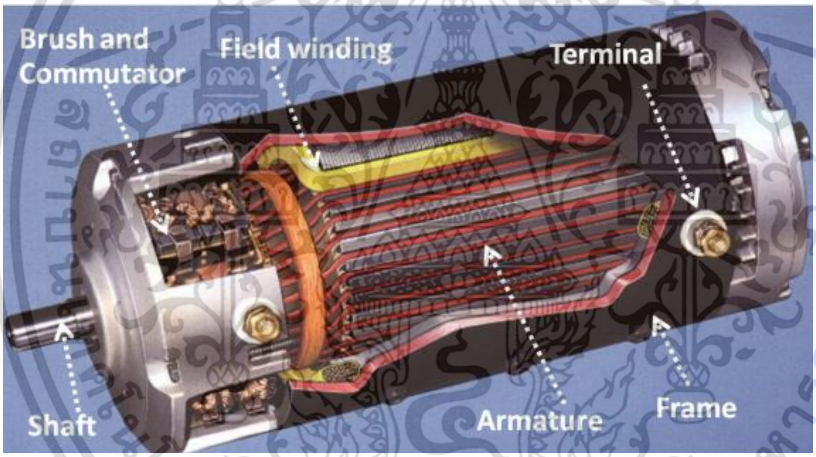
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) โดยแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์เมเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์จะอัดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสแปรงถ่าน (Carbon Brushes)

Brush ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าในซองแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านสัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา

มอเตอร์ชนิดนี้จะต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อกระตุ้นตัวเองให้มีการสับเปลี่ยนตำแหน่งด้วยตนเอง ซึ่งต้องใช้แปรงถ่าน (Brush) และ Permanent magnet หรือ Electromagnetic Windings การสับเปลี่ยนดังกล่าวจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของโรเตอร์

มอเตอร์ประเภทนี้มีราคาถูก ควบคุมการทำงานได้ง่าย หาซื้อได้ไม่ยาก เป็นนิยมสำหรับผู้ทำการดัดแปลงรถยนต์ธรรมดาให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้า ข้อด้อยคือการต้องหมั่นบำรุงรักษา commutator carbon brushes ตัวอย่างของ Series wound motor แสดงในรูป 2.9

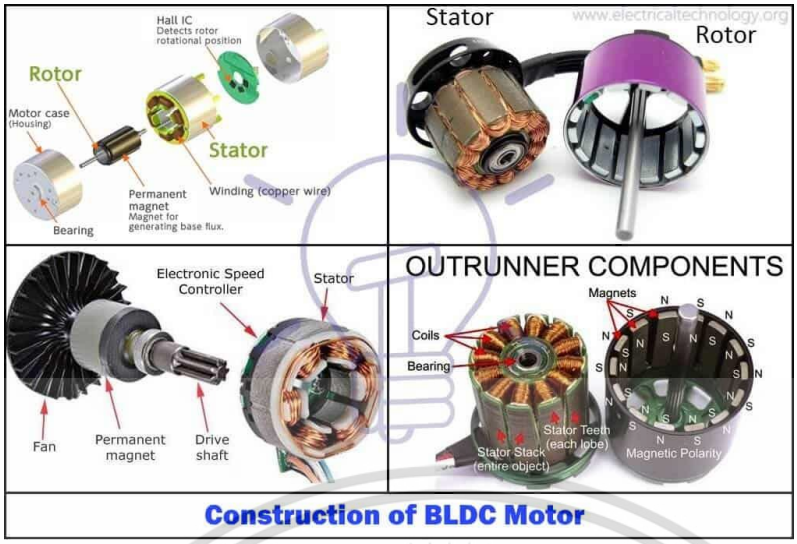


รูป 2.9 Series wound motor

(Source: https://www.g-tech.ac.th/vdo/moterdoc)

Brushless DC Motor (BLDC) ในมอเตอร์ชนิดนี้ได้มีการนำตัวสับเปลี่ยนกลไกแบบสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกมาใช้แทนที่สวิทช์หมุน งดใช้ Commutator และ Brush ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของการหมุนได้แม่นยำมากขึ้น

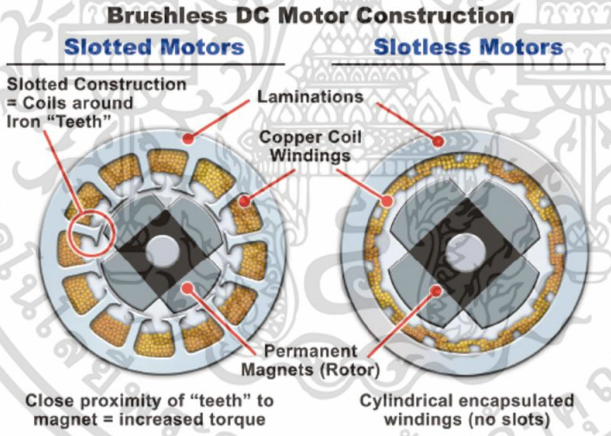
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.10 Construction of Brushless DC Motor

(Source: https://www.electricaltechnology.org/2016/05/bldc-brushless-dc-motor-construction-working-principle.html)

โครงสร้างหลักของ BLDC แสดงไว้ในรูป 2.10 โดยภายใน สเตเตอร์ อาจจะประกอบไปด้วย Stator Teeth ที่ทำจาก Stacked Steel Laminations และพันด้วยขดลวด (Windings) หรือเป็น Slotless Motor ที่ลดการใช้ Teeth ดังแสดงในรูป 2.11

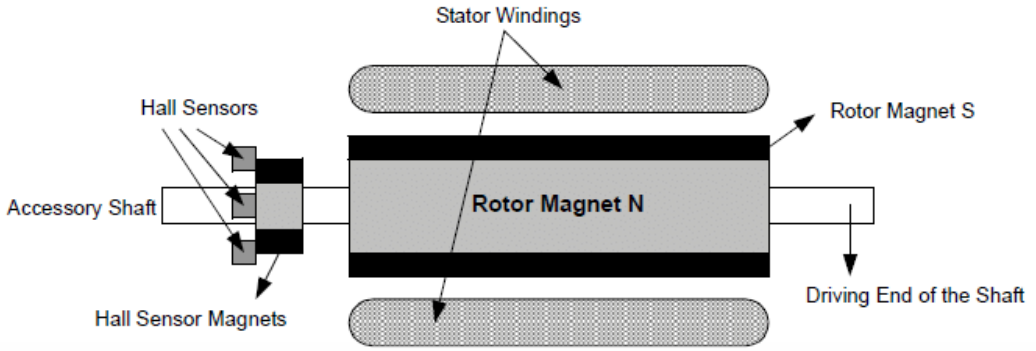


รูป 2.11 Construction of Stator Brushless DC Motor

(Source: https://www.haydonkerkpittman.com/learningzone/whitepapers/comparing-slotted-vs-slotless-brushless-dc-motors)

โรเตอร์ จะประกอบไปด้วย Permanent magnet ทรงกระบอกที่ติดตั้งบน shaft การจัดวางตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กเหนือใต้ มีความแตกต่างกันไปตามชนิดและขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการผลิตนอกจากนั้น BLDC ยังจำเป็นต้องมี Hall sensor เพื่อทำหน้าที่บอกตำแหน่งของ โรเตอร์ โดยส่วนใหญ่ BLDC จะประกอบไปด้วย Hall Sensor 3 ชุด ดังแสดงในรูป 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.12 Hall Sensors on BLDC

(Source:https://www.ti.com/lit/an/slva642b/slva642b.pdf?ts=1672479101740&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

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

รูป 2.13 Brushless DC Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) ที่ใช้ในปัจจุบันนิยมนำมาใช้เป็น Traction motor ได้แก่ Induction motor (IM) ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในประเภท Asynchronous motor ตัวอย่างเช่น Permanent magnet AC motor (PMAC) ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกลุ่ม Synchronous motor

ในมอเตอร์ประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor: IM) พลังงานจะถูกโอนไปยังโรเตอร์โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เหมือนการกระทำของหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์เหนี่ยวนำมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงที่กำลังหมุน โดยที่สเตเตอร์เป็นขดลวดปฐมภูมิ และ โรเตอร์เป็นขดทุติยภูมิ

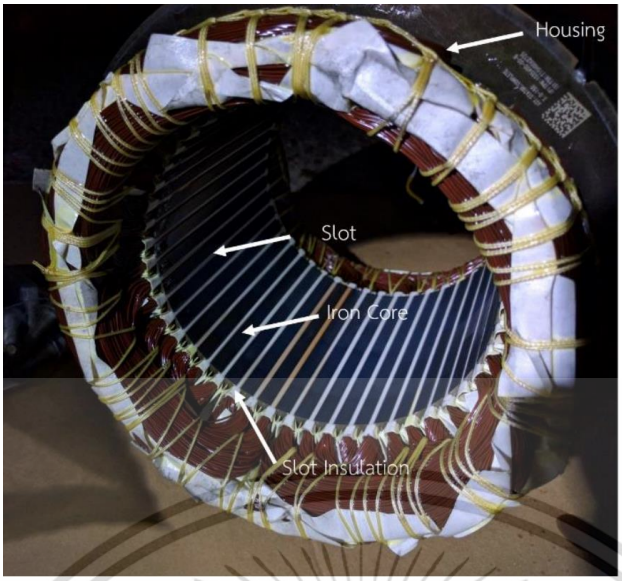
มอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet AC Motor) ไม่ได้มีการสร้างสนามแม่เหล็กจากขดลวดบนสเตเตอร์ แต่จะอาศัยสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรแทน ในการปฏิสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อสร้างแรงบิด

มอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรมีโครงสร้างพื้นฐานใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูป 2.14 ซึ่งแสดง Traction motor ที่ใช้ในรถยนต์ของบริษัท GM

รูป 2.14 Construction of Induction Motor and Permanent Magnet AC Motor
(Source: https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/motores-electricos-imanes-permanentes-tierras-raras-copan-mercado/20190312113411026283.html)

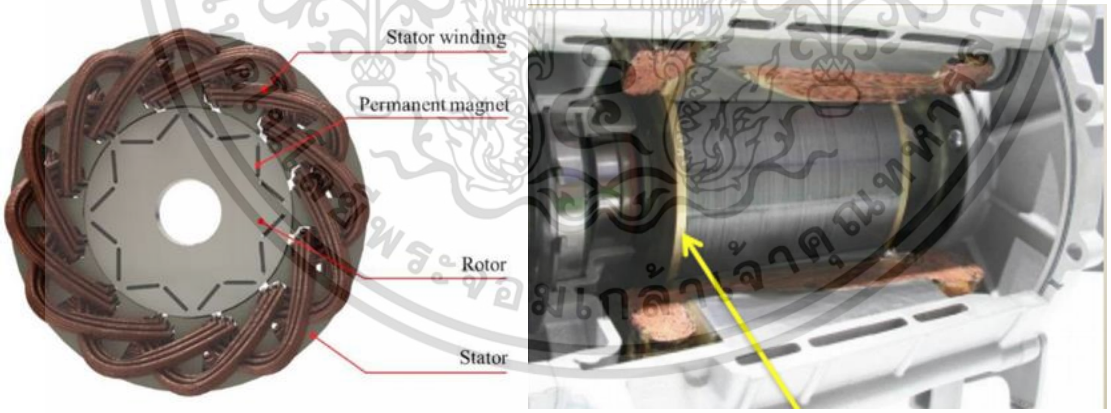
สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรประด้วย Iron Core ซึ่งเกิดจากการประกอบแผ่นแม่เหล็กขนาดบาง (Laminations) จำนวนมากเข้าด้วยกันและมีการพันขดลวดทองแดงเข้าไปตามช่อง Slot โครงสร้างของสเตเตอร์ของมอเตอร์ทั้งสองประเภทดังแสดงในรูป 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.15 Construction of IM and PMAC Stator

ความแตกต่างทางโครงสร้างของมอเตอร์ทั้งสองชนิดอยู่ที่โรเตอร์ โดยโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร ประกอบขึ้นจาก Laminations จำนวนมากและมีการใส่แม่เหล็กถาวรเข้าไปในโรเตอร์ ดังตัวอย่างที่แสดงใน รูป 2.16 ซึ่งเป็นตัวอย่างโรเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Interior permanent magnet (IPM) ของบริษัท Ford Motor จากรูปจะเห็นได้ถึงลักษณะแบบแผนการเจาะช่องสำหรับใส่แม่เหล็กถาวร โดยแต่ละมอเตอร์จะมีแบบแผนการเจาะช่องที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเป็นองค์ความรู้ในการออกแบบมอเตอร์ชนิดนี้

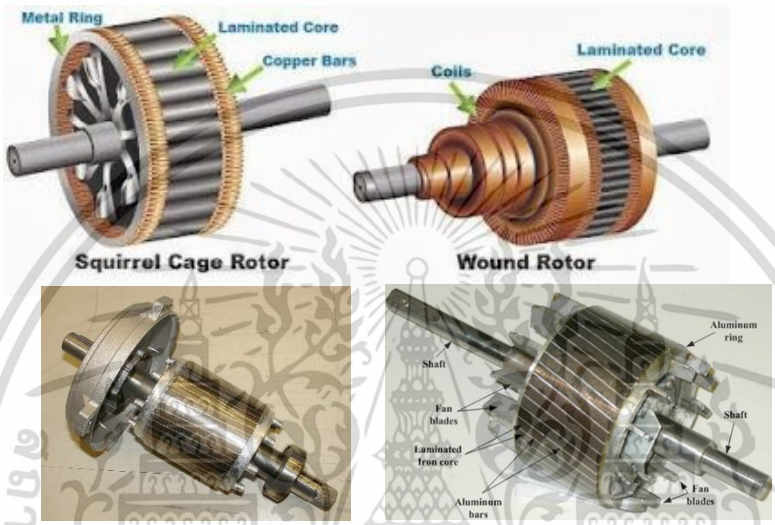


รูป 2.16 Interior Permanent Magnet IPM-Rotor

(Source: https://www.roboteq.com/applications/all-blogs/523-internal-permanent-magnet-ipm-motor-control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

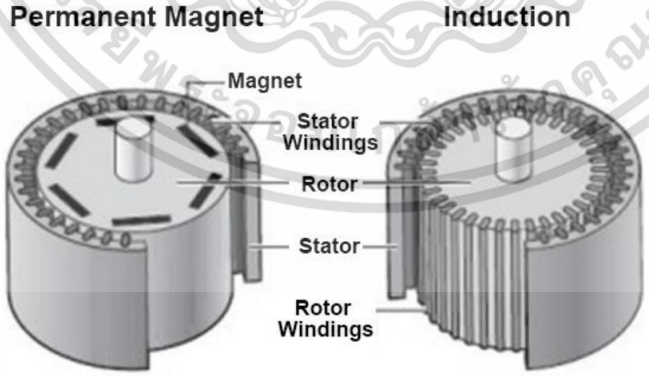
โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ Squirrel Cage Rotor และ Wound Rotor ในส่วนของโครงสร้างพื้นฐานของโรเตอร์นั้น ทั้งสองประเภทคล้ายคลึงกัน โดยประกอบขึ้นจาก Laminated Care ซึ่งทำมาจากเหล็กแผ่นบางและมีการเจาะช่องด้านนอกเพื่อวาง Bar โดยทั่วไป Bar จะทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนี่ยม การพันขดลวด (Winding) เข้าไปใน Bar ของโรเตอร์นั้นจำเป็นต้องให้ได้จำนวน Pole เท่ากับจำนวนของ Pole ในสเตเตอร์ ในส่วนด้านท้ายของ Squirrel Cage Rotor จะติดตั้ง Slip Rings เอาไว้สำหรับการติดตั้ง Resistors and Contactors เพิ่มเติม รูป 2.17 แสดงโครงสร้างโรเตอร์ทั้งสองชนิดของมอเตอร์การเหนี่ยวนำ



รูป 2.17 Construction of Induction Motor Rotor

(Source: http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=219&section=30&issues=13)

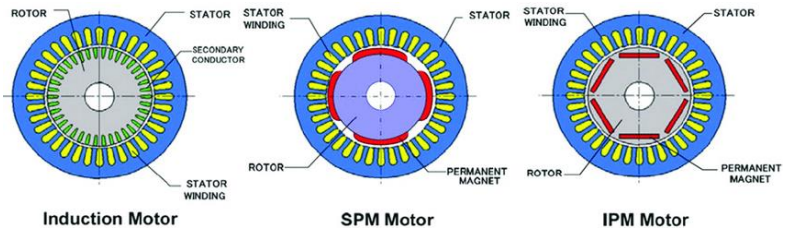
รูป 2.18 และ รูป 2.19 แสดงความแตกต่างทางโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยเน้นการแสดงให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างโรเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละประเภทมีจำนวน Pole เท่ากัน



รูป 2.18 Permanent Magnet and Induction motor

(Source: https://empoweringpumps.com/ac-induction-motors-versus-permanent-magnet-synchronous-motors-fuji/)

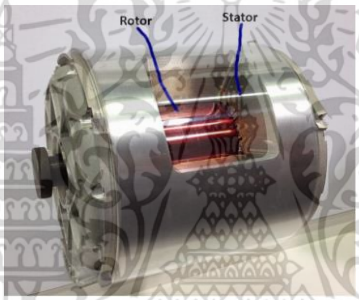
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.19 Cross section IPM Motor-Induction Motor

(Source: https://www.researchgate.net/figure/Common-schematic-types-of-induction-and-permanent-magnet-motors_fig1_346678648)

ในส่วนของการใช้งานนั้น มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำถือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่นิยมใช้มากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม อันเนื่องมาจากความคงทนถาวร ไม่เสียง่าย จำนวนชิ้นส่วนภายในของมอเตอร์น้อย ทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา ในส่วนภาครถยนต์ไฟฟ้า ได้มีบริษัทรถยนต์หลายบริษัทเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทนี้ เช่น Tesla รูป 2.20 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำไปใช้งานในรถยนต์ Tesla Model S



รูป 2.20 Induction Motor

(Source: https://www.teslamagazin.sk/tesla-model-x/tesla-model-x-elektromotor/)

ข้อเด่นของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร คือ ความสามารถในการให้แรงบิดในระดับสูงได้อย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพสูง และมอเตอร์สามารถให้กำลังคงที่ในช่วงรอบมอเตอร์สูง ข้อด้อยคือราคาสูง เนื่องจากมีการใช้แร่ธาตุที่หายาก สำหรับการผลิตชิ้นส่วน การบำรุงรักษายาก บริษัทรถยนต์ที่เลือกใช้มอเตอร์ ประเภทนี้เช่น BMW Nissan รูป 2.21 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรที่ใช้ติดตั้งในรถยนต์ไฟฟ้า BMW i3

รูป 2.21 Permanent Magnet AC Motor

(source: https://artsandculture.google.com/asset/bmw-i3-traktions-elektromotor-typ-emp242-schnittmodell/SwHMeacau1egQA?hl=de)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติและการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ได้นำเสนอไปในบทก่อนหน้านี้ ตาราง 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของ Direct current motor (DC motor) Permanent Magnet motor (PMAC) และ Induction motor (IM) ในด้านต้นทุนและการบำรุงรักษา แรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างขึ้นมาได้ ความทนทานของมอเตอร์ การเพิ่มความเร็ว และประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม

ตาราง 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

คุณสมบัติ	Dc motor	AC motor	
		Permanent magnet Motor	Induction motor
ต้นทุนและการบำรุงรักษา	ราคาปานกลาง	ราคาแพงที่สุด	ราคาถูกและบำรุงรักษาง่าย
แรงบิด	ให้แรงบิดสูงและสัมพันธ์กับกระแสไฟที่จ่าย	ขึ้นกับความสามารถในการซิงโครนัส	สามารถควบคุมแรงบิดได้ทั้งการปรับแรงดันและความถี่หรือควบคุมแบบเวคเตอร์
ความทนทาน	ความทนทานต่ำความสึกหรอสูง	ค่อนข้างทนทาน	ความทนทานสูง
การเพิ่มความเร็วมอเตอร์	ขึ้นกับแรงดันแบตเตอรี่	ขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนให้กับมอเตอร์	ขยายช่วงรอบการทำงานได้กว้างที่สุด
ประสิทธิภาพการทำงาน	ประสิทธิภาพปานกลาง	ประสิทธิภาพดีที่สุด	ประสิทธิภาพปานกลาง

นอกจากการคำนึงถึงคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแล้ว ยังควรคำนึงถึงคุณสมบัติของชุดควบคุมมอเตอร์ด้วย ตาราง 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

Motor control unit			
คุณสมบัติ	Dc motor	AC motor	
		Permanent magnet Motor	Induction motor
ต้นทุนและการบำรุงรักษา	ราคาถูกที่สุด	ราคาแพงที่สุด	ราคาค่อนข้างสูง
วิธีการควบคุมความเร็ว	ทำได้ง่าย โดยการควบคุมระดับแรงดัน	ควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับ	สามารถควบคุมแรงบิดได้ทั้งการปรับแรงดันและความถี่หรือควบคุมแบบเวคเตอร์
การสร้างแรงบิด	ใช้กระแสไฟสูง	สร้างแรงบิดได้สูง	ต้องใช้วงจรพิเศษ
ความเร็วสูงสุด	ขึ้นกับแรงดันแบตเตอรี่	ขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนให้กับมอเตอร์	ขยายช่วงรอบการทำงานได้กว้างที่สุด

ในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้เป็น Traction Motor สำหรับรถยนต์ไฟฟ้านั้น ลักษณะการติดตั้งจะมีผลต่อคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรง ตาราง 2.3 นำเสนอคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าในเมื่อทำการติดตั้งที่ล้อ ตำแหน่งใกล้กับล้อ และการติดตั้งมอเตอร์ที่เพลา มาเปรียบเทียบ

ตาราง 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ

คุณสมบัติ	**มอเตอร์ที่ล้อ**	**มอเตอร์ใกล้ล้อ**	**มอเตอร์ที่เพลา**
ความยุ่งยากในการออกแบบ	มีความยุ่งยากสูงเพราะต้องออกแบบให้มอเตอร์มีแรงบิดเพียงพอสำหรับการขับเคลื่อน	สามารถใช้เฟืองเพื่อทดกำลังต่อไปยังล้อได้	ง่ายที่สุดเพราะใช้ระบบกำลังส่งเดิม
ประสิทธิภาพ	สูงที่สุดเพราะไม่มีความสูญเสียทางกล	มีความสูญเสียทางกลบ้าง	มีการสูญเสียในระบบส่งกำลัง (เพลา เฟือง)
ความทนทาน	เป็นการเพิ่ม Unsprung load	ทนทานกว่ามอเตอร์ที่ล้อ การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในแต่ละล้อทำได้ยาก	ทนทานเท่ากับระบบปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

คือวงจรแปรผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ได้ตามต้องการ สามารถแบ่งชนิดของอินเวอร์เตอร์ได้เป็นสองกลุ่มคือ อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter: VSI) กับอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter: CSI) อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (VSI) มักจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนักแต่อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (CSI) จะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ประเภทอินเวอร์เตอร์ที่นิยมนำไปใช้งานคือ อินเวอร์เตอร์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse width Modulation inverter: PWM inverter)

หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟกระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไปที่มีแรงดันและความถี่คงที่ ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นซายน์ แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่น แตกต่างจากรูปซายน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน ของวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของ 3-Phase Induction Motor

รูป 2.22 การทำงานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

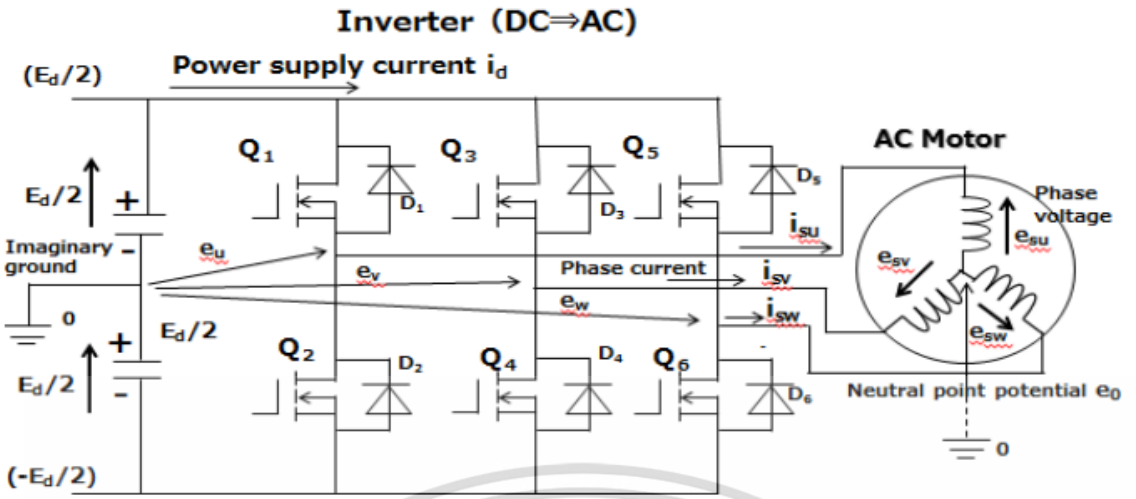
โครงสร้างภายในอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

1. ชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟ AC Power Supply (50 Hz) ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC Voltage)

2. ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสตรง (DC Voltage) ให้เป็นไฟกระแสสลับ (AC Voltage) ที่สามารถเปลี่ยนแปลง

3. แรงดันและความถี่ได้ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์และชุดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.23 โครงสร้างภายใน Inverter

วิธีการเลือกอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

1. ระบบไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์: ถือเป็นรายละเอียดที่สำคัญมาก เราควรดูว่าอินเวอร์เตอร์ที่เราเลือกนั้นใช้กับระบบไฟฟ้าแบบใด แบบ 1 เฟส หรือแบบ 3 เฟส และมีช่วงแรงดันและกระแสในการใช้งานอยู่ที่เท่าไร

2. กำลังของมอเตอร์: ใช้กับกำลังมอเตอร์ขนาดเท่าไร

3. ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมอเตอร์: ความถี่ของมอเตอร์ที่สามารถใช้ได้

4. แรงบิด (Torque) ของโหลด : ควรพิจารณาจากการใช้งานว่าเราต้องการแรงบิดที่จะป้อนให้กับโหลดเท่าใด

5. สภาพแวดล้อมในการติดตั้ง : บริเวณที่ทำการติดตั้งนั้นมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณเท่าไร มีความชื้นแค่ไหน และหากบริเวณที่เราติดตั้งนั้นต้องเผชิญกับฝุ่นและน้ำเราก็ควรเลือกอินเวอร์เตอร์ที่ได้รับมาตรฐานการป้องกันฝุ่นและน้ำ

6. ขนาด: ขนาดของอินเวอร์เตอร์เราควรพิจารณาจากพื้นที่ที่เราทำการติดตั้ง

7. Cooling Method: เวลาใช้งานตัวอินเวอร์เตอร์จะเกิดความร้อนขึ้น เพื่อไม่ให้อินเวอร์เตอร์ร้อนเกินไปในขณะใช้งานทางที่ดีเพื่อป้องกันความเสียหายควรเลือกอินเวอร์เตอร์ที่มีระบบการระบายความร้อน

2.4 ระบบส่งกำลังรถยนต์ (Powertrain System)

ระบบส่งกำลังในรถยนต์ คือการส่งกำลังที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ไปขับเคลื่อนล้อรถยนต์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ ในการส่งถ่ายกำลังนี้ จะประกอบไปด้วยเครื่องยนต์ คลัตช์ เกียร์ เพลากลาง เฟืองท้าย และเพลาขับล้อ ดังนั้นจะต้องศึกษาให้เข้าใจถึงหลักการในการส่งกำลังรถยนต์เพื่อจะได้นำความรู้ไปปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

ส่วนประกอบของรถยนต์ แบ่งได้ 3 ส่วน คือ

2.4.1.1 มอเตอร์ ทำหน้าที่ แปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานจลน์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อน

2.4.1.2 ระบบส่งกำลัง ทำหน้าที่ ถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังล้อรถยนต์

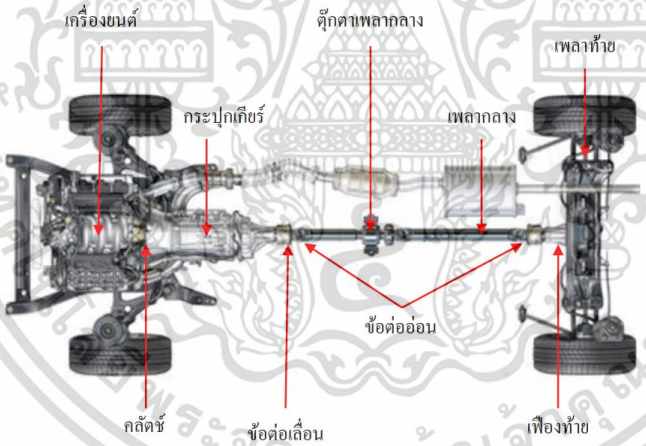
2.4.1.3 โครงรถ ทำหน้าที่ รองรับเครื่องยนต์ ระบบบังคับเลี้ยว ระบบรองรับน้ำหนัก ระบบพวงมาลัย และตัวถังรถยนต์ ประกอบด้วยโครงสร้างภายใน รวมถึงที่นั่ง ระบบปรับอากาศ ระบบไฟแสงสว่าง ระบบความปลอดภัย และอื่น ๆ

การออกแบบระบบส่งกำลังในรถยนต์ มีจุดประสงค์พื้นฐานอยู่หลายประการดังนี้

- การถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ไปยังล้อ
- ตัดและต่อกำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อ
- เปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วตามสภาพการใช้งาน
- เปลี่ยนทิศทางการขับเคลื่อนให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลัง

2.4.2 ส่วนประกอบและหน้าที่ของระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลัง ประกอบด้วย คลัตช์ กระปุกเกียร์ เพลากลาง เฟืองท้าย เพลาท้าย



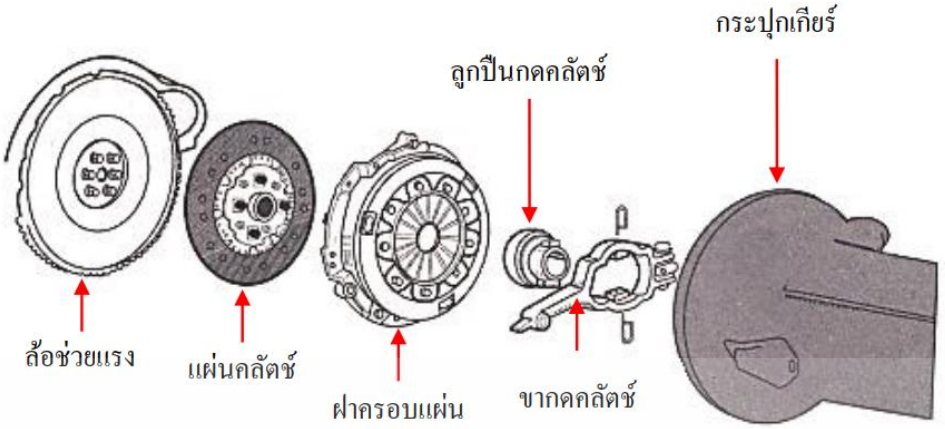
รูป 2.24 แสดงส่วนประกอบของระบบส่งกำลังรถยนต์

(Source: http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_16012114141815.pdf)

2.4.2.1 คลัตช์ (Clutch)

คลัตช์ ทำหน้าที่ตัดและต่อกำลังระหว่างเครื่องยนต์กับกระปุกเกียร์ โยอาศัยความฝืดของแผ่นคลัตช์และล้อช่วยแรงในการขับเคลื่อนรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

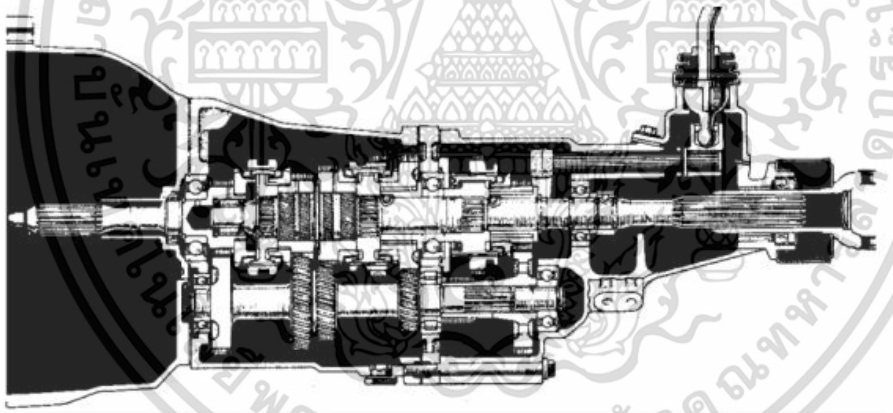


รูป 2.25 แสดงลักษณะของชุดคลัตช์

(Source: http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_16012114141815.pdf)

2.4.2.2 กระปุกเกียร์ (Transmission)

กระปุกเกียร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนอัตราทดเพื่อเพิ่มหรือลดแรงบิดให้เหมาะสมกับภาระงาน โดยรับกำลังจากเครื่องยนต์ผ่านแผ่นคลัตช์ส่งมายังชุดเฟืองในกระปุกเกียร์และส่งต่อไปยังล้อ



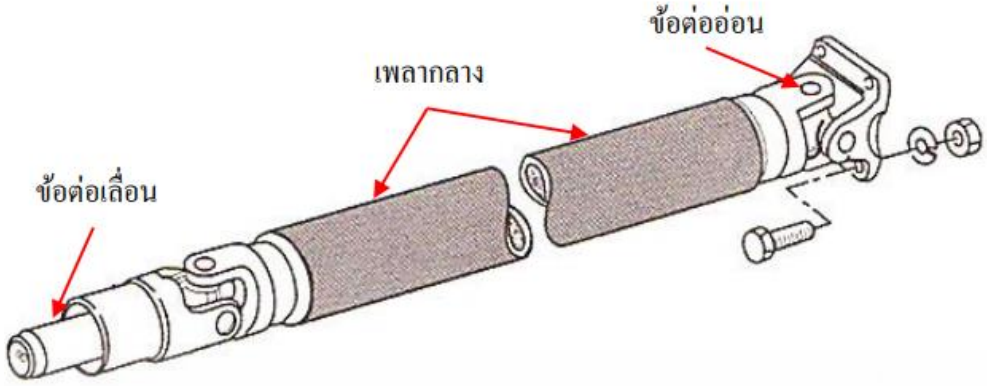
รูป 2.26 แสดงลักษณะของกระปุกเกียร์

(Source: http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_16012114141815.pdf)

2.4.2.3 เพลากลาง (Propeller Shaft)

เพลากลาง ทำหน้าที่ส่งกำลังจากกระปุกเกียร์ไปยังเฟืองท้ายในระบบขับเคลื่อนล้อหลัง ประกอบด้วย ข้อต่อเลื่อน (Slip joint) ข้อต่ออ่อน (Universal joint) เพลากลาง (Propeller Shaft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

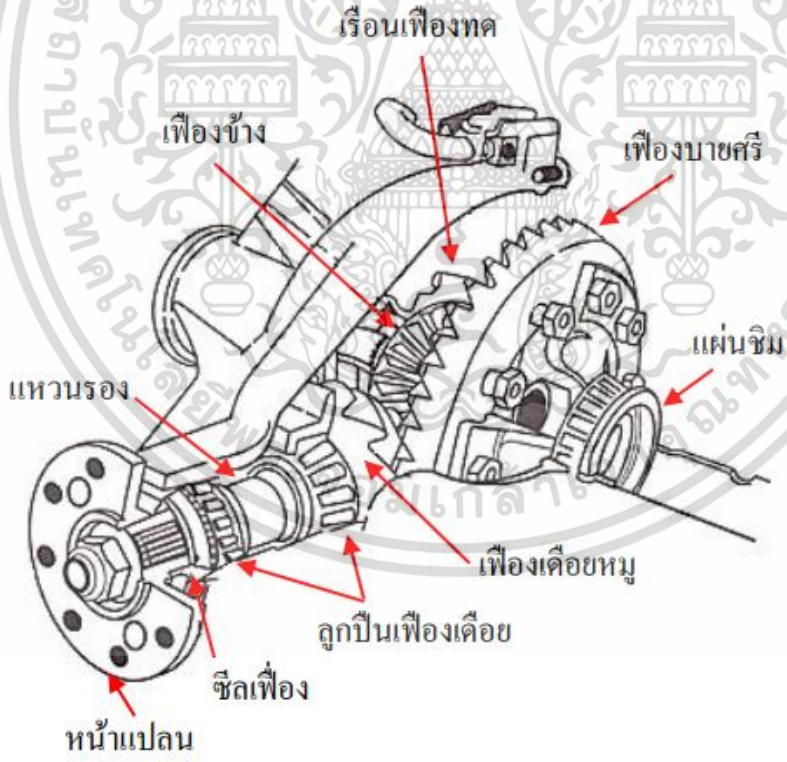


รูป 2.27 แสดงลักษณะของเพลากลาง

(Source: http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_16012114141815.pdf)

2.4.2.4 เฟืองท้าย (Differential)

เฟืองท้าย ทำหน้าที่ รับกำลังจากเพลากลางและส่งกำลังต่อไปยังล้อ ในขณะรถวิ่งทางตรงเฟืองท้ายจะทำให้ล้อทั้งสองข้างถูกขับให้หมุนด้วยความเร็วเท่ากัน แต่เมื่อรถเลี้ยวโค้งเฟืองท้าย จะทำให้ล้อด้านนอกหมุนเร็วกว่าล้อด้านใน



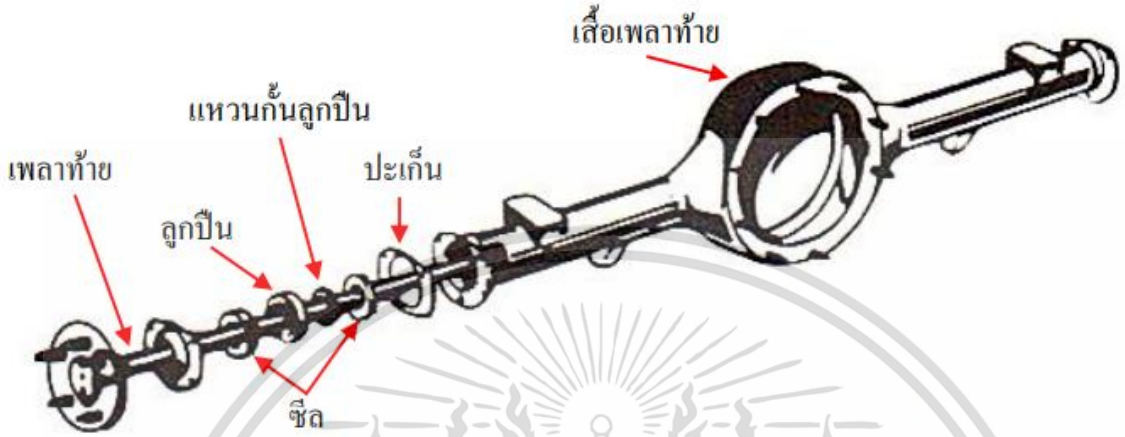
รูป 2.28 แสดงลักษณะของเฟืองท้าย

(Source: http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_16012114141815.pdf)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.5 เพลาท้าย (Rear Axles)

เพลาท้าย ทำหน้าที่ รับน้ำหนักในส่วนท้ายของรถยนต์ เพลาท้ายถูกออกแบบมาใช้งานกับรถยนต์ชนิดต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน ที่ใช้งานปัจจุบันแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ เพลาท้ายแบบลอย เพลาท้ายแบบกึ่งลอย เพลาท้ายแบบลอย ¾



รูป 2.29 แสดงลักษณะของเพลาท้าย

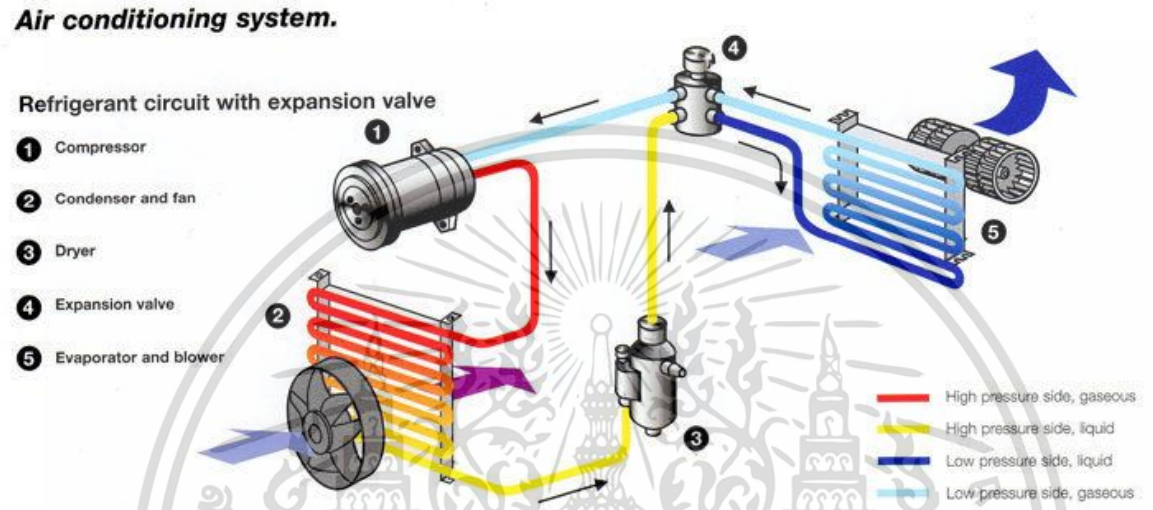
(Source: http://www.tatc.ac.th/files/09021213134814_16012114141815.pdf)

2.5 ระบบปรับอากาศภายในรถยนต์ (Air-conditioning system)

เป็นระบบทำความเย็นแบบอัดไอหรือก๊าซ (Vapor Compression System) โดยที่คอมเพรสเซอร์ (Compressor) จะดูดสารทำความเย็นจากอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือเปรียบเสมือนปั๊มน้ำภายในบ้านต่างกันเพียงแต่ปั๊มน้ำจะดูดน้ำที่เป็นของเหลว แต่คอมเพรสเซอร์แอร์จะดูดสารทำความเย็นซึ่งมีสถานะเป็นไอหรือก๊าซ โดยคอมเพรสเซอร์ (Compressor) จะทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นออกไปที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อมีแรงดันที่เพียงพอคอมเพรสเซอร์จะถูกตัดการทำงานโดยเทอร์โมสตัท (Thermostat) หรือเทอร์มิสเตอร์ (Thermister) เป็นตัวชี้วัดว่าเวลาไหนคอมเพรสเซอร์ต้องทำงานและเมื่ออุณหภูมิในห้องโดยสารต่ำจนได้อุณหภูมิที่อยู่ในระดับพอดี เทอร์โมสตัท (Thermostat) หรือเทอร์มิสเตอร์ (Thermister) จะสั่งให้คอมเพรสเซอร์หยุดการทำงาน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันที่สูงจนเกินไป ซึ่งอาจจะเป็นอันตราย อาจเกิดการระเบิดของท่อทางต่าง ๆ ของระบบน้ำยาได้ แต่ในระบบของรถรุ่นใหม่ จะมีเซนเซอร์ที่ตรวจจับแรงดันและมีตัวระบายน้ำยาออกหากเกิดแรงดันที่สูงเกินค่ากำหนด จากนั้นเมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านแผงคอนเดนเซอร์ (Condenser) ที่อยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของรถ หรือที่ทางช่างเรียกว่า “แผงรังผึ้ง” ซึ่งจะทำหน้าที่ให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดต่ำลง จากนั้นสารทำความเย็นจะควบแน่นกลายเป็นของเหลว และไหลต่อไปยังรีซีฟเวอร์ (Receiver) หรือไดร์เออร์ (Drier) เพื่อกรองสิ่งสกปรกและความชื้นที่ปนเปื้อนในสารทำความเย็น หรือตัวกรองสารทำความเย็น ซึ่งตัวกรองนี้จะต้องมีการเปลี่ยนไส้กรองตามระยะทางที่กำหนด หรือเมื่อมีการเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบของท่อทางน้ำยาแอร์ เพื่อป้องกันการอุดตันของท่อทางน้ำยาแอร์ที่จะต้องไหลไปที่เอ็กเพ็นชั่นวาล์ว (Expansion Valve) หรือวาล์วแอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่ฉีดสารทำความเย็นหรือน้ำยาแอร์ให้เป็นฝอยละอองเข้าไปในอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) หรือตู้แอร์ เพื่อทำให้สารทำความเย็นมีความดันต่ำและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในห้องโดยสารให้มีอุณหภูมิที่ต่ำลง จากนั้นเมื่อน้ำยาแอร์มีสถานะกลายเป็นก๊าซก็จะถูกดูดเข้าไปในคอมเพรสเซอร์ (Compressor) เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่อีกครั้ง



รูป 2.30 แสดงระบบปรับอากาศภายในรถยนต์ (Air-conditioning system)
(Source: https://www.forthtrack.co.th/2019/07/08/air-filter/)

2.6 การคำนวณขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า (Calculate motor size)

มอเตอร์เป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่ามอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังน้อยจะทำให้รถไม่สามารถทำการออกตัวได้ หรือถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังที่ใหญ่จนเกินไป จะทำให้มอเตอร์มีน้ำหนักมากและใช้พลังงานสิ้นเปลือง จนกระทั่งมอเตอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่ำ ดังนั้นมอเตอร์ที่นำมาใช้ขับเคลื่อนควรมีค่าที่เหมาะสมเพื่อจะประหยัดพลังงานให้ได้มากที่สุด

ในการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ต้องคำนึงถึงค่าแรงต่าง ๆ ที่กระทำกับตัวรถ ได้แก่ แรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน แรงในการขึ้นทางลาดเอียง แรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุด และแรงต้านอากาศ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{TT} = F_{RR} + F_{GR} + F_{AC} + F_{AD}$$

(2.1)

F_{TT} คือ แรงทั้งหมด

F_{RR} คือ แรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน

F_{GR} คือ แรงในการขึ้นทางลาดเอียง

F_{AC} คือ แรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุด

F_{AD} คือ แรงต้านอากาศ

หาค่า F_{RR} ได้จาก

$$F_{RR} = G_{vw} \times C_{rr}$$

(2.2)

G_{vw} คือ น้ำหนักของรถ

C_{rr} คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน หาได้จากตาราง

Rolling Resistance Coefficient		
c	*c_l (mm)*	
0.001 - 0.002	0.5	railroad steel wheels on steel rails
0.001		bicycle tire on wooden track
0.002 - 0.005		low resistance tubeless tires
0.002		bicycle tire on concrete
0.004		bicycle tire on asphalt road
0.005		dirty tram rails
0.006 - 0.01		truck tire on asphalt
0.008		bicycle tire on rough paved road
0.01 - 0.015		ordinary car tires on concrete, new asphalt, cobbles small new
0.02		car tires on tar or asphalt
0.02		car tires on gravel - rolled new
0.03		car tires on cobbles - large worn
0.04 - 0.08		car tire on solid sand, gravel loose worn, soil medium hard
0.2 - 0.4		car tire on loose sand

รูป 2.31 ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน

(Source: https://coachrobmuller.blogspot.com/2017/11/rolling-resistance-revisited.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า F_{GR} ได้จาก

$$F_{GR} = G_{vw} \times \sin\theta$$

(2.3)

θ คือ มุมของทางลาดเอียง

หาค่า F_{AC} ได้จาก

$$F_{AC} = G_{vw} \times \frac{v_2 - v_1}{g \times t_a}$$

(2.4)

v_2 คือ ความเร็วสุดท้าย (m/s)

v_1 คือ ความเร็วเริ่มต้น (m/s)

t_a คือ เวลาในการเร่ง (s)

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g = 9.81 m/s^2

หาค่า F_{AD} ได้จาก

$$F_{AD} = \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A_f \times v^2$$

(2.5)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (ρ = 1.2 kg/m^3)

A_f คือ พื้นที่ของหน้ารถ (m^3)

v คือ ความเร็ว (m/s)

C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ หาได้จาก

เมื่อได้ผลรวมของแรงทั้งหมดแล้ว ก็นำไปหาแรงบิดที่ล้อ จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_\omega = F_{TT} \times R_\omega \times R_f$$

(2.6)

R_ω คือ ค่ารัศมีของล้อรวมยาง

R_f คือ ความต้านทานของล้อและเพลา

เมื่อได้ค่าแรงบิดที่ล้อต้องนำมาเทียบกับค่าแรงบิดที่ล้อสูงสุดที่จะทำให้ล้อไม่สลิป โดยค่าแรงบิดที่ล้อจะต้องน้อยกว่าค่าแรงบิดที่ล้อสูงสุดจึงจะทำให้ล้อไม่สลิป

$$M_{TT} = W_\omega \times \mu \times R_\omega$$

(2.7)

M_{TT} คือ แรงบิดที่ยางทนได้โดยไม่เกิดสลิป

W_ω คือ น้ำหนักที่ลงบนล้อ

μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ต่อไปคือนำค่าแรงบิดที่ล้อได้ไปหากำลังของมอเตอร์ จากสมการต่อไปนี้

$$P_m = \tau_\omega \times \omega$$

(2.8)

$$= \tau_\omega \times \omega$$

$$P_m = \tau_\omega \times \frac{2\pi n_{rpm}}{60}$$

n_{rpm} คือ ความเร็วเชิงมุมในการหมุนของมอเตอร์

2.7 การคำนวณทางไฟฟ้า (Electrical Calculations)

2.7.1 การหาค่าพลังงานของอุปกรณ์

1. เนื่องจากมอเตอร์มีขนาด 10 KW แต่เนื่องจากค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ อยู่ที่ 85% 10,000 (1-0.85)+10,000=12 KW ดังนั้น Inverter Controller อยู่ที่ 12 KW ขึ้นไป ทำให้คณะผู้จัดทำเลือก Inverter Controller ขนาด 7.5/15 kw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าประสิทธิภาพของ Inverter Controller อยู่ที่ 90% 15,000 (1-0.9)+15,000 = 16.5 KW ดังนั้นค่าพลังงานที่ควรใช้ในการเลือกขนาดของแบตเตอรี่จึงต้องมากกว่า 16.5 KW

2.7.2 การหาขนาดสายไฟขาเข้า Inverter Controller (DC)

สูตรการหากระแสมอเตอร์ DC $$I = \frac{W}{(V \times eff)}$$

2.7.3 การหาขนาดกระแสขาออก Inverter Controller 3 เฟส (AC)

สูตรการหากระแสมอเตอร์ 3 เฟส $$I = \frac{P}{(1.732 \times V \times PF \times eff)}$$

2.8 การจดทะเบียนยานยนต์ไฟฟ้าทั่วไป

การจดเบียนรถเป็นการขออนุญาตใช้รถยนต์ต่อนายทะเบียนโดยรถต้องมีสภาพมั่นคงแข็งแรง มีลักษณะ ขนาด และเครื่องอุปกรณ์ ส่วนควบของรถ ถูกต้องตามที่กฎกระทรวงตามพระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522 อีกทั้งยังต้องพิจารณาถึงข้อกำหนดกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และผ่านการตรวจสภาพจากนายทะเบียน หรือจากสถานตรวจสภาพที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยประกาศกรมขนส่งทางบก ซึ่งขั้นตอนการจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับรถใหม่นั้นมีขั้นตอนเดียวกันกับรถยนต์ทั่วไปเพียงแต่มีเอกสารเพิ่มเติมบางส่วน โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.8.1 คุณสมบัติของรถยนต์ไฟฟ้าในการจดทะเบียน

รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ไฟฟ้าต้องมีคุณลักษณะเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดดังนี้

2.8.1.1 ขนาดสัดส่วนของรถ

ขนาดสัดส่วนของรถต้องเป็นไปตามกฎกระทรวง กำหนดลักษณะ ขนาดหรือกำลังของเครื่องยนต์และของรถที่จะรับจดทะเบียนเป็นรถประเภทต่าง ๆ พ.ศ.2548

ตาราง 2.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ

ชนิดรถ	ขนาด (กว้าง × ยาว × สูง)
รถจักรยานยนต์	ไม่เกิน 1.1 × 2.5 × 2 เมตร
รถยนต์สาธารณะ	ไม่เกิน 2.5 × 6 × 2 เมตร
รถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้าง	ไม่เกิน 1.5 × 4 × 2 เมตร
รถยนต์ส่วนบุคคล (เกินเจ็ดที่นั่ง และไม่เกินเจ็ดคน)	ไม่เกิน 2.55 × 12 × 4 เมตร (กรณีกว้างไม่เกิน 2.3 เมตร ให้มีความสูงได้ไม่เกิน 3.2 เมตร)
รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล	ไม่เกิน 2.55 × 12 × 4 เมตร (กรณีกว้างไม่เกิน 2.3 เมตร ให้มีความสูงได้ไม่เกิน 3 เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.2 ส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์สำหรับรถ

ส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์สำหรับรถต้องเป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์สำหรับรถ พ.ศ. 2551 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตาราง 2.5 แสดงส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์สำหรับรถที่จะรับจดทะเบียน

<table>
<tr><th>รถยนต์</th><th>รถจักรยานยนต์</th></tr>
<tr><td colspan="2">โครงสร้างและตัวถัง ที่มีความมั่นคงแข็งแรง ปลอดภัย และสามารถรองรับการทำงานของรถขณะที่มีน้ำหนักเต็มอัตราบรรทุกได้ในทุกสถานภาพการใช้งาน</td></tr>
<tr><td colspan="2">เครื่องกำเนิดพลังงาน สามารถขับเคลื่อนรถขณะที่มีน้ำหนักเต็มอัตราบรรทุก ด้วยความเร็วคงที่เหมาะสมในสภาพการใช้งานปกติ</td></tr>
<tr><td>ระบบส่งกำลัง สามารถส่งกำลังรถขณะที่มีน้ำหนักเต็มอัตราบรรทุกได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย</td><td>ระบบส่งกำลัง สามารถส่งกำลังรถขณะที่มีน้ำหนักเต็มอัตราบรรทุกได้อย่างเหมาะสม ปลอดภัย และมีอุปกรณ์ป้องกันผู้ขับรถและผู้โดยสารไม่ให้ได้รับอันตรายจากการทำงาน เช่น ฝาครอบโซ่ หรือบังโซ่ เป็นต้น</td></tr>
<tr><td colspan="2">ระบบบังคับเลี้ยว สามารถบังคับรถได้อย่างคล่องตัว สะดวก และปลอดภัย</td></tr>
<tr><td>ระบบห้ามล้อหลักสามารถลดความเร็วหรือหยุดรถที่วิ่งอยู่ให้หยุดนิ่งได้อย่างปลอดภัย ติดตั้งในตำแหน่งที่ผู้ขับรถสามารถใช้การได้สะดวก ระบบห้ามล้อขณะจอดสามารถทำให้ รถหยุดนิ่งในขณะจอดได้</td><td>ระบบห้ามล้อ สามารถลดความเร็วหรือหยุดรถที่วิ่ง อยู่ให้หยุดนิ่งได้อย่างปลอดภัย ติดตั้งในตำแหน่งที่ผู้ขับรถสามารถใช้การได้สะดวก</td></tr>
<tr><td colspan="2">ระบบเชื้อเพลิงหรือระบบพลังงานอื่น ๆ สามารถเก็บและส่งเชื้อเพลิงหรือพลังงานอื่นไปยังเครื่องกำเนิดพลังงานให้สามารถขับเคลื่อนรถได้อย่างปลอดภัย</td></tr>
</table>

2.8.1.3 กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถ

กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถต้องเป็นไปตามประกาศกรมขนส่งทางบก เรื่อง ข้อกำหนดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ.2560 ดังนี้

ข้อ 1 รถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด รถยนต์บริการธุรกิจ รถยนต์บริการทัศนาจร รถยนต์บริการให้เช่า รถยนต์ส่วนบุคคลที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ต้องมีกำลังพิกัด (Rated Power) ของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 15 กิโลวัตต์ และสามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อ 2 ในกรณีรถตามวรรคหนึ่ง เป็นรถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้างและรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกินเจ็ดคน ที่มีน้ำหนักรถไม่รวมน้ำหนักของแบตเตอรี่ น้อยกว่า 450 กิโลกรัม หรือรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล ที่มีน้ำหนักรถไม่รวมน้ำหนักของแบตเตอรี่ น้อยกว่า 600 กิโลกรัม ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ต้องมีกำลังพิกัด (Rated Power) ของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 4 กิโลวัตต์ และสามารถขับเคลื่อนรถ ให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ให้รถดังกล่าวติดเครื่องหมายตามแบบ ที่กำหนดท้ายประกาศนี้บริเวณท้ายรถทางด้านซ้ายในที่ที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน

ข้อ 3 รถยนต์รับจ้างสามล้อและรถยนต์สามล้อส่วนบุคคล ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ต้องมีกำลังพิกัด (Rated Power) ของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 4 กิโลวัตต์ และสามารถขับเคลื่อนรถ ให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ข้อ 4 รถจักรยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ต้องมีกำลังพิกัด (Rated Power) ของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 250 วัตต์ และสามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ข้อ 5 มอเตอร์ไฟฟ้าของรถตามข้อ 2 ข้อ 3 และข้อ 4 ต้องสามารถขับเคลื่อนรถ ในขณะที่มีน้ำหนักรถรวมน้ำหนักบรรทุก (Gross Vehicle Weight) ตามที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยความเร็วสูงสุด ตามที่กำหนดในประกาศนี้ ได้ต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที

ข้อ 6 รถตามข้อ 2 วรรคหนึ่ง ที่จดทะเบียนไว้แล้วก่อนวันที่ประกาศนี้ใช้บังคับและมีการแจ้งไม่ใช้รถตลอดไปหรือทะเบียนเป็นอันระงับ หากเจ้าของรถนำมาจดทะเบียนใหม่ให้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ที่มีกำลังไม่น้อยกว่า 15 กิโลวัตต์ ที่สามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตร ต่อชั่วโมงต่อไปได้

2.8.2 ขั้นตอนการจดทะเบียนรถ

รถยนต์ใหม่ที่จะทำการจดทะเบียนผู้ผลิตหรือผู้นำเข้าจะต้องขึ้นบัญชีกับกรมการขนส่งทางบก และดำเนินการรับรองแบบรถกับกรมการขนส่งทางบกก่อนจึงจะสามารถนำรถไปดำเนินการส่งบัญชีรถและผ่านการตรวจสภาพเพื่อดำเนินการจดทะเบียนต่อไปได้

2.8.2.1 การรับรองเครื่องอุปกรณ์ของรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์

เพื่อให้ส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์ของรถยนต์และรถจักรยานยนต์เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน และสอดคล้องกับมาตรฐานสากล อาศัยอำนาจตามกฎกระทรวง กำหนดส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์สำหรับรถ พ.ศ.2551 ให้อธิบดีกรมการขนส่งทางบกออกประกาศ กำหนดส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์ที่ต้องผ่านการรับรองแบบ และกำหนดคุณสมบัติ คุณลักษณะ และการติดตั้งสำหรับรถยนต์และรถจักยานยนต์ และกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไข การรับรองแบบส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์ สำหรับรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ โดยผู้ผลิตรถต้องมีหลักฐานการผ่านการรับรองมาตรฐานการผลิต เช่น มาตรฐาน ISO9001 เป็นต้น เพื่อเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยืนยันว่ารถแบบเดียวกันผลิตที่เดียวกันจะมีคุณภาพและมาตรฐานในการผลิตเหมือนกัน และต้องมีผลทดสอบความเร็วที่กำหนดเป็นเวลา 30 นาที จึงจะสามารถดำเนินการขอรับการรับรองแบบต่อไปได้ซึ่งปัจจุบัน มีส่วนควบและเครื่องอุปกรณ์ที่ประกาศบังคับใช้แล้ว สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 3 เรื่อง และรถจักยานยนต์ไฟฟ้า 3 เรื่องดังต่อไปนี้

ตาราง 2.6 กำหนดคุณสมบัติ คุณลักษณะ และการติดตั้งสำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์

รถยนต์	รถยนต์ไฟฟ้า	รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า
เรื่อง กำหนดคุณสมบัติ คุณลักษณะ และการติดตั้งแตร สัญญาณ และกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการรับรองแบบแตรสัญญาณ สำหรับรถยนต์และรถจักรยานยนต์ พ.ศ.2559 (UN R.28)	✓	✓
เรื่อง กำหนดคุณสมบัติ คุณลักษณะ และการติดตั้งมาตรวัด ความเร็ว และกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขการรับรอง แบบมาตรวัดความเร็วสำหรับรถยนต์ และรถจักรยานยนต์ พ.ศ.2556 (UN R.39)	✓	✓
เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์การติดตั้งกระจกกันลมหน้าและส่วนประกอบของตัวถังรถที่เป็นกระจก และกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขการรับรองแบบการติดตั้งกระจกกันลมหน้า และส่วนประกอบของตัวถังรถที่เป็นกระจก พ.ศ.2558 (UN R.43)	✓	
เรื่อง กำหนดคุณสมบัติ คุณลักษณะ และการติดตั้งอุปกรณ์มอง ภาพของรถจักรยานยนต์ และกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการรับรองแบบอุปกรณ์มองภาพ และแบบการติดตั้ง อุปกรณ์มองภาพของรถจักรยานยนต์ พ.ศ.2557 (UN R.81)		✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.2 การส่งบัญชีรับและจำหน่ายรถ

ผู้ใดสั่งหรือนำรถหรือเครื่องยนต์สำหรับรถเข้ามาในราชอาณาจักร เพื่อจำหน่ายหรือผลิตหรือประกอบรถ หรือเครื่องยนต์สำหรับรถขึ้นใหม่เพื่อจำหน่าย ผู้นั้นต้องส่งบัญชีประจำเดือนในการรับและจำหน่ายรถหรือเครื่องยนต์สำหรับรถ ให้แก่นายทะเบียนภายในวันที่ 15 ของเดือนถัดไป และเจ้าของรถต้องแสดงถึงแหล่งที่มาของรถ สามารถแบ่งได้ 2 ส่วนหลัก คือ 1. รถนำเข้ามาใช้งานในราชอาณาจักร จะต้องมีหลักฐานการนำเข้าได้แก่ ใบรับรองการนำเข้าจากกรมศุลกากร (แบบ 32) สำเนาใบขนส่งสินค้าขาเข้าบัญชีแสดงรายการสินค้า และใบเสร็จรับเงินอากรขาเข้า 2. รถผลิตภายในประเทศจะต้องมีหลักฐานหนังสือรับรองหลักฐานการส่งบัญชีรถ

2.8.2.3 การตรวจสภาพ

เมื่อแบบรถที่ต้องการจดทะเบียนได้รับการรับรองและส่งบัญชีเรียบร้อยแล้วจึงจะสามารถนำรถคันที่ต้องการจดทะเบียนเข้ารับการตรวจต่อไปได้ ซึ่งในขั้นตอนการตรวจสภาพนี้เจ้าหน้าที่จะทำการตรวจสอบ หมายเลขระบบส่งกำลัง หมายเลขตัวถัง ลักษณะ ขนาด สัดส่วน ส่วนควบ และเครื่องอุปกรณ์ ให้ถูกต้องครบถ้วนตามที่กฎหมายว่าด้วยรถยนต์กำหนด ซึ่งเป็นไปตามระเบียบกรมการขนส่งทางบกว่าด้วยการตรวจสภาพรถและเกณฑ์การวินิจฉัยผลการตรวจสภาพรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ.2555

2.8.2.4 ดำเนินการจดทะเบียน

1. ยื่นแบบคำขอจดทะเบียนรถที่กรอกรายงานและลงลายมือชื่อผู้อื่น
2. นำรถเข้ารับการตรวจสภาพได้ที่งานตรวจสภาพรถยนต์สำนักขนส่งจังหวัดทั่วประเทศ
3. ยื่นขอตัดบัญชีรถที่ส่วนควบคุมบัญชีรถและเครื่องยนต์
4. ชำระค่าธรรมเนียม และค่าภาษีประจำปีที่งานทะเบียน

2.8.3 การแก้ไขจากเครื่องยนต์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า

รถที่เคยจดทะเบียนไว้แล้ว และมีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงจากเครื่องยนต์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือแก้ไขมอเตอร์ไฟฟ้า ให้เจ้าของรถยื่นเอกสารหลักฐานดังต่อไปนี้ประกอบคำขอดำเนินการทางทะเบียน และภาษีรถด้วย โดยมีเงื่อนไขการพิจารณาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3.1 หนังสือรับรองของวิศวกร

ซึ่งได้รับอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ตามขอบเขตและความสามารถที่กฎหมายว่าด้วยวิชาชีพวิศวกรรมกำหนดรับรองว่ารถมีความมั่นคงแข็งแรง มีความปลอดภัยในการใช้งานและรับรองความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถในส่วนเกี่ยวข้อง ดังนี้

ข้อ 1 รายละเอียดการออกแบบหรือดัดแปลงพร้อมรายการคำนวณที่แสดงถึงคุณสมบัติของรถ การติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า และแบตเตอรี่ที่ใช้ขับเคลื่อน รวมถึงระบบเบรก ระบบบังคับเลี้ยว การกระจายน้ำหนัก ระบบส่งกำลังและสมรรถนะของรถ

ข้อ 2 กำลังพิกัดมอเตอร์ไฟฟ้า

ข้อ 3 ขนาดแรงเคลื่อนและความจุของแบตเตอรี่

ข้อ 4 น้ำหนักรถไม่รวมแบตเตอรี่ น้ำหนักแบตเตอรี่ น้ำหนักรถรวมแบตเตอรี่ น้ำหนักรถรวมน้ำหนักรถบรรทุก

ข้อ 5 ความเร็วสูงสุด

ข้อ 6 ระยะทางที่วิ่งได้ โดยแสดงการคำนวณความสัมพันธ์กันระหว่างขนาดมอเตอร์ไฟฟ้า และความจุแบตเตอรี่ แปรผันมาเป็นความเร็วและระยะทางที่ได้

ข้อ 7 วงจรการควบคุมระบบไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า รวมถึงลักษณะและขนาดของสายไฟที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสม

2.8.3.2 ผลทดสอบ

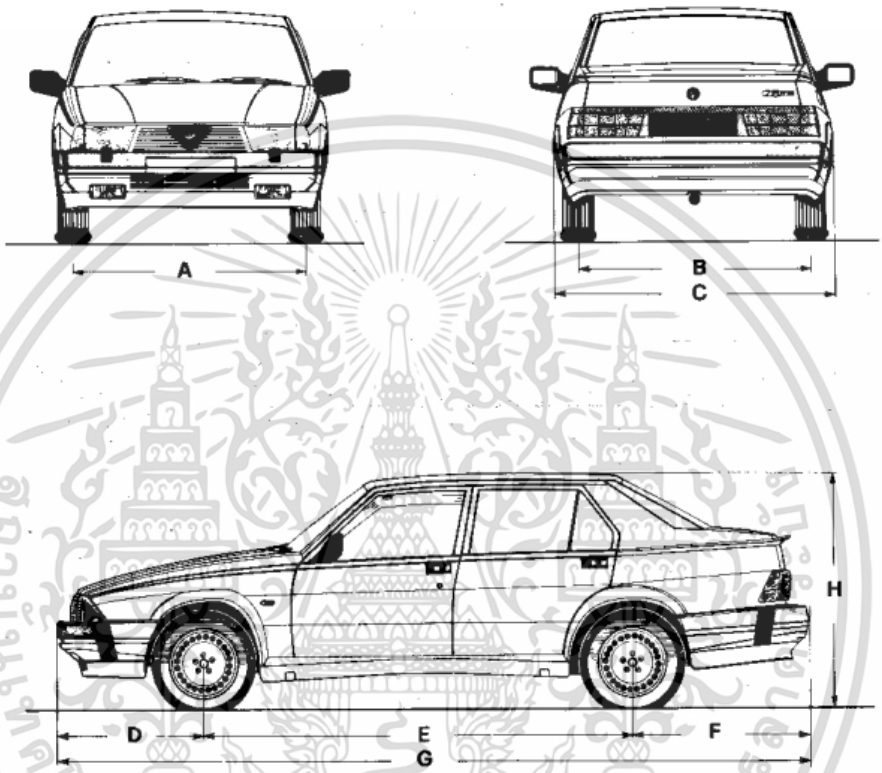
ที่แสดงถึงความสามารถขับเคลื่อนรถในขณะที่มีน้ำหนักรถรวมน้ำหนักบรรทุกตามที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยความเร็วสูงสุดตามที่กำหนดในประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่อง กำหนดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ.2560 ได้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที จากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ได้แก่ ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ สถาบันการศึกษา หรือ หน่วยงานที่กรมขนส่งทางบกยอมรับ เช่น สถาบันยานยนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการดำเนินการ

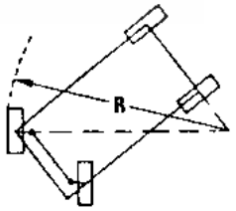
3.1 ส่วนประกอบของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

3.1.1 โครงสร้างรถ Alfa Romeo Giulietta 2.0 MT 1987



รูปที่ 3.1 รูปร่างโครงสร้างรถ Alfa Romeo Giulietta 2.0 MT 1987

ตารางที่ 3.1 แสดง Dimension ของรถ Alfa Romeo Giulietta 2.0 MT 1987

A	B	C	D	E	F	G	H Max	R(*) (รัศมีของการหมุนพวงมาลัย)	
1,376	1,362	1,650	825	2,510	995	4,330	1,400	5,050	

Unit: mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ระบบภายในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

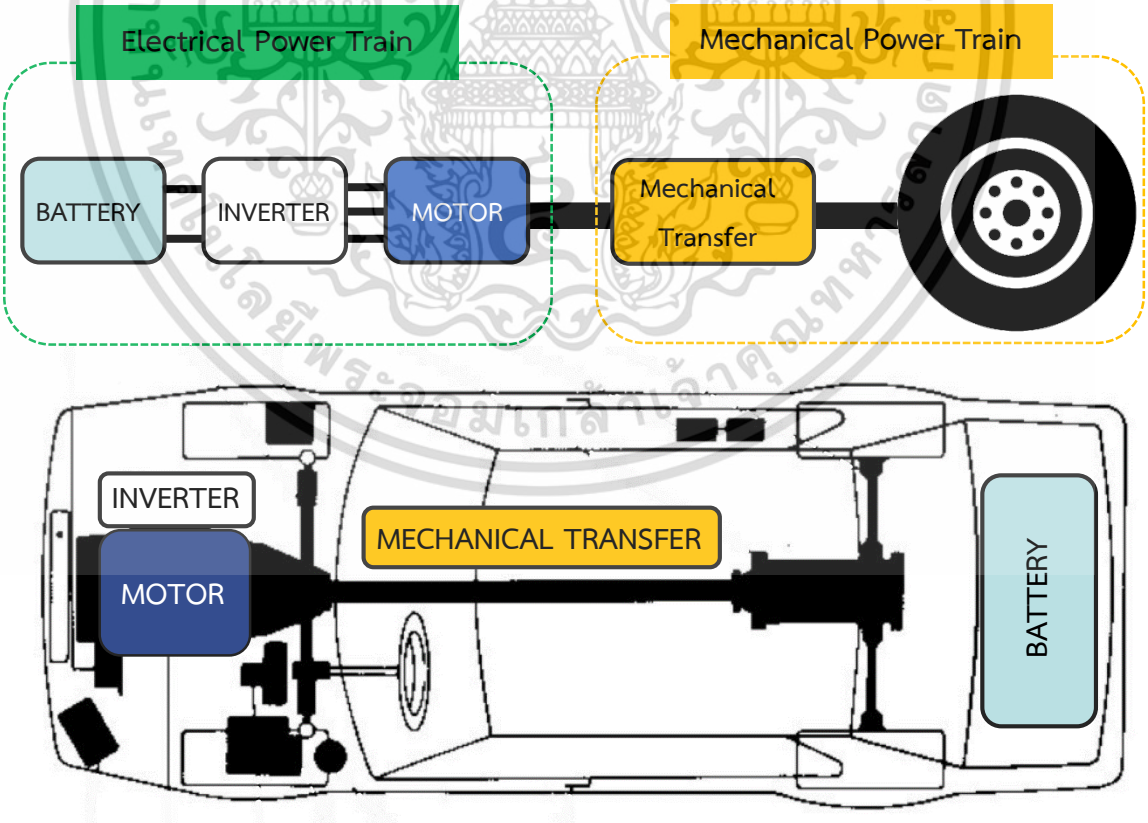
การออกแบบระบบภายในรถจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

3.1.2.1 ระบบไฟฟ้า

- แบตเตอรี่: แบตเตอรี่จะเป็นส่วนแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง
- อินเวอร์เตอร์: อินเวอร์เตอร์นั้นเป็นส่วนที่รับพลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์
- มอเตอร์: มอเตอร์เป็นส่วนสุดท้ายที่รับพลังงานจากแบตเตอรี่โดยรับพลังงานผ่านทางอินเวอร์เตอร์เพื่อนำพลังงานที่ได้ไปใช้ในการขับโหลดทางกล

3.1.2.2 ระบบเครื่องกล

- ระบบแปลงกำลังทางกล ส่วนนี้จะเป็นส่วนเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ออกจากมอเตอร์โดยใช้เฟืองขบเพื่อแปลงพลังงานทางกลให้เพียงพอสำหรับการขับโหลด

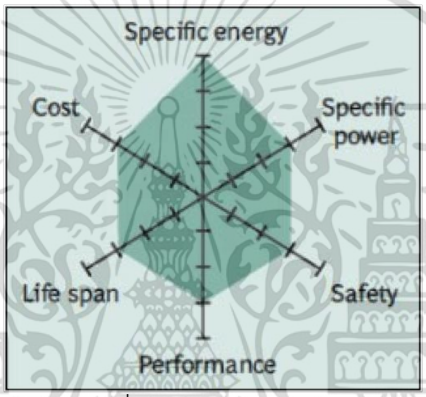


รูป 3.2 ระบบไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์พลังงานไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC: LITHIUM NICKEL MANGANESE COBALT OXIDE) เนื่องจาก NMC มีความหนาแน่นของพลังงานสูงมาก ทำให้สามารถผลิต Battery ที่มีขนาดเล็กลง แต่กักเก็บพลังงานได้มากขึ้น ในขณะที่แบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ ขนาดและปริมาตรที่เท่ากัน NMC นั้นจะเก็บพลังงานได้มากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารถจะมีน้ำหนักที่เบาลง ใช้กำลังไฟในการขับเคลื่อน Motor ลดน้อยลง และยังส่งผลต่อระยะที่สามารถเดินทางของรถไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ NMC ได้อีกด้วย นอกจากนี้ แบตเตอรี่ NMC ยังมีข้อได้เปรียบในเรื่องของกำลังไฟที่สามารถจ่ายพลังงานได้สูงกว่า ซึ่งสามารถใช้ได้กับ Motor ที่มีกำลังสูงขึ้นได้อีก ซึ่งจะทำให้รถนั้นมีความเร็วที่สูงขึ้น



รูป 3.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)

Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: $LiNiMnCoO_2$, cathode, graphite anode Short form: NMC (NCM, CMN, CNM, MNC, MCN similar with different metal combinations) Since 2008	
Voltages	3.60V, 3.70V nominal; typical operating range 3.0–4.2V/cell, or higher
Specific energy (capacity)	150–220Wh/kg
Charge (C-rate)	0.7–1C, charges to 4.20V, some go to 4.30V; 3h charge typical. Charge current above 1C shortens battery life.
Discharge (C-rate)	1C; 2C possible on some cells; 2.50V cut-off
Cycle life	1000–2000 (related to depth of discharge, temperature)
Thermal runaway	210°C (410°F) typical. High charge promotes thermal runaway
Applications	E-bikes, medical devices, EVs, industrial
Comments	Provides high capacity and high power. Serves as Hybrid Cell. Favorite chemistry for many uses; market share is increasing.

Application: Nissan Leaf, Chevy Volt and BMW i3.

รูปที่ 3.4 ตารางแสดงข้อมูลแบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

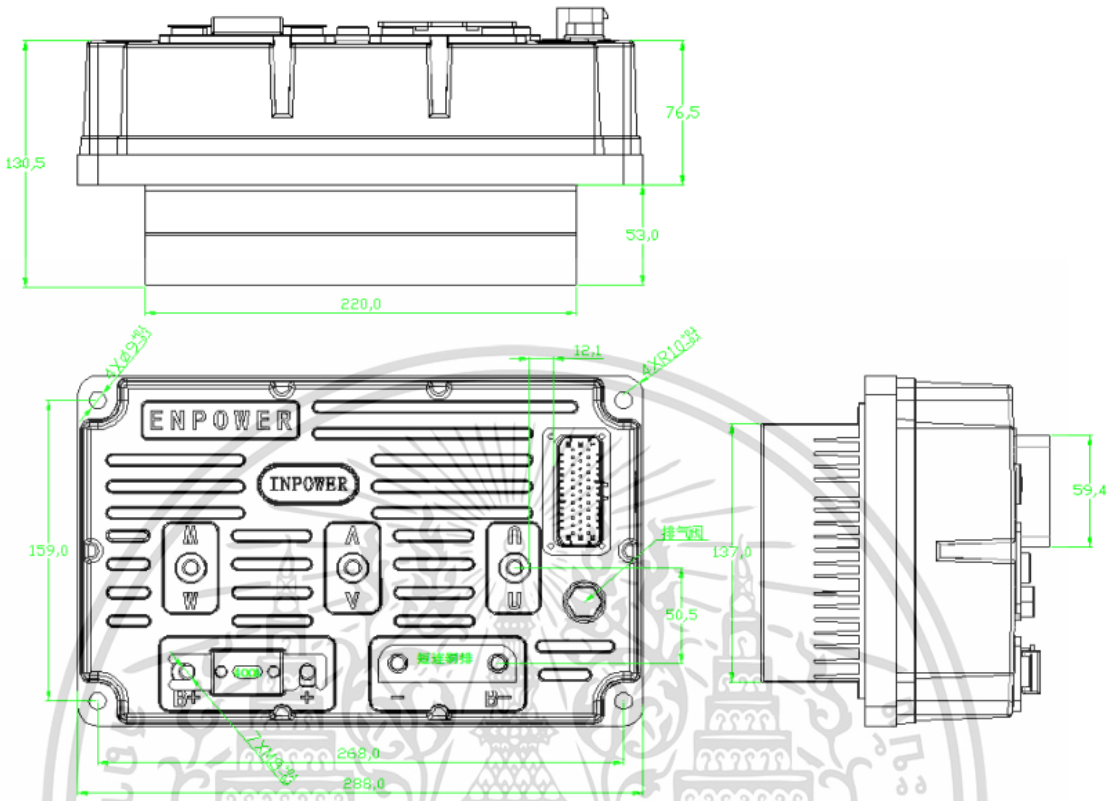
3.3 ชุดควบคุมที่ใช้ในการขับมอเตอร์ไร้แปรงถ่าน 20KW BLDC Motor Controller

Model: MC336-9650

- Multi-Voltage of 80 ~ 120 V (MAX)
- Max output current: 500 A
- Rated output current: 120 A
- Controller starting volt: 50 V
- Max output power: 50 Kw
- Operating temperature: -30 ℃ ~ 55 ℃
- Ambient temperature: -40 ℃ ~ 70 ℃
- Protection Grade: IP65
- INS. Class: Between Input Circuit: Between Input Circuit or Output Circuit and Main CaseDC 1000V, Leakage Current: 0.05 mA, Insulation Resistance 20MΩ
- Weight: 5.7 Kg
- Efficiency 98%

รูปที่ 3.5 20KW BLDC Motor Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 20KW BLDC Motor Controller Installation size (mm.)

Fault Code	sound	Possible causes
0	No sound	No fault at present or controller doesn't work
1	continual beep	There is signal output when push the pedal and turn on the KSI ; Pedal connection badly, wrong or signal mismatching with controller
2	1 long 2 short	Ignition failed (restart)
3	1 long 3 short	Over current (motor wire connection short circuit, loosened or encoder signal wrong)
4	1 long 4 short	Controller overheat(stop and cooling)
5	1 long 5 short	Relay doesn't work or unconnected on B+(check volt between B+ and B- which should be battery volt)
6	1 long 6 short	Current detectors fault (return todepot repair)
7	1 long 7 short	encoder fault(check whether signal output ok)
8	1 long 8 short	BMS fault (which is just for lithium Battery system)
9	1 long 9 short	Low volt(Check the battery voltage)
10	1 long 10 short	Over volt(Check the battery voltage)t
11	1 long 11 short	Motor overheat (stop for cooling or check the thermistor)
13	1 long 13 short	Pedal fault

รูปที่ 3.7 20KW BLDC Motor Controller Fault List and Trouble Shooting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณมอเตอร์ของรถพลังงานไฟฟ้า

มอเตอร์ถือว่าเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าดัดแปลง จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่ามอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับรถไฟฟ้าดัดแปลง ถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังน้อยจะทำให้รถไม่สามารถออกตัวได้ หรือถ้ามอเตอร์มีขนาดกำลังที่ใหญ่เกินจะทำให้มอเตอร์มีน้ำหนักมากและใช้พลังงานที่เปลืองจะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่ำ ดังนั้นมอเตอร์ที่นำมาใช้ขับเคลื่อนควรมีค่าที่เหมาะสมเพื่อที่จะประหยัดพลังให้มากที่สุด

ในการคำนวณมอเตอร์ต้องคำนึงถึงค่าแรงต่าง ๆ ที่กระทำกับตัวรถได้แก่ แรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน แรงในการขึ้นทางลาดเอียง แรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุดและแรงต้านอากาศ แสดงในสมการดังนี้

$$F_{TT} = F_{RR} + F_{GR} + F_{AC} + F_{AD} \quad (3.1)$$

F_{TT} คือ แรงทั้งหมด

F_{RR} คือ แรงที่เอาชนะแรงต้านการหมุน

F_{GR} คือ แรงในการขึ้นทางลาดเอียง

F_{AC} คือ แรงในการเร่งความเร็วจากศูนย์จนถึงความเร็วสูงสุด

F_{AD} คือ แรงต้านอากาศ

หาค่า F_{RR} ได้จาก

$$F_{RR} = G_{vw} \times C_{rr} \quad (3.2)$$

G_{vw} คือ น้ำหนักของรถ

C_{rr} คือ สัมประสิทธิ์ความต้านทานการหมุน หาได้จากตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_{RR} = (1{,}360 \times 9.81) \times 0.012$$

$$F_{RR} = 160.1\ N.$$

หาค่า F_{GR} ได้จาก

$$F_{GR} = G_{vw} \times sin\,\theta \quad (3.3)$$

θ คือ มุมของทางลาดเอียง

$$F_{GR} = (1{,}360 \times 9.81) \times \sin 0$$

$$F_{GR} = 0\ N$$

หาค่า F_{AC} ได้จาก

$$F_{AC} = G_{vw} \times \frac{v_2 - v_1}{g \times t_a} \quad (3.4)$$

v_2 คือ ความเร็วสุดท้าย (m/s)

v_1 คือ ความเร็วเริ่มต้น (m/s)

t_a คือ เวลาในการเร่ง (s)

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g = 9.81 m/s^2

$$F_{AC} = (1{,}360 \times 9.81) \times \frac{23 - 0}{9.81 \times 20}$$

$$F_{AC} = 1{,}564\ N$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า F_{AD} ได้จาก

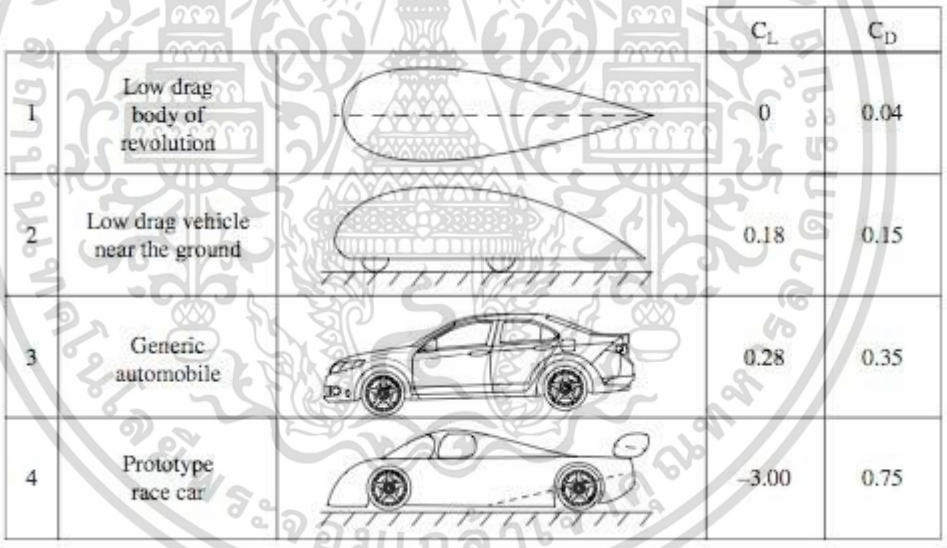
$$F_{AD} = \frac{1}{2} \times \rho \times C_d \times A_f \times v^2 \quad (3.5)$$

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (ρ = 1.2 kg/m^3)

A_f คือ พื้นที่ของหน้ารถ (m^3)

v คือ ความเร็ว (m/s)

C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ หาได้จาก



		C_L	C_D
1	Low drag body of revolution	0	0.04
2	Low drag vehicle near the ground	0.18	0.15
3	Generic automobile	0.28	0.35
4	Prototype race car	−3.00	0.75

รูปที่ 3.9 รูปตารางแสดงค่า Aerodynamics เพื่อคำนวณ Air Drag Force

(Source: https://engineering.stackexchange.com/questions/47020/does-more-downforce-affect-the-acceleration-and-top-speed)

$$F_{AD} = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 0.35 \times 1.64 \times 23^2$$

$$F_{AD} = 182.19\ N$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า F_{TT}

$$\mathrm{F_{TT}} = \mathrm{F}_{RR} + \mathrm{F}_{GR} + \mathrm{F}_{AC} + \mathrm{F}_{AD}$$
$$\mathrm{F_{TT}} = 160.1 + 0 + 1{,}564 + 182.19$$
$$\mathrm{F_{TT}} = 1{,}906.29\ N$$

คำนวณหาค่าแรงบิดที่ล้อ

$$\tau_W = F_{TT} \times R_W \times R_F \quad (3.6)$$

R_ω คือ ค่ารัศมีของล้อรวมยาง

R_f คือ ความต้านทานของล้อและเพลา

$$\tau_W = 1{,}906.29 \times 0.28 \times 0.508$$
$$\tau_W = 271.15\ Nm$$

เมื่อได้ค่าแรงบิดที่ล้อต้องนำมาเทียบกับค่าแรงบิดที่ล้อสูงสุดที่จะทำให้ล้อไม่สลิป โดยค่าแรงบิดที่ล้อจะต้องน้อยกว่าค่าแรงบิดที่ล้อสูงสุดจึงจะทำให้ล้อไม่สลิป

$$M_{TT} = W_\omega \times \mu \times R_\omega \quad (3.7)$$

M_{TT} คือ แรงบิดที่ยางทนได้โดยไม่เกิดสลิป

W_ω คือ น้ำหนักที่ลงบนล้อ

μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

$$M_{TT} = 1{,}360 \times 9.81 \times 0.2 \times 0.28$$
$$M_{TT} = 747.13\ N$$

เมื่อนำค่า τ_W มาเทียบกับค่า M_{TT}

$$\tau_W < M_{TT}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงบิดที่ล้อน้อยกว่าค่าแรงบิดที่ล้อสูงสุดที่จะทำให้ล้อไม่สลิป ดังนั้นการออกตัวจะไม่ทำให้ล้อรถสลิป

หาขนาดกำลังของมอเตอร์

$$P_m = \tau_\omega \times \omega \tag{3.8}$$

$$= \tau_\omega \times 2\pi f$$

$$P_m = \tau_\omega \times \frac{2\pi n_{rpm}}{60} \tag{3.9}$$

n_{rpm} คือความเร็วเชิงมุมในการหมุนของมอเตอร์

$$n_{rpm} = \frac{V \times 60}{R_\omega \times 2\pi}$$

$$n_{rpm} = \frac{23 \times 60}{0.28 \times 2 \times 3.14}$$

$$n_{rpm} = 784.8$$

หาค่า P_m

$$P_m = \tau_\omega \times \frac{2\pi n_{rpm}}{60}$$

$$= 271.15 \times 2 \times 3.14 \times \frac{784.8}{60}$$

$$P_m = 21.25\ Kw$$

$$P_m \approx 20\ Kw$$

ได้ขนาดกำลังของมอเตอร์เท่ากับ 20 Kw

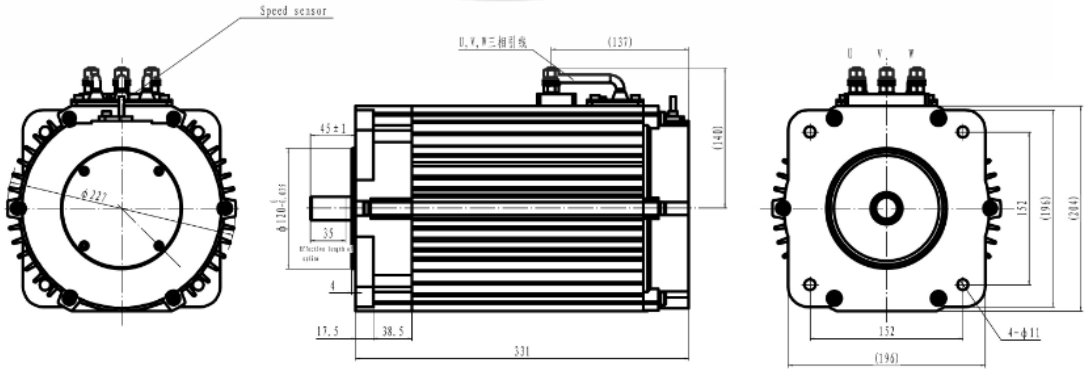
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปลงถ่านขนาด 10 Kw (Peak 20KW BLDC Motor)

Model: GEV1200MA

- Voltages: 96 Vdc
- Rated power: 10 Kw
- Peak power: 20 Kw
- Speed: 4,500 – 7,000 rpm
- Rated torque: 20 Nm
- Peak torque: 40 Nm
- Efficiency: >85%
- Dimensions: 19.6 ✕ 33.1 cm
- Weight: 47 Kg

รูปที่ 3-10 10 Kw 96 Volt (Peak 20KW BLDC Motor)



รูปที่ 3-11 10 Kw 96 Volt (Peak 20KW BLDC Motor) Installation size (mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 อุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง

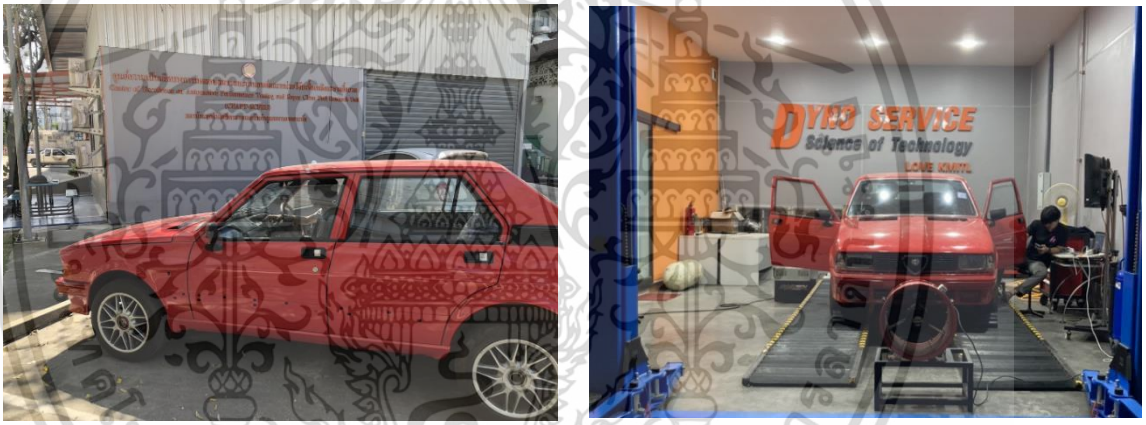
ไดนาโมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในการจำลองภาระของมอเตอร์รถยนต์ไฟฟ้า และมีความสำคัญต่อการปรับแต่งปรับปรุงสมรรถนะ ไดนาโมมิเตอร์อาศัยหลักการของการดูดกลืนพลังงานจากเครื่องจักรต้นกำลังในการวัดกำลัง แรงบิด และความเร็วรอบ ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการด้านล่าง

$$P = \frac{2\pi NM}{60}$$

โดยที่ P = กำลังงานมีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

M = แรงบิดมีหน่วยเป็น นิวตัน.เมตร (N.m)

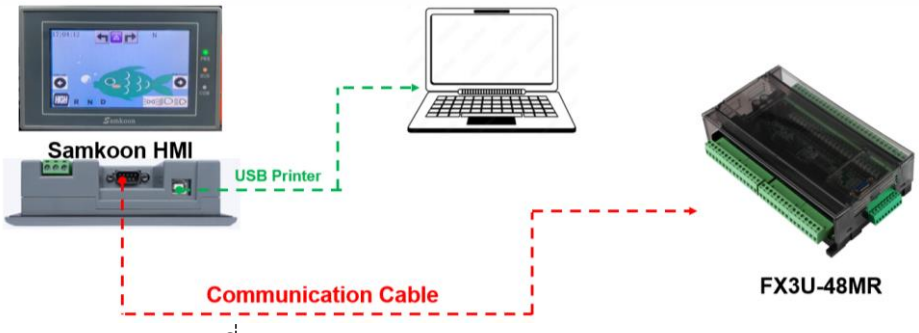
N = ความเร็วรอบมีหน่วยเป็น รอบ/นาที (rev/min)



รูปที่ 3.12 ศูนย์ความเป็นเลิศทางการทดสอบสมรรถนะยานยนต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

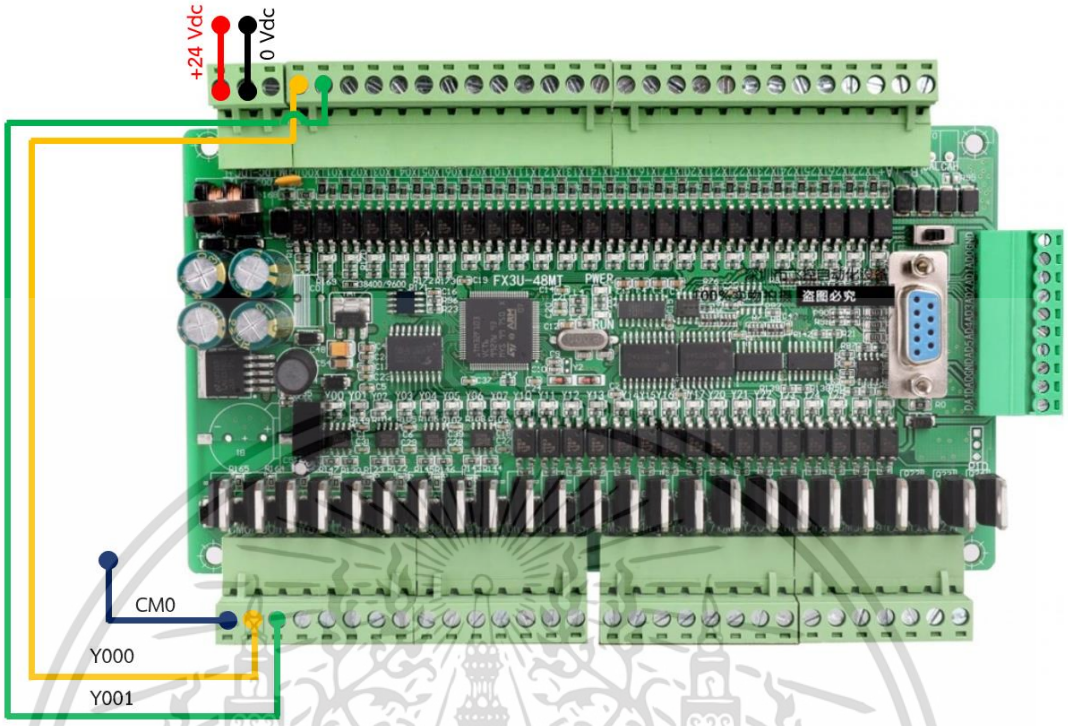
3.7 PLC และ HMI สำหรับควบคุมการทำงาน

ดำเนินการนำระบบ PLC รุ่น FX3U-48MR พร้อมหน้าจอสัมผัส (HMI) Samkoon ออกแบบเป็นชุดสาธิตการควบคุมรถ EV ได้แก่ การควบคุมระบบไฟส่องสว่าง (ไฟหรี่ ไฟต่ำ และ ไฟสูง) ไฟส่องสว่าง (ไฟเลี้ยว และ ไฟฉุกเฉิน) ควบคุมเกียร์ R (ถอยหลัง) N (เกียร์ว่าง) และ D (เดินหน้า)

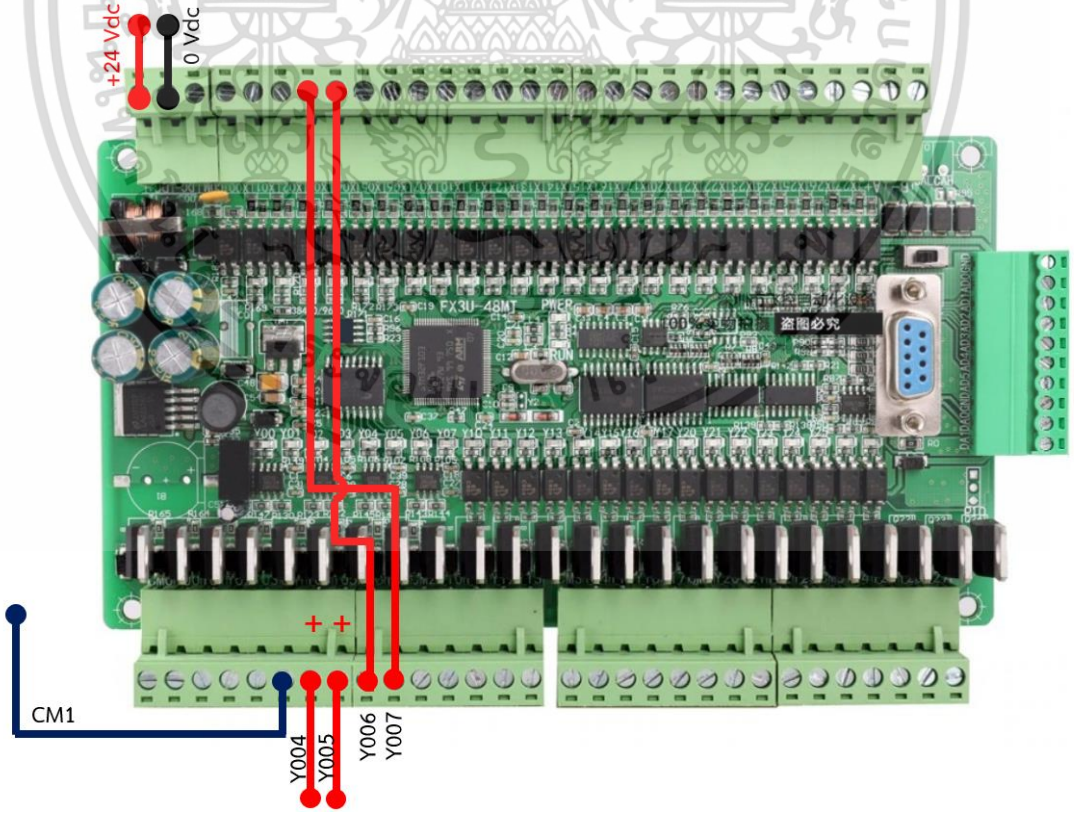


รูปที่ 3-13 FX3U-48MR Device configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

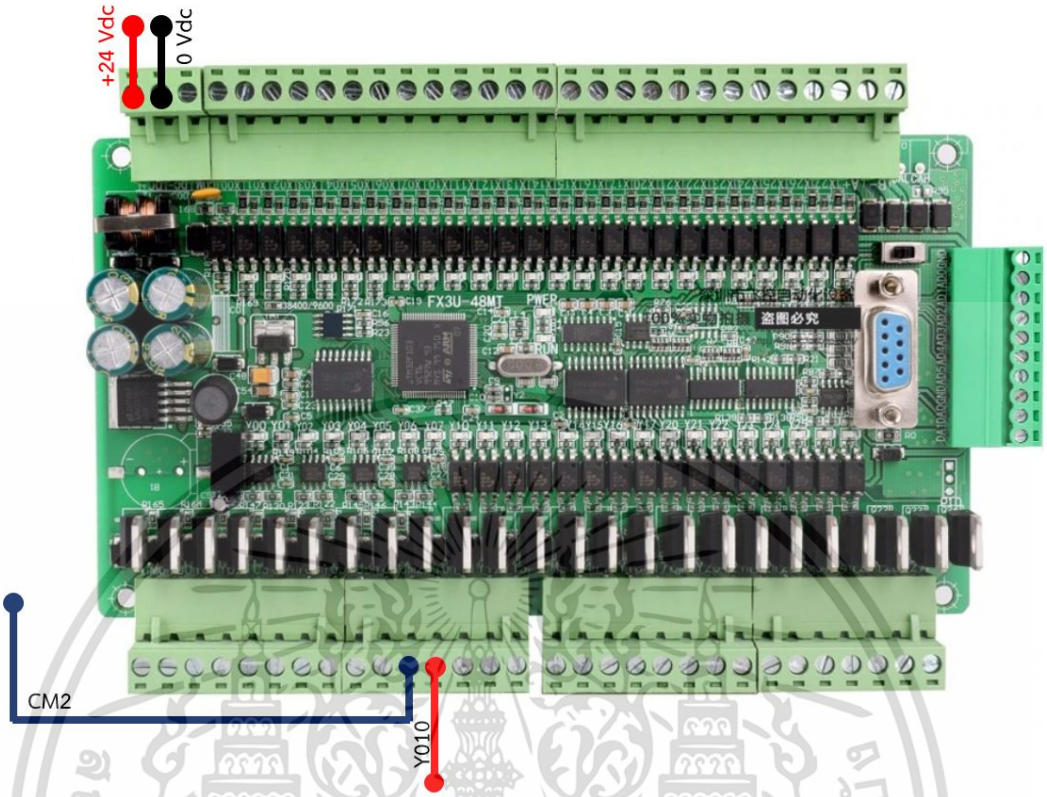


รูปที่ 3.14 ชุด Wiring สายควบคุมหลอดไฟเลี้ยวซ้าย (Y000) และขวา (Y001) ในขณะที่ CM0 คือ +12 Vdc ของไฟเลี้ยว

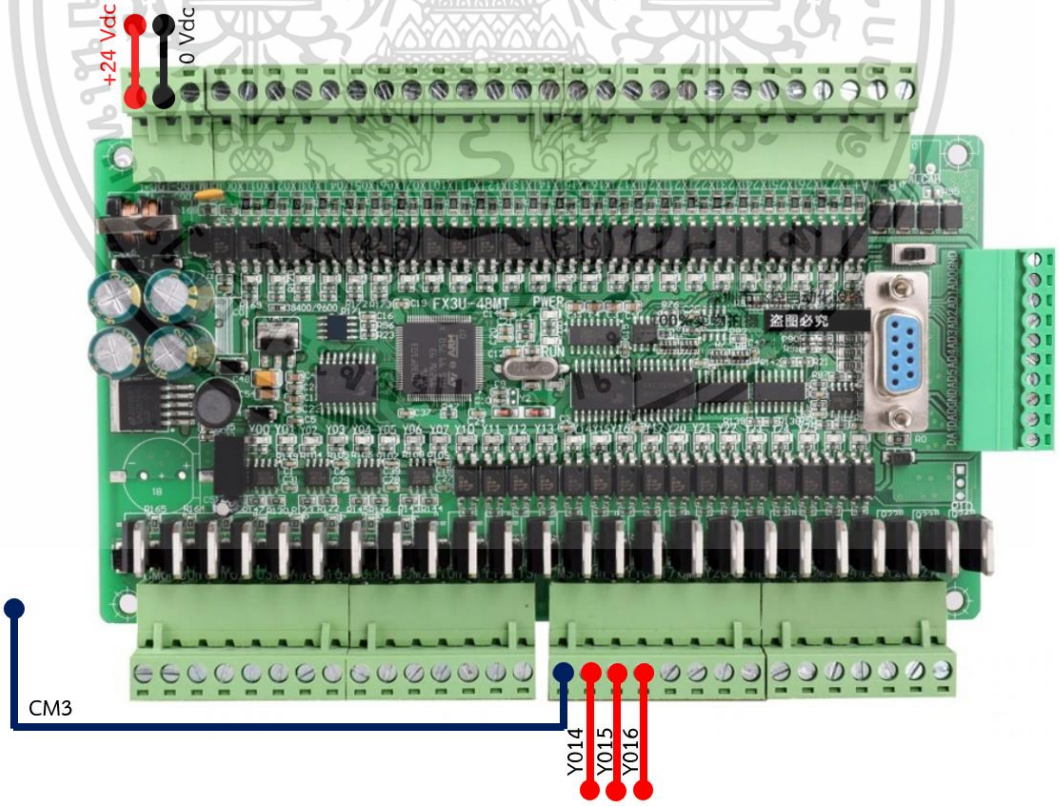


รูปที่ 3.15 ชุด Wiring สายควบคุมไฟส่องสว่าง ได้แก่ ไฟหรี่ (Y004) ไฟต่ำ (Y005) ไฟสูง (Y006) กดไฟสูง (Y007) ในขณะที่ CM1 คือ +12Vdc ไฟส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

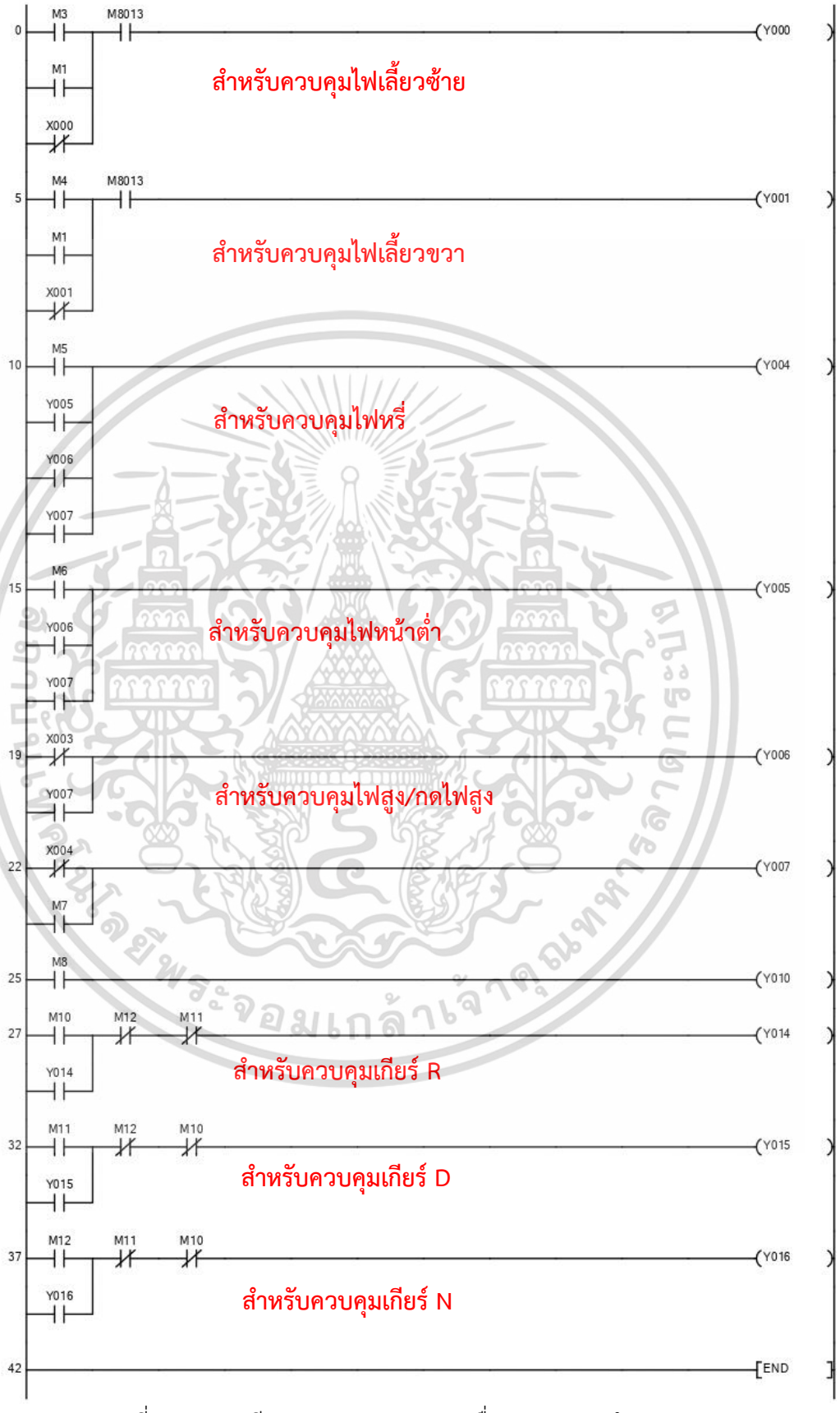


รูปที่ 3.16 ชุด Wiring สายควบคุม High/Low Speed (Y010)



รูปที่ 3.17 ชุด Wiring สายควบคุมเกียร์ R (Y014) N (Y015) และ D (Y016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 การเขียน ladder diagram เพื่อควบคุมการทำงาน

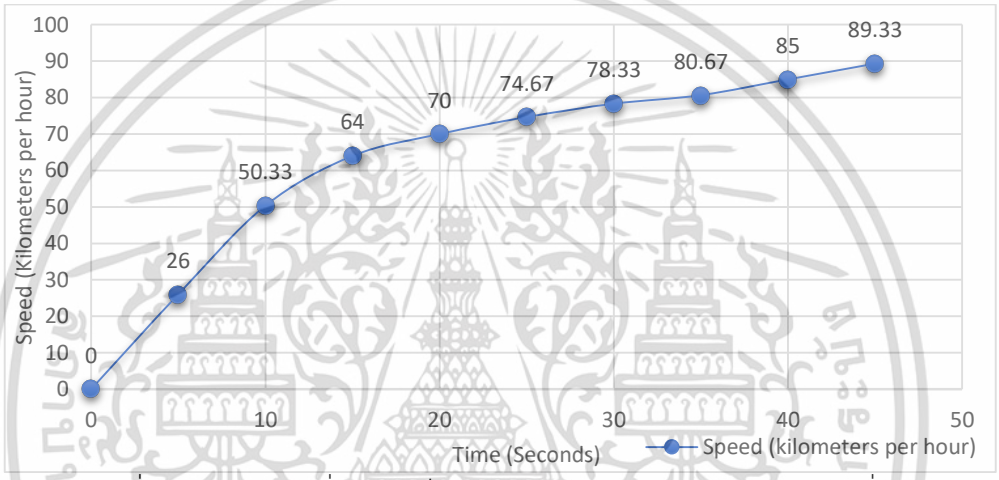
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

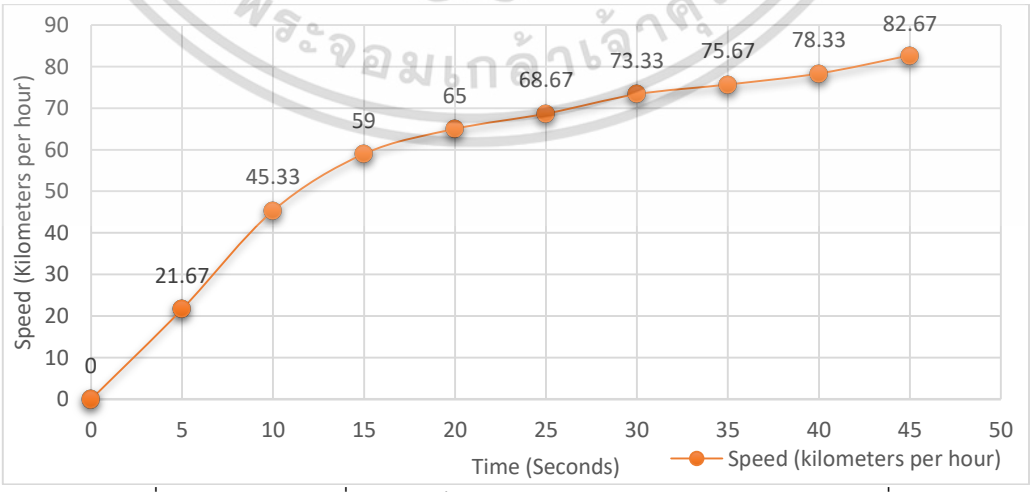
4.1.1 การประเมินความเร็วสูงสุดขณะวิ่งบนถนนลาดยาง (Asphalt) ที่มียานพาหนะสัญจร

กรณีที่ 1 การประเมินความเร็วสูงสุดกรณีบรรทุกผู้ขับจำนวน 1 คน โดยการทดสอบดังกล่าวนี้ได้ดำเนินการทดสอบทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง ทำการทดสอบเฉพาะผู้ขับโดยมีน้ำหนักที่ 60 กิโลกรัม และได้ทำการทดสอบความเร็วเทียบกับเวลาดังภาพที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟค่าเฉลี่ยความเร็วเทียบกับเวลา (ผลการทดสอบในกรณีที่ 1)

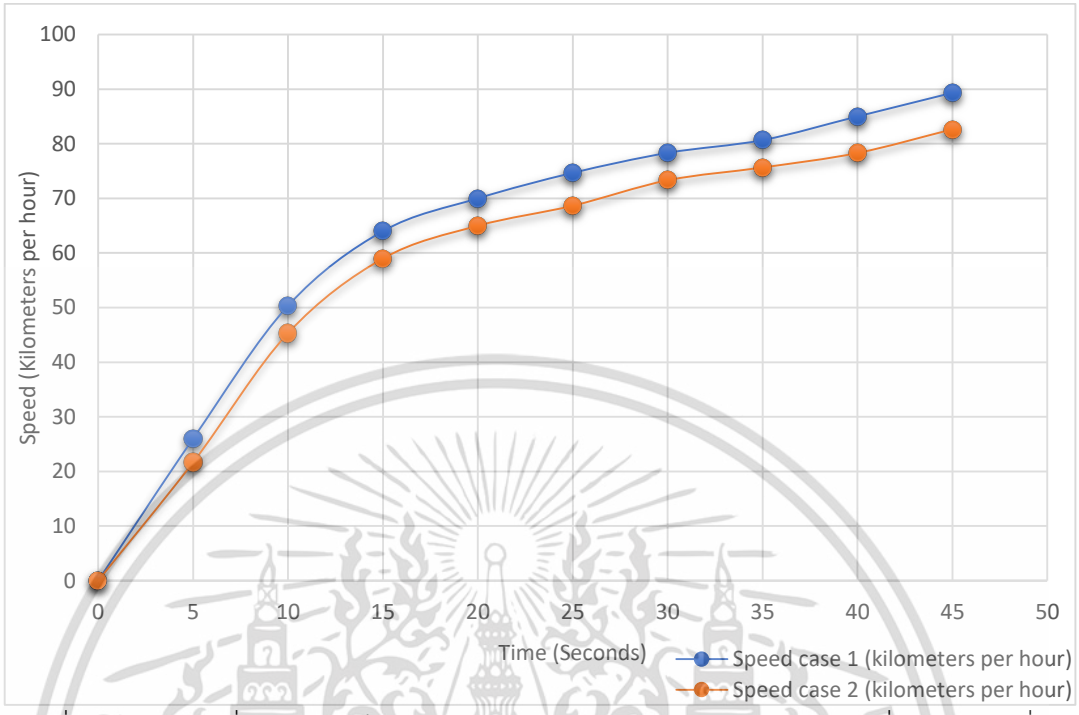
กรณีที่ 2 การประเมินความเร็วสูงสุดกรณีบรรทุกผู้โดยสารจำนวน 2 คน โดยการทดสอบดังกล่าวนี้ได้ดำเนินการทดสอบทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง ทำการทดสอบขับเคลื่อนรถไฟฟ้ากับผู้ขับและผู้โดยสารจำนวน 2 คน คือ ผู้ขับ (น้ำหนัก 60 กิโลกรัม) และผู้โดยสาร (น้ำหนัก 100 กิโลกรัม) รวมน้ำหนักทั้ง 2 คน เป็น 160 กิโลกรัม และได้ผลการทดสอบความเร็วเทียบเวลาดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟค่าเฉลี่ยความเร็วเทียบกับเวลา (ผลการทดสอบในกรณีที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

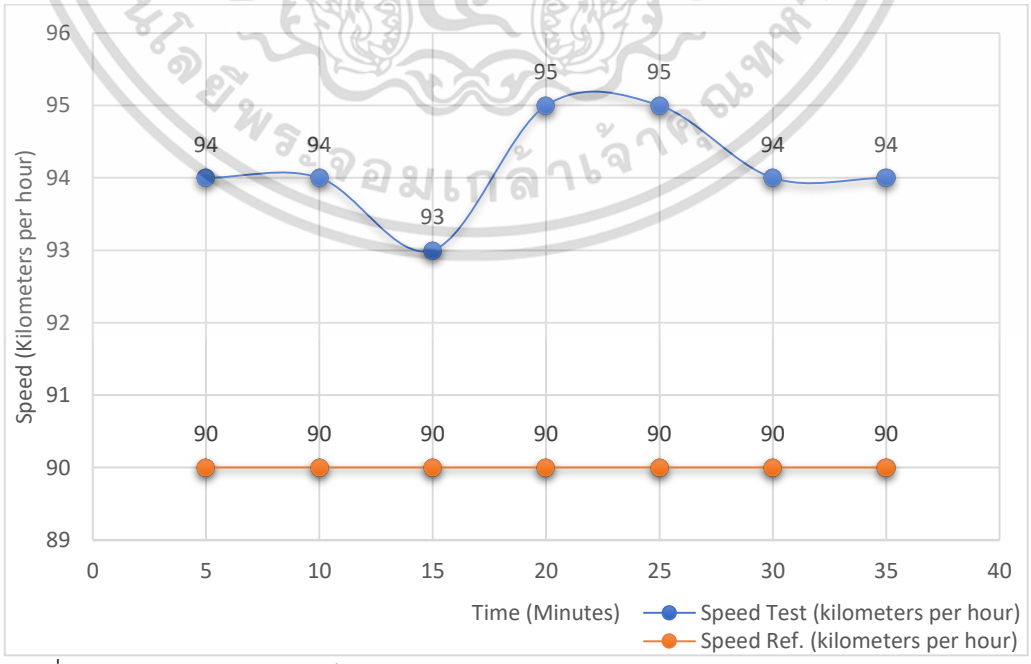
เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบความเร็วเทียบกับเวลาสำหรับการทดสอบในกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2



รูปที่ 4.3 กราฟค่าเฉลี่ยของความเร็วเทียบกับเวลา (เปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2)

4.1.2 การประเมินความเร็วสูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง (Dyno Test)

การประเมินความเร็วสูงสุดกรณีบรรทุกผู้ขับจำนวน 1 คน โดยการทดสอบดังกล่าวนี้ได้ดำเนินการทดสอบทั้งหมดจำนวน 1 ครั้งบน Dyno Test ทำการทดสอบเฉพาะผู้ขับโดยมีน้ำหนักที่ 60 กิโลกรัม เป็นเวลา 35 นาที โดยมีความเร็วไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และได้ทำการทดสอบความเร็วเทียบกับเวลาดังภาพที่ 4.4

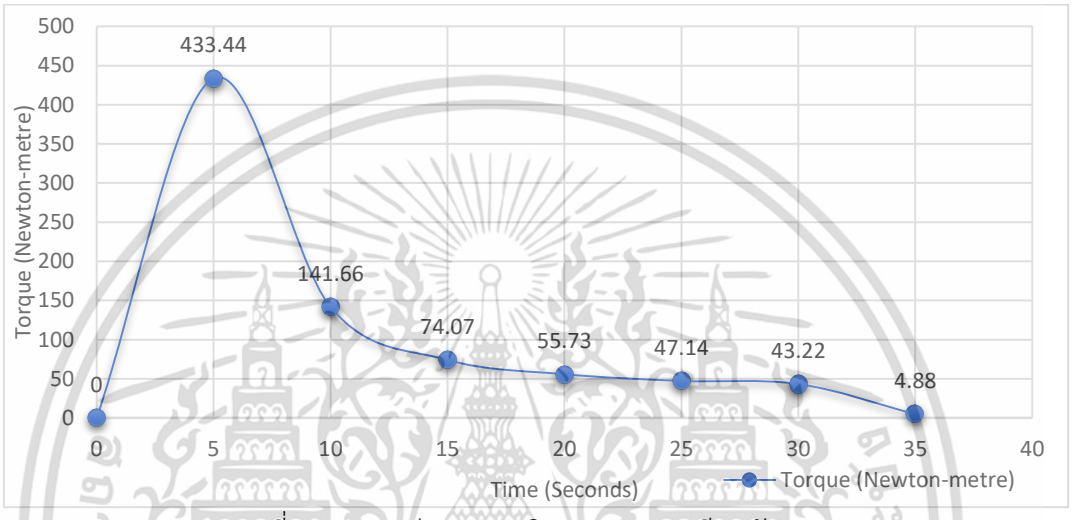


รูปที่ 4.4 กราฟค่าของความเร็วเทียบกับเวลา (เปรียบเทียบ Speed Test และ Speed Ref.)

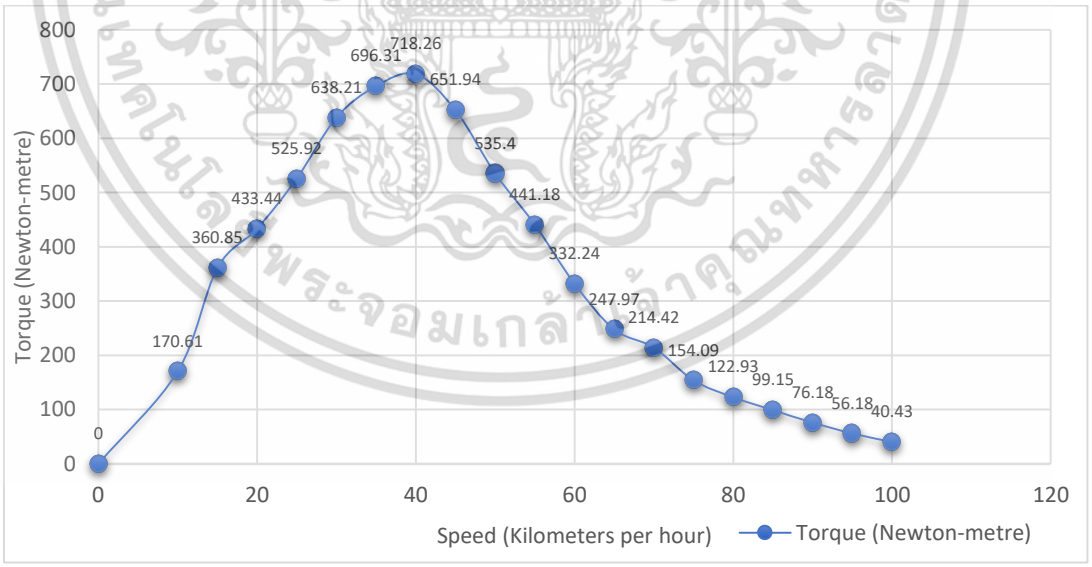
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การประเมินแรงบิดสูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง (Dyno Test)

การประเมินแรงบิด (Torque) สูงสุดกรณีบรรทุกผู้ขับจำนวน 1 คน โดยการทดสอบดังกล่าวนี้ได้ดำเนินการทดสอบทั้งหมดจำนวน 1 ครั้งบน Dyno Test ทำการทดสอบเฉพาะผู้ขับโดยมีน้ำหนักที่ 60 กิโลกรัม เป็นเวลา 35 วินาที โดยมีความเร็วไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และได้ทำการทดสอบความเร็วเทียบกับเวลา และ ความเร็วรถ ดังภาพที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟค่าของแรงบิด (Torque) เทียบกับเวลา

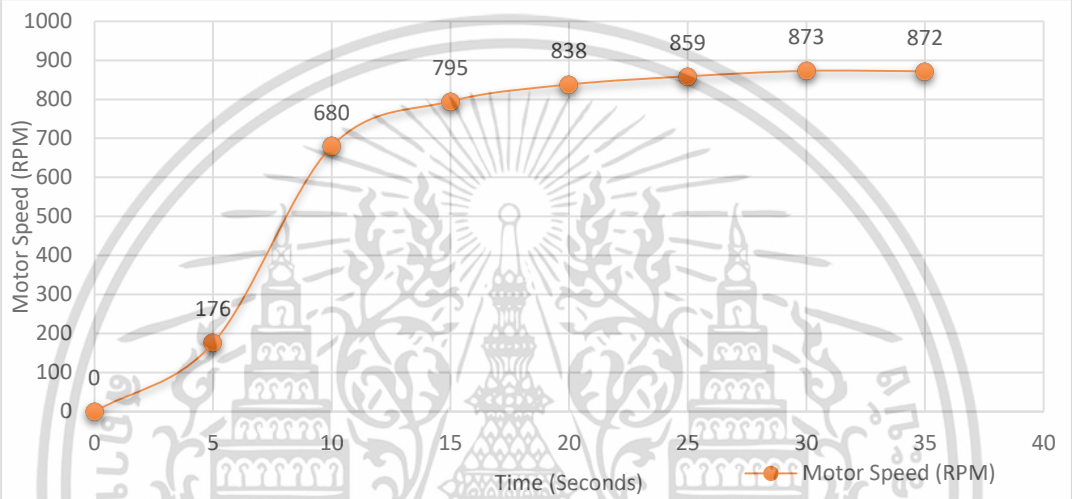


รูปที่ 4.6 กราฟค่าของแรงบิด (Torque) เทียบกับความเร็วรถ

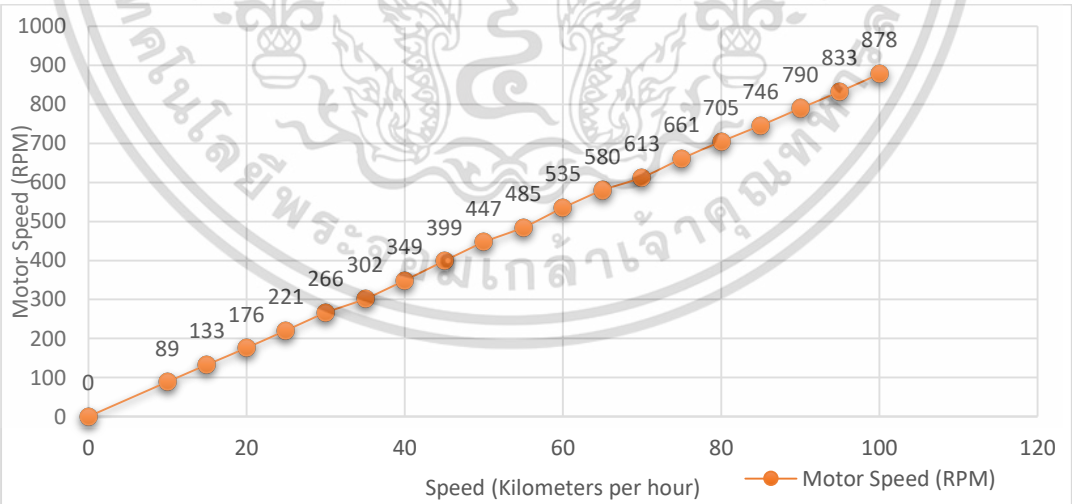
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การประเมินความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) สูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง (Dyno Test)

การประเมินความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) สูงสุดกรณีบรรทุกผู้ขับจำนวน 1 คน โดยการทดสอบดังกล่าวนี้ได้ดำเนินการทดสอบทั้งหมดจำนวน 1 ครั้งบน Dyno Test ทำการทดสอบเฉพาะผู้ขับโดยมีน้ำหนักที่ 60 กิโลกรัม เป็นเวลา 35 วินาที โดยมีความเร็วไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และได้ทำการทดสอบความเร็วเทียบกับเวลา และ ความเร็วรถ ดังภาพที่ 4.7 และ 4.8



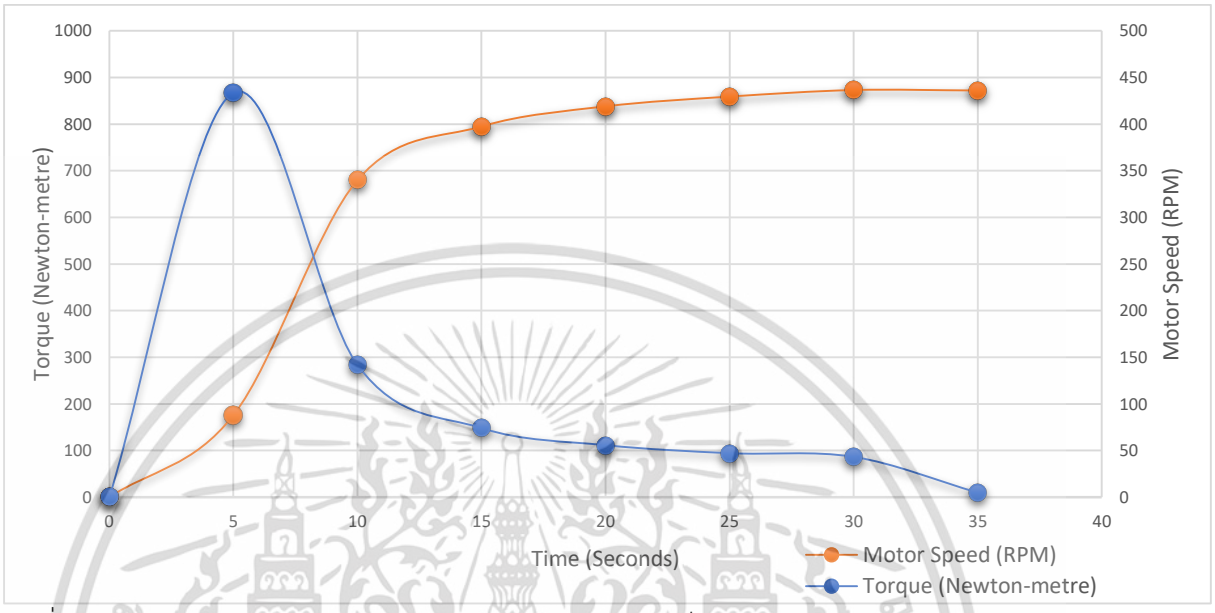
รูปที่ 4.7 กราฟค่าของความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับเวลา



รูปที่ 4.8 กราฟค่าของความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับความเร็วรถ

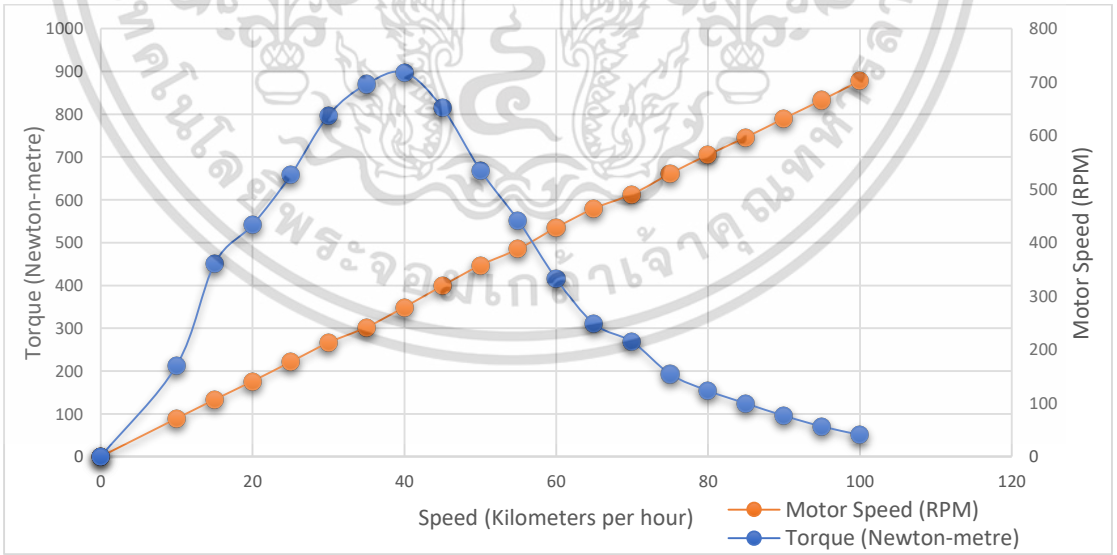
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ การประเมินแรงบิด (Torque) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับเวลา



รูปที่ 4.9 กราฟค่าของการประเมินแรงบิด (Torque) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับเวลา

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ การประเมินแรงบิด (Torque) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับความเร็วรถ

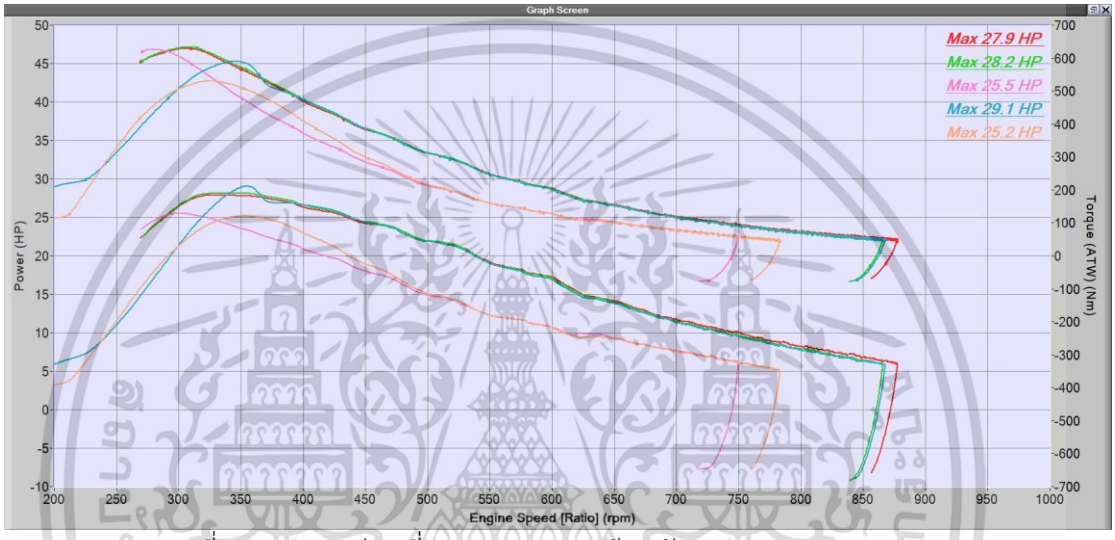


รูปที่ 4.10 กราฟค่าของการประเมินแรงบิด (Torque) และ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (RPM) เทียบกับความเร็วรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การประเมิน Power (HP) สูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง (Dyno Test)

การประเมินความเร็วสูงสุดกรณีบรรทุกผู้ขับจำนวน 1 คน โดยการทดสอบดังกล่าวนี้ได้ดำเนินการทดสอบทั้งหมดจำนวน 1 ครั้งบน Dyno Test ทำการทดสอบเฉพาะผู้ขับโดยมีน้ำหนักที่ 60 กิโลกรัม เป็นเวลา 35 นาที โดยมีความเร็วไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และได้ทำการทดสอบ Power (HP) เทียบกับ Motor Speed (RPM) ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟค่าเฉลี่ย Power (HP) เทียบกับ Motor Speed (RPM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

- สามารถออกแบบระบบการไหลของพลังงานภายในรถยนต์ไฟฟ้า (Power train) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามระเบียบกรมการขนส่งทางบก ว่าด้วยหลักเกณฑ์การขออนุญาตให้ใช้รถที่ทำการแก้ไขเพิ่มเติม หรือดัดแปลงตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ.2562 ดังต่อไปนี้

- ดำเนินการนำรถยนต์ไฟฟ้าประเมินความเร็วสูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง (Dyno Test) ผลปรากฏว่า สามารถวิ่งได้ความเร็วสูงสุด 94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- รถยนต์ไฟฟ้าเมื่อทำการประเมินความเร็วสูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง (Dyno Test) ผลปรากฏว่า สามารถวิ่งตามความเร็วสูงสุดตามที่กำหนดต่อเนื่องเป็นเวลา 35 นาที

- สามารถพัฒนาออกแบบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงให้สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้ โดยทำการนำระบบ PLC รุ่น FX3U พร้อมหน้าจอสัมผัส (HMI) Samkoon ออกแบบเป็นชุดสาธิตการควบคุมรถ EV ได้แก่ การควบคุมระบบไฟส่องสว่าง ไฟขอสัญญาณ เดินหน้า และถอยหลัง

5.1.1 วิธีการเลือกมอเตอร์

โครงงานการศึกษาวิธีการเลือกมอเตอร์จากการคำนวณค่าพลังงานที่เป็นไปได้ในการใช้ขับเคลื่อนรถยนต์พลังงานไฟฟ้าดัดแปลง ทำให้สามารถลดขนาดมอเตอร์ให้มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาขึ้น และสามารถผ่านการประเมินของกรมการขนส่งทางบก การทดลองสรุปได้ว่า

- จากทฤษฎีได้ทำการคำนวณขนาดมอเตอร์ที่กำลังมอเตอร์สูงสุดไว้ที่ 21.25 Kw จากผลการทดลองประเมินความเร็วสูงสุดขณะวิ่งบนอุปกรณ์การวัดค่าขณะขับเคลื่อนจริง (Dyno Test) สามารถวัดค่ากำลังของเครื่องจักรต้นกำลังสูงสุดอยู่ที่ 29.1 Horsepower (Hp) หรือ 21.4 Kw ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎีที่ได้มีการคำนวณดังกล่าว

5.1.2 รูปแบบการขับของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าดัดแปลง

โครงงานการศึกษารูปแบบการขับของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าดัดแปลง ให้ใช้พลังงานเหมาะสมที่สุด การทดสอบสามารถสรุปได้ว่า

- รถยนต์พลังงานไฟฟ้าดัดแปลง ใช้พลังงานในการวิ่ง ดังนี้

- ใช้พลังงานในการวิ่ง 9.02 Kwh. เป็นระยะทาง 90 Km หรือวิ่งได้ 9.97 Km/Kwh. (หากมีประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ 70%)
- ใช้พลังงานในการวิ่ง 7.9 Kwh. เป็นระยะทาง 90 Km หรือวิ่งได้ 11.4 Km/Kwh. (หากมีประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ 80%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อจำกัด

จากการดำเนินโครงงานออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน มีปัญหาและข้อจำกัดดังนี้

- รถยนต์ Alfa Romeo Giulietta 2.0 MT เป็นรถยนต์ ปี ค.ศ.1987 มีอายุการใช้งานถึงปัจจุบัน เป็นระยะเวลา 35 ปี อะไหล่บางส่วนมีการสึกหรอไปตามกาลเวลา ถึงแม้จะทำการเปลี่ยนอะไหล่บางส่วนที่เป็นจุดวิกฤติจริง ๆ นั้นก็อาจหาอะไหล่ทดแทนที่ตรงรุ่นไม่ได้
- ปัญหาการขบกันของเฟืองขบเนื่องจากเมื่อมีการใช้ในระยะเวลานานตามที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ทำให้เฟืองขบมีการสึกกร่อน ซึ่งอาจจะทำให้บางช่วงของการขับเฟืองขบเกิดการสลิปขึ้นได้
- ข้อจำกัดในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เนื่องจากระยะเวลาในการดำเนินการโครงการมีจำกัด
- ข้อจำกัดการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่เฟืองขบโดยโครงการนี้ไม่ได้พิจารณาการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่ส่วนนั้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาและข้อจำกัดข้างต้นนั้น สามารถปรับปรุงแก้ไข และพัฒนา เพื่อความสะดวกในการศึกษาเรียนรู้ เพิ่มความปลอดภัย และประสิทธิภาพการทำงานได้ดังนี้

- อาจจะต้องมีการดัดแปลงหาอะไหล่อื่นทดแทน เพื่อให้รถสามารถใช้งานต่อไปได้ ทว่าการใช้งานต่อไปนั้นมิอาจรับประกันความปลอดภัยในด้านนี้แล้วนั้นหากจะพัฒนารถยนต์ให้กับนักศึกษารุ่นใหม่ใช้ในการศึกษาต้นแบบการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า ควรส่งต่อให้ช่างผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบสภาพรถอย่างถี่ถ้วนเสียก่อนนำไปใช้งานขับขี่ในสภาพการจราจรจริง
- สามารถสร้างการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อหาค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่เฟืองขบนั้นจะเป็นส่วนหนึ่งในการหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้แม่นยำยิ่งขึ้น
- เปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากกว่า 90% สามารถเพิ่มระยะทางในการขับขี่ได้
- หากจำเป็นต้องดำเนินการใช้รถในการเป็นสื่อการเรียนการสอนควรยึดการใช้งานตามคู่มืออย่างเคร่งครัด ให้มีผู้ดูแลอยู่ตลอดเวลา ไม่ควรให้นักศึกษา นักเรียน หรือผู้ที่สนใจดำเนินการตามลำพัง อาจเกิดอันตรายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] รศ.ร.อ.ดร. วีระเชษฐ์ ขันเงิน, การบรรยาย “การออกแบบระบบกำลังในรถไฟฟ้า EV Power Train Design”, กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561.

[2] ดร.ดวิษ กิระชัยวนิช, การบรรยาย “การดัดแปลงรถยนต์เป็นรถไฟฟ้า SHOWCASE : TOYOTA ALTIS โดยความร่วมมือระหว่าง กฟผ. และ สวทช.”, กรุงเทพฯ, ห้อง ออดิทอเรียม ชั้น 3 อาคาร 50ปี กฟผ. สำนักงานกลาง กฟผ. จ.นนทบุรี, 2563

[3] Electric traction machine choices for hybrid & electric vehicles, James R. Hendershot, Ernie Freeman, Florida International University, 2014

[4] Leitman, S. and Brant, B.; Build Your Own Electric Vehicle, McGraw Hill, 1993

[5] I. S. Jacobs and C. P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.

[6] Camara, M. B., Gualous, H., Gustin, F. and Berthon, A. 2006. Control strategy of Hybrid sources for Transport applications using super capacitors and batteries. In proceedings of 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, IPEMCl. 2006, pp : 1-5.

[7] Alfa Romeo. Work Shop Manual. Turin, Piedmont, Italy: Direzione Assistenza Tecnica Alfa Romeo. 1987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้รถ Alfa Romeo EV

วิธีสตาร์ทและการใส่เกียร์ R N D

1.บิดกุญแจไปที่ตำแหน่ง ON

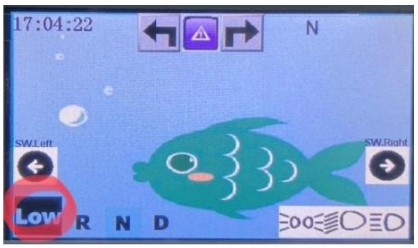
2.เบรกมือ บิดก็อกเบรกมือไปทางซ้าย(เพื่อปลดลมเบรก)

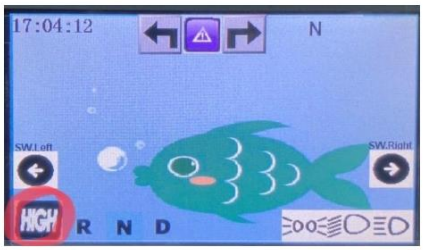
3.หน้าจอSamkoonติด สามารถกดตำแหน่งเกียร์ R N D ตามต้องการ จะมีสถานะโชว์บอก

4.เข้าเกียร์กระปุก 2 3 4 เท่านั้น ตามอัตราเร่งความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.สามารถปรับMode Speed High/Low





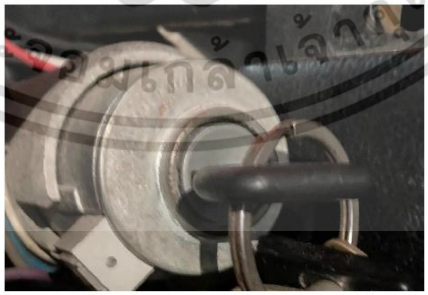
กรณีขณะจอดรถ

1.หน้าจอSamkoon กดไปที่ N และ เข้าเกียร์ว่าง ขณะจอดรถ

2.เบรกมือ เหยียบย้ำๆเบรกเท้า3ทีแล้วเหยียบค้างแรงๆ

จากนั้นบิดก็อกเบรกมือไปทางขวา(เพื่อล็อคลมเบรก)

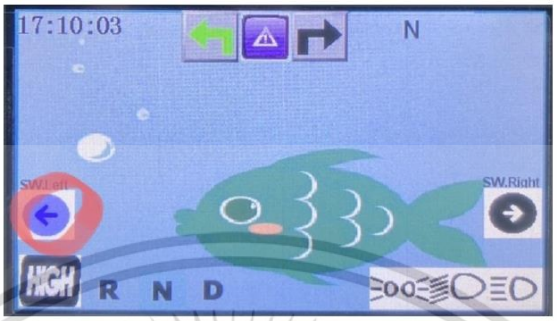
3.บิดกุญแจไปที่ตำแหน่ง OFF



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้หน้าจอ Touch Screen SAMKOON

1.ไฟเลี้ยวซ้าย

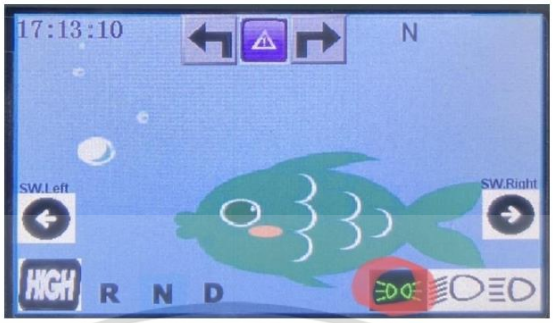


2.ไฟเลี้ยวขวา

3.ไฟฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ไฟหรี่



5.ไฟต่ำ

6.ไฟสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รายงานผลการทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยบริการวิชาการเฉพาะทางด้านการทดสอบสมรรถนะยานยนต์เชื้อเพลิงสะอาด

Clean Fuel Vehicle Performance Test Service Unit : CFVPTSU

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถ.ฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 :โทร.02-329-8400 ถึง 8411 :โทรสาร.02-329-8412

รายงานผลการทดสอบ

หมายเลขรายงาน	SCI006/65	
หมายเลขปฏิบัติการ	CFV16122022	
ชื่อและที่อยู่ของผู้รับบริการ	รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520	
รายละเอียดตัวอย่าง	ตัวอย่างถูกส่งและชี้บ่งโดย/ในนามของผู้รับบริการตามรายละเอียดดังนี้ ชื่อผลิตภัณฑ์ รถยนต์ดัดแปลงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า รถยนต์ ยี่ห้อ ALFA ROMEO รุ่น GIULIETTA 2.0, แบบย่อย MT มอเตอร์ไฟฟ้า ยี่ห้อ Golden Motor มอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่าน (BLDC) , แรงดันไฟฟ้า 72-96 โวลต์, กำลังพิกัดมอเตอร์ 10 - 20 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุดตัวอย่าง (1 หน่วย)	
หมายเลขตัวอย่าง	CFV006	
ลักษณะและสภาพตัวอย่าง	ปกติ	
วัน/เดือน/ปีที่รับตัวอย่าง	16 ตุลาคม 2565	
วัน/เดือน/ปีที่ทดสอบ	16 ตุลาคม 2565	
วันที่ออกรายงาน	20 พฤศจิกายน 2565	
มาตรฐานที่ทดสอบ	ประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่อง กำหนดกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ. 2560	
รายงานผลการทดสอบ	ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในหน้าถัดไป	
เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการทดสอบ	นายนิพนธ์ เงินมี ผู้ทดสอบ	นิพนธ์ เงินมี
หัวหน้าหน่วยบริการวิชาการเฉพาะทางด้านการทดสอบสมรรถนะยานยนต์เชื้อเพลิงสะอาด	รศ.ดร.มนตรี ทองคำ ผู้ตรวจสอบ/ รับรองผล	
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์	รศ.ดร.สุธี ชุติไพจิตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงตัวอย่าง

หมายเหตุ

รายละเอียดตัวอย่าง

แบตเตอรี่ NMC, แบตเตอรี่ 3.7 V 30 แอมป์ต่อแบตเตอรี่1ลูก

จำนวนแบตเตอรี่ที่ใช้โมดูล 14s 2p (103.6V 120 Ah) ความจุแบตเตอรี่รวม 12.432 kWh

มวลรถ มวลสูงสุดของรถ 1300 กิโลกรัม, มวลรถเมื่อพร้อมใช้งาน 1365 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 เครื่องมือทดสอบ

ลำดับ	รายชื่อเครื่องมือ	ผู้ผลิต	รุ่น	หมายเลขเครื่อง	วันที่สอบเทียบ	กำหนดการสอบเทียบ
1	TACHOMETER	Vaisala	AT-8	210602915	21 มีนาคม 2565	20 มีนาคม 2565
2	Barometer with Thermometer Hygrometer	JEDTO	AW008	B928926969	25 เมษายน 2565	24 เมษายน 2566
3	PI TAPE	Pi Tape Texas	12"-24" 304.8-609.6mm	D01291991	30 เมษายน 2565	29 เมษายน 2566
4	Chassis Dynamometer	DYNO DYNAMICS THAILAND	1-1000 Hp 2WD	0420	11 มีนาคม 2565	10 มีนาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการตรวจสอบ

รายการตรวจสอบ	เงื่อนไข/เกณฑ์ทดสอบ	ผลการตรวจสอบ/การตัดสิน	
อุณหภูมิโดยรอบของการทดสอบ	ไม่กำหนด	32.6 องศาเซลเซียส	
สภาพพื้นผิวทดสอบ	เรียบ แห้ง การยึดเกาะปกติ	☑ เรียบ แห้ง การยึดเกาะปกติ ☐ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข/เกณฑ์ทดสอบ	
มวลรถในสภาพพร้อมใช้งาน		รวมน้ำหนัก 1300 กิโลกรัม	
มวลรถในสภาพพร้อมใช้งาน รวมขับหนัก 60 กิโลกรัม		รวมน้ำหนัก 1365 กิโลกรัม	
ความเร็วสูงสุดรถ (V_{max})		94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	
ขนาดยางที่ใช้		ล้อหน้า	185/55R16
		ล้อหลัง	185/55R16
ลมยางที่ใช้	ใช้ความดันลมขณะเย็นที่ผู้ผลิตกำหนด บวก 20 กิโลปาสคาล	ล้อหน้า	227 กิโลปาสคาล
		ล้อหลัง	227 กิโลปาสคาล

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ

ที่	ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
1	ความเร็วที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	94	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
2	เวลา (ไม่น้อยกว่า 30 นาที)	35	นาที
มอเตอร์ไฟฟ้าต้องสามารถขับเคลื่อนรถในขณะที่มีน้ำหนักรถรวมน้ำหนักบรรทุก (Gross Vehicle Weight) ตามที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยความเร็วสูงสุดต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที			

หมายเหตุ ไดนาโมมิเตอร์แบบลูกกลิ้ง (Roller Dynamometer) ที่ใช้ในการทดสอบมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.48624 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพประกอบผลการทดสอบ

รูปที่ 1 รูปตัวเลขชี้บ่งยานยนต์ตามรายการจดทะเบียน (เลขตัวถังรถ ZAR116A-00-03008044)

รูปที่ 2 รูปตัวเลขชี้บ่งเครื่องยนต์ (เลขมอเตอร์ EVTL8848183)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

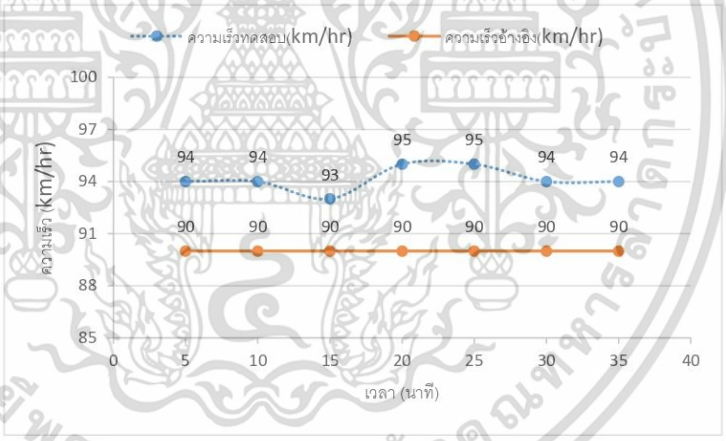
รูปที่ 3 รูปแบตเตอรี่

รูปที่ 4 รูปขนาดยางล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5 รูปรถทดสอบ

รูปที่ 6 รูปกราฟแสดงผลการทดสอบความเร็วที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)



- สิ้นสุดรายงานการทดสอบ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบแสดงข้อมูล

Technical Information

---

1. ข้อมูลทั่วไป :

General :

(1) ชนิด : Make :	ALFA ROMEO
(2) แบบรถ : Type:	**GIULIETTA 2.0**
(2.1) แบบย่อย : Variant (s), Version (s) :	MT
(3) ประเภทรถ : Vehicle category :	รถยนต์ดัดแปลง
(5) ชื่อและที่อยู่ของผู้รับบริการ : Name and address of manufacturer's authorized representative, if any :	รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520

2. มวล :

Mass :

(1) มวลของรถเมื่อพร้อมใช้งาน : Mass of vehicle in running order :	1300 กิโลกรัม (kg)
(2) มวลสูงสุดของรถ : Technical Maximum Gross Weight :	1365 กิโลกรัม (kg)
(3) มิติ (กว้าง x ยาว x สูง) : Dimension :	1,376 x 4,330 x 1,400 มิลลิเมตร (mm)

3. ระบบส่งกำลัง :

Transmission:

ความเร็วสูงสุดของรถและเกียร์ที่ใช้ : Maximum speed of vehicle and gear in which it is reached (in km/h) (i) :	94 กิโลเมตร/ชั่วโมง (km/hr)

4. มอเตอร์ไฟฟ้า :

Electric motor :

(1) ยี่ห้อ : Make :	Motor Make : Golden Motor, Motor Type : EVTL8848183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) แบบ :	DC motor
Type:	
(3) กำลังสูงสุด	20 กิโลวัตต์
Maximum hourly output : (kW)	
(4) แรงดันไฟฟ้า :	72-96โวลต์
Operating voltage :	

5. แบตเตอรี่ :

Battery :

(1) ยี่ห้อ :	Batteries Make : Thai Ev Innovation
Make :	Batteries Type : Thai Ev Innovation
(2) ชนิด :	NMC
Make :	
(3) ความจุแบตเตอรี่ :	3.7V 30 แอมป์ ต่อเซลล์ และมีขนาด 14s-2p ต่อ Pack มีจำนวน 2 Pack
battery capacity	
(4) จำนวนแบตเตอรี่ :	14s-2p
number of batteries	
(5) ความจุรวมแบตเตอรี่ :	12.432 kWh
Total battery capacity	

6. ระบบกันสะเทือน :

Suspension :

(1) ยาง (ประเภท ขนาด และความสามารถในการ	หน้า (Front) : 185/55R16
บรรทุกสูงสุด) และขอบยาง (ประเภทมาตรฐาน) :	หลัง (Rear) : 185/55R16
Tires (category, dimensions and maximum Loading)	
and rims (standard type) :	
(2) ความดันลมยางที่ผู้ผลิตรถแนะนำ :	หน้า (Front) : 227 กิโลปาสคาล (kPa)
Tire pressures recommended by the manufacturer :	หลัง (Rear) : 227 กิโลปาสคาล (kPa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายธนัฐชัย แสงอาทิตย์
วัน เดือน ปีเกิด	5 กรกฎาคม 2542
ที่อยู่	50/1 หมู่บ้านพงษ์เพชรกรีนวิว ม.7 ต.เนินพระ อ.เมือง จ.ระยอง 21150
หมายเลขโทรศัพท์	062-321-6688
E-mail	63015071@kmitl.ac.th
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ไฟฟ้าควบคุม(ยานยนต์) วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

ชื่อ – นามสกุล	นายธีรภัทร์ พงษ์จรัส
วัน เดือน ปีเกิด	21 กรกฎาคม 2541
ที่อยู่	134/460 (หมู่บ้านพลีโนโครงการแรก ซ.12) ซ.สุขสวัสดิ์ 30 แขวงบางปะกอก เขตราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ 10140
หมายเลขโทรศัพท์	098-115-1846
E-mail	63015088@kmitl.ac.th
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคดอนเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

ชื่อ – นามสกุล	นายสิริพงศ์ จารุจรัสพงศ์
วัน เดือน ปีเกิด	23 มิถุนายน 2520
ที่อยู่	59/308 หมู่ที่1 ถนนคุ้มเกล้า แขวงลำผักชี เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530
หมายเลขโทรศัพท์	099-645-6939
E-mail	63015186@kmitl.ac.th
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขา ไฟฟ้าควบคุม วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้