

การพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับรถยนต์  
ไฟฟ้าดัดแปลง

DEVELOPMENT OF LITHIUM BATTERY PACK FOR SAFETY  
CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLE CONVERSION



นายพงศกร ใจชื่อสมบูรณ์

นายมนต์มนัส พันธุ์สวัสดิ์

นายศิริวิชญ์ เหมือนพันธุ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับรถยนต์  
ไฟฟ้าดัดแปลง

DEVELOPMENT OF LITHIUM BATTERY PACK FOR SAFETY  
CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLE CONVERSION



นายพงศกร ใจชื่อสมบูรณ์

นายมนต์มนัส พันธุ์สวัสดิ์

นายศิริวิชญ์ เหมือนพันธุ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF LITHIUM BATTERY PACK FOR SAFETY  
CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLE CONVERSION



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

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเทียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จ  
สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง  
DEVELOPMENT OF LITHIUM BATTERY PACK FOR SAFETY  
CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLE CONVERSION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพงศกร ใจชื่อสมบุญ รหัสนักศึกษา 63015113  
นายมนต์มนัส พันธุ์สวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 63015138  
นายศิริวิชญ์ เหมือนพันธุ์ รหัสนักศึกษา 63015170

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.อัครวรรษ เรืองริน	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง		
	DEVELOPMENT OF LITHIUM BATTERY PACK FOR SAFETY CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLE CONVERSION		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพงศกร	ใจชื่อสมบูรณ์	รหัสนักศึกษา 63015113
	นายมนต์มนัส	พันธุ์สวัสดิ์	รหัสนักศึกษา 63015138
	นายศิริวิชญ์	เหมือนพันธุ์	รหัสนักศึกษา 63015170
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.อัครวรราช	เริ่งรีน	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ทวิพล	ชื่อสัตย์	
ปีการศึกษา	2565		

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบ และการพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง ใช้แบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) เป็นแบบ Prismatic ขนาด 3.7V 30Ah ต่อเซลล์ และมีขนาด 14s-2p ต่อ Pack ซึ่งมีจำนวน 2 Pack แล้วนำมาต่อกันแบบ 2SM 2PM โดยมีระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger) และวงจรที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อใช้เชื่อมต่อกับสถานีอัดประจุตามมาตรฐาน IEC 62196 Type II รวมไปถึงวงจรป้องกันตัดการจ่ายไฟฟ้า เมื่อแบตเตอรี่เต็ม โดยแรงดันที่ได้อยู่ที่ 103.6V, 120Ah, 12.432kWh จากการทดลองใช้กับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่มีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ขนาด 10/20kW พบว่าระบบที่ออกแบบนี้สามารถใช้งานได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถนำรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงไปจดทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบกได้อีกด้วย และสามารถนำโครงการนี้ไปประยุกต์ใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าอื่นได้ทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	DEVELOPMENT OF LITHIUM BATTERY PACK FOR SAFETY CHARGING FOR ELECTRIC VEHICLE CONVERSION	
<b>Student</b>	Mr. Pongsakorn	Chaisusomboon
	Mr. Monmanut	Punsawat
	Mr. Sirawit	Muenphan
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Akkharawat	Roengruen
<b>Co-Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. Taweepol	Suesul
<b>Year</b>	2022	

### ABSTRACT

This thesis is to study, design and develop lithium battery packs for charging safety in electric vehicles conversion. The lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC) batteries, prismatic type, 3.7V 30Ah per cell, and sized 14s-2p per pack were developed. The Battery Management System (BMS), On-Board Charger, and designed protection circuit were designed to connect to a charging station according to IEC 62196 Type II standards, including a protection circuit to cut off the power supply. when the battery is full. The voltage obtained is 103.6V, 120Ah, 12.432kWh. The experiment set up was done as well on the electric car conversion with 10/20kW brushless DC motor. Moreover, this electric vehicle conversion can also be registered with the Department of Land Transport as well and this project can be applied to all kinds of other electric vehicles.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความปรึกษาและความอนุเคราะห์จาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.อัครวรรษ เรืองริน และรองศาสตราจารย์.ดร. ทวีพล ชื่อสัตย์ อีกทั้งยังเอื้อเพื่อ อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและ ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า อันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณนาย วรจิต ชูชื่นกลิ่น ที่คอยสนับสนุน ให้คำปรึกษา คำแนะนำและคอยเอื้อเพื่อ อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ตลอดการทำโครงการครั้งนี้

และที่ลืมเสียไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่ สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจาก ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และด้อยค่าอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....</b>	<b>3</b>
2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่.....	3
2.2 แบตเตอรี่.....	3
2.2.1 กล้องบรรจุชุดแบตเตอรี่.....	3
2.3 เทคโนโลยีแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า.....	5
2.4 ประเภทของแบตเตอรี่.....	8
2.4.1 แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว.....	8
2.4.1.1 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว สำหรับติดเครื่องยนต์.....	8
2.4.1.2 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle หรือ Traction battery.....	8
2.4.1.3 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Stationary.....	9
2.4.2 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-แคดเมียม.....	9
2.4.3 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์.....	10
2.4.4 แบตเตอรี่ประเภทลิเธียมไอออน.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4.1 แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ (NMC).....	12
2.4.4.2 แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์ (NCA).....	12
2.4.4.3 แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ (LCO).....	13
2.4.4.4 แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ (LMO).....	14
2.4.4.5 แบตเตอรี่ลิเธียม-ไอออนฟอสเฟต (LFP).....	15
2.4.4.6 แบตเตอรี่ลิเธียมไทเทเนียมแอนโนด (LTO).....	16
2.4.5 แบตเตอรี่ประเภทเมทัล-แอร์.....	17
2.5 เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System).....	20
2.6 ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสำหรับแบตเตอรี่ลิเธียม.....	22
2.6.1 กระบวนการ Thermal runaway effect หรือ กระบวนการ Domino effect.....	22
2.7 เทคโนโลยีการประจุไฟฟ้า.....	23
2.7.1 การชาร์จประจุไฟฟ้า.....	23
2.7.1.1 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบปกติ.....	25
2.7.1.2 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบเร็ว.....	25
2.7.1.3 การแบ่งประเภทการชาร์จตาม Mode.....	27
2.7.2 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า.....	27
2.7.2.1 เทคโนโลยีของสหภาพยุโรป : มาตรฐาน IEC 62196.....	27
2.7.2.2 เทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกา : มาตรฐาน SAE J1772.....	28
2.7.2.3 เทคโนโลยีของญี่ปุ่น : มาตรฐาน CHAdeMO.....	29
2.7.2.4 เทคโนโลยีของจีน : มาตรฐาน GB/T.....	30
2.7.2.5 มาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับประเทศไทย.....	30
2.7.3 การเชื่อมต่อระหว่าง EV Station และ EV Car.....	31
2.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า.....	33
2.8.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้ไฟฟ้า.....	33
2.8.2 การแบ่งประเภทการใช้ไฟฟ้า.....	33
2.8.2.1 ประเภทที่ 1 (บ้านอยู่อาศัย).....	33
2.8.2.2 ประเภทที่ 2 (กิจการขนาดเล็ก).....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.2.3 ประเภทที่ 3 (กิจการขนาดกลาง).....	34
2.8.2.4 ประเภทที่ 4 (กิจการขนาดใหญ่).....	34
2.8.2.5 ประเภทที่ 5 (กิจการเฉพาะอย่าง).....	34
2.8.2.6 ประเภทที่ 6 (องค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร).....	34
2.8.2.7 ประเภทที่ 7 (สูบน้ำเพื่อการเกษตร).....	34
2.8.3 การคำนวณค่าไฟฟ้า.....	34
2.8.3.1 ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน.....	34
2.8.3.2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft).....	35
2.8.3.3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (Vat).....	35
2.9 การคำนวณการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.....	36
2.10 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง.....	37
2.10.1 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์.....	37
2.10.2 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS).....	38
2.10.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	39
2.10.4 แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger).....	40
2.10.5 รีเลย์.....	40
2.10.6 สายไฟ.....	43
2.10.7 เครื่องวัดมัลติฟังก์ชันที่ใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สาย รุ่น VAC8010F.....	44
<b>บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการดำเนินการ.....</b>	<b>45</b>
3.1 การออกแบบโครงสร้างของยานยนต์ไฟฟ้าที่ดัดแปลงในส่วนของแบตเตอรี่.....	45
และในส่วนของระบบการอัดประจุไฟฟ้า	
3.1.1 การออกแบบระบบย่อย ๆ ในส่วนของแบตเตอรี่และระบบการอัดประจุ.....	45
3.1.2 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า.....	45
3.1.2.1 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่.....	45
3.1.2.2 การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์.....	45
ออกไซด์ที่นำมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า	
ขั้นตอนการทำงานของระบบทั้งหมด แสดงออกมาเป็นแผนผัง.....	47
3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบอัดประจุ.....	48
3.2.1 อุปกรณ์อัดประจุ.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 วงจรสื่อสารสถานะการชาร์จ.....	50
3.2.3 แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger).....	50
3.2.4 เครื่องวัดมัลติฟังก์ชันที่ใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สาย รุ่น VAC8010F.....	51
3.2.5 รีเลย์.....	53
3.2.6 วงจรมาตรฐาน Type 2 ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับสถานีชาร์จประจุ.....	54
3.2.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ภายในตัวรถไฟฟ้า.....	54
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>55</b>
4.1 บทนำ.....	55
4.2 การทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ เมื่อติดตั้งในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง.....	55
บนเครื่อง Dynamometer	
4.2.1 ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้า.....	56
4.2.2 ผลการทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้า.....	56
4.2.3 ผลการทดสอบวัดค่ากำลังไฟฟ้า.....	57
4.2.4 ผลการทดสอบวัดค่าความจุของพลังงานไฟฟ้า.....	57
4.2.5 ผลการทดสอบวัดค่าปริมาณการอัดประจุ (Percent of battery).....	58
4.2.6 ผลการทดสอบวัดค่าระยะทาง.....	58
4.2.7 แสดงค่าผลการทดสอบขณะอยู่บน Dynamometer.....	59
4.3 การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์.....	60
4.3.1 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิล.....	60
แมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ค่าแรงดันไฟฟ้า	
4.3.2 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิล.....	61
แมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ค่าปริมาณการอัดประจุ (Percent of battery)	
4.3.3 แสดงค่าผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิล.....	61
แมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์	

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	62
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข.....	62
5.2.1 ปัญหาที่พบ.....	62
5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา.....	63
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	63
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	65
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการใช้งานและการบำรุงรักษา.....	66
ภาคผนวก ข ภาคผนวกตาราง.....	70
ภาคผนวก ค รายงานผลการทดสอบ.....	74
ภาคผนวก ง ประวัติผู้เขียน.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้ง VIII ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า.....	19
2.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย.....	31
2.3 โหมดการชาร์จและค่าความต้านทาน.....	32
2.4 ค่ากระแสไฟฟ้าและ Duty cycle ที่ได้จากสมการ.....	32
2.5 ประเมินราคาที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า.....	34
2.6 เป็นตารางขนาดของสายไฟ กระแสสูงสุดที่สายไฟทนได้และวงจรที่ใช้.....	43
3.1 รายละเอียดการแสดงผลของหน้าจอ.....	52
3.2 รายละเอียดของบอร์ดอินเทอร์เฟซ (Measuring board interface).....	53
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	59
4.2 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเธียม.....	61
นิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)	
ข.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆของแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า.....	71
ข.2 ตารางแสดงแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและขั้วบวก.....	71
และการใช้งาน	
ข.3 ตารางเปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภท.....	72
ข.4 ตารางมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย.....	72
ข.5 ตารางโหมดการชาร์จและค่าความต้านทาน.....	73
ข.6 ตารางค่ากระแสไฟฟ้าและ Duty cycle ที่ได้จากสมการ.....	73
ค.1 ตารางแสดงเครื่องมือทดสอบ.....	77
ค.2 ตารางผลการตรวจสอบ.....	78
ค.3 ตารางแสดงผลการทดสอบ.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV).....	3
รูปที่ 2.2 กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่.....	4
รูปที่ 2.3 ภาพหลักการทำงานของแบตเตอรี่.....	5
รูปที่ 2.4 สมรรถนะแบตเตอรี่ในมิติต่าง ๆ.....	6
รูปที่ 2.5 คุณลักษณะด้าน C-rate, SOC และ %DOD ของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า.....	7
ประเภทต่าง ๆ	
รูปที่ 2.6 กราฟค่าพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภท.....	11
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์.....	12
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์.....	13
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์.....	13
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์.....	14
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต.....	15
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด.....	16
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air.....	17
รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างแบตเตอรี่ที่ใช้ Zn เป็นขั้วแอโนดและแบตเตอรี่.....	17
Zn-Air	
รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบค่าพลังงานของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ ที่ทำได้จริงกับทางทฤษฎี.....	18
รูปที่ 2.16 ห่วงโซ่คุณค่าสำหรับแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า.....	19
รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน.....	21
รูปที่ 2.18 องค์ประกอบการเกิดเพลิงไหม้.....	22
รูปที่ 2.19 กระบวนการ Domino effect.....	23
รูปที่ 2.20 สายประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1.....	24
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเครื่องประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2.....	25
รูปที่ 2.22 การชาร์จประจุไฟฟ้าการชาร์จประจุไฟฟ้าแบบปกติและการชาร์จประจุไฟฟ้า.....	26
แบบเร็ว	
รูปที่ 2.23 รูปแบบการชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมดต่าง ๆ.....	27
รูปที่ 2.24 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า.....	27
รูปที่ 2.25 รายละเอียดของตัวหัวชาร์จเชื่อมต่อแบบ J1772 และ EV Socket.....	28
รูปที่ 2.26 รายละเอียดของ J1772 Combo connector และ Combo EV Socket.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.27 การทำงานร่วมเข้ากันได้ของมาตรฐานของ Combo socket..... และ Combo connectors	29
รูปที่ 2.28 หัวปลั๊กและเต้ารับตามมาตรฐาน CHAdeMO.....	29
รูปที่ 2.29 รายละเอียดของ GB/T 20234.2-2001.....	30
รูปที่ 2.30 หัวปลั๊กและเต้ารับแบบ IEC 62196 Type 2 และแบบ CCS Combo 2.....	31
รูปที่ 2.31 รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่าง EV Station กับ EV Car.....	32
รูปที่ 2.32 ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าผันแปรจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 1.....	38
รูปที่ 2.33 แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์.....	39
รูปที่ 2.34 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS).....	39
รูปที่ 2.35 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดพร้อมองค์ประกอบ.....	40
รูปที่ 2.36 แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger Circuit).....	40
รูปที่ 2.37 เพาเวอร์รีเลย์.....	40
รูปที่ 2.38 โซลิตสเตรรีเลย์.....	41
รูปที่ 2.39 แลทชิ่งรีเลย์.....	41
รูปที่ 2.40 เซฟตี้รีเลย์.....	41
รูปที่ 2.41 ไทม์มเมอร์รีเลย์.....	42
รูปที่ 2.42 เทอร์มินอลรีเลย์.....	42
รูปที่ 2.43 สเต็ปปีงรีเลย์.....	42
รูปที่ 2.44 เปรียบเทียบขนาดของฉนวนในสายไฟแรงต่ำและสายไฟแรงสูง.....	43
รูปที่ 2.45 รหัสสีสายไฟ.....	44
รูปที่ 2.46 เครื่องวัดมัลติฟังก์ชันที่ใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สาย รุ่น VAC8010F .....	44
รูปที่ 3.1 โครงสร้างการออกแบบ.....	45
รูปที่ 3.2 แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์.....	46
รูปที่ 3.3 การเขียนผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบทั้งหมด.....	47
รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบชาร์จแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า.....	48
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์อัดประจุ.....	49
รูปที่ 3.6 วงจรสื่อสารสถานะการชาร์จ.....	50
รูปที่ 3.7 แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger).....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.8 วงจรความปลอดภัยที่ใช้ในการตัดการชาร์จจากตู้ชาร์จของ VAC8010F.....	51
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านจอแสดงผล.....	51
รูปที่ 3.10 รายละเอียดจอแสดงผล.....	52
รูปที่ 3.11 รายละเอียดของบอร์ดอินเทอร์เฟซ (Measuring board interface).....	52
รูปที่ 3.12 โหมด OVP ที่เราใช้ในการป้องกันเมื่อชาร์จไฟ.....	53
รูปที่ 3.13 รีเลย์ 12 โวลต์.....	53
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการเชื่อมต่อ และตัวต้านทานค่าต่างๆ ที่ทำให้กระแสเอาต์พุตต่างกัน.....	54
รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการวางระบบการชาร์จภายในตัวรถไฟฟ้า.....	54
รูปที่ 4.1 การทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	55
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	56
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	56
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	57
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความจุของพลังงานไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	57
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าปริมาณการอัดประจุขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	58
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าระยะทางขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer.....	58
รูปที่ 4.7 การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมนิเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์.....	60
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะทำการชาร์จ.....	60
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าปริมาณการอัดประจุขณะทำการชาร์จ.....	61
รูปที่ ก.1 การนำรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงไปชาร์จที่สถานีชาร์จ.....	67
รูปที่ ก.2 ทำการเปิดสวิตช์กุญแจที่ตัวรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง.....	67
รูปที่ ก.3 นำหัวชาร์จจากสถานีชาร์จมาเสียบกับเต้ารับของรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง.....	68
รูปที่ ก.4 นำบัตรไปสแกนกับสถานีชาร์จ.....	68
รูปที่ ก.5 ไฟแดง LED ข้างตัวรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงจะติด.....	69
รูปที่ ค.1 รูปตัวเลขชี้บ่งยานยนต์ตามรายการจดทะเบียน.....	79
รูปที่ ค.2 รูปตัวเลขชี้บ่งเครื่องยนต์.....	79
รูปที่ ค.3 รูปแบตเตอรี่.....	80
รูปที่ ค.4 รูปขนาดยางล้อ.....	80
รูปที่ ค.5 รูปรถทดสอบ.....	81
รูปที่ ค.6 รูปกราฟแสดงผลการทดสอบความเร็วที่กำหนด.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ ไม่ได้ควบคู่ไปกับการพัฒนาสิ่งแวดล้อม ปริมาณรถยนต์มีมากขึ้นทำให้การใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามและขณะเดียวกันการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ก็ก่อให้เกิดมลภาวะ ทั้งทางเสียงหรือทางอากาศ อีกเช่นราคา น้ำมันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้ผลิต ยานยนต์เกือบทุกค่ายหันมาเร่งพัฒนายานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจังยานยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่มีแนวโน้มการขยายตัวสูงขึ้น

หลักการทำงานเริ่มต้นจากแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ต่อมาตัวแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ไปเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ และส่งต่อไปยังตัวมอเตอร์เพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนยานยนต์ เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่มอเตอร์มาขับเคลื่อนโดยไม่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในจึงไม่ก่อให้เกิดการเผาไหม้

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลของระบบยานยนต์ไฟฟ้าที่พบเห็นโดยทั่วไปรวมถึงการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับตัวรถ คณะผู้จัดทำจึงแนวคิดที่จะ นำปัญหาที่ได้ศึกษามาปรับให้สามารถใช้ได้กับตัวยานยนต์ เครื่องสันดาปเป็นแปลงออกมาเป็นแบบไฟฟ้าให้มีความสะดวกต่อผู้ใช้งานทั้ง ประสิทธิภาพการทำงานและประหยัดค่าใช้จ่ายในการจะทำโครงการนี้เป็นการพัฒนาจาก ยานยนต์เครื่องสันดาปเป็นยานยนต์ที่ใช้งานโดยไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเพื่อรองรับการใช้งานแบบไฟฟ้าในอนาคต

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อนำรถยนต์ไฟฟ้าไปใช้ในชีวิตประจำวันได้
2. เพื่อศึกษาและออกแบบ การเปลี่ยนจากยานยนต์สันดาปเป็นยานยนต์ไฟฟ้าให้เหมาะสมและปลอดภัยกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งลงไป
3. เพื่อศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดและทำการเลือกชนิดที่เหมาะสมกับการใช้งาน
4. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ภายในยานยนต์ไฟฟ้า มาประยุกต์ใช้ ให้เกิดประสิทธิภาพที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

โครงการนี้เป็นการดัดแปลงรถยนต์สันดาปให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้า โดยกลุ่มได้พัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง ตามมาตรฐานการประจุไฟฟ้ายานยนต์ IEC 61851 และมาตรฐานแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ IEC 61982 ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาตั้งแต่ส่วนประกอบของยานยนต์ไฟฟ้า มาตรฐานการชาร์จ ระบบแบตเตอรี่ รวมทั้งการนำความรู้ที่ได้จากการเรียนที่ผ่านมาประยุกต์ใช้ให้เกิดเป็นโครงการดังกล่าว

พัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง โดยมีสเปคมอเตอร์กระแสตรง 10/20 กิโลวัตต์ และใช้แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ ที่มีขนาดแรงดัน 103.6 โวลต์ 120 แอมป์-ชั่วโมง 12.432 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด
2. สามารถวางแผนการประกอบและติดตั้งยานยนต์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เข้าใจหลักการทำงานของระบบยานยนต์ไฟฟ้าและการเรื่องแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการใช้งาน อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาส่วนประกอบของแบตเตอรี่แต่ละชนิด เพื่อให้เข้าใจหลักการ การทำงานในเบื้องต้น การคำนวณขนาดแบตเตอรี่ เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ได้อย่างถูกต้อง
2. ศึกษาและออกแบบการจัดวางตำแหน่งแบตเตอรี่ วงจรไฟฟ้าภายในทั้งหมดของระบบการทำงาน เพื่อให้เข้าใจการทำงานและนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง
3. ศึกษามาตรฐานการชาร์จแบบต่างๆ โดยเน้นไปที่มาตรฐานการชาร์จที่ใช้หัวปลั๊กแบบ Type 2 ซึ่งจะมีวงจรที่ติดต่อสื่อสารระหว่างตัวรถกับสถานีชาร์จ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่

ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น กำลังสำหรับให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เท่านั้น ตามรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ามีความเรียบง่ายในการจัดวางอุปกรณ์ ไม่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในอื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จะขึ้นอยู่กับการออกแบบ ขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้ง น้ำหนักบรรทุก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันบริษัทรถยนต์ได้มีการผลิตและจำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ขึ้น ในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น จีน ญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ทั้งนี้ เพราะเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่ดีขึ้นและราคาจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่มีความเป็นไปได้มากขึ้น โดยโครงการนี้เราจะเน้นยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV)



รูปที่ 2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) ; อ้างอิง EV Plaza

### 2.2 แบตเตอรี่

#### 2.2.1 กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ (Battery Pack)

ชุดแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยของเซลล์แบตเตอรี่จำนวนมาก ดังรูปที่ 2.2 โดยแสดงถึงการจัดวางของโมดูลแบตเตอรี่ในกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ แต่ละโมดูลจะประกอบด้วยเซลล์ย่อย เซลล์ย่อยแต่ละเซลล์ทำงานได้ด้วยการบรรจุสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่ติดไฟได้อยู่ภายใน และเป็นที่รู้กันว่าการคายประจุหรือรับการอัดประจุในสถานะที่ไม่เหมาะสมสามารถนำไปสู่กระบวนการ Thermal runaway ได้ คือ สถานะการทำงานที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดความร้อนปริมาณมากกว่าปกติ แล้วความร้อนนั้นจะนำไปสู่กระบวนการทางเคมีระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ที่ให้เกิดความร้อนที่เพิ่มขึ้น จนในที่สุดปริมาณความร้อนมีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มากจนเกิดการลัดไฟได้ในช่วงแบตเตอรี่ เพื่อเป็นการป้องกันการลัดไฟลูกใหม่กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่จะมีการออกแบบระบบหล่อเย็นเพื่อป้องกันกระบวนการ Thermal runaway



รูปที่ 2.2 กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ ; อ้างอิง Ainbattery.com

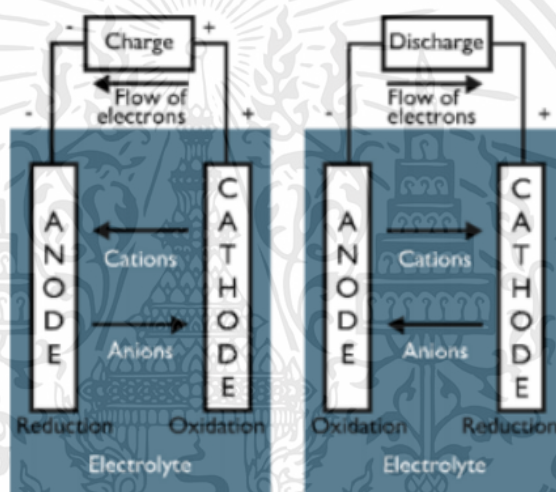
การติดตั้งชุดแบตเตอรี่ ในปัจจุบันมีตำแหน่งโดยปกติจะติดอยู่ที่พื้นของห้องโดยสาร กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่จึงต้องถูกออกแบบมาให้มีความแข็งแรงในหลายลักษณะ เพื่อทนต่อของมีคมที่อาจจะวิ่งเข้ามาทะลุทะลวงกล่องบรรจุทำให้เกิดความเสียหายได้เมื่อขับขี่ด้วยความเร็ว ซึ่งจะยกกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นกับรถ Tesla model S ที่แม้ว่าจะมีกล่องบรรจุที่แข็งแรงและมีแผ่นปกป้องการเจาะทะลุอีกชั้นที่ด้านหน้าของตัวรถก็เกิดเหตุเศษโลหะที่อยู่บนถนนกระเด็นเจาะเข้าไปทำให้ความเสียหายแก่ชุดแบตเตอรี่ และนำไปสู่เพลิงไหม้ได้ จึงนำไปสู่แนวทางการออกแบบอีกส่วน ก็คือกล่องบรรจุนี้ต้องป้องกันการลุกลามของไฟได้ ไม่ให้เข้าสู่ห้องโดยสาร ซึ่งในกรณีดังกล่าว รถ Tesla model S ออกแบบในลักษณะนี้ไว้ได้ดี ทำให้ผู้โดยสารหนีออกจากห้องโดยสารได้แม้เกิดไฟไหม้กับชุดแบตเตอรี่โดยไม่มีอันตราย

นอกจากประเด็นความแข็งแรงแล้ว ทางผู้ผลิตต้องจัดทำระบบความปลอดภัยของแบตเตอรี่ กล่อง บรรจุชุดแบตเตอรี่ (Battery pack) ต้องมีการป้องกันการสัมผัสโดยตรง และมีการทำเครื่องหมายเพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงประเภทของกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ และจุดที่ห้ามสัมผัสภายในระบบไฟฟ้าภายในส่วนอุปกรณ์ภายในของแบตเตอรี่ ต้องมีเซนเซอร์วัดระดับอุณหภูมิทั้งในระดับเซลล์และระดับโมดูลย่อย เพื่อทำงานกับระบบป้องกันแบตเตอรี่ใหม่และลัดไฟของแบตเตอรี่มีการแยกสีของสายไฟใช้สีส้มเพื่อแยกไฟฟ้าแรงสูงกับแรงต่ำ จากนั้นการแยกส่วนของระบบไฟฟ้าแรงสูงในกรณีอุบัติเหตุหรือกรณีฉุกเฉินต้องทำได้ด้วยอุปกรณ์เฉพาะที่เรียกว่าชุด Kill switch ที่ใช้ตัดแยกวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงได้อย่างฉับพลัน โดยต้องเข้าถึงได้ง่ายโดยช่างเทคนิคหรือหน่วยกู้ภัยในกรณีเกิดเหตุนอกจากนั้น การแยกส่วนของระบบไฟฟ้าแรงสูงในกรณีอุบัติเหตุหรือกรณีฉุกเฉินต้องทำได้ด้วยอุปกรณ์เฉพาะที่เรียกว่าชุด Kill switch ที่ใช้ตัดแยกวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงได้อย่างฉับพลัน โดยต้องเข้าถึงได้ง่ายโดยช่างเทคนิคหรือหน่วยกู้ภัยในกรณีเกิดเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 เทคโนโลยีแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่สำคัญอย่างยิ่งหนึ่งในยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้ากักเก็บพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อน โดยส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ประกอบด้วยส่วนหลักสามส่วนคือ ขั้วบวก (Cathode) ขั้วลบ (Anode) และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งาน ขั้วลบหรือขั้วแอโนดเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) และขั้วบวก หรือขั้วแคโทดเป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่รับอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยารีดักชัน) โดยอิเล็กตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะวิ่งผ่านลวดโลหะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยอิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายที่ไม่นำอิเล็กตรอนแต่จะทำหน้าที่ส่งผ่านไอออนที่จำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าแบตเตอรี่จะหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพหลักการทำงานของแบตเตอรี่ ; อ้างอิง แบตเตอรี่รถยนต์

เมื่อพิจารณาประเภทของแบตเตอรี่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. แบตเตอรี่แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง หรือ แบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ (Primary batteries)
2. แบตเตอรี่แบบอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ หรือ แบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ (Rechargeable

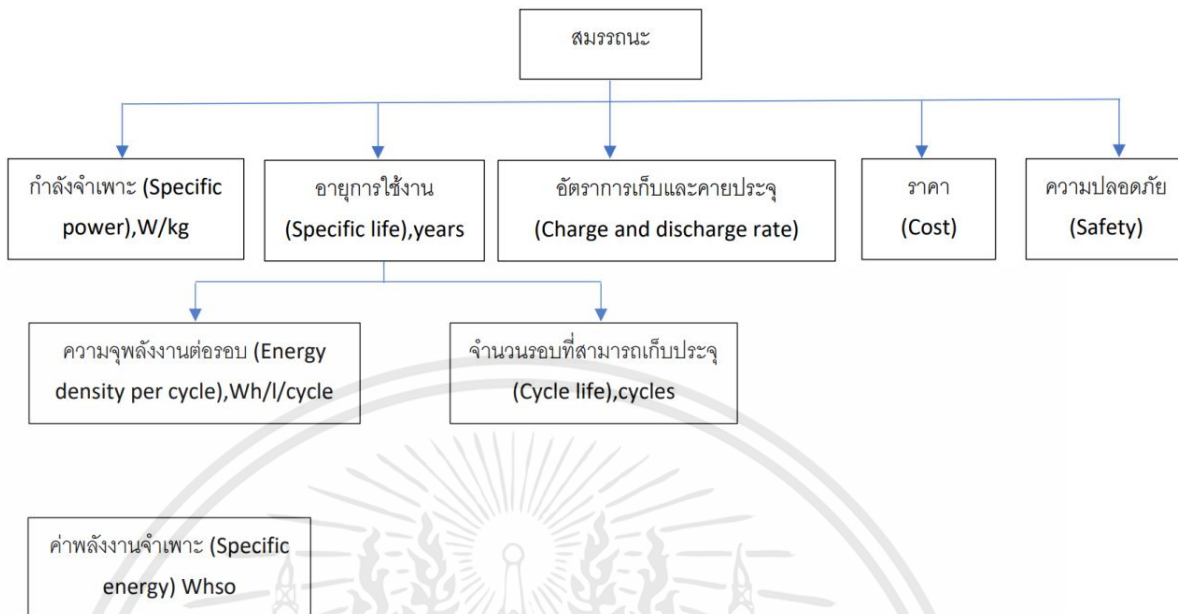
batteries)

โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าจะเป็นแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของขั้วแคโทดและแอโนดที่แตกต่างกันหลายประเภท ดังต่อไปนี้

การวัดสมรรถนะของแบตเตอรี่สามารถวัดได้หลายมิติ โดยมิติที่สำคัญได้แก่ กำลังจำเพาะ (Specific power, W/kg) อายุการใช้งาน (Service life) อัตราการเก็บและคายประจุ (Charge and discharge rate) ราคาและความปลอดภัย (Cost and safety) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นกับความจุ (Capacity, Ah) และจำนวนรอบที่สามารถเก็บประจุ (Charge cycles) ซึ่งค่าความจุจะขึ้นกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานจำเพาะ (Specific energy, Wh/kg) หรือค่าความหนาแน่นพลังงาน (Energy density, Wh/l) ดังนั้น องค์ประกอบในการพิจารณาสมรรถนะของแบตเตอรี่จึงเขียนได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สมรรถนะแบตเตอรี่ในมิติต่าง ๆ

นอกจากนี้ ค่าจำกัดความอื่น ๆ ที่ใช้สำหรับแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า มีดังต่อไปนี้

1. C-rate (Charge rate) ซึ่งบ่งบอกถึงอัตราการอัดประจุหรืออัตราการจ่ายไฟของแบตเตอรี่เทียบกับปริมาณความจุของแบตเตอรี่ที่เต็ม โดย (h)C หมายถึง แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสออกไปโดยใช้เวลา 1/h ชั่วโมงกว่าจะหมด หรือ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยอัตรากระแสที่ทำให้แบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 1/h ชั่วโมง ตัวอย่างเช่น

1C หมายถึง แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสออกไปโดยใช้เวลา 1 ชั่วโมงกว่าจะหมด หรือ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยอัตรากระแสที่จะทำให้แบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 1 ชั่วโมง

2C หมายถึง แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสออกไปโดยใช้เวลา ½ ชั่วโมงกว่าจะหมด หรือ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยอัตรากระแสที่จะทำให้แบตเตอรี่เต็มภายในเวลา ½ ชั่วโมง

C/4 หมายถึง แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสออกไปโดยใช้เวลา 4 ชั่วโมงกว่าจะหมด หรือ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยอัตรากระแสที่จะทำให้แบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 4 ชั่วโมง

2. DOD (Depth of discharge) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความจุที่แบตเตอรี่ถูกใช้ไปเทียบกับความจุทั้งหมด เช่น 10% DOD หมายถึง แบตเตอรี่ถูกใช้งานไป 10% และเหลือความจุอยู่ 90%

80% DOD หมายถึง แบตเตอรี่ถูกใช้งานไป 80% และเหลือความจุอยู่ 20% เป็นต้น

โดยการใช้งานแบตเตอรี่ในงานแต่ละประเภท DOD ที่แบตเตอรี่ต้องเจอบ่อย ๆ นั้นจะอยู่ในระดับที่ไม่เท่ากัน เช่น ในยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ขับเคลื่อนทั้งหมด DOD จะอยู่ระหว่าง 20% ในขณะที่รถประเภทไฮบริดนั้น DOD ของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ 40%

3. SOC (State of charge) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความจุที่แบตเตอรี่มีอยู่ เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10% SOC หมายถึง แบตเตอรี่มีความจุอยู่ 10%

80% SOC หมายถึง แบตเตอรี่มีความจุอยู่ 80%

โดยการใช้งานแบตเตอรี่ในงานแต่ละประเภท SOC ที่แบตเตอรี่ต้องเจอบ่อย ๆ นั้นจะอยู่ในระดับที่ไม่เท่ากันเช่นเดียวกับ DOD เช่น ยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ขับเคลื่อนทั้งหมด SOC จะอยู่ระหว่าง 20-95% ในขณะที่รถประเภทไฮบริดนั้น SOC ของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ระดับ 40-80%

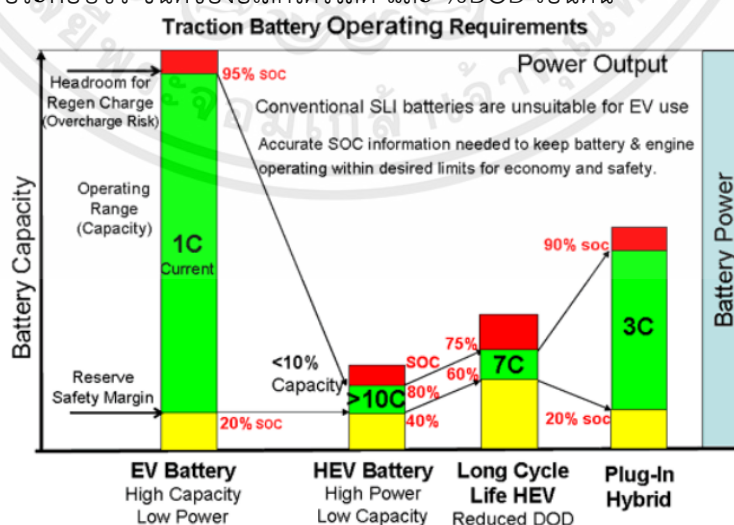
4. P/E Ratio (Power to Energy Ratio) ซึ่งบ่งบอกถึงกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ให้ได้เทียบกับความจุของพลังงานทั้งแบตเตอรี่ เช่น

P/E = 2:1 ของแบตเตอรี่ 1 kWh หมายความว่า แบตเตอรี่จะมีศักยภาพในการให้กำลังไฟฟ้าเป็น 2 kW

P/E = 1:3 ของแบตเตอรี่ 1 kWh หมายความว่า แบตเตอรี่จะมีศักยภาพในการให้กำลังไฟฟ้าเป็น 1/3 kW

ทั้งนี้แบตเตอรี่ที่มีค่า P/E ratio สูงจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็น High power battery ซึ่งมักจะถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงเป็นช่วงสั้นๆ เช่น ใช้สำหรับการติดเครื่องยนต์ หรือสำหรับการเร่งเครื่องยนต์เท่านั้นแต่ไม่ใช่เป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อน

การใช้งานแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ นั้นจะมีความแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกันในด้านต่าง ๆ เช่น วัสดุที่ใช้สร้างแบตเตอรี่ โครงสร้างของแบตเตอรี่ ความจุประจุและค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ชนิดนั้น รวมไปถึงลักษณะการใช้งาน เช่น อุณหภูมิที่ใช้ หรือปริมาณไฟที่ถูกใช้ไป หรืออัตราการอัดประจุ (C-rate) หรือ ปริมาณประจุของแบตเตอรี่ (SOC) ณ ขณะนั้น ส่วนอายุการใช้งานแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้งาน ความรวดเร็วในการดึงพลังงานไปใช้ (Load level) ชนิดและลักษณะอนุภาคของส่วนประกอบขั้ว ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ และ %DOD เป็นต้น



รูปที่ 2.5 คุณลักษณะด้าน C-rate, SOC และ %DOD ของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า

; อ้างอิง <https://mpoweruk.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ประเภทของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่นั้นมีด้วยกันหลายประเภทและแต่ละประเภทจะมีข้อจำกัดในการใช้งานที่ต่างกัน ดังนั้นควรเข้าใจความหลักการทำงานของแบตเตอรี่ในแต่ละชนิดก่อนจะนำไปใช้งานโดยแบตเตอรี่แบ่งเป็นดังนี้

### 2.4.1 แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว (Lead Acid Battery)

แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วถูกคิดค้นขึ้นมาครั้งแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1859 โดย Gaston Plante และได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 โดยปัจจุบันเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ ใช้งานมากที่สุดใยานยนต์ โดยใช้เป็นแบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากแบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคาถูกเนื่องจากวัสดุที่ใช้สามารถหาได้ง่ายและมีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วมีขั้วลบทำจากตะกั่วที่มีลักษณะพรุน (Porous lead) ส่วนขั้วบวกเป็นตะกั่วไดออกไซด์ ( $PbO_2$ ) ที่มีลักษณะพรุนเช่นเดียวกัน โดยมีกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) เข้มข้นเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์และมีปฏิกิริยาเคมีที่เกิดบนขั้วทั้งสองในระหว่างการใช้งาน (จ่าย ประจุ)

ทั้งนี้ ขณะที่ใช้งานแบตเตอรี่  $Pb$  และ  $PbO_2$  จะทำปฏิกิริยากับ  $SO_4^{2-}$  เกิดเป็น  $PbSO_4 (s)$  ที่ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ โดยอิเล็กตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ขั้วลบวิ่งผ่านวงจรข้างนอกไปยัง ขั้วบวก ก่อให้เกิดไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้งาน ส่วน  $H^+$  จะรวมตัวกับ  $O_2$  ที่ถูกปล่อยออกมาจาก  $PbO_2$  กลายเป็นน้ำ ดังนั้นเมื่ออัดประจุแบตเตอรี่ ปฏิกิริยานี้จะเกิดการย้อนกลับทำให้สามารถนำแบตเตอรี่กลับมาใช้งานได้อีก ขั้วทั้งสองนี้มีลักษณะพรุนเพื่อให้มีพื้นที่ผิวที่จะทำปฏิกิริยาซึ่งก่อให้เกิดไฟฟ้าได้มากขึ้นและส่งผลให้มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น การปล่อยแบตเตอรี่ให้อยู่ในสถานะที่ไฟหมดเป็นเวลานานทำให้เกิดผลึก  $PbSO_4$  ขนาดใหญ่ซึ่งไปอุดตันรูพรุนเหล่านี้ ส่งผลให้ความต้านทานไฟฟ้าของขั้วเพิ่มสูงขึ้น และเกิดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ในที่สุด นอกจากนี้บางครั้งเกิดการรวมตัวของ  $H^+$  เป็นก๊าซ  $H_2$  และ  $O_2$  เป็นก๊าซ  $O_2$  แพร่ออกจากแบตเตอรี่ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำกลั่นอยู่เสมอเพื่อทดแทน  $H^+$  และ  $O_2$  ที่เสียไป อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่สมัยใหม่นั้นไม่ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยครั้ง เนื่องจากกล่องของแบตเตอรี่ ได้ถูกออกแบบมาให้เื่ออำนวยการรวมตัวของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนให้กลั่นตัวเป็นน้ำ (Sealed/valve regulated lead acid battery หรือ Gel battery) แบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วมีความจุพลังงานต่อน้ำหนักและ ปริมาตรต่ำ การใช้งานใยานยนต์จึงมักใช้ สำหรับการติดเครื่องยนต์ในรถยนต์ขนาดทั่วไป แต่ก็เป็นที่นิยมใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นอย่างมาก โดยแบตเตอรี่กรดตะกั่วสามารถแบ่ง ประเภทย่อยได้อีก 3 ประเภท คือ

#### 2.4.1.1 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว สำหรับติดเครื่องยนต์

Starting Lighting Ignition หรือ SLI Battery เป็นแบตเตอรี่กรดตะกั่วที่มี สัดส่วนการใช้งานมากที่สุด โดยถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูง เป็นระยะสั้น เช่น สำหรับติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ ในรถยนต์ หรือติดเครื่องยนต์สำหรับเครื่องจักร ทั้งนี้แบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์จะมีอายุการใช้งานสั้น ประมาณ 1.5–3 ปี

#### 2.4.1.2 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle หรือ Traction battery

เป็นแบตเตอรี่ที่สำหรับใช้งานที่ต้องมีการจ่ายกระแสต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยมีการใช้งานอยู่หลายประเภท เช่น สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า รถกอล์ฟ รถโฟล์คลิฟท์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือสำหรับเก็บไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่น เช่น จากเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ จากกังหันลม เป็นต้น

#### 2.4.1.3 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Stationary

แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบมาให้สามารถจ่ายกระแสต่อเนื่อง เป็นระยะเวลานาน แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ต่างจากแบตเตอรี่ประเภท deep cycle โดยที่มักใช้งานในสถานะประจุถูกอัดอยู่เต็มอยู่ตลอดเวลา และมีการใช้งานเป็นครั้งคราวเท่านั้น มักใช้เพื่อการสำรองไฟฟ้าเวลาฉุกเฉิน (UPS) และใช้งานอยู่กับที่ ดังนั้นความจุพลังงานต่อน้ำหนักจึงไม่มีความสำคัญเท่าแบตเตอรี่ประเภท deep cycle ที่ต้องมีการเคลื่อนที่จึงมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่นที่ความจุเดียวกันแบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกว่า 3 ปี และอาจจะใช้งานได้นานถึง 5–10 ปี

โดยสรุป แบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วมีข้อดีและข้อด้อยดังต่อไปนี้

##### ข้อดี

- ราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นและมีความซับซ้อนน้อยจึงสามารถผลิตได้ง่าย
- มีการพัฒนามานานแล้ว จึงมีความเชื่อถือได้และหาข้อมูลต่าง ๆ ได้ง่าย
- มีความทนทานหากใช้งานอย่างถูกต้อง
- มีระดับการคายประจุด้วยตัวเอง (Self-Discharge) ต่ำ
- ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนักโดยเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วแบบแห้ง
- ไม่เกิดปัญหา Memory Effect
- สามารถคายประจุ (Discharge) ได้มาก
- มีขนาดให้เลือกหลากหลาย

##### ข้อด้อย

- ความจุของพลังงานต่อน้ำหนักต่ำทำให้มีน้ำหนักมาก
  - แบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพเร็วหากไม่มีประจุ
  - ตะกั่วและกรดซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม
  - มีระเบิดที่เข้มงวดในการขนส่งโดยเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วแบบเปียก
- เพราะ อาจเกิดการรั่วซึมของกรดออกจากแบตเตอรี่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium)

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียมเป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดอัลคาไลน์ชนิดแรก โดยชื่ออัลคาไลน์นั้นมาจากสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ซึ่งมีธาตุในหมู่อัลคาไลน์เป็นส่วนประกอบ เช่น สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ (KOH) เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่รู้จักในนาม “ไนแคด” โดยไนแคดได้ถูกค้นพบมานานกว่าศตวรรษโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน แต่ไม่ได้นำเข้าสู่ตลาดจนกระทั่งช่วงเวลา 40 ปีที่ผ่านมา โดยข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้อยู่ที่ไม่ต้องการการดูแลรักษา เช่น การเติมน้ำกลับ เก็บไว้ได้นานไม่ว่าจะอยู่ใน สถานะที่มีประจุไฟฟ้าเต็มหรือไม่สามารถอัดประจุไฟฟ้าได้เร็ว ใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำและค่าความต่างศักย์ขณะใช้งานคงที่ อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ประเภทนี้มีข้อเสียคือราคาวัตถุดิบและราคาการผลิตที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วมากอีกทั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมี Memory effect ซึ่งหมายถึงสถานะที่แบตเตอรี่ เสื่อมเนื่องจากการถูกใช้งานไม่หมดก่อนถูกอัดประจุไฟฟ้าอีกครั้งและมีความสูญเสียทางประจุไฟฟ้ามากกว่าแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วองค์ประกอบหลักของแบตเตอรี่ชนิดนี้มี ขั้วลบซึ่งเป็นแคดเมียม (Cd) ขั้วบวกเป็นนิกเกิลออกไซด์ (NiO(OH)) โดยมีสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่แบบอัลคาไลน์นี้ซึ่งต่างจากแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วตรงที่อิเล็กโทรไลต์ไม่เข้าร่วมทำปฏิกิริยากับขั้วแบตเตอรี่โดยตรง เพียงแต่เป็นตัวนำไอออนเท่านั้น

อย่างไรก็ตามเนื่องจากแคดเมียมเป็นสารมีพิษที่ค่อนข้างร้ายแรง การใช้งานและพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้จึงไม่ได้รับการสนับสนุนมากนัก การพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้แบตเตอรี่ไนแคดจึงมีอยู่น้อยมาก โดยสรุป แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม มีข้อดีและข้อด้อยดังต่อไปนี้

##### ข้อดี

- กำลังไฟสูง

##### ข้อด้อย

- แคดเมียมที่ใช้เป็นส่วนประกอบเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- มีปัญหา Memory Effect จึงไม่สามารถอัดประจุในขณะที่แบตเตอรี่ยังมีประจุเนื่องจากจะทำให้แบตเตอรี่ไม่จดจำระดับการอัดประจุสูงสุดได้

#### 2.4.3 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้อาศัยปฏิกิริยาเคมีที่มีขั้วลบซึ่งเป็นโลหะผสม (M) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิดเป็นเมทัลไฮไดรด์ได้ โดยโลหะพวกนี้มักมีตัวย่องทางเคมีอยู่ในรูปแบบของ  $AB_2$  หรือ  $AB_5$  เช่น  $ZrNi_2$  หรือ  $LaNi_5$  ส่งผลให้แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์มีความจุพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ ประเภทกรดตะกั่วมาก

ในด้านการพัฒนาด้านอายุการใช้งานและความปลอดภัยทำให้แบตเตอรี่แบบนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ได้ถูกนำไปใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าประเภทไฮบริดในยุคแรกๆที่ผลิตโดยบริษัท โตโยต้า จำกัด ซึ่ง

พัฒนาร่วมกับบริษัท Panasonic EV Energy จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทลูกของบริษัท พานาโซนิค จำกัด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กเนื่องจากราคาแพงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว ในขณะที่เดียวกันประสิทธิภาพโดยรวม เช่น ความจุพลังงาน อายุการใช้งาน และการบำรุงรักษานั้น ยังคงดีน้อยกว่าแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนซึ่งขณะนี้ เป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด เนื่องจากแบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ จะเสื่อมสภาพหากไม่ถูกใช้งาน

โดยสรุป แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ มีข้อดีและข้อด้อยดังต่อไปนี้

**ข้อดี**

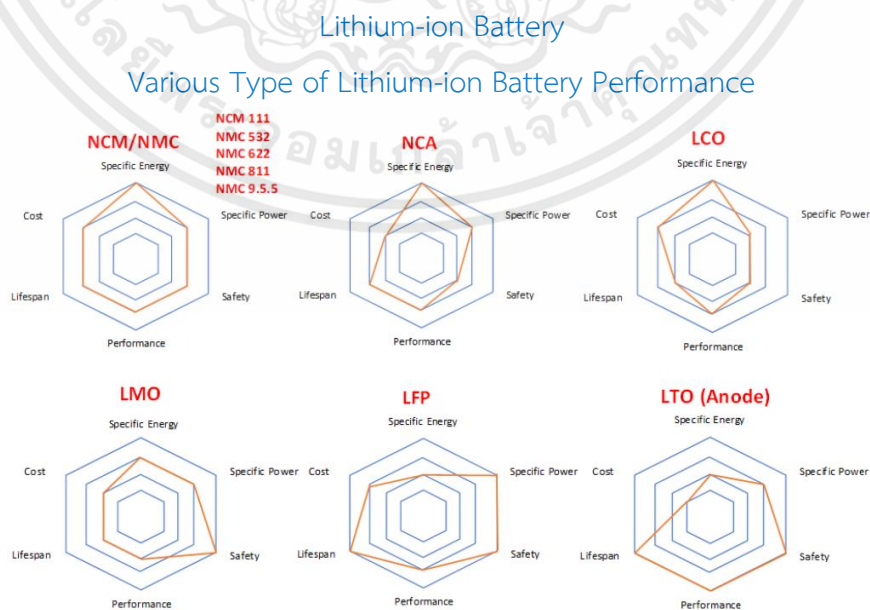
- กำลังไฟสูง
- ใช้เมทัลไฮไดรด์ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- มีความหนาแน่นพลังงานหรือค่าพลังงานต่อน้ำหนักสูง
- อายุการใช้งานนาน มี cycle การอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) สูง

**ข้อด้อย**

- ราคาค่อนข้างสูง
- มีปัญหา Memory Effect จึงไม่สามารถอัดประจุในขณะที่แบตเตอรี่ยังมีประจุเนื่องจากจะทำให้แบตเตอรี่ไม่จดจำระดับการอัดประจุสูงสุดได้

**2.4.4 แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery)**

แบตเตอรี่ลิเทียมมีด้วยกันหลายประเภทด้วยกันและมีการใช้งานที่แตกต่างกันดังนั้นเราควรเลือกประเภทของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยแบตเตอรี่ลิเทียมนั้นมีด้วยกันหลายประเภท เช่น NCM/NMC,NCA,LCO,LMO,LFF และ LTO (Anode) สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟค่าพลังงานของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 2.6

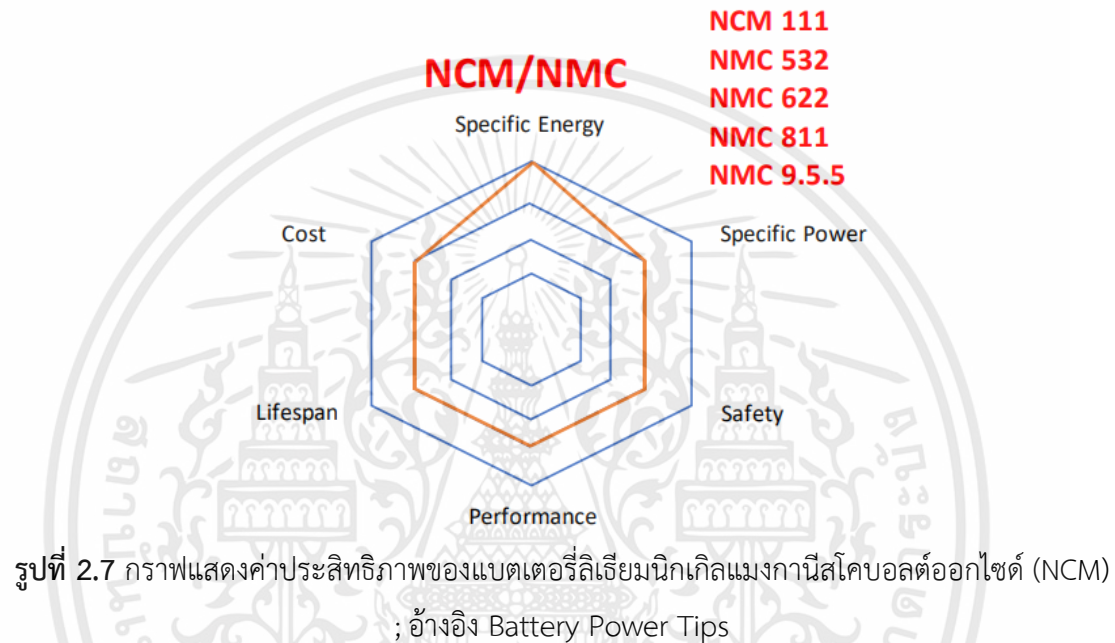


รูปที่ 2.6 กราฟค่าพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภท ; อ้างอิง Battery Power Tips เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทนั้นสามารถอธิบาย และเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

#### 2.4.4.1 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)

แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ เป็นแหล่งพลังงานประเภทใหม่เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมแบบเก่า แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ ถูกใช้งานมากในอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรขนาดเล็กที่มีความต้องการความหนาของพลังงานและความจุ



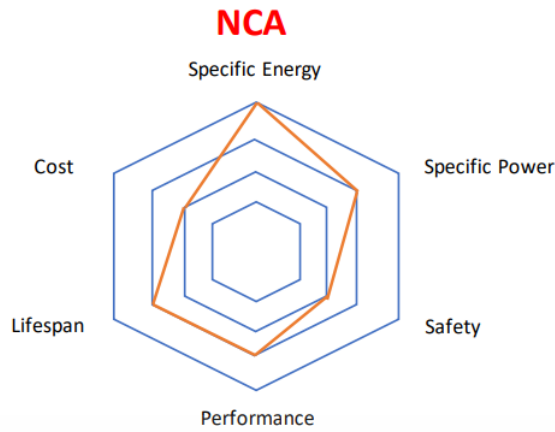
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) ; อ้างอิง Battery Power Tips

จากรูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) สามารถอธิบายได้ว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์นั้นมีความโดดเด่นในด้านของพลังงานที่มากที่สุดที่ 150-220 Wh/kg และมีการให้กำลังที่ดีเมื่อเทียบกับขนาดของแบตเตอรี่มีความปลอดภัยจากหลักการ thermal runaway เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีส สามารถทนความร้อนได้ถึง 210 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานถึง 1,000-2,000 ครั้งในการใช้งาน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีส จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีสมีประสิทธิภาพที่ดี มีความคุ้มค่ามาก

#### 2.4.4.2 แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์ (NCA)

แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์มีการค้นพบเมื่อปี พ.ศ. 2542 แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์มีความคล้ายคลึงกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีส โคบอลต์ออกไซด์โดยแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์มีการให้พลังงานและกำลังต่อกิโลกรัมที่เท่ากันอีกทั้งอายุการใช้งานรวมถึงประสิทธิภาพที่คล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

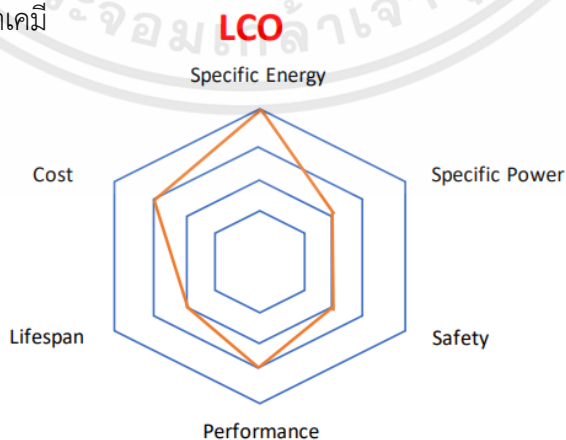


รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์ (NCA) ; อ้างอิง Battery Power Tips

จากกราฟสามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์นั้นมีความโดดเด่นในด้านของพลังงานที่มากที่สุดที่ 200-260 Wh/kg และมีการให้กำลังที่ดีเมื่อเทียบกับขนาดของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ก้อนข้างมีความปลอดภัยในระดับที่พอใช้อิงจากหลักการ thermal runaway เพราะแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์สามารถทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานถึง 500 ครั้งในการใช้งานแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อะลูมิเนียมออกไซด์ จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ อะลูมิเนียมออกไซด์มีประสิทธิภาพที่ดีในเรื่องของความคุ้มค่านี้ อยู่ในระดับพอใช้

2.4.4.3 แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LCO)

แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ เป็นสารประกอบอเล็กโทรเคมีที่มีการนำไปใช้ทำเป็นวัสดุขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่มีความจุสูง นิยมนำแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ไปใช้สำหรับเป็นแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ แล็ปท็อปและกล้องดิจิทัล แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มีการประยุกต์ใช้ในทางการค้ามากขึ้น อย่างไรก็ตาม การหาสถานะที่เหมาะสมในกระบวนการเตรียมลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเสถียรของโครงสร้าง ความบริสุทธิ์ และการประยุกต์ใช้งานทางไฟฟ้าเคมี



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LCO)

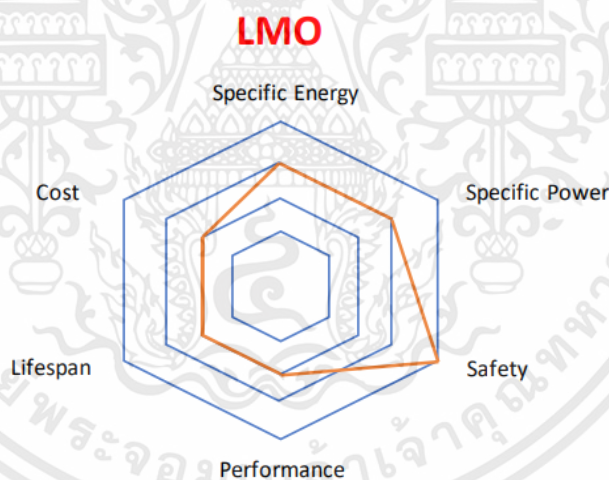
; อ้างอิง Battery Power Tips

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.9 กราฟประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์สามารถอธิบายได้ว่า แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ นั้นมีความโดดเด่นในด้านของพลังงานที่ตมมากที่สุดที่ 150-200 Wh/kg แต่แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มี ที่พิเศษกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมชนิดอื่น ซึ่ง Cell ของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์นั้นสามารถมีพลังงานต่อน้ำหนักได้ถึง 240 Wh/kg แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ประสิทธิภาพในการใช้งานที่คงทน มีความคุ้มค่าต่อราคา แต่มีการให้กำลังต่อกิโลกรัมที่ค่อนข้างพอร์รับได้ แบตเตอรี่ค่อนข้างมีความปลอดภัยในระดับที่พอใช้อิงจากหลักการ thermal runaway เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ สามารถทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานถึง 500-1,000 ครั้งในการใช้งานแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์ ออกไซด์

#### 2.4.4.4 แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (LMO)

แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ เมื่อปี พ.ศ. 2539 ได้มีการผลิต Cell Li-ion ด้วยลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ใช้เป็นขั้วลบจากโครงสร้างของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ จะช่วยให้การไหลของไอออนที่ขั้วไฟฟ้าจะส่งผลให้ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลดลง ในส่วนของปล่อง กระแสไฟฟ้ามีการไหลที่นิยมนำมาใช้กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ จักรยานไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (LMO)

; อ้างอิง Battery Power Tips

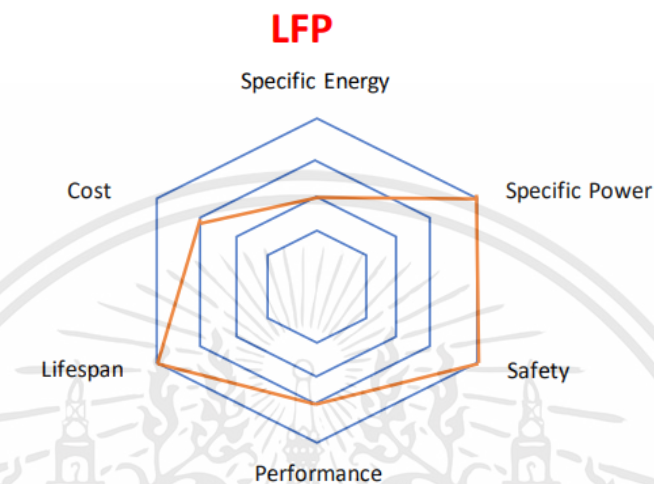
จากรูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์สามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์นั้นมีความโดดเด่นในเรื่องของความปลอดภัยในการใช้งานในระดับดีเยี่ยมอิงจากหลักการ thermal runaway เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ สามารถทนความร้อนได้ถึง 250 องศาเซลเซียส มีพลังงานต่อน้ำหนักของแบตเตอรี่นั้นอยู่ที่ 100-150 Wh/kg และ กำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักอยู่ในระดับดีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ค่อนข้างพอใช้

มีการ Discharge ถึง 300-700 ครั้ง ความคุ้มค่าของราคานั้นจัดว่าอยู่ในเกณฑ์พอใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4.5 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต (LFP)

แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรรวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเฟสนั้นมีการศึกษาและวิจัยว่าสามารถใช้งานไฟฟ้า และ รถไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเฟสนั้น มีความ เสถียรแม่นยำและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง

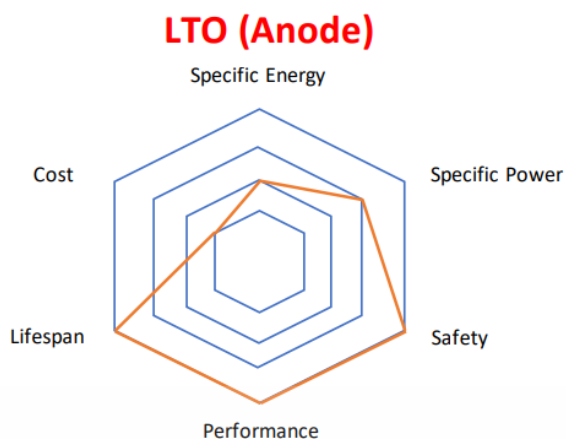


รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต (LFP)  
; อ้างอิง Battery Power Tips

จากรูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต สามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟตนั้นมีความโดดเด่นเรื่องของกำลังไฟฟ้าต่อกิโลกรัมมีความปลอดภัยใน การนำแบตเตอรี่มาใช้งานสามารถทนความร้อนได้ถึง 270 องศาเซลเซียส สามารถ Discharge ได้ 1,000-2,000 ครั้ง แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสนั้นมีประสิทธิภาพมากเหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าแรงสูงและทนต่ออุณหภูมิ มีความคุ้มค่าต่อการเลือกใช้ แต่มีพลังงานต่อกิโลกรัมน้อยที่ 90-120 Wh/kg

#### 2.4.4.6 แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด (LTO, Anode)

แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนดมีสารประกอบของธาตุลิเทียมและไททาเนียมใน ขั้วบวกในส่วนของขั้วลบนั้นทำมาจากธาตุลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ มีการนิยมนำมาใช้ใน อุตสาหกรรมของ ยานพาหนะไฟฟ้าและจักรยานไฟฟ้า และสามารถนำไปใช้กับเก็บพลังงาน แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด (LTO, Anode)  
; อ้างอิง Battery Power Tips

จากรูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด สามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด นั้นมีความโดดเด่นเรื่องของความปลอดภัยในการใช้งาน เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนดนั้นสามารถทนความร้อนได้ดีที่สุดในแบตเตอรี่ลิเทียมด้วยกัน ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงมากสามารถ Discharge ได้สูงสุด 3,000-7,000 ครั้ง มีกำลังไฟฟ้าต่อกิโลกรัมที่ดีแต่ในส่วนของพลังงานที่แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนดให้ นั้นจะอยู่ที่ 70-80 Wh/kg เท่านั้น ความคุ้มค่าต่อราคาแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด นั้นจัดอยู่ในระดับที่ไม่ค่อยดีนัก

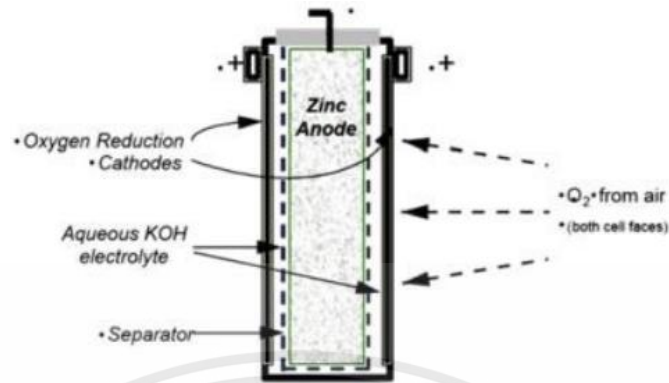
#### 2.4.5 แบตเตอรี่ประเภทเมทัล-แอร์ (Metal-Air Battery)

แบตเตอรี่ประเภท Metal-Air ถูกพัฒนามาอย่างยาวนานตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1960 เนื่องจากในทางทฤษฎีแบตเตอรี่ประเภทนี้มีค่าความหนาแน่นพลังงานสูง ทั้งนี้ความพยายามในการพัฒนาแบตเตอรี่ประเภท Metal-air เพื่อใช้ในยานยนต์มีมาตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1979 ไม่ว่าจะเป็น Li-Air, Mg-Air, Al-Air หรือ Zn-Air แต่จนถึงปัจจุบันมีเพียงแบตเตอรี่ Zn-Air เท่านั้นที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบจริงกับยานยนต์ไฟฟ้า โดยข้อดีหลักของแบตเตอรี่ Zn-Air ในระหว่างใช้งาน

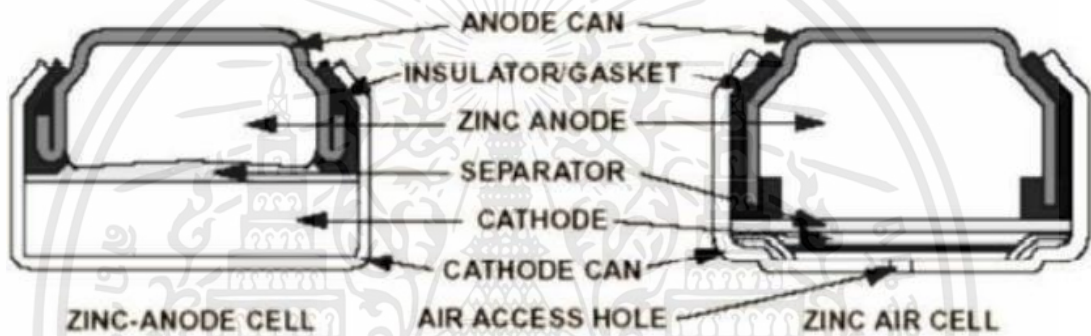
ในทางทฤษฎีแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air มีความหนาแน่นพลังงานสูงถึง 1,330 Wh/kg โดยโครงสร้างของแบตเตอรี่ Zn-Air ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในระหว่างการคายประจุสังกะสีที่แอนโนดจะทำปฏิกิริยาเกิดออกไซด์ของสังกะสีและที่ขั้วแคโทดออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไฮดรอกไซด์ โดยเซลล์ประเภทนี้ต้องมีทางให้ออกซิเจนซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทดผ่านเข้ามาทำปฏิกิริยาระหว่างการคายประจุ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ทั้งนี้แบตเตอรี่ Zn-Air เชิงพาณิชย์มีจำหน่ายแล้ว ตัวอย่างเช่น บริษัท Energizer และ Duracell จำกัด โดยแบตเตอรี่ Zn-Air ของบริษัท Energizer จำกัด มีค่าความหนาแน่นพลังงาน 890 Wh/L และค่าพลังงานจำเพาะ 345 Wh/kg ซึ่งเห็นได้ว่าคุณสมบัติพลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น สถานภาพปัจจุบันของการพัฒนาแบตเตอรี่ Zn-Air เพื่อใช้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยานยนต์ไฟฟ้ามี 2 บริษัทที่กำลังอยู่ในขั้นตอนพัฒนา ได้แก่ บริษัท EOS Energy จำกัด และ บริษัท Revolt Technology จำกัด



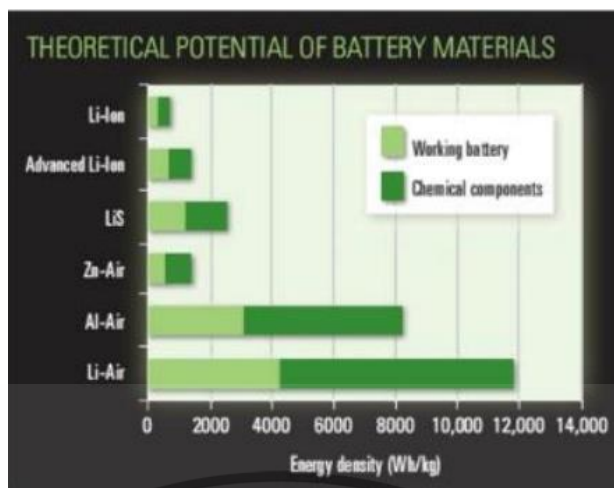
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air ; อ้างอิง Battery Power Tips



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างแบตเตอรี่ที่ใช้ Zn เป็นขั้วแอโนดและแบตเตอรี่ Zn-Air ; อ้างอิง Battery Power Tips

นอกจากแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air แล้ว แบตเตอรี่ประเภท Li-Air เป็นแบตเตอรี่อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการนำมาพัฒนาเพื่อใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้โดยทฤษฎีแล้ว แบตเตอรี่ Li-Air มีความหนาแน่นพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ Zn-Air ประมาณ 9 เท่า (ค่าความหนาแน่นพลังงานทางทฤษฎีของแบตเตอรี่ Li-Air เท่ากับ 11,148 Wh/kg) ทั้งนี้สมรรถนะของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภทสามารถเปรียบเทียบกับทฤษฎีดังแสดงในรูปที่ 2.15 ในการพัฒนาแบตเตอรี่ Li-Air สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า บริษัท IBM จำกัด ได้ประกาศว่าจะพัฒนาแบตเตอรี่ Li-Air สำหรับ ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าโดยมีเป้าหมายให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ 500 ไมล์ (ประมาณ 800 กิโลเมตร) ต่อการเก็บประจุ 1 ครั้ง ภายใต้ชื่อ โครงการ Battery 500 โดยแบตเตอรี่ประเภทนี้มีค่าความหนาแน่นพลังงานทางทฤษฎีสูงถึง 1,300 Wh/kg ซึ่งสถานะปัจจุบันอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา และ บริษัท IBM จำกัด คาดว่าจะสามารถพัฒนาให้ใช้ได้จริงภายในช่วงปี ค.ศ. 2020-2030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบค่าพลังงานของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ ที่ทำได้จริงกับทางทฤษฎี ; อ้างอิง Battery Power Tips

โดยสรุป หากพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.1 พบว่ามีเทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกว่าแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว เช่น แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนซึ่งมีความจุพลังงานสูงที่สุดเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในยานยนต์ทั้งหมด มีอายุการใช้งานนานกว่าอัดประจุไฟฟ้าได้รวดเร็วกว่าความต้งค่าสูงกว่า ซึ่งส่งผลให้ไม่จำเป็นต้องต่อแบตเตอรี่หลายเซลล์ และต้องการการดูแลรักษาที่น้อยกว่า แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วและแบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล ทำให้แบตเตอรี่ประเภทนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบันสำหรับการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Pike Research จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่กรดตะกั่วยังคงได้รับความนิยมสำหรับการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กโดยเฉพาะรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของการใช้และกลุ่มผู้ซื้อซึ่งมักซบซึบในระยะใกล้และเป็นตลาด ซึ่งคำนึงถึงราคาและค่าใช้จ่ายเมื่อซื้อเป็นหลัก แม้ว่าหากคำนึงถึงระยะยาวแล้วราคาของแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนต่อจำนวนครั้งในการใช้งานจะถูกกว่าเมื่อใช้งานในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย

หากพิจารณาถึงห่วงโซ่คุณค่าในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า พบว่ากระบวนการผลิตแบตเตอรี่ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่

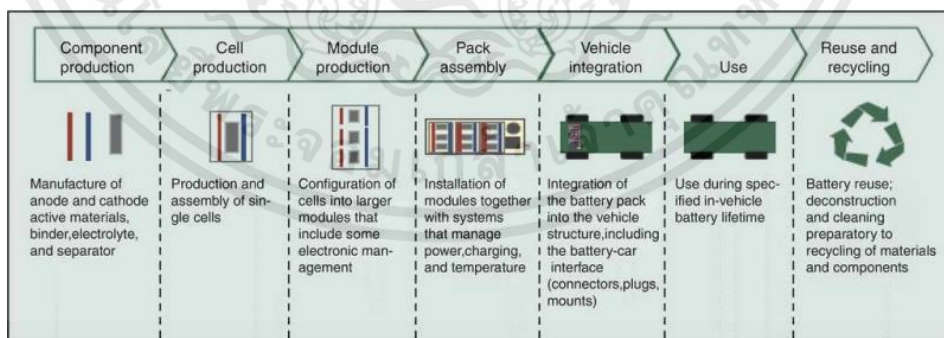
1. การผลิตชิ้นส่วนของเซลล์ เช่น ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด เป็นต้น
2. การผลิตและการประกอบเซลล์แบตเตอรี่
3. การผลิตโมดูลแบตเตอรี่ หมายถึง การเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่เข้าด้วยกันเป็นโมดูล
4. การประกอบแพ็คเกจแบตเตอรี่ หมายถึง การติดตั้งโมดูลแบตเตอรี่เข้าด้วยกันกับระบบบริหารจัดการการอัดประจุไฟฟ้า การจ่ายประจุไฟฟ้าและการควบคุมอุณหภูมิระหว่างใช้งาน
5. การติดตั้งแพ็คเกจแบตเตอรี่เข้ากับยานยนต์ไฟฟ้า
6. การใช้งานแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การนำกลับมาใช้ใหม่และการรีไซเคิลแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพและไม่เหมาะสมกับการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy density (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Internal resistance <sup>1</sup> (mΩ)	<100 12V pack	100-200 6V pack	200-300 6V pack	150-300 7.2V	25-75 <sup>2</sup> per cell	25-50 <sup>2</sup> per cell
Cycle Life (80% discharge)	200-300	1000 <sup>3</sup>	300-500 <sup>3</sup>	500-1000	500-1000	1000-2000
Fast-charge time	8-16 h	1h typical	2-4h	2-4h	1h or less	1h or less
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-discharge/ month (room temp)	5%	20% <sup>5</sup>	30% <sup>5</sup>	< 10% <sup>5</sup>		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V <sup>7</sup>	1.2V <sup>7</sup>	3.6V <sup>8</sup>	3.8V <sup>8</sup>	3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection By voltage signature		4.20		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50-3.00		2.80
Peak load current Best result	5C <sup>9</sup> 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	> 3C < 1C	> 30C < 10C	> 30C < 10C
Charge temperature	-20 to 50°C	0 to 45°C		0 to 45°C <sup>10</sup>		
Discharge temperature	-20 to 50°C	-20 to 65°C		-20 to 60°C		
Maintenance requirement	3-6 months <sup>11</sup> (topping chg.)	30-60 days (discharge)	60-90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable. fuse Protection common		Protection circuit mandatory <sup>12</sup>		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999



รูปที่ 2.16 ห่วงโซ่คุณค่าสำหรับแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า

; อ้างอิง Blockdit

2.5 เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ Battery Management System

ในการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย จำเป็นต้องอาศัยการจัด การพลังงานอย่างเป็นระบบ โดยอุปกรณ์หนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการพลังงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า “ระบบ บริหารจัดการแบตเตอรี่ หรือ Battery Management System (BMS)” ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีหน้าที่ในการจัดการให้มีการใช้พลังงานที่กักเก็บภายในแบตเตอรี่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความเสี่ยงที่แบตเตอรี่จะเกิดความเสียหายจากการใช้งานให้มากที่สุดผ่านกระบวนการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ ทั้งนี้กระบวนการตรวจสอบและควบคุมการใช้งานแบตเตอรี่ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยป้องกันไม่ให้เกิดการอัดประจุมากเกินไป (Overcharging) เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่
- ตรวจสอบการจ่ายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับแบตเตอรี่ โดย ตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าในกรณีที่ประจุไฟฟ้าในแบตเตอรี่หมด
- ตรวจสอบค่า SOC ของแบตเตอรี่เพื่อควบคุมการอัดและจ่ายประจุไฟฟ้า
- ให้กำลังไฟฟ้าโดยใช้แรงดันต่ำสุด ผ่านอุปกรณ์แปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC/DC conversion) เพื่อยืดอายุการใช้งาน

ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า จะมีความซับซ้อนมากกว่าระบบเดียวกันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้ามีจำนวนเซลล์แบตเตอรี่มากกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้า อื่น ๆ มาก อีกทั้งแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกใช้งานที่สภาวะกระแสและ แรงดันสูงอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้กำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อการขับเคลื่อน ดังนั้นระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่จะต้องมีหน้าที่หลัก 3 ส่วน ได้แก่

1. Cell monitoring คือการแสดงผลค่าสถานะต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ เช่น แรงดัน อุณหภูมิ และ State of Charge (SOC) เป็นต้น
2. Cell protection คือการตัดการทำงานของแบตเตอรี่ เมื่ออยู่ในสภาวะอันตราย เช่น แรงดันเกิน (Over-voltage) กระแสเกิน (Over-current) อุณหภูมิสูงเกิน (Over-temperature) และ แรงดันต่ำ (Undervoltage) เป็นต้น
3. Cell balancing คือการปรับให้เซลล์แต่ละเซลล์มีพลังงานเท่าๆ กันระหว่างการอัดและคายประจุไฟฟ้า

ในการใช้งานแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน ซึ่งเป็นประเภทแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องมีการอัดประจุไฟฟ้าตามวัฏจักร ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งแบ่งการอัดประจุไฟฟ้าออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่

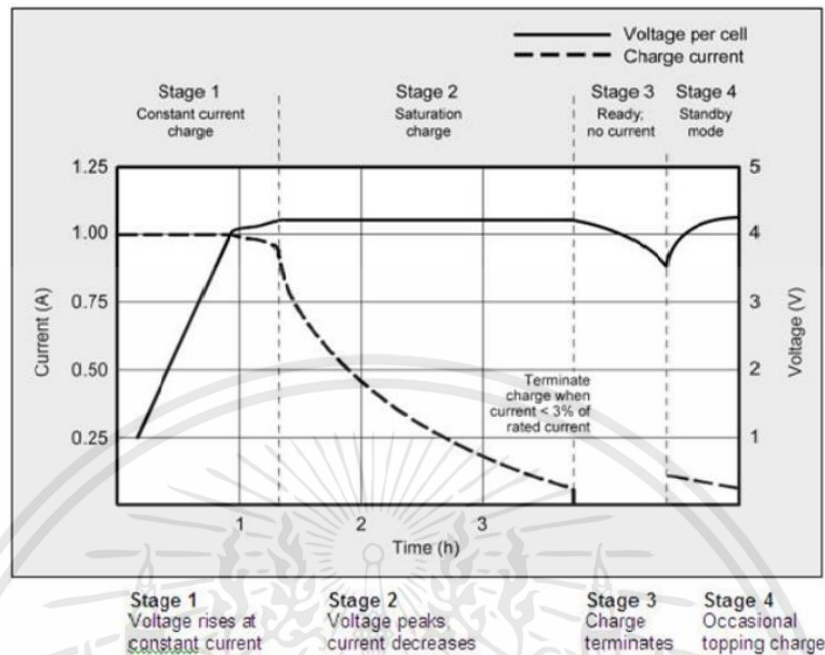
ระยะที่ 1 Constant current charge คือ การอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่จนกว่าแรงดันจะเข้าสู่ค่าที่กำหนด

ระยะที่ 2 Saturation charge เมื่อแรงดันเข้าสู่ค่าที่กำหนดแรงดันจะคงที่จนกระทั่งอัดประจุได้เต็มในขณะเดียวกันนั้นกระแสจะลดลงไปเรื่อย ๆ

ระยะที่ 3 Ready; no current เมื่ออัดประจุจนเต็มแล้ว กระบวนการอัดประจุจะหยุดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ 4 Standby mode เมื่ออัดประจุเรียบร้อยแล้วและแบตเตอรี่ยังไม่ได้ถูกใช้งาน แรงดันจะลง จึงมีระยะนี้ไว้เพื่ออัดประจุกลับไปให้เต็มอีกครั้ง



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

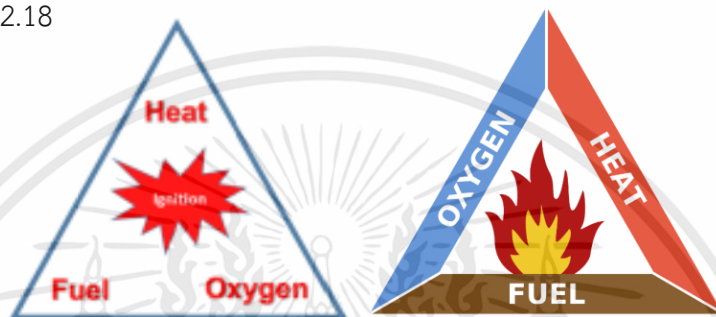
; อ้างอิง Aircraft Engineering and Consultant Co.,Ltd.

ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่จะทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น และ จะแสดงผลสถานะของแบตเตอรี่ (Cell monitoring) โดยอ่านค่าแรงดันของแต่ละเซลล์และอ่านค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ก่อนส่งผ่านข้อมูลดังกล่าวไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลให้ผู้ขับขี่ต่อไป สำหรับขั้นตอนการปรับสมดุลของแต่ละเซลล์ (Cell balancing) จะเริ่มจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจสอบค่าแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์และเมื่อต้องการที่จะปรับความสมดุลของแต่ละเซลล์ BMS จะตรวจสอบว่าเซลล์ใดที่มีค่าแรงดันมากกว่าเซลล์อื่น และเซลล์นั้นจะถูกปรับลดแรงดันลงให้มีค่าแรงดันเท่าเซลล์อื่น ๆ และสำหรับหน้าที่การป้องกันความเสียหายของเซลล์แบตเตอรี่ (Cell protecting) ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่จะอ่านค่าแรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งเมื่อค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่อ่านได้มีค่าต่ำกว่ากำหนด หรืออุณหภูมิที่วัดได้สูงเกินกว่ากำหนด จะมีสัญญาณเตือนดังขึ้น และหากในขณะที่ยังมีประจุไฟฟ้า ถ้าแบตเตอรี่เกิดการอัดประจุเกิน (Overcharge) ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่จะส่งสัญญาณไปที่สวิตช์รีเลย์เพื่อตัดวงจรการอัดประจุให้หยุดทำงาน โดยสรุป ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่มีความสำคัญต่อการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย เนื่องจากระบบดังกล่าวจะทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะของเซลล์แบตเตอรี่ ปรับความสมดุลของเซลล์แต่ละเซลล์ และตัดการทำงานของแบตเตอรี่หากตรวจพบการทำงานที่ผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 Lithium Battery Safety Requirement

ข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสำหรับการใช้งานแบตเตอรี่ลิเทียม นั้นจำเป็นจะต้องไม่ให้อุณหภูมิในการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมเกิน 55 องศาเซลเซียส หากเกิดเหตุการณ์แบตเตอรี่ลิเทียมมีอุณหภูมิเกินกว่า 55 องศาเซลเซียสแบตเตอรี่อาจเกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์แบตเตอรี่และถ้าหากอุณหภูมิในแบตเตอรี่มีความร้อนสะสมมากขึ้นจะทำให้เกิดกระบวนการ Thermal runaway Effect และถ้าหากมีแรงดันสูงอาจเกิดการเผาไหม้ทางปฏิกิริยาทางเคมีภายในตัวของแบตเตอรี่หรือเกิดเพลิงไหม้ขึ้นในการเกิดเพลิงไหม้นั้นจะต้องประกอบไปด้วย 3 สิ่งด้วยกันคือ ความร้อน ออกซิเจน และเชื้อเพลิงดังรูปที่ 2.18

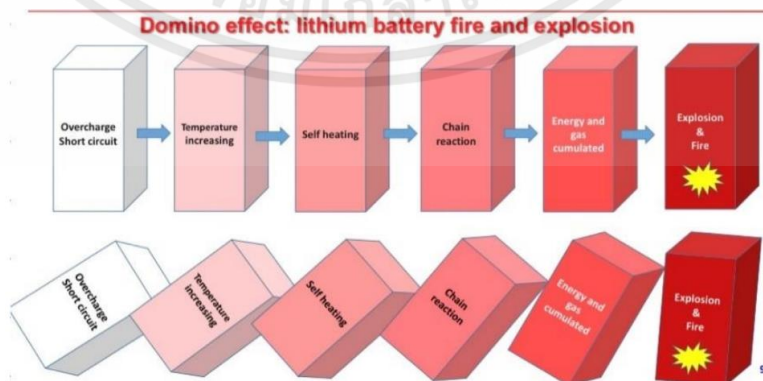


รูปที่ 2.18 องค์ประกอบเกิดการเกิดเพลิงไหม้ ; อ้างอิง conceptocomunicacion.com

เพราะฉะนั้นต้องคอยรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ไม่ให้เกินเหตุการณ์ดังกล่าว ควรติดตั้งระบบระบายความร้อนให้เหมาะสมเพื่อคงระยะเวลาการทำงานของแบตเตอรี่

### 2.6.1 กระบวนการ Thermal runaway effect หรือ กระบวนการ Domino effect

การที่จะเกิดกระบวนการ Thermal runaway ได้นั้นก็ต่อเมื่อแบตเตอรี่ได้ทำงานต่อใช้งานกับชาร์จเจอร์อยู่นั้นมีอุณหภูมิสะสมสูงขึ้นจนทำให้แบตเตอรี่เกิดการผิดรูปไปทางเดิม (แบตเตอรี่บวม) ซึ่งอาจทำให้เซลล์ของแบตเตอรี่เสื่อมสภาพและอาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ขึ้นเป็นลำดับ หรือ เราเรียกว่า กระบวนการเกิดแบบ Domino effect เป็นกระบวนการขั้นตอนการเกิดความร้อน โดยเริ่มจากการเกิด Overcharge & Short circuit ไปจนถึงการเกิดเพลิงไหม้หรือระเบิด ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 กระบวนการ Domino effect ; อ้างอิง conceptocomunicacion.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการ Overcharge & Short circuit ผลที่ได้คือ เกิดปฏิกิริยาเป็นทอดๆตามลำดับเหมือนกับ โดมิโน อธิบายได้ว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ Overcharge & Short circuit แล้วจากนั้นอุณหภูมิของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น (Temperature increasing) แล้วนั้น แบตเตอรี่เริ่มมีการระอุ ภายในหรือมีความร้อนสะสมในตัวเอง (Self heating) ต่อมาจะเข้าสู่การ เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ทางเคมีความร้อนสะสมสูงขึ้นอีก (chain reaction) เมื่อเวลาผ่านไปจะเข้าสู่ ปฏิกิริยาถัดมา คือ (Energy and gas cumulated) เกิดแก๊สพิษและเกิดการผิดรูปของแบตเตอรี่เริ่ม เกิดขยายตัวของแบตเตอรี่และอาจมีของเหลวหรือสารพิษภายในแบตเตอรี่ไหลซึมออกมาแล้วอาจเข้าสู่ (Explosion & Fire) สามารถเกิดการระเบิดและเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ได้ทุกเมื่อ แบตเตอรี่จะไม่สามารถดับเพลิงไหม้ได้จะต้องรอจนกว่าแบตเตอรี่เผาไหม้ตัวแบตเตอรี่เองจนหมดเพราะ ในตัวของ แบตเตอรี่ลิเธียมที่มีความร้อนสูงมาก และอาจมีความร้อนสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ไม่สามารถ ดับเพลิงไหม้ได้ไม่ว่าจะใช้โฟมหรือน้ำดับก็ไม่สามารถดับได้

ถ้าหากแบตเตอรี่มีความจุขานาน 1 kWh เมื่อแบตเตอรี่เกิดเพลิงไหม้ จะสามารถให้มลพิษถึง 600 ลิตรซึ่งสารพิษที่ปล่อยออกประกอบไปด้วย  $\text{CO}_2$  ,  $\text{CO}$  ,  $\text{H}_2$  ซึ่งเป็นสารพิษทั้งหมด

## 2.7 เทคโนโลยีการประจุไฟฟ้า

การอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่าย ไฟฟ้า เพื่ออัดประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับ การเติมน้ำมันของยานยนต์เครื่องยนต์ สันดาภายใน การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าจะทำให้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ลดลงไปตาม การใช้งาน และหากพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่หมดลง ยานยนต์ไฟฟ้าก็ไม่สามารถ ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าได้อีก ซึ่งในกรณียานยนต์ไฟฟ้าชนิดแบตเตอรี่ (BEV) จะไม่สามารถ ขับเคลื่อนต่อไปได้อีก แต่ในกรณียานยนต์ไฟฟ้าชนิด PHEV จะยังสามารถใช้เครื่องยนต์สันดาภายใน เพื่อขับเคลื่อนยานยนต์ต่อไปได้แต่ก็จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้นผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่เป็นระยะเพื่อเก็บสะสม พลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ให้เพียงพอต่อการใช้งาน

### 2.7.1 การชาร์จประจุไฟฟ้า

การชาร์จประจุไฟฟ้าแบ่งตามระดับพลังงานที่ใช้ในการประจุแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

#### 2.7.1.1 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบปกติ (Normal Charge)

เป็นการชาร์จประจุโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับโดยชาร์จผ่าน On Board Charger ซึ่ง เป็นตัวบริหารระบบการชาร์จที่ติดตั้งอยู่ภายในรถยนต์ไฟฟ้านั้น ๆ ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้า กระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยขนาดของ On Board Charger จะขึ้นอยู่กับขนาด

ของแบตเตอรี่ หรือยี่ห้อรถยนต์ ซึ่งมีผลในการชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า การประจุไฟฟ้าแบบปกติ (Normal Charging) แบ่งเป็น 2 ระดับ

1) การประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1 (AC level 1 Charging) เป็นการประจุในรูปแบบมาตรฐานสำหรับประจุในที่อยู่อาศัยเป็นระดับที่ 1 จากสามระดับที่ระบุโดยมาตรฐาน SAE J1772 ซึ่งจะใช้ไฟกระแสสลับขนาด 120 VAC เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด การประจุไฟฟ้าระดับที่ 1 จะกำหนดระดับของกำลังไฟฟ้าเทียบเท่ากับการใช้พลังงานในเครื่องปิ้งขนมปัง การประจุไฟฟ้าระดับ 1 เป็นการชาร์จโดยใช้ไฟฟ้า 1 เฟสและมีกำลังในการชาร์จมากที่สุด (Maximum Power) คือ 3 kW และใช้เวลาในการชาร์จประจุประมาณ 8-12 ชั่วโมง เหมาะแก่การชาร์จแบบปล่อยทิ้งไว้หรือชาร์จข้ามคืน



รูปที่ 2.20 สายประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1 ; อ้างอิง Alibaba.com

2) การประจุไฟฟ้าระดับที่ 2 (AC Level 2 Charging) การประจุในระดับที่ 2 นี้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 80 แอมป์ AC (วงจรรับกระแสไฟขนาด 100 แอมป์) โดยจะมีชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์โดยผ่านอุปกรณ์ on-board charger ที่จะแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เพื่อจ่ายเข้าไปในแบตเตอรี่ การประจุนี้ใช้ได้กับทั้งไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส มี (Maximum Power) คือ 14 kW และใช้เวลาในการชาร์จประจุประมาณ 4-6 ชั่วโมง การชาร์จแบบนี้จะเหมาะสำหรับการชาร์จตามสถานี การชาร์จต่าง ๆ เช่น ในห้างสรรพสินค้า ในที่ทำงาน

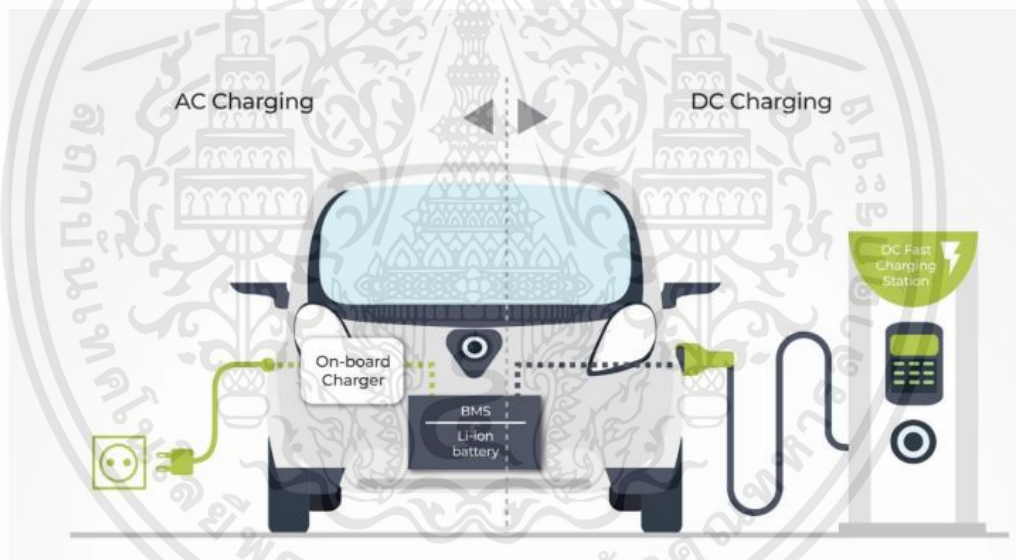


รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเครื่องประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2 ; อ้างอิง BOSCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1.2 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charge)

การชาร์จไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charging) หรือ DC Fast Charging เป็นการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วจ่ายเข้าแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าโดยตรง เทียบได้กับการประจุไฟฟ้าระดับที่ 3 ตามมาตรฐาน SAE กรณีนี้ช่วยให้อัตราการประจุไฟฟ้าเร็วขึ้นประมาณ 75% - 80% และใช้เวลาในการประจุเพียง 20 - 30 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ด้วย แต่ด้วยค่ากระแสที่สูง จึงเป็นอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าแบบ Off board (ต่างกับแบบ On board ในสองกรณีที่ผ่านมา) ทั้งนี้เพราะด้วยค่ากระแสที่สูง และจะมีความร้อนเกิดขึ้นจากการสูญเสียพลังงานทางไฟฟ้าในปริมาณมาก อุปกรณ์จึงต้องเป็นแบบ Off board อุปกรณ์ประจุไฟฟ้า แบบ DC Fast charging ทำงานกับระบบไฟฟ้า แบบ 3 เฟส ขนาด 208 V หรือ 480 V มี (Maximum Power) มากถึง 200 kW และใช้เวลา ประมาณ 12 นาที - 2 ชั่วโมง ในการชาร์จประจุแบบนี้จะเหมาะกับจุดพักรถต่าง ๆ ที่จะมาแทนปั้มน้ำมัน แบบ Level 1 และ 2 จะใช้มาตรฐานของ Society of Automotive Engineers (SAE) ส่วนในแบบ Level 3 จะใช้ของ Combined Charging System (CCS) , CHAdeMO (CHArge de Move) และ Supercharger (for Tesla vehicles)



รูปที่ 2.22 ระบบประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ ; อ้างอิง N-Squared Engineering

### 2.7.1.3 การแบ่งประเภทการชาร์จตาม Mode

เป็นแบ่งการชาร์จโดยใช้ Protocol ที่บอกถึงความปลอดภัยระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า และ สถานีชาร์จประจุเป็นตัวแบ่งซึ่งการแบ่งชนิดนี้นิยมใช้กันทั่วโลก โดยแบ่งได้ 4 Mode ดังนี้

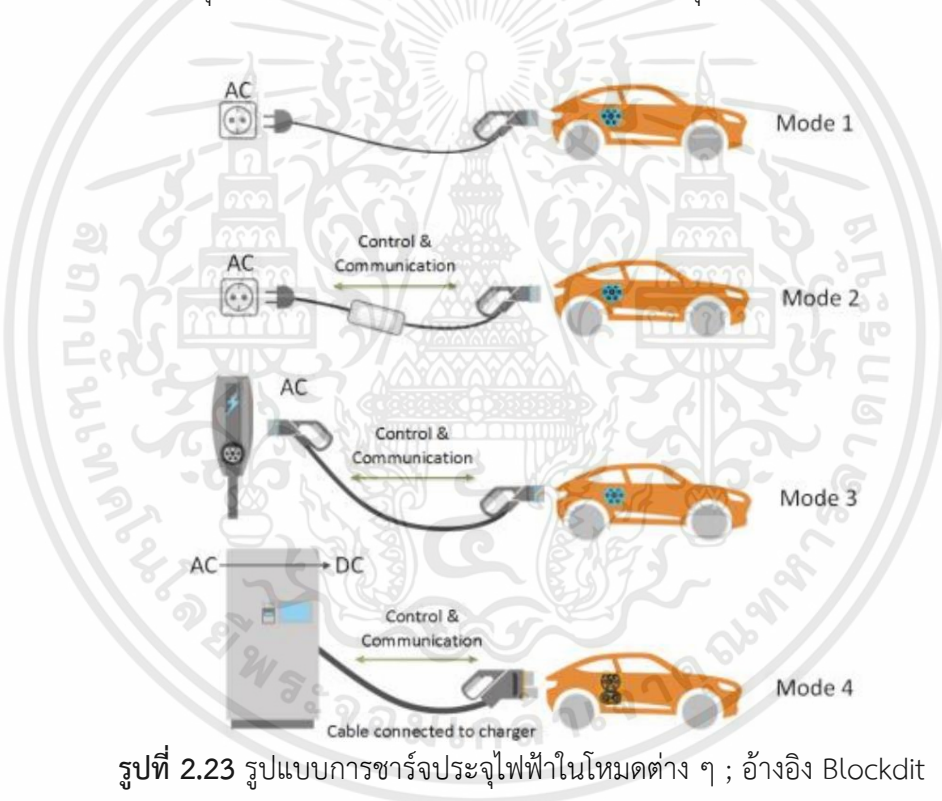
Mode 1 ยานยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านตัวรับจากที่อยู่อาศัยโดยตรง เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย มีการติดตั้งสายดิน อุปกรณ์การตัดไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันการเกิดกระแสไฟฟ้าวรัว เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 1 ใช้เวลาดำเนินการนานอาจทำให้เกิดความร้อนที่ตัวรับ และสายไฟฟ้าทำให้เกิดอันตราย จึงจำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 2 ยานยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านตัวรับจากที่อยู่อาศัยโดยตรง เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) แบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟส จะมีอุปกรณ์ควบคุมความปลอดภัยในการอัดประจุไฟฟ้าติดตั้งมาพร้อมกับสายเคเบิล ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายมากกว่าโหมด 1

Mode 3 ยานยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีแผงควบคุมวงจรในการอัดประจุไฟฟ้า และควบคุมความปลอดภัยในการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ได้ดีกว่าโหมด 1 และโหมด 2 ซึ่งการอัดประจุไฟฟ้าโหมดนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามสถานี บริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะที่สามารถจอดรถเป็นระยะเวลานานได้ เช่น ห้างสรรพสินค้า ที่ทำงาน เป็นต้น

Mode 4 ยานยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เข้าสู่แบตเตอรี่โดยตรง โดยเครื่องจะมีระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าควบคุมความปลอดภัย และสายเคเบิลที่ติดตั้งมากับเครื่องอัดประจุไฟฟ้า จึงทำให้การอัดประจุไฟฟ้าโหมดนี้มีความรวดเร็ว และมีความปลอดภัยมากที่สุด สามารถพบเห็นได้ในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้า











รูปที่ 2.23 รูปแบบการชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมดต่าง ๆ ; อ้างอิง Blockdit

### 2.7.2 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

มาตรฐานของสถานีประจุไฟฟ้าในต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็น ยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น และจีน มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดตามการใช้งาน เนื่องจากแต่ละประเทศมีความแตกต่างด้านระดับแรงดันของไฟฟ้า รูปแบบของเครื่องมือและอุปกรณ์จึงมีส่วนทำให้ มาตรฐานและการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของยานยนต์ไฟฟ้าแตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.24 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าประกอบด้วยสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และจีน และ

จะมี ลักษณะของอุปกรณ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละประเภทของการประจุไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Type 1/USA	Type 2/Europe	GB/China
Alternating current (AC)	 SAE J1772/IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB Part 2
Direct current (DC)	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB Part 3/IEC 62196-3
"Combined AC/DC charging system"	 SAE J1772/IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

รูปที่ 2.24 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า ; อ้างอิง Anan industry

### 2.7.2.1 เทคโนโลยีของสหภาพยุโรป : มาตรฐาน IEC 62196

มาตรฐาน IEC62196 เป็นมาตรฐานที่ควบคุมในส่วนของหัวปลั๊ก เต็มรับมาตรฐานนี้ โดยเบื้องต้นกล่าวถึงโหมดการประจุ การกำหนดค่าการเชื่อมต่อและข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งรวมถึงในส่วนของความปลอดภัยของทั้งยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า (EVSE) เช่น ไฟจะไม่เข้าระบบ (ประจุไม่เข้า) หากการต่อสายยังไม่เรียบร้อยและขณะประจุรถจะต้องไม่มีการเคลื่อนที่

มาตรฐานอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Charging modes) ที่ใช้ในสหภาพยุโรป

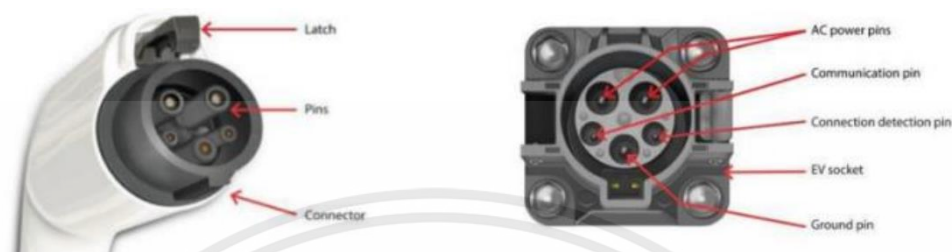
- 1) SAE J1772 (Northern America) ชื่อหัวปลั๊ก Yazaki connector
- 2) VDE-AR-E 2623-2-2 (Europe) ชื่อหัวปลั๊ก Mennekes connector
- 3) JEVS G105-1993 (Japan) ชื่อหัวปลั๊ก CHAdeMO
- 4) Scame connector (Italy)

### 2.7.2.2 เทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกา : มาตรฐาน SAE J1772

SAE J1772 (IEC ประเภท 1) เป็นมาตรฐานของอเมริกาเหนือ สำหรับหัวปลั๊กไฟฟ้า สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดูแลโดย SAE International ที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่า "SAE Surface Vehicle Recommended Practice J1772, SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler" เป็นมาตรฐานที่ครอบคลุมในเรื่องของข้อมูลทั่วไปด้านกายภาพ ด้านไฟฟ้า การสื่อสาร และข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพสำหรับระบบประจุไฟฟ้า และอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า รวมไปถึงข้อกำหนดลักษณะของระบบการประจุนยนต์ไฟฟ้า ข้อกำหนดในตัวฟังก์ชันและส่วนประกอบของหัวปลั๊กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน J1772 ของเต้ารับและหัวปลั๊ก ในมาตรฐานนี้จะพูดถึงการเชื่อมต่อจากสถานีประจุไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าและบ้านอยู่อาศัย เน้นความปลอดภัยสูงขณะประจุมีการตั้งค่าในการประจุอยู่ที่ 80 A ใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 240 V ในปัจจุบันพบว่าการใช้งานอยู่ในการประจุไฟฟ้าระดับ 1 แต่การใช้งานจริงน้อยกว่า 30 A และมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าใช้ไปทั่วโลกนิยมใช้



รูปที่ 2.25 รายละเอียดของ J1772 connector และ EV Socket ; อ้างอิง Anan industry

มาตรฐาน J1772 Combo (AC/DC) มีความซับซ้อนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น สายเคเบิลที่ใช้ในการจ่ายพลังงานที่ใช้ DC ให้กับยานยนต์ไฟฟ้า และต้องมีฉนวนไฟฟ้าสำหรับการแยกแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำสุด  $1.25 \text{ M}\Omega$  นอกจากนี้โปรโตคอลการสื่อสารสถานีและการประจุของยานยนต์ไฟฟ้า และต้องได้รับการปกป้องการลัดวงจรและการปล่อยไฟฟ้าสถิตที่อาจเกิดขึ้นได้ มาตรฐาน J1772 Combo socket ที่ทำงานร่วมกันได้ดังรูปที่ 2.27 ที่แสดงถึงปลั๊กมาตรฐาน J1772 (AC) และปลั๊กแบบ Combo (AC/DC) ว่าเสียบเข้าได้กับเต้ารับที่กำหนด



รูปที่ 2.26 รายละเอียดของ J1772 Combo connector และ Combo EV Socket ; อ้างอิง Anan industry

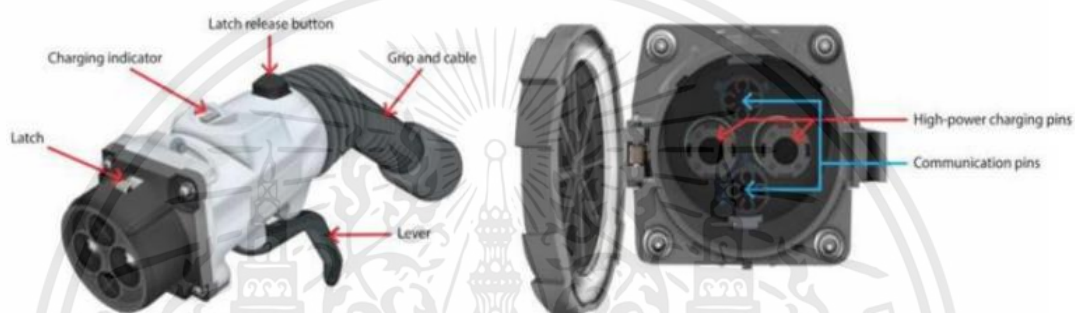


รูปที่ 2.27 การทำงานร่วมเข้ากันได้ของมาตรฐานของ Combo socket และ Combo connectors ; อ้างอิง Anan industry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2.3 เทคโนโลยีของญี่ปุ่น : มาตรฐาน CHAdeMO

CHAdeMO เป็นมาตรฐานที่ถูกสร้างขึ้นโดยบริษัท The Tokyo Electric Power Company, Nissan, Mitsubishi และบริษัท Fuji Heavy Industries (The Manufacturer of Subaru vehicles) ซึ่งเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบรวดเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น ลักษณะหัวปลั๊กเป็นตามรูปที่ 2.28 ในส่วนของ Communication pins จะเป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณผ่านโปรโตคอล CAN bus ส่วน High Power Charging pins จะเป็นตัวรับพลังงานระดับสูงที่ใช้ในการประจุ โดยถูกออกแบบมาเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าสูงถึง 62.5 กิโลวัตต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขั้วไฟฟ้าพิเศษ ทำให้ในการผลิตและออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อนั้น มุ่งเน้นในการติดตั้งเครื่องประจุไฟฟ้าและอุปกรณ์เชื่อมต่อที่มีความรวดเร็ว ตัวเต้ารับก็มีลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 2.36



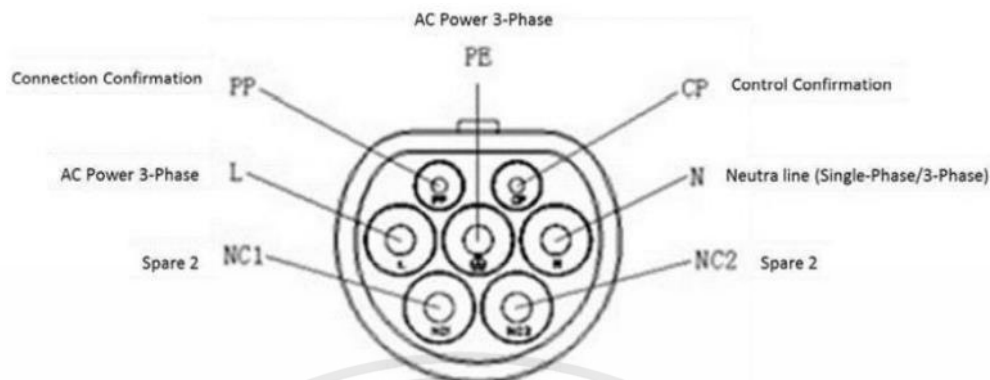
รูปที่ 2.28 หัวปลั๊กและเต้ารับตามมาตรฐาน CHAdeMO ; อ้างอิง Anan industry

ในส่วนของอุปกรณ์เชื่อมต่อของ CHAdeMO นั้นจริง ๆ แล้วเป็นรูปแบบของ DC Fast charging ที่มีไฟฟ้าแรงสูงมีขนาดมากกว่า 500 VDC และมีกระแสไฟฟ้าสูงถึง 125 แอมป์ อุปกรณ์จึงต้องใช้มาตรฐาน ทั้ง 2 รูปแบบ กล่าวคือใช้มาตรฐาน DC Fast charging ของญี่ปุ่นคือ CHAdeMO และมาตรฐาน AC Level 2 ของ SAE J1772

### 2.7.2.4 เทคโนโลยีของจีน : มาตรฐาน GB/T

เป็นมาตรฐานระดับชาติที่ออกโดย Standardization Administration of China (SAC) และคณะกรรมการแห่งชาติจีนของ ISO และ IEC มีชื่อว่า GB ซึ่งย่อมาจาก Guobiao ถูกมาตรฐานที่จีนใช้บังคับมีคำนำหน้า "GB" มาตรฐานที่แนะนำมีคำนำหน้า "GB /" และตามด้วยหมายเลขของมาตรฐานนั้น เช่น "GB-XXXX" หรือ "GB/T-XXXX" ซึ่งมาตรฐาน GB เป็นพื้นฐานที่ใช้สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ต้องได้รับการรับรองจากประเทศจีน หรือ China Compulsory Certificate (CCC) ถ้าไม่มีมาตรฐาน GB ที่สอดคล้องกับการรับรองของ China Compulsory Certificate (CCC) จะไม่อนุญาตให้ใช้งาน ข้อกำหนดของมาตรฐานของจีนในส่วนของ GB/T 20234 ตามรูปที่ 2.29 ที่เกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานของหัวปลั๊กและมาตรฐาน EV ในประเทศจีน จะมีลักษณะคล้ายกับหัวปลั๊กของมาตรฐาน IEC 62196 จากเยอรมนี ซึ่งมาตรฐานของ GB/T นั้นจะสนับสนุนทั้ง AC Charging ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 รวมถึง การสนับสนุน AC แบบสามเฟส และรองรับแรงดันไฟฟ้า 250 V และ 400 VDC ในขณะที่รูปแบบ Pin มีลักษณะคล้ายกับตัวเชื่อมต่อของมาตรฐาน IEC แต่ฟังก์ชันการทำงานจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เหมือนกัน ส่วนข้อแตกต่างประการหนึ่ง คือ ช่องเสียบ GBT ของจีนใช้สัญญาณ CAN BUS ในการควบคุมมากกว่าโปรโตคอลควบคุม PLC



รูปที่ 2.29 รายละเอียดของ GB/T 20234.2-2001 ; อ้างอิง UNECE Wiki

### 2.7.2.5 มาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ก็ได้ระบุถึงมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 7 ด้าน ซึ่งเป็นการอิงมาตรฐาน IEC และ ISO เป็นหลัก และแยกเป็นสามหมวดได้ดังระบุในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย

	หมวดของมาตรฐาน	มาตรฐานชุดหลักอิง
1. ด้านสมรรถนะ	ด้านตัวยานยนต์	ISO 13064
2. ระบบสื่อสารของยานยนต์ไฟฟ้า		ISO 15118
3. แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	ด้านอุปกรณ์ต่อเชื่อมและพื้นฐาน	IEC 61982/62660
4. หัวปลั๊กและเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า		IEC 62196
5. ระบบการประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (Charging system)		IEC 61851
6. ความปลอดภัยในยานยนต์ไฟฟ้า	การให้ความรู้และระมัดระวัง	ISO 6469
7. ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)		CISPR

มาตรฐานการประจุไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับการประจุไฟฟ้ากระแสสลับ คือ IEC 62196 Type 2 และสำหรับการประจุไฟฟ้ากระแสตรง คือ CCS Combo 2 โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) IEC 62196 Type 2

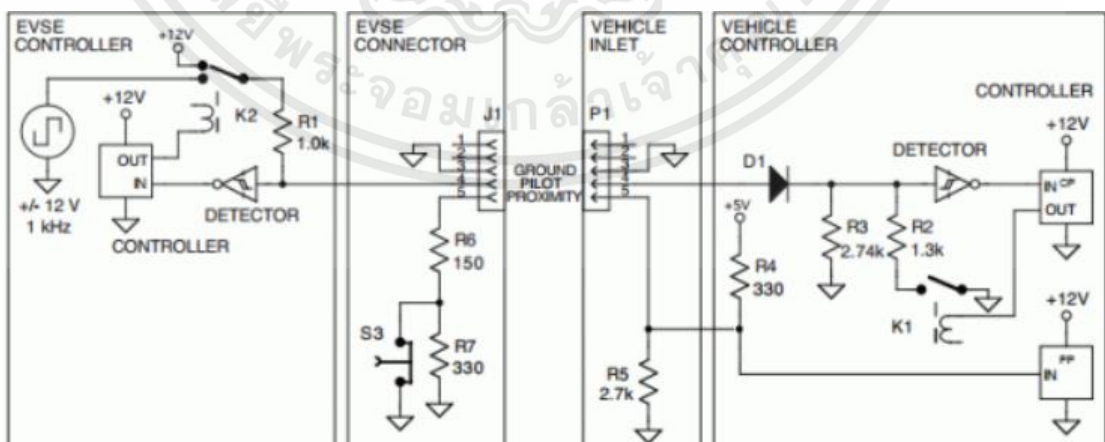


(ข) CCS Combo 2

รูปที่ 2.30 หัวปลั๊กและเต้ารับแบบ IEC 62196 Type 2 (ก) และแบบ CCS Combo 2 (ข)  
; อ้างอิง NECTEC

### 2.7.3 การเชื่อมต่อระหว่าง EV Station และ EV Car

เมื่อเราเสียบปลั๊กเข้ากับเต้าชาร์จแล้วจะยังไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไหลออกมาจากสถานี เนื่องจากมาตรฐาน SAE J1772 นั้นมีมาตรฐานความปลอดภัย คือ ถ้าตัวรถไม่ส่งสัญญาณมาสั่งให้สถานีจ่ายกระแสไฟฟ้า สถานีก็จะไม่จ่ายกระแสออกมา ดังนั้นจึงต้องทำการต่อความต้านทานเข้าไป เพื่อให้สัญญาณควบคุมหรือ Cp นั้น ตรงกับโหมดการชาร์จสถานีจึงจะยอมจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมา โดยจะมีโหมดต่าง ๆ กับค่าความต้านทานการดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.31 รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่าง EV Station กับ EV Car ; อ้างอิง Thaiauto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 โหมดการชาร์จและค่าความต้านทาน

State	Pilot High	Pilot Low	Frequency	EV Resistance	Description
State A	+ 12 V	N/A	Dc	N/A	Not Connected
State B	+ 9 V	- 12 V	1 kHz	2.74 k	EV Connected (Ready)
State C	+ 6 V	- 12 V	1 kHz	822	EV Charge
State D	+ 3 V	- 12 V	1 kHz	246	EV Charge Vent. Required
State E	0 V	0 V	N/A		Error
State F	N/A	- 12 V	N/A		Unknown / Error

แต่สัญญาณ Cp นั้นยังสามารถควบคุมการจ่ายกระแสของสถานีชาร์จประจุได้โดยการควบคุม Duty Cycle ของสัญญาณโดยใช้สมการดังนี้ ถ้ากระแสไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 6A – 51A ; Amps = Duty Cycle x 0.6 ถ้ากระแสไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 51A – 80A ; Amps = (Duty Cycle – 64) x 2.5 โดยค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ จะแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่า Amp และ Duty cycle ที่ได้จากสมการ

Ampere	Duty Cycle	Ampere	Duty Cycle
6 A	10%	40 A	66%
12 A	20%	48 A	80%
18 A	30%	65 A	90%
24 A	40%	75 A	94%
30 A	50%	80 A	96%

## 2.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า

### 2.8.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้ไฟฟ้า

ตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในด้านไฟฟ้าจะประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) และ ความต้านทานไฟฟ้า (R) ซึ่งทั้ง 3 ตัวแปรสามารถนำมาใช้ในการวัดอัตราการใช้ ไฟฟ้าได้อีก 2 ตัวคือ กำลังไฟฟ้า (P) และ วัตต์ต่อชั่วโมง (Wh) ซึ่งค่าที่ควรทราบจริงๆ เพื่อใช้ในการ วัดอัตราการใช้ ไฟฟ้าจะมีอยู่ 2 ตัว คือ แรงดันไฟฟ้า (V) และ กระแสไฟฟ้า (I) ส่วนค่าอื่น ๆ สามารถ คำนวณได้จาก สูตรดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่ากำลังไฟฟ้า (P) : หาได้จากสูตร  $P = V \times I$  หน่วยวัตต์ (W)

- วัตต์ชั่วโมง (Wh) : หาได้จากสูตร  $P \times T$  ซึ่ง T คือเวลาในหน่วยวินาทีแต่ในความเป็นจริงค่ากำลังไฟฟ้าจะแปรผันไปตามค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าซึ่งทั้ง 2 ค่าก็แปรผันตามเวลาที่ใช้งาน

ดังนั้น การว่าวัตต์ชั่วโมง จะใช้เป็นการจับเวลาให้ครบ 1 วินาที แล้วนำค่ากำลังไฟฟ้ามาบวกกันไปเรื่อย ๆ หน่วยวัตต์ (W) ซึ่งในการคำนวณค่าไฟฟ้าจะใช้หน่วย ยูนิท เป็นหน่วยในการคำนวณ ซึ่ง 1 ยูนิท มีค่า เท่ากับ 1 kWh หรือ 1000 Wh ดังนั้นหากต้องการหาค่ายูนิท ในนำวัตต์ชั่วโมงหารด้วย 1000 จะได้เป็นค่า

ยูนิทออกมา

## 2.8.2 การแบ่งประเภทการใช้ไฟฟ้า

### 2.8.2.1 ประเภทที่ 1 (บ้านอยู่อาศัย)

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับบ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบ ศาสนกิจของทุกศาสนา ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

### 2.8.2.2 ประเภทที่ 2 (กิจการขนาดเล็ก)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัยอุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กร ปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจสถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

### 2.8.2.3 ประเภทที่ 3 (กิจการขนาดกลาง)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงานหรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงาน ราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

### 2.8.2.4 ประเภทที่ 4 (กิจการขนาดใหญ่)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงานหรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงาน ราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,000 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

#### 2.8.2.5 ประเภทที่ 5 (กิจการเฉพาะอย่าง)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจน บริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

#### 2.8.2.6 ประเภทที่ 6 (องค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าขององค์กรที่มีวัตถุประสงค์ในกำไรให้บริการโดยไม่คิด ค่าตอบแทน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว แต่ไม่รวมถึง ส่วนราชการ สำนักงาน หรือ หน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของ หน่วยงานราชการต่างประเทศ และ สถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ

#### 2.8.2.7 ประเภทที่ 7 (สูบน้ำเพื่อการเกษตร)

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยงานราชการสหกรณ์ เพื่อการเกษตร กลุ่มเกษตรกรที่จดทะเบียนจัดตั้งกลุ่ม เกษตรกร กลุ่มเกษตรกรที่หน่วยงานราชการ รับรอง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

### 2.8.3 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการคิดค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 1 เท่านั้น ซึ่งการคิดค่าไฟฟ้านั้น ค่าที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 ค่า ได้แก่ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม

#### 2.8.3.1 ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน

เรหาคาที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า โดยจะนำข้อมูลมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เรหาคาที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า

1.1 อัตราปกติ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน		8.19
15 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 15)	2.3488	
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 – 25)	2.9882	
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 – 35)	3.2405	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 – 100)	3.6237	
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 – 150)	3.7171	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	4.2218	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217	
1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน		38.22
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 150)	3.2484	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	4.2218	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	4.4217	

### 2.8.3.2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)

เรทราคาที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า โดยจะนำข้อมูลมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดย อ้างอิงข้อมูล ณ วันที่ 12 ธันวาคม 2564 แสดงดังรูปที่ 2.32

ประเภทที่ 1	<input checked="" type="radio"/> บ้านอยู่อาศัยอัตรา 1.1 (อัตราปกติ แบบก้าวหน้า) <input type="radio"/> บ้านอยู่อาศัยอัตรา 1.2 (อัตราปกติ แบบก้าวหน้า) <input type="radio"/> บ้านอยู่อาศัยอัตรา 1.3 (อัตราปกติ TOU)
ผู้ใช้ไฟฟ้ามีปริมาณการใช้พลังงาน	0 หน่วยต่อเดือน
การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดย อัตโนมัตินี้ (Ft)	-12.43 สตางค์/หน่วย

รูปที่ 2.32 ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าผันแปรจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 1

### 2.8.3.3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (Vat)

เป็นการนำค่าไฟฟ้าพื้นฐาน มารวมกับค่าไฟฟ้าผันแปร แล้วคูณด้วยภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% หรือ 0.07 ซึ่งจะทำให้ได้ภาษีมูลค่าเพิ่มของค่าไฟฟ้า

โดยค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระทั้งหมดให้กับการไฟฟ้าเกิดจากการนำค่าทั้งหมดมารวมกัน คือ ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน ค่าไฟฟ้าผันแปร และภาษีมูลค่าเพิ่ม

## 2.9 การคำนวณการใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

การคำนวณขนาดความจุ (Ah) ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า มีความสำคัญอย่างมาก จำเป็นต้องคำนวณเพื่อดูว่าต้องใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่มีขนาดความจุ แบตเตอรี่ (Ah) เท่าไหร่ (ตัวอย่างเช่น หากต้องการใช้งานจักรยานไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ BLDC 48V 2,200 วัตต์) เราสามารถทำการหาได้จาก 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการทำงาน

$$\text{จากสูตร ; กำลังไฟฟ้า} = \text{แรงดันไฟฟ้า} \times \text{กระแสไฟฟ้า}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2,200 = 48 \times \text{กระแสไฟฟ้า}$$

$$\text{กระแสไฟฟ้า} = (2,200 \div 48) = 45.83 \text{ แอมแปร์ (ตามทฤษฎี)}$$

ขั้นตอนที่ 2 : หาค่าการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ (Wh)

เช่น มีการใช้งานมอเตอร์ขนาด 2,200 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จะได้ 1500 วัตต์ X 1 ชั่วโมง

คือ มีการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 1500 วัตต์ชั่วโมง (Wh)

และใช้ประสิทธิภาพ 80% สำหรับแบตเตอรี่

จะได้  $2200\text{Wh} \div 0.8 = 2750 \text{ วัตต์ชั่วโมง (Wh)}$

ขั้นตอนที่ 3 : เปลี่ยนการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ (Wh) เป็นค่าความจุแบตเตอรี่ (Ah)

จากสูตร ; การใช้พลังงาน = แรงดันไฟฟ้า X ความจุ

$$2750 \text{ Wh} = 48 \text{ V} \times \text{ความจุ}$$

$$\text{ความจุ} = (2750\text{Wh} \div 48\text{V})$$

$$= 57.29 \text{ Ah (ประมาณ 60 Ah ตามทฤษฎี)}$$

ดังนั้นในการใช้งานมอเตอร์ 2,200 วัตต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 48V 60 Ah และหากรถไถไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง จะสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นระยะทาง 35 กิโลเมตร หากต้องการเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 70 กิโลเมตร จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 48V 120Ah และหากต้องการเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 105 กิโลเมตร จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 48V 180Ah

โดยปกติแบตเตอรี่รถยนต์ 12 V และแบตเตอรี่มอเตอร์ไซค์ 12 V โหมดการชาร์จ ทั้ง Float charge (stand-by use) คือการชาร์จที่แรงดัน 13.6 V - 13.8 V และ Equal charge (cycle use) คือ การชาร์จที่แรงดัน 14.2 V - 14.9 V เราจะชาร์จที่ 10 % ของความจุแบตเตอรี่ (Ah)

วิธีการคำนวณ

$$\text{กระแสที่ควรชาร์จ} = 10\% \times \text{ขนาดความจุแบตเตอรี่ (Ah)}$$

ตัวอย่าง เช่น

$$\text{- แบตเตอรี่รถยนต์ 12V 65Ah : } 0.1 \times 65 = 6.5\text{A} \text{ ดังนั้น ควรชาร์จด้วยกระแส}$$

6.5A

$$\text{- แบตเตอรี่รถยนต์ 12V 100Ah : } 0.1 \times 100 = 10\text{A} \text{ ดังนั้น ควรชาร์จด้วยกระแส}$$

10A

$$\text{- แบตเตอรี่มอเตอร์ไซค์ 12V 5Ah : } 0.1 \times 5 = 0.5\text{A} \text{ ดังนั้น ควรชาร์จด้วยกระแส}$$

0.5A

การชาร์จควรชาร์จแบตเตอรี่นานกี่ชั่วโมง ดูค่าได้จากกราฟใน data sheet ของแบตเตอรี่รุ่นที่เราใช้ ส่วนใหญ่เมื่อแบตเตอรี่หมดประจุ จะเหลือความจุแบตเตอรี่ (Ah) ประมาณ 35% ดังนั้นจึงต้อง

ชาร์จเพิ่มอีก 65% เพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณ

จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม = 65% x ขนาดแบตเตอรี่ (Ah)

จำนวนชั่วโมง ชาร์จ = จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม ÷ กระแสที่ควรชาร์จ

ตัวอย่าง เช่น

- แบตเตอรี่รถยนต์ 12 V 65 Ah

$$\begin{aligned} \text{จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม} &= 0.65 \times 65 \text{ Ah} \\ &= 42.25 \text{ Ah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนชั่วโมงชาร์จ} &= 42.25 \text{ Ah} \div 6.5 \text{ A} \\ &= 6.5 \text{ ชม.} \approx 7 \text{ ชม.} \end{aligned}$$

หมายถึง แบตเตอรี่รถยนต์ 12 V 65 Ah เมื่อแบตเตอรี่หมด เราควรชาร์จเพิ่มอีก 42.25 Ah โดยชาร์จด้วยกระแส 6.5 A เป็นเวลาประมาณ 7 ชม.

- แบตเตอรี่มอเตอร์ไซค์ 12 V 5 Ah

$$\begin{aligned} \text{จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม} &= 0.65 \times 5 \text{ Ah} \\ &= 3.25 \text{ Ah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนชั่วโมงชาร์จ} &= 3.25 \text{ Ah} \div 0.5 \text{ A} \\ &= 6.5 \text{ ชม.} \approx 7 \text{ ชม.} \end{aligned}$$

หมายถึง แบตเตอรี่มอเตอร์ไซค์ 12 V 5 Ah เมื่อแบตเตอรี่หมด เราควรชาร์จเพิ่มอีก 3.25 Ah โดยชาร์จด้วยกระแส 0.5 A เป็นเวลาประมาณ 7 ชม.

## 2.10 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

### 2.10.1 แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

แบตเตอรี่ NMC หรือ แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ เป็นแหล่งพลังงานที่ถูกประดิษฐ์ขึ้นเมื่อปี 2009 แบตเตอรี่ลิเธียมแบบ NMC ถูกใช้มากในอุปกรณ์ไฟฟ้า และ เครื่องจักรขนาดเล็กที่ต้องการความหนาแน่นของพลังงานและความจุ สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตและเครื่องจักรอื่นๆ แบตเตอรี่ NMC ก็ยังถูกนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นในตลาด เนื่องจากมีข้อดีอยู่หลากหลายข้อ และแบตเตอรี่ลิเธียมแบบ NMC ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอุปกรณ์ขนย้ายในโกดังอีกด้วย จุดเด่นของแบตเตอรี่แบบ NMC มีหลายๆปัจจัยที่ผู้ผลิตเริ่มหันมาใช้แบตเตอรี่ลิเธียมแบบ NMC กันมากขึ้น จุดเด่นหลายข้อที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน และยังสามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า และอุปกรณ์ขนย้ายในโกดังอีกด้วย จุดเด่นข้อแรกของแบตเตอรี่ลิเธียมแบบ NMC คือ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ทำให้เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ต่างๆมีขนาดพกพาสะดวกและน้ำหนักเบา โดยเฉพาะเมื่อเราต้องการพัฒนารถลากพาเลทที่มีขนาดเล็กสำหรับใช้ในการขนส่งลำเลียง จุดเด่นนี้ของแบตเตอรี่ลิเธียมแบบ NMC ได้มีส่วนอย่างมากในการพัฒนาอุปกรณ์ขนย้ายในอุตสาหกรรม

เพื่อให้มั่นใจได้ว่ารถสามารถใช้งานได้อย่างยาวนาน ในขณะที่ตัวรถก็มีขนาดที่เล็กและน้ำหนักเบา ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความที่ยังเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมแบบใหม่ แบตเตอรี่ลิเทียมแบบ NMC ยังคงถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้มีขนาดที่เล็กลงไปอีก แต่ยังสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ถึงแบตเตอรี่ลิเทียมแบบ NMC จะมีข้อดีตรงที่สามารถกักเก็บพลังงานได้มาก แต่ก็ยังคงมีข้อด้อยอยู่บ้าง แบตเตอรี่ลิเทียมแบบ NMC นั้นเหมาะที่จะใช้งานกับอุปกรณ์ขนย้ายขนาดเล็ก เช่น Pallet Trucks หรือ Stackers ใช้งานในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กหรือพื้นที่จำกัด แต่ไม่เหมาะที่จะใช้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือ พื้นที่ไม่ใช่เรื่องใหญ่สำหรับการทำงาน และเมื่อเกิดรูรั่วหรือการรั่วไหลที่เซลล์ของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบ NMC จะอยู่ในสถานะไม่เสถียร อีกหนึ่งข้อด้อยของแบตเตอรี่ลิเทียมแบบ NMC คือ ราคาที่ค่อนข้างสูง

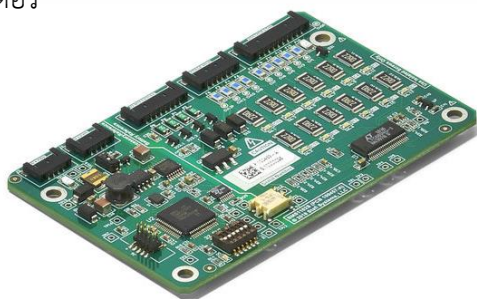


รูปที่ 2.33 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

; อ้างอิง [thai.deepcyclelifepo4battery.com](http://thai.deepcyclelifepo4battery.com)

### 2.10.2 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System)

ระบบจัดการแบตเตอรี่ หรือ Battery Management System มีหน้าที่ในการรักษาสมดุลเซลล์แต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ เพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด และยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยการวัดสถานะการชาร์จ (SoC) ประสิทธิภาพในแต่ละเซลล์ (SoH) รวมถึงการตรวจสอบเซ็นเซอร์ต่างๆ (SoF) BMS จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับความผิดปกติของความจุที่หายไป ซึ่งจะประเมินจากแรงดันและความต้านทานภายในแบตเตอรี่จาก 100 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าความจุจะลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน BMS ก็ยังตรวจสอบต่อความผิดปกติ และความต่างศักย์ระหว่างเซลล์ที่เกิดจากความไม่สมดุลของเซลล์และการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายใน จะคำนวณ Coulomb counting ในการควบคุมการเปิด/ปิด ความสมดุลในการชาร์จ (SOC) จะทำงานแปรผันตามความเสื่อมลงของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.34 ระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) ; อ้างอิง [lithiumbalance.com](http://lithiumbalance.com)

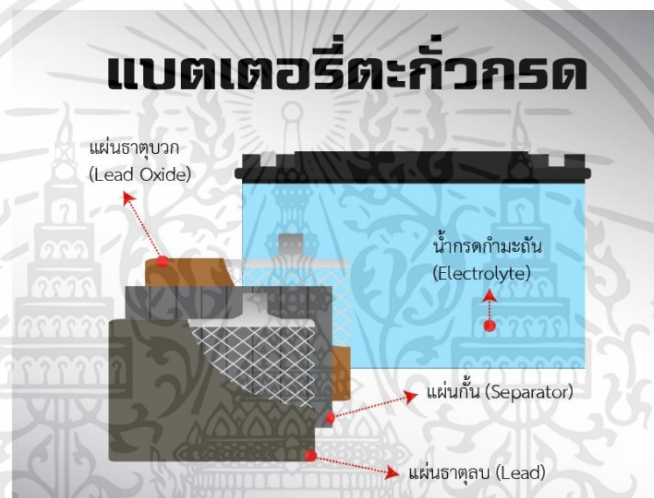
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่ที่มีอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักที่ต่ำมาก และอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาตรที่ต่ำ แต่มีอัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง นั่นหมายถึงมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟกระชากที่สูง ด้วยคุณสมบัติข้างต้นรวมกับราคาที่ย่อมเยา ทำให้เป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานในรถยนต์ที่ต้องใช้กระแสสูงสำหรับการจุดเครื่องยนต์

ตะกั่วกรดนั้นมียอดประกอบสำคัญ อยู่ 3 ส่วน หลัก ๆ ได้แก่

1. แผ่นธาตุ (Plate) ซึ่งประกอบด้วย แผ่นธาตุบวก (Lead Oxide) และ แผ่นธาตุลบ (Lead)
2. แผ่นกั้น (Separator) เป็นแผ่นฉนวนป้องกันระหว่างแผ่นธาตุบวก และ ลบมาชนกัน
3. น้ำกรดกำมะถัน (Electrolyte) เป็นสารที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ระหว่างแผ่นธาตุบวก และ แผ่นธาตุลบ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า



รูปที่ 2.35 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดพร้อมองค์ประกอบ ; อ้างอิง PUMA Battery

### 2.10.4 แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger)

เป็นอุปกรณ์ที่จะถูกติดตั้งอยู่ภายในระบบชาร์จแบตเตอรี่ในตัวรถยนต์ EV โดยอุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับ AC เป็นไฟฟ้ากระแสตรง DC ทั้งนี้ขนาดของ On Board Charger จะขึ้นอยู่กับยี่ห้อและรุ่นของรถยนต์ EV มีผลต่อระยะเวลาในการประจุชาร์จไฟให้แบตเตอรี่และสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือก เครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า คือ On Board Charger เนื่องจากขนาดของ On Board Charger จะจำกัดปริมาณการไหลของกระแสไฟไม่ให้เกินค่าสูงสุดของสายชาร์จหรือระบบชาร์จจะรับได้ ดังนั้นกำลังไฟของของเครื่องชาร์จก็ควรมีค่าใกล้เคียงกับขนาดของ On-Board Charger ด้วยนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น รถยนต์ยี่ห้อหนึ่งมีขนาดของ On Board Charger เท่ากับ 3.6 kW ดังนั้นจึงควรเลือก ที่ชาร์จรถไฟฟ้า ที่มีขนาดใกล้เคียงกับ 3.6 kW



รูปที่ 2.36 แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger Circuit) ; อ้างอิง Wolfspeed

### 2.10.5 รีเลย์ (relay)

คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงจรควบคุมอัตโนมัติ ทำหน้าที่เปรียบเสมือนสวิตช์ไฟ ที่ใช้แรงดันไฟฟ้าในการเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมวงจรต่างๆ

รีเลย์จะทำงานโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแม่เหล็ก สำหรับใช้ดึงดูดหน้าสัมผัส (contact) ให้เปลี่ยนทิศทางการไหลของไฟฟ้า เพื่อควบคุมการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ต่างๆ คล้ายกับสวิตช์

ประเภทของรีเลย์

1. เพาเวอร์รีเลย์ (Power Relay) คือ รีเลย์ที่ช่วยตรวจสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่มีความผิดปกติจากการเกิดกระแสไฟฟ้าขาด หรือกระแสไฟฟ้าเกิน และเกิดแรงดันต่ำ-แรงดันสูงได้เป็นอย่างดี โดยเพาเวอร์รีเลย์นั้นจะทำหน้าที่ตัดวงจรส่วนที่ผิดปกติออกทันที เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆ ของไฟฟ้าเกิดความเสียหายได้



รูปที่ 2.37 เพาเวอร์รีเลย์ ; อ้างอิง MISUMI

2. โซลิดสเตตรีเลย์ (SSR) เป็นรีเลย์ที่มีขนาดเล็ก โครงสร้างแตกต่างจากรีเลย์ทั่วไปคือ ไม่ใช้ส่วนของหน้าสัมผัส (Contact) ในการตัด-ต่อวงจรแต่จะใช้อุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) ทำให้ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่ ข้อดีคือ ลดเสียงรบกวน ตอบสนองการทำงานรวดเร็ว ป้องกันการสันนิษฐานและแรงกระแทก มีอายุการใช้งานนาน นิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ต่อพ่วงคอมพิวเตอร์ เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าและเครื่องจักรอุตสาหกรรม



รูปที่ 2.38 โซลิตสเตตรีเลย์ ; อ้างอิง MiSUMi

3. แลทซ์รีเลย์ (Latching Relay) คือ อุปกรณ์สลับหรือเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานอัตโนมัติ โดยมีหลักการทำงาน คือ จ่ายกระแสไฟเข้าที่ ผังขาเปิด และผังขาปิดทุกครั้ง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหรือหน้าสัมผัสของรีเลย์ เพื่อเปิด-ปิดและสลับการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ในระบบควบคุมเดียวกัน แลทซ์รีเลย์จะนิยมใช้ติดตั้งเข้ากับระบบควบคุมการทำงานของเครื่องมือเครื่องจักร เช่น แอร์ ปั๊มน้ำ มอเตอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.39 แลทซ์รีเลย์ ; อ้างอิง MiSUMi

4. เซฟตี้รีเลย์ (Safety Relay) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยควบคุม ตรวจสอบ และรักษาความปลอดภัยของเครื่องใช้ไฟฟ้าหลักการทำงานคือ จะตัดการทำงานของไฟฟ้าในระบบทันทีที่มีไฟเกิน ใช้งานง่าย โดยแค่นำไปติดตั้งหรือเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรในอุตสาหกรรม เช่น เซ็นเซอร์ ม่านแสงนิรภัย (Safety Light Curtain) ปุ่มกดฉุกเฉิน (Emergency Stop Button)



รูปที่ 2.40 เซฟตี้รีเลย์ ; อ้างอิง MiSUMi

5. ไทม์มอร์รีเลย์ (Timer Relay) มีลักษณะคล้ายนาฬิกา มีทั้งแบบอนาล็อกและแบบดิจิตอล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกำหนดเวลาเปิด-ปิด ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อจ่ายหรือหยุดจ่ายกระแสไฟ รีเลย์จะเริ่มทำงานตามเวลาที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้ โดยที่หน้าสัมผัส

จะสามารถอยู่ในสถานะคงที่ หรือสลับตรงกันข้าม และทำให้เริ่มนับเวลาหรือหยุดเวลาจนครบกำหนดได้



รูปที่ 2.41 ไทม์เมอร์รีเลย์ ; อ้างอิง MiSUMi

6. เทอร์มินอลรีเลย์ (Terminal Relay) เป็นรีเลย์ชนิดประหยัดพลังงาน (Work-saving relay) มีขนาดเล็ก ซึ่งจะติดตั้งอยู่ในหน่วยรีเลย์ (Relay Units) นำไปประยุกต์ใช้งานจากแบบอินพุต-เอาต์พุต (I/O) เป็นแบบคอนโทรลเลอร์ที่ตั้งโปรแกรมได้เมื่อต้องการลดการใช้พลังงาน สามารถนำไปใช้เชื่อมต่อโซลินอยด์วาล์วหรืออุปกรณ์อื่นๆ เข้ากับคอนโทรลเลอร์ เช่น PLC ได้



รูปที่ 2.42 เทอร์มินอลรีเลย์ ; อ้างอิง MiSUMi

7. สเต็ปป์รีเลย์ (Stepping Relay) เป็นอุปกรณ์ช่วยควบคุมและสลับตำแหน่งการทำงาน อัตโนมัติของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ในวงจร ควบคุมเดียวกัน โดยมีหน้าสัมผัสและจุดเชื่อมต่อใช้งานมากกว่ารีเลย์ชนิดอื่นๆ นิยมใช้ติดตั้งเข้ากับแผงควบคุมระบบการทำงานที่มีขนาดใหญ่ เช่น การควบคุมระบบเครื่องสูบน้ำ การควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น



รูปที่ 2.43 สเต็ปป์รีเลย์ ; อ้างอิง MiSUMi

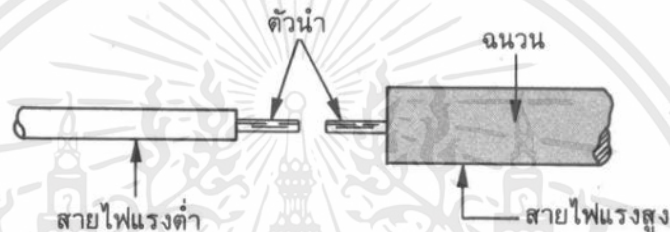
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.6 สายไฟ

สายไฟ (wire) ที่ใช้จะเป็นสายไฟที่เรียกว่าสาย AV ตัวนำของสายไฟจะทำด้วยทองแดงอ่อนหลายๆ เส้นรวมกัน และฉนวนที่หุ้มตัวนำจะทำด้วยพลาสติกที่เรียกว่า PVC พลาสติกเป็นวัสดุที่ใช้เป็น ฉนวนกันมากกับสายไฟอย่างก็มีใช้กันบ้างแต่ไม่มากนัก พลาสติกมีคุณสมบัติที่ทนความร้อน ความเย็น และการเป็นฉนวนได้ดีกว่ายาง สายไฟจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามการใช้งานคือ

1. สายไฟที่ใช้กับวงจรไฟแรงต่ำได้แก่ วงจรไฟแสงสว่าง วงจรไฟสัญญาณ ฯลฯ และ
2. สายไฟที่ใช้กับวงจรไฟแรงสูงได้แก่ วงจรไฟจุดระเบิด

เพราะฉะนั้นในการใช้งานห้ามใช้สลับกัน สายไฟที่ใช้กับวงจรไฟแรงต่ำ ฉนวนที่หุ้มตัวนำจะไม่หนา มาก ผิดกับสายไฟที่ใช้กับวงจรไฟแรงสูง ซึ่งฉนวนที่หุ้มตัวนำจะหนามาก เพื่อป้องกันการรั่วไหลของ กระแสไฟแรงสูง



รูปที่ 2.44 เปรียบเทียบขนาดของฉนวนในสายไฟแรงต่ำและสายไฟแรงสูง ; อ้างอิง auto2drive

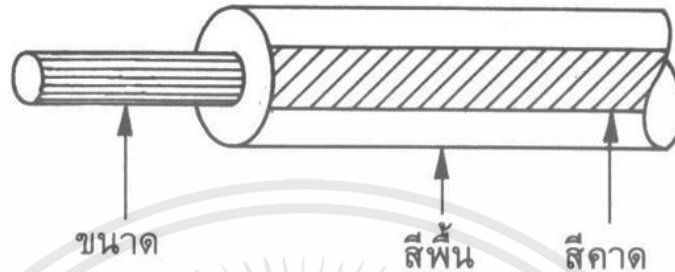
สายไฟแรงสูงมี 2 ชนิดคือ ชนิดตัวนำทำด้วยทองแดง และชนิดตัวนำทำด้วยผงถ่านคาร์บอน สายไฟแรงสูงชนิดทำด้วยผงถ่านคาร์บอนเป็นสายไฟที่นำไฟแรงสูงได้ดีที่สุด และยังลดคลื่นแม่เหล็กที่จะไปรบกวนวิทยุได้อีกด้วยดังรูปที่ 2.44 ขนาดของสายไฟ ขนาดของสายไฟที่นิยมในการใช้งานจะเป็นขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ ไม่ใช่เส้นผ่าศูนย์กลางของสายไฟทั้งเส้น (ตัวนำบวกฉนวน) ขนาดของสายไฟในการใช้งานขึ้นอยู่กับแรงเคลื่อน ไฟฟ้า ความต้องการของกระแสไฟฟ้าในวงจร และความยาวของสายไฟ สายไฟที่ยาวมากจะเพิ่มความต้านทานภายในวงจร ความต้านทานที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดความร้อน ความร้อนจะทำให้ฉนวนหลอมละลาย เกิดการเสียหายกับสายไฟ ขนาดของสายไฟที่โตขึ้นจะลดความต้านทานลงและลดแรงเคลื่อนตกคร่อม เพราะฉะนั้นควรเลือกขนาดของสายไฟให้ถูกต้องพอเหมาะกับการใช้งานในวงจรไฟนั้นๆ

ตารางที่ 2.6 เป็นตารางขนาดของสายไฟ กระแสสูงสุดที่สายไฟทนได้และวงจรที่ใช้

พื้นที่หน้าตัด(mm <sup>2</sup> )	กระแสสูงสุด(แอมแปร์)	ใช้ในวงจร
0.5	9	ไฟหรี่ แฉงหน้าปิด ไฟเก๋ง
0.75	11	ไฟท้าย ไฟส่องป้าย ไฟเลี้ยว ไฟฉุกเฉิน
0.85	12	ไฟเบรก มอเตอร์ปิดน้ำฝน
1.00, 1.25	15	ไฟจุดระเบิด
2.00	20	ไฟแดดร
3.00	27	ไฟหน้า หัวเผา รีเลย์ไฟหน้า รีเลย์สตาร์ท ไฟสตาร์ท
5.00	37	ไฟชาร์จ
8.00	48	สายเมนแบตเตอรี่ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
15.00	67	สายเมนแบตเตอรี่ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น ถ้ามีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสสี่สายไฟ วงจรไฟในรถยนต์มีอยู่จำนวนมากและสายไฟก็เช่นเดียวกันก็มีใช้กันจำนวนมากมายหลายๆ เส้น เพราะฉะนั้นการใช้สายไฟในรถยนต์จึงต้องมีรหัสเพื่อที่จะให้การเดินสายไฟในวงจรต่างๆ ไม่สับสนกัน และสะดวกในการตรวจวิเคราะห์แก้ไขข้อขัดข้องเมื่อเกิดมีปัญหากับระบบไฟวงจรนั้นๆ รหัสสี่ในวงจรไฟต่างๆ นั้น แต่ละบริษัทจะใช้รหัสที่ไม่เหมือนกัน อักษรตัวแรกจะเป็นสีหลักอักษรตัวตามหลังจะเป็นสีคาด ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 รหัสสี่สายไฟ ; อ้างอิง auto2drive.com

#### 2.10.7 VAC8010F

VAC8010F เป็นเครื่องวัดมัลติฟังก์ชันที่ใช้เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สายคลื่นสัญญาณ 2.4 สามารถแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า ความจุ พลังงาน อุณหภูมิ และเวลาทำงานแบบเรียลไทม์ สามารถรับรู้ค่าแบตเตอรี่ได้ การจัดการการชาร์จและการคายประจุและแรงดันเกิน แรงดันต่ำ การป้องกันกระแสเกิน และยังมีจอแสดงผล ที่แสดงผ่านจอให้ชัดเจน และสังเกตได้ง่าย โดยที่ตัว



รูปที่ 2.46 เครื่องวัดมัลติฟังก์ชันที่ใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สาย รุ่น VAC8010F ; อ้างอิง www.banggood.com

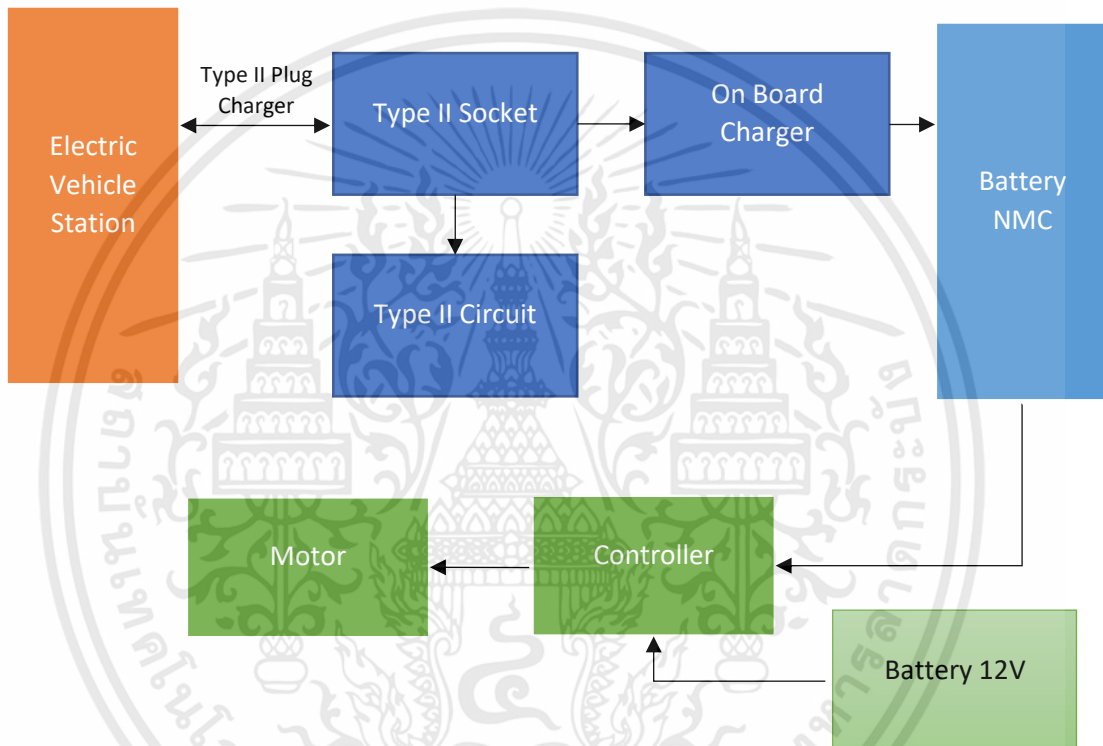
### บทที่ 3

## การออกแบบและวิธีการดำเนินการ

### 3.1 การออกแบบระบบของยานยนต์ไฟฟ้า

#### 3.1.1 การออกแบบระบบย่อย ๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า

หลักการออกแบบระบบชาร์จประจุในยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐาน ICE 61851 Type II จำเป็นต้องรู้ระบบส่วนประกอบต่างๆ ในยานยนต์ไฟฟ้าที่เราจะทำ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการออกแบบ

#### 3.1.2 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

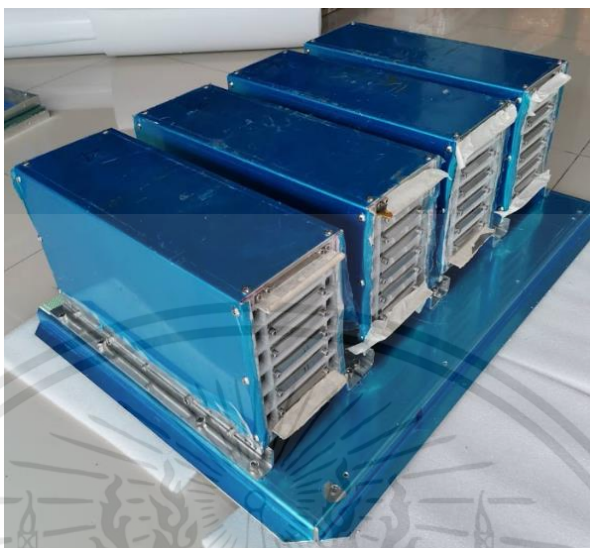
##### 3.1.2.1 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่

เดิมที่รถคันนี้สร้างขึ้นมาใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรด ซึ่งมีน้ำหนักมาก โดยของเดิมใช้แบตเตอรี่ 120 Ah จำนวน 8 ลูก แล้วการชาร์จของตัวนี้ใช้เครื่องชาร์จที่กินกระแสเยอะมาก และวิ่งได้ไม่กี่กิโล เนื่องจากความเสื่อมสภาพของตะกั่วกรด และอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาณที่ต่ำ ก็เลยมาสู่การพัฒนาตัวแบตเตอรี่ลิเทียมขึ้นมา โดยมาใช้แบตเตอรี่ลิเทียมเป็นแบบ Prismatic เอามาต่อกัน 28 เซลล์ ให้ได้แรงดันสูงสุดที่ 114.8V โดยที่ต่อแบบอนุกรมกัน 14S และต่อแบบขนานกัน 2P เราจึงเลือกใช้งานแบตเตอรี่ NMC หรือ แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ เนื่องจาก

คุณสมบัติของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่แบบนี้ มีค่าพลังงานจำเพาะสูง มีค่าพลังงานสูง จ่ายกระแสได้สูง มีเสถียรภาพ และทนต่ออุณหภูมิได้ดีมาก โดยยานยนต์ไฟฟ้าจะนิยมนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ไปใช้กัน เนื่องด้วยมีการพัฒนามาแล้วหลายขั้นตอน แลมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถชาร์จได้เร็ว และมีความปลอดภัย



รูปที่ 3.2 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

### 3.1.2.2 การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ที่นำมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า

ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) เป็นแบบ Prismatic ขนาด 3.7V 30Ah ต่อเซลล์ และมีขนาด 14s-2p ต่อ Pack ซึ่งมีจำนวน 2 Pack แล้วนำมาต่อกันแบบ 2SM 2PM จะทำให้ได้ทั้งหมด 28s-4p ซึ่งจะได้ความจุของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC) อยู่ที่ 103.6V, 120Ah, 12.432kWh ในการคำนวณจะสามารถดูได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : นำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกัน 28s เพื่อหาแรงดัน

$$\begin{aligned}\text{แรงดันแบตเตอรี่ลิเทียม NMC} &= 3.7\text{V} \times 28\text{s} \\ &= 103.6\text{V}\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 : นำเซลล์แบตเตอรี่มาต่อขนานกัน 4P เพื่อหาค่าความจุ

$$\begin{aligned}\text{ความจุแบตเตอรี่ลิเทียม NMC} &= 30\text{Ah} \times 4\text{P} \\ &= 120\text{Ah}\end{aligned}$$

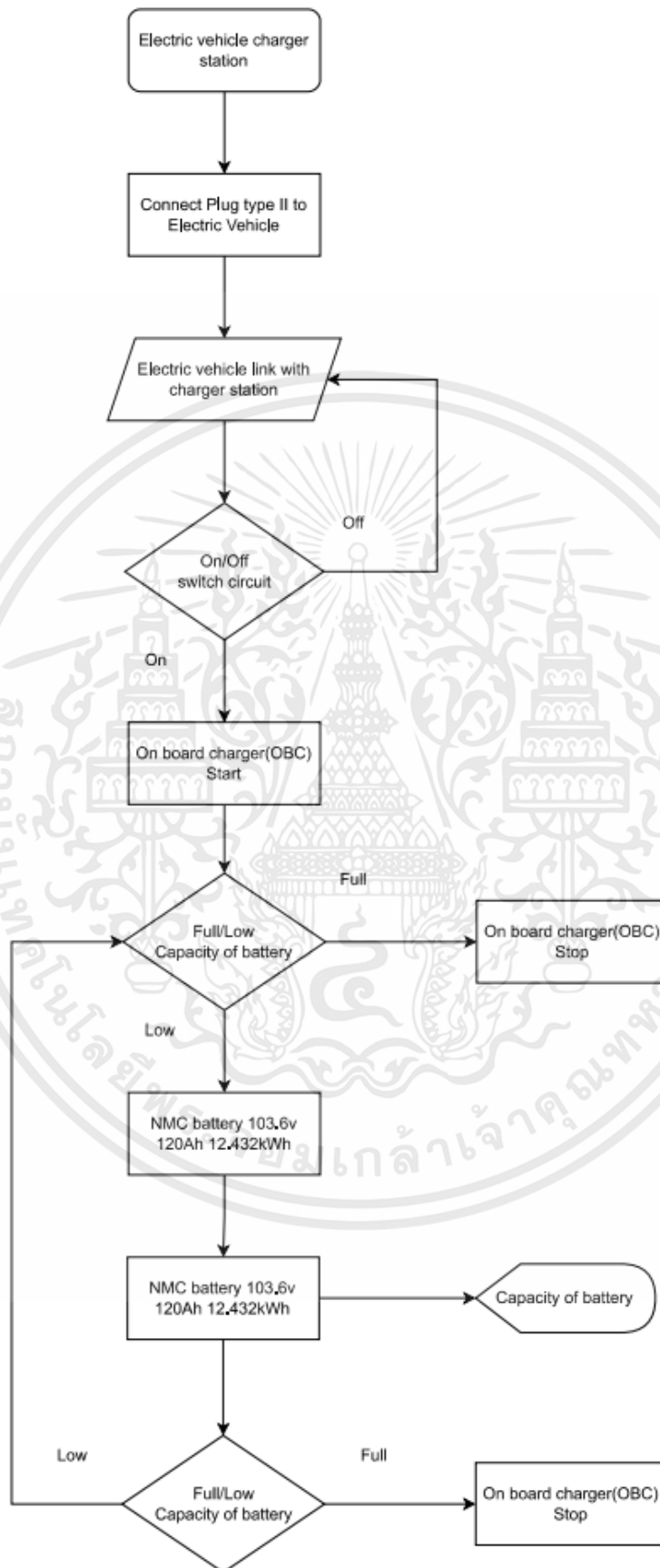
ขั้นตอนที่ 3 : หาค่าพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียม NMC

$$\begin{aligned}\text{พลังงาน} &= \text{แรงดัน} \times \text{ความจุ พลังงาน} \\ &= 103.6\text{V} \times 120\text{Ah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{พลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียม NMC} & \\ &= 12.432 \text{ kWh}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการทำงาน

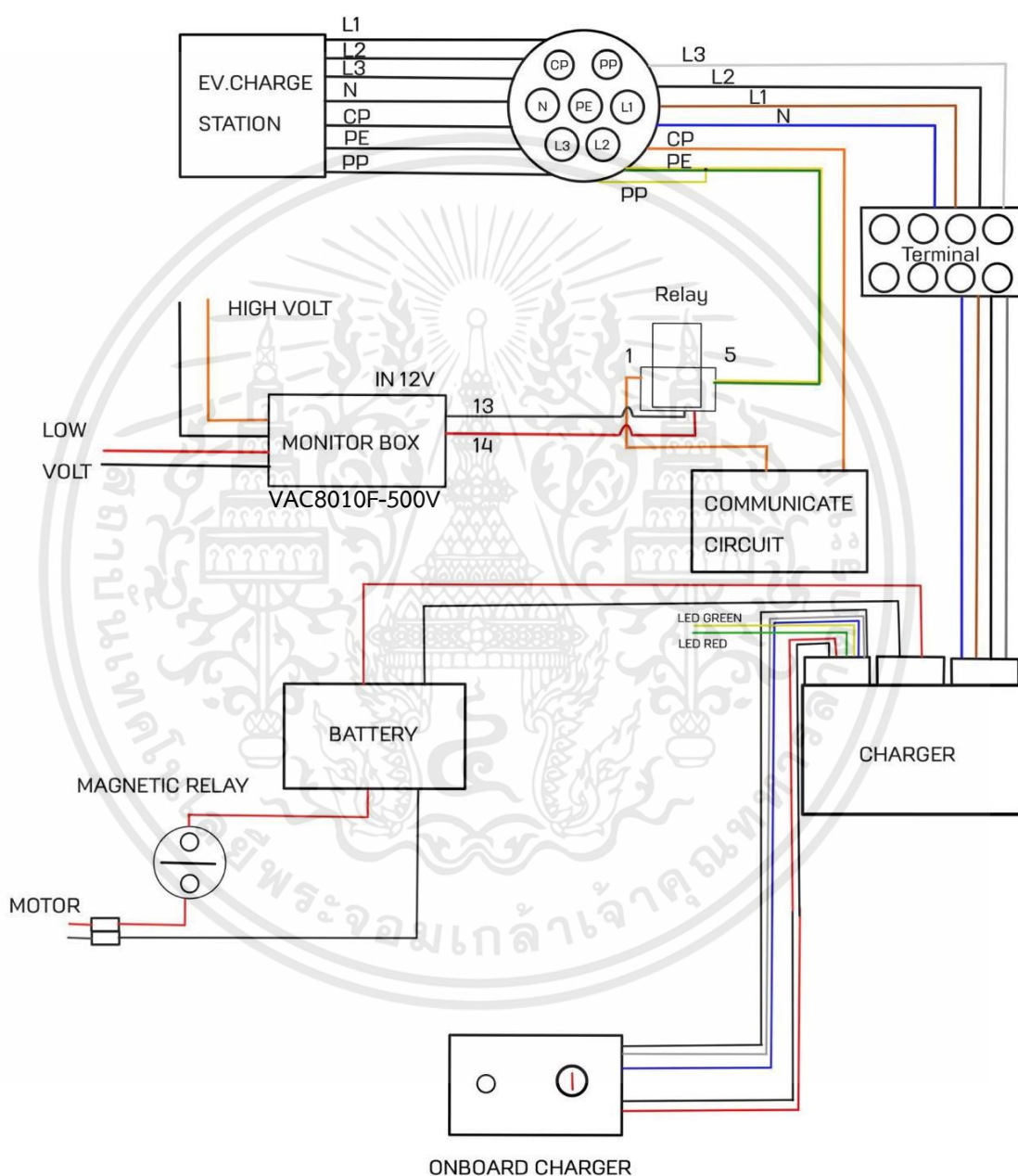


รูปที่ 3.3 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนการทำงานของ Charger System

ในส่วนของระบบการชาร์จจะมีการออกมา โดยเราใช้โหมดการชาร์จเป็นโหมด 3 ที่เป็น AC Charger แบบ standard จึงมีการทำ Plug ให้สามารถเชื่อมต่อกับ Type II ให้ได้มาตรฐานตาม IEC 61851 เป็นมาตรฐานสากลสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยส่วนประกอบของระบบนี้จะประกอบไปด้วย Charger, On-Board Charger, Communication circuit, Monitor box และ Relay



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบชาร์จแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 Charger

Charger รุ่น TC Charger HK-J-H132-32 ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากสถานีชาร์จที่มีแรงดันไฟ 90-264 VAC 16A ออกมาเป็นแรงดัน 50-132 Volt มีกระแสสูงสุดที่ 32A เพื่ออัดพลังงานให้กับแบตเตอรี่ลิเธียม

โดยหมายเลข 1 เป็นไฟเข้า Input จะมี 4 สายจากหัวชาร์จเข้ามา

สาย Neutral สีน้ำเงิน

สาย Line สีน้ำตาล

สาย Line 2 สีดำ

สาย Line 3 สีเทา (ไม่ได้ใช้)

หมายเลข 2 เป็นไฟออก Output ออกไปเข้าที่ตัวแบตเตอรี่

หมายเลข 3 เป็นสายไฟสัญญาณออกมา 6 สาย

สายสีดำ เข้าไปที่สายไฟบวกสีแดงของตัว On-Board Charger

สายสีแดง เข้าไปที่สายไฟลบสีดำของตัว On-Board Charger

สายสีฟ้า สายสีขาวที่ออกมาจากตัว On-Board Charger

สายสีขาว สายสีฟ้าที่ออกมาจากตัว On-Board Charger

สายสีเขียว เข้าไฟ LED สีแดง

สายสีเหลือง เข้าไฟ LED สีเขียว

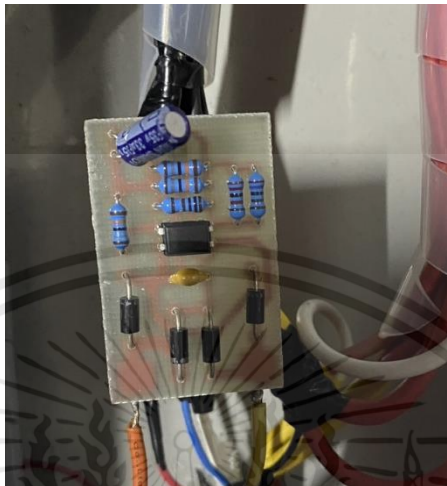


รูปที่ 3.5 Charger ; อ้างอิง EVShop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 Communication circuit

ทำหน้าที่ เมื่อมีการเสียการชาร์จไฟที่จ่ายเข้ามาจะมาเข้าที่ตัววงจร Communication circuit แล้วตัววงจรนี้จะทำการสื่อสารกับตัวตู้ชาร์จโดยมีเปลี่ยนค่าความต้านทานที่จะส่งสัญญาณให้ตู้เปลี่ยนสถานะการชาร์จ ในการต่อสายจะมีสาย PE และ CP เข้ามา



รูปที่ 3.6 วงจรสื่อสารสถานะการชาร์จ

### 3.2.3 แผงวงจรอัดประจุ (On-Board Charger)

เป็นตัวช่วยในการตัดกระแสไฟเมื่อมีปริมาณแบตเตอรี่เต็มแล้ว โดยจะมีไฟสีฟ้าแสดงสถานะคือ เมื่อไฟสีฟ้ากระพริบเร็ว หมายถึง ตู้ยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟเข้า ไฟกระพริบช้าคือ แบตเตอรี่กำลังทำการชาร์จ และเมื่อชาร์จแบตเตอรี่เต็มแล้วไฟจะดับ

การต่อจะมี สายสีดำ เข้ากับ ไฟบวก 12V

สายสีแดง เข้ากับ ไฟลบ 12V

สายสีฟ้า เข้ากับ สายสีขาวที่ออกมาจากตัวสายสัญญาณของอุปกรณ์อัดประจุ (Charger)

สายสีขาว เข้ากับ สายสีฟ้าที่ออกมาจากตัวสายสัญญาณของอุปกรณ์อัดประจุ (Charger)

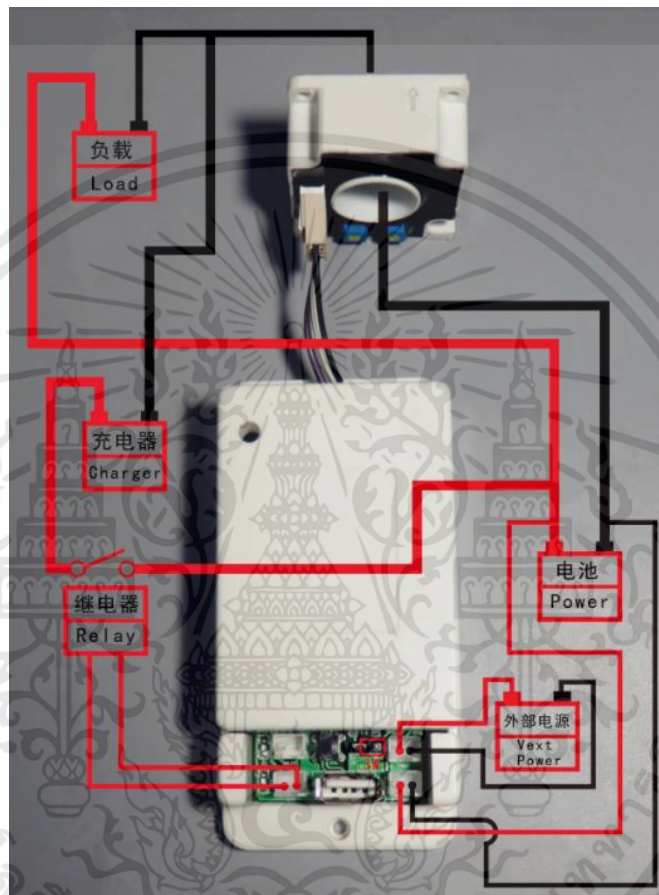


รูปที่ 3.7 แผงวงจรอัดประจุ (On Board Charger)

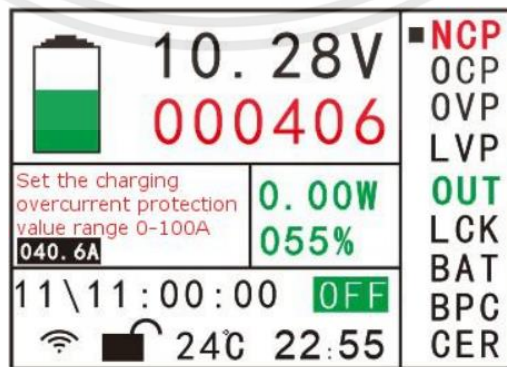
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 เครื่องวัดมัลติฟังก์ชันที่ใช้การส่งข้อมูลแบบไร้สาย รุ่น VAC8010F-500V Manual

VAC8010F เป็นเครื่องวัดมัลติฟังก์ชันที่ใช้เทคโนโลยีการส่งข้อมูลแบบไร้สาย สามารถแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า ความจุ พลังงาน อุณหภูมิ และเวลาทำงานแบบเรียลไทม์ แบตเตอรี่สามารถรับรู้แยกจากกันผ่านอินเทอร์เฟซรีเลย์ การจัดการการชาร์จและการคายประจุและแรงดันเกิน แรงดันต่ำ การป้องกันกระแสเกิน และยังมีจอแสดงผล ที่แสดงผ่านจอให้ชัดเจนและสังเกตได้ง่าย โดยอุปกรณ์ตัวนี้เราใช้ตัดแรงดันที่จ่ายเข้ามาจากตู้ชาร์จ เพื่อความปลอดภัย

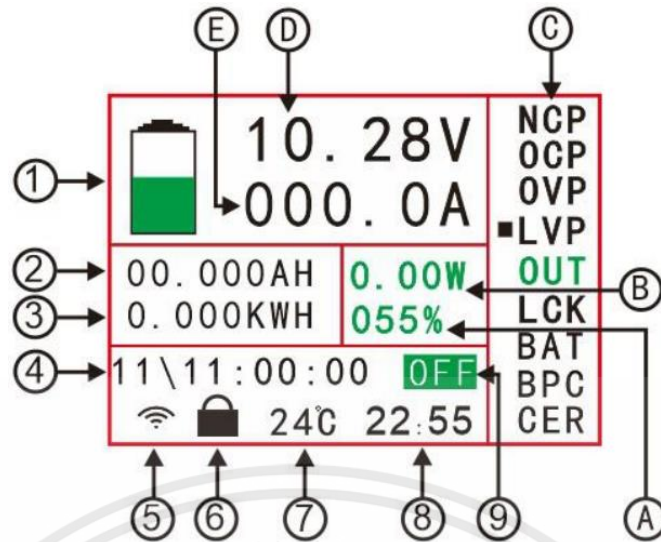


รูปที่ 3.8 วงจรความปลอดภัยที่ใช้ในการตัดการชาร์จจากตู้ชาร์จของ VAC8010F ; อ้างอิง www.banggood.com



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านจอแสดงผล ; อ้างอิง www.banggood.com

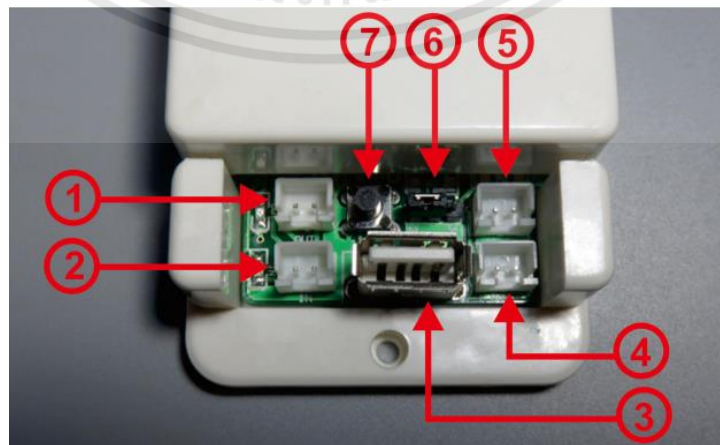
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 รายละเอียดจอแสดงผล ; อ้างอิง www.banggood.com

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการแสดงผลของหน้าจอ

1	ความจุแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่	8	ค่าสะสมเวลาทำงานครั้งเดียว
2	จำนวน AH ที่เหลือ	9	การแสดงผลสถานะของ Directory
3	พลังงานคงเหลือ	A	เปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่
4	เวลาที่ต้องใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มหรือคายประจุ (คำนวณจากกระแสประจุและคายประจุและความจุ)	B	ค่ากำลัง
5	สัญญาณการสื่อสารไร้สาย	C	ตัวเลือกฟังก์ชัน
6	ตัวล็อค	D	ค่าแรงดันที่วัดได้
7	การวัดค่าอุณหภูมิตามเวลาจริง	E	ค่ากระแสที่วัดได้



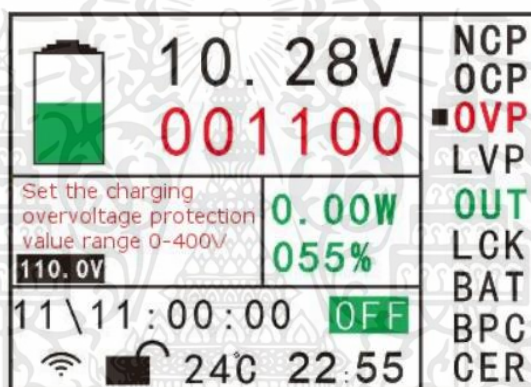
รูปที่ 3.11 รายละเอียดของ Measuring board interface ; อ้างอิง www.banggood.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของ Measuring board interface

1	Discharge relay control interface
2	Charging relay control interface
3	USB2.0 interface (สามารถจ่ายไฟให้กับบอร์ดแสดงผลได้)
4	Voltage measurement interface
5	External power supply interface
6	External power supply and self-power supply selection interface
7	ปุ่มสวิตช์ Relay

โดยโหมดที่เราใช้ในการป้องกันเมื่อชาร์จไฟ จะตั้งค่าแรงดันในโหมดของ OVP เป็นการตั้งค่าแรงดันสูงสุดเมื่อปริมาณแบตเตอรี่มีค่าแรงดันเท่ากับค่าแรงดันสูงสุดที่ตั้งค่าไว้ในจอแสดงผล โดยตัว VAC8010 ที่ต่อเข้ากับรีเลย์จะไปสั่งให้หน้าสัมผัสจากปิด กลับเป็นปกติเปิดแล้วตัดการชาร์จจากตู้



รูปที่ 3.12 โหมด OVP ที่เราใช้ในการป้องกันเมื่อชาร์จไฟ ; อ้างอิง [www.banggood.com](http://www.banggood.com)

#### 3.2.5 รีเลย์

นำเข้ามาเพื่อใช้ในการตรวจจกรการชาร์จจากตู้ชาร์จเมื่อแบตเตอรี่ชาร์จได้เต็มแล้วโดยจะสั่งให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ไปตัดการทำงานโดยการต่อดังนี้

ขา 13 และ ขา 14 ของรีเลย์ ต่อเข้ากับช่อง interface IN ของตัว VAC8010F

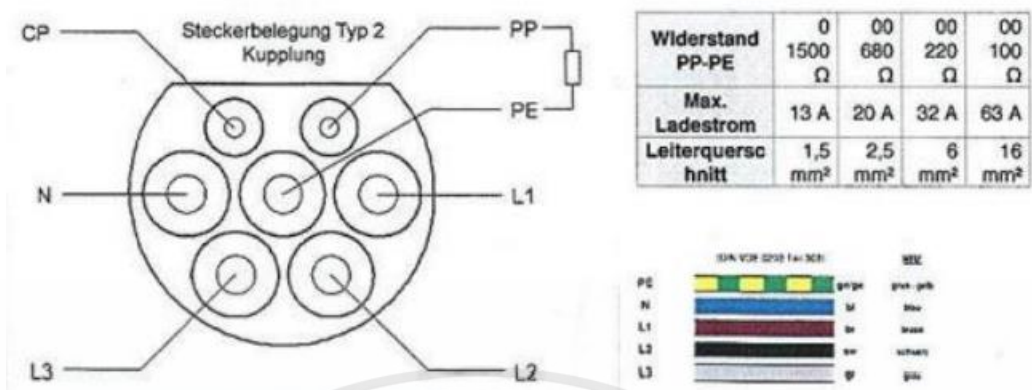
ขา 1 และขา 5 ของรีเลย์จะต่อคล่อมสาย PE โดยที่ใช้หน้าสัมผัสแบบ NO



รูปที่ 3.13 รีเลย์ 12 V ; อ้างอิง MiSUMi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.6 วงจรมาตรฐาน Type 2 ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับสถานีชาร์จประจุ



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการเชื่อมต่อ และตัวต้านทานค่าต่างๆ ที่ทำให้กระแสเอาต์พุตต่างกัน ; อ้างอิง auto2drive.com

### 3.2.7 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ภายในตัวรถไฟฟ้า



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งการวางระบบการชาร์จภายในตัวรถไฟฟ้า

- หมายเลข 1 แบตเตอรี่
- หมายเลข 2 Charger
- หมายเลข 3 On-Board Charger
- หมายเลข 4 Magnetic Relay
- หมายเลข 5 terminal 4 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

การทดลองระบบการพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเธียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงตามมาตรฐาน IEC62196 สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง เพื่อให้รถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถผ่านการทดสอบตามที่กรมการขนส่งทางบกได้กำหนดไว้ตามประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่องกำหนดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ และมีการทดสอบเพิ่มเติมอีก จะประกอบไปด้วยการทดลองดังหัวข้อต่อไปนี้

1. การทดสอบบนเครื่องทดสอบ Dynamometer เพื่อวัดการทำงานของแบตเตอรี่ และเพื่อให้ผ่านตามที่มาตรฐานของกรมการขนส่ง
2. การชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่

#### 4.2 การทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ เมื่อติดตั้งในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงบนเครื่อง Dynamometer

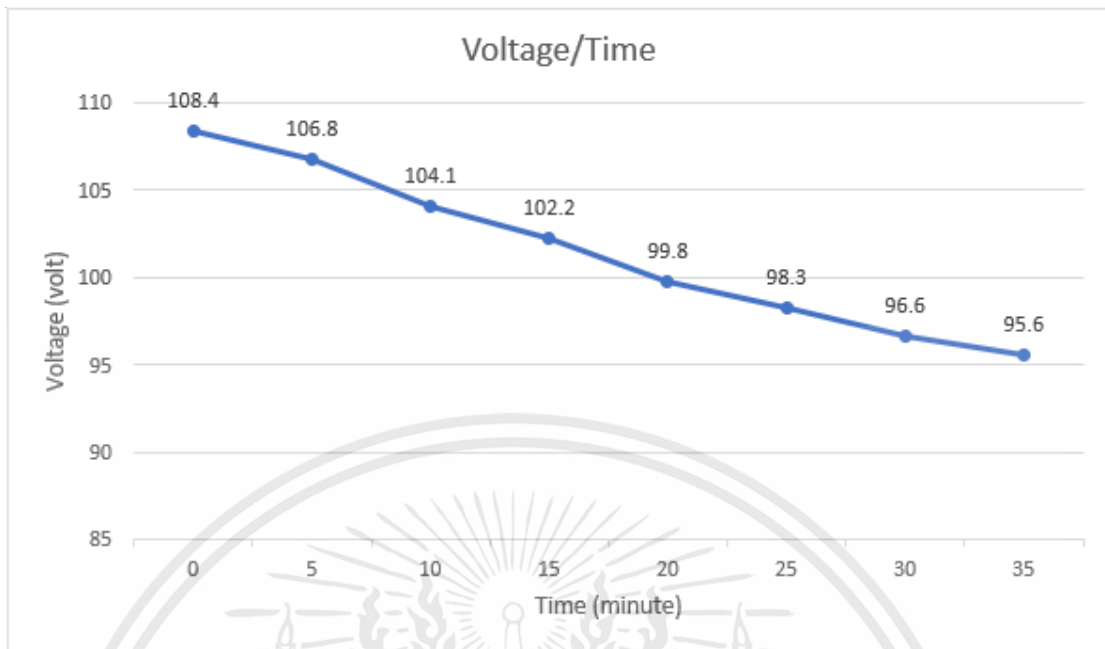


รูปที่ 4.1 การทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer

ในการทดลองจะทำการทดสอบด้วยการทำความเร็วรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงที่ความเร็วไม่ต่ำกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จำนวนเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที

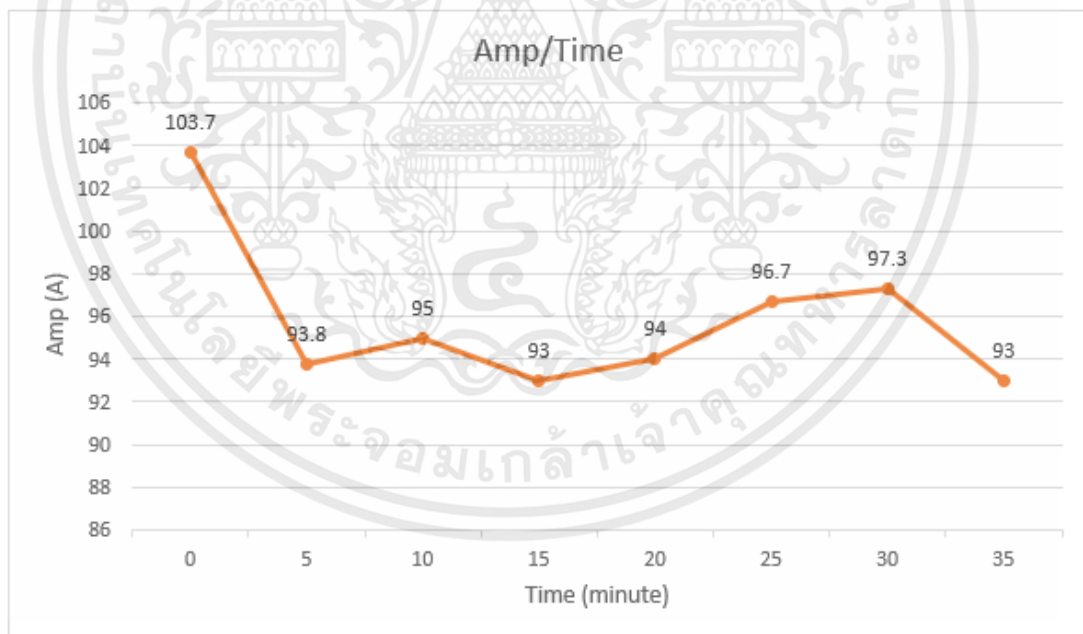
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1 ผลการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage)



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer

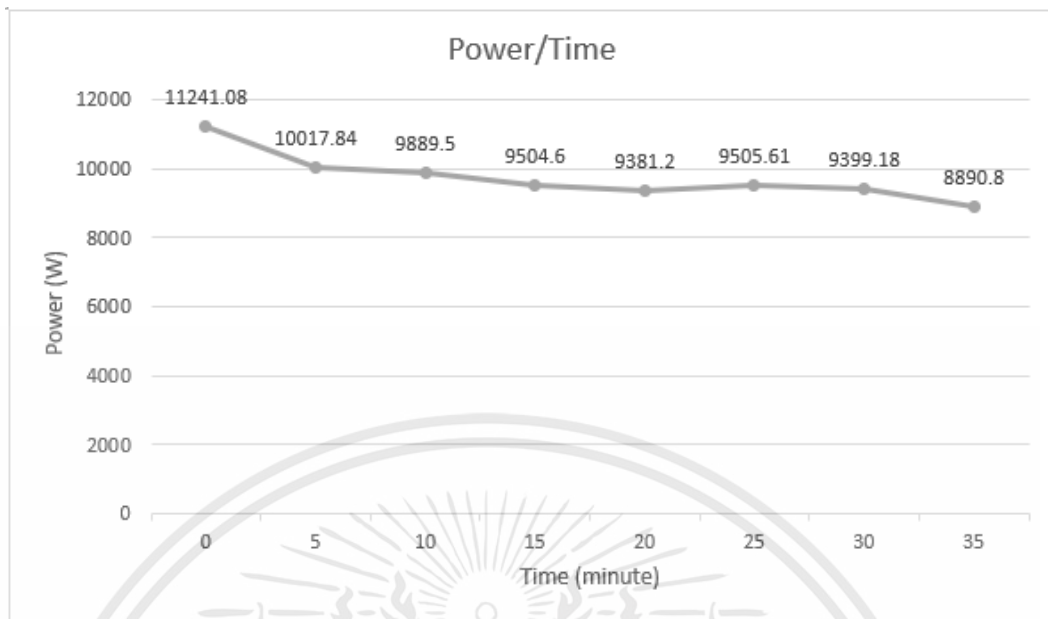
#### 4.2.2 ผลการทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Ampere)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่ากระแสไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer

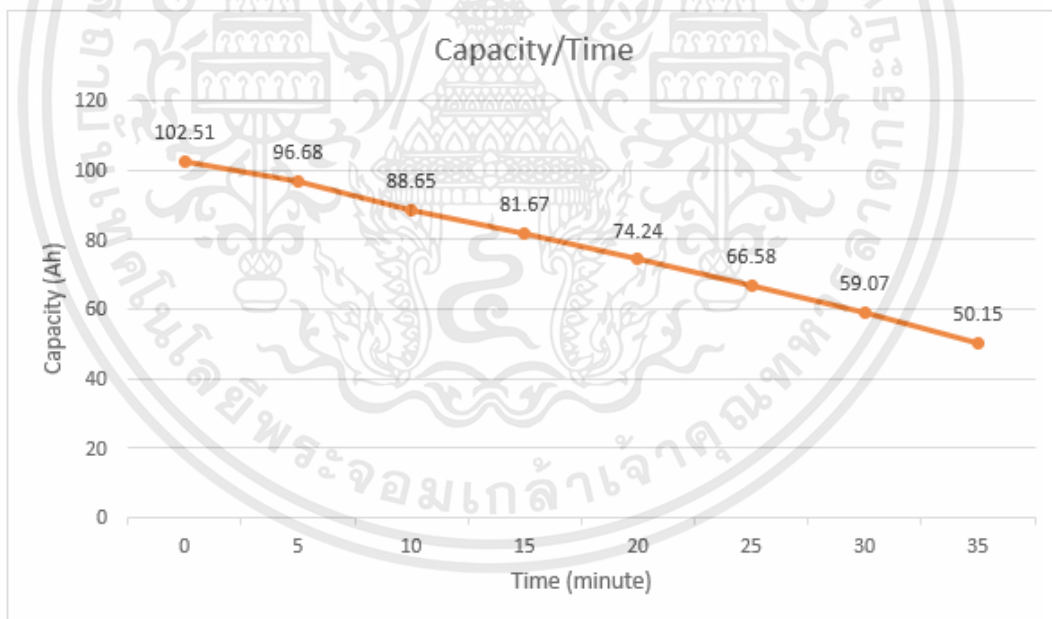
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 ผลการทดสอบวัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer

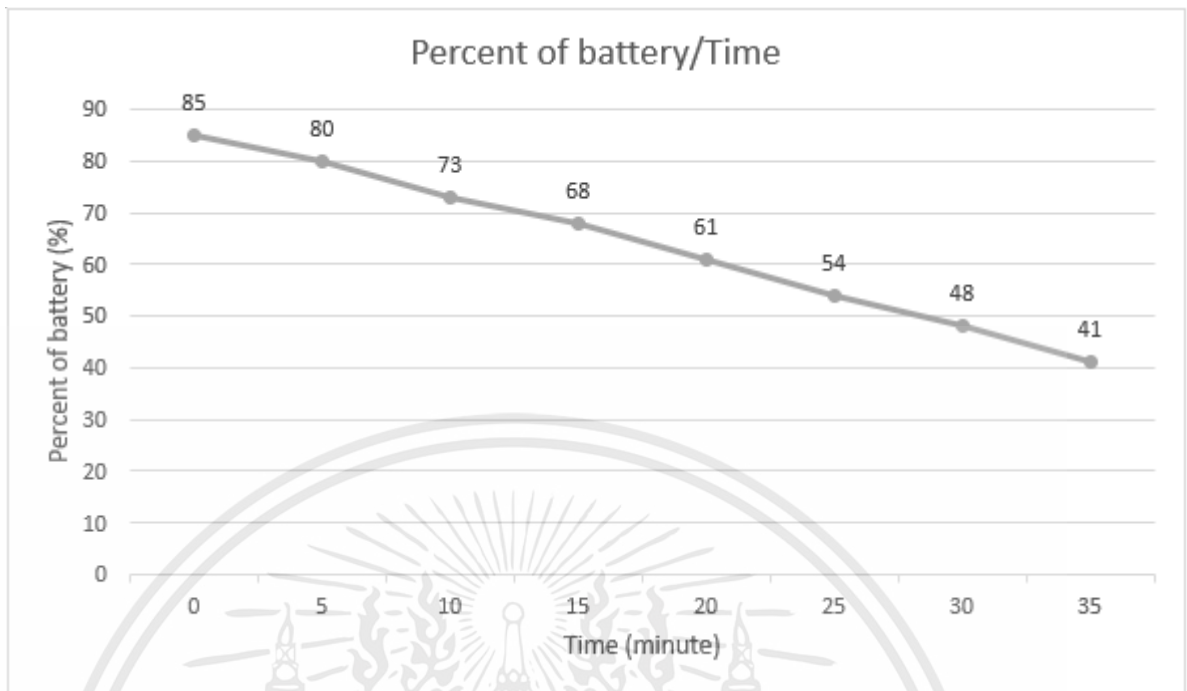
#### 4.2.4 ผลการทดสอบวัดค่าความจุของพลังงานไฟฟ้า (Capacity)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความจุของพลังงานไฟฟ้าขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer

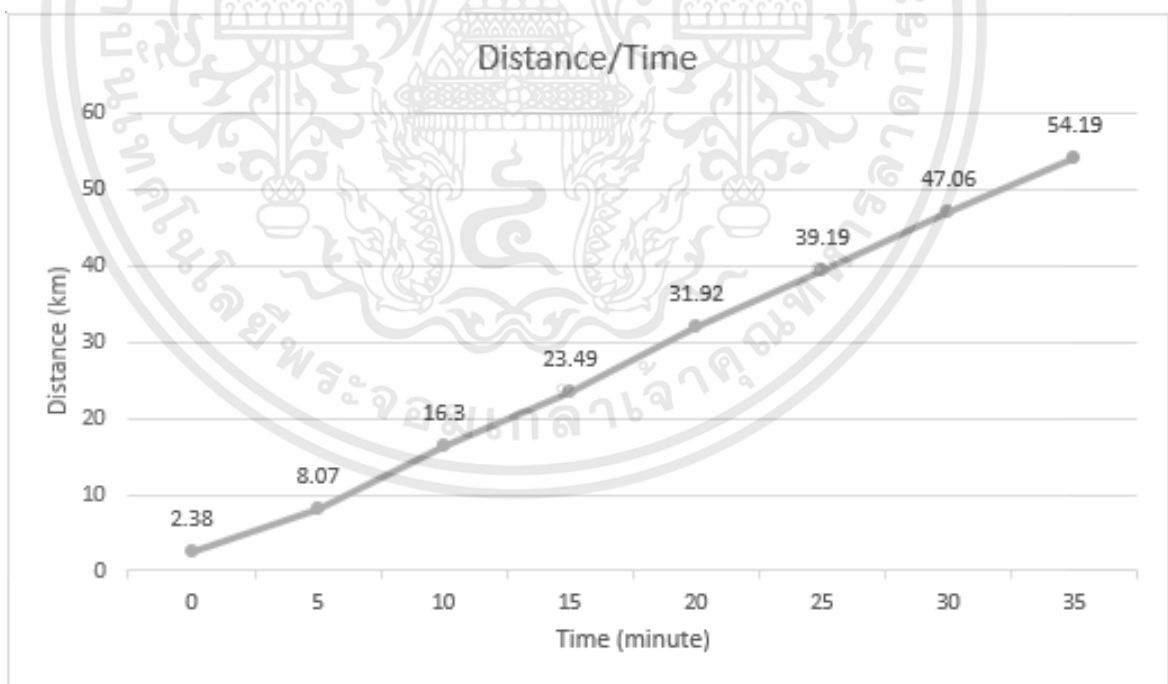
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.5 ผลการทดสอบวัดค่าปริมาณการอัดประจุ (Percent of battery)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าปริมาณการอัดประจุขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer

#### 4.2.6 ผลการทดสอบวัดค่าระยะทาง (Distance)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าระยะทางขณะอยู่บนเครื่อง Dynamometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.7 แสดงค่าผลการทดสอบขณะอยู่บน Dynamometer

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบขณะอยู่บน Dynamometer

เวลา (นาที)	ความเร็ว (กิโลเมตร ต่อชั่วโมง)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	ความจุ แบตเตอรี่ (Ah)	เปอร์เซ็นต์ แบตเตอรี่ (%)
0	94	2.38	108.4	103.7	11,241.08	102.51	85%
5	94	8.07	106.8	93.8	10,017.84	96.68	80%
10	94	16.3	104.1	95	9,889.5	88.65	73%
15	94	23.49	102.2	93	9,504.6	81.67	68%
20	94	31.92	99.8	94	9,381.2	74.24	61%
25	94	39.19	98.3	96.7	9,505.61	66.58	54%
30	94	47.06	96.6	97.3	9,399.18	59.07	48%
35	94	54.19	95.6	93	8,890.8	50.15	41%

จากผลการทดลองสรุปผลได้ในการใช้เวลา 35 นาที วิ่งด้วยความเร็วคงที่โดยประมาณ 94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีค่าสูญเสียจากการใช้แบตเตอรี่ดังต่อไปนี้

- แรงดันสูญเสียไป  $108.4 \text{ V} - 95.6 \text{ V} = 12.8 \text{ V}$
- ความจุแบตเตอรี่สูญเสียไป  $102.51 - 50.15 = 52.36 \text{ Ah}$
- เปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่จาก  $85\% - 41\% = 44\%$

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการนำรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงมาวิ่งบน Dynamometer ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งได้ทำการวิ่งอยู่ที่ 94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งได้ใช้เวลาไปทั้งหมด 35 นาที พบว่ารถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถผ่านตามมาตรฐานที่กรมการขนส่งทางบกกำหนดได้ ทำให้สามารถนำผลทดสอบไปยืนยันเพื่อจดทะเบียนได้

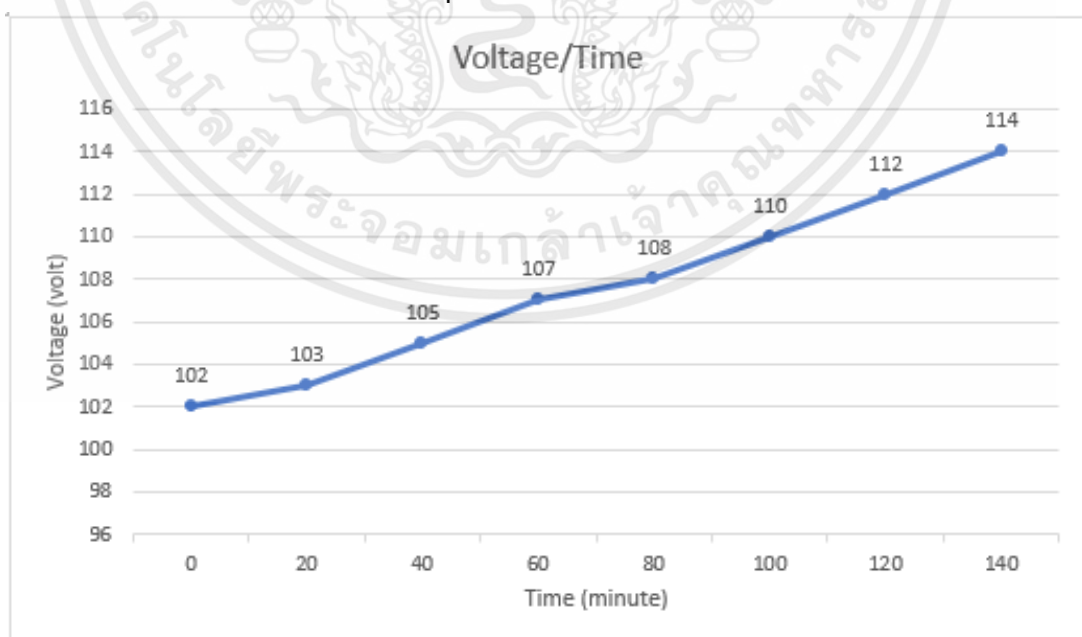
### 4.3 การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)



รูปที่ 4.7 การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)

ในการทดลองจะทำการทดสอบโดยทำการเสียบสายชาร์จจากตู้ชาร์จเข้ากับเต้ารับของตัวรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

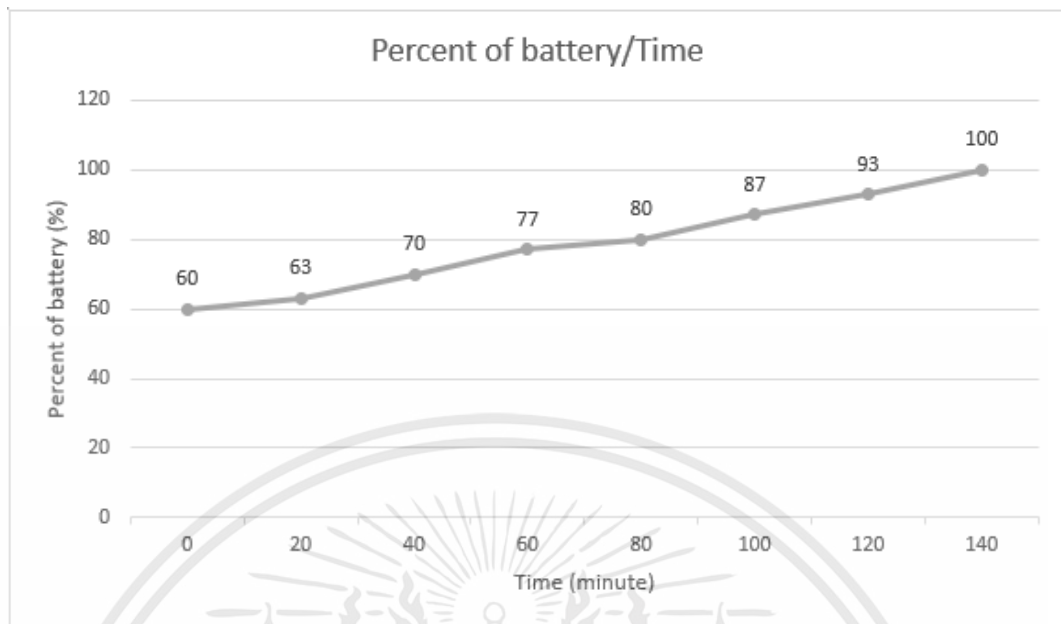
#### 4.3.1 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC ค่า Voltage



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า Voltage ขณะทำการชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC ค่า Percent of battery



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า Percent of battery ขณะทำการชาร์จ

#### 4.3.3 แสดงค่าผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของผลการทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC

เวลา (นาทื)	แรงดัน (V)	เปอร์เซ็นต์ (%)
0	102	60%
20	103	63%
40	105	70%
60	107	77%
80	108	80%
100	110	87%
120	112	93%
140	114	100%

ทำการชาร์จแบตเตอรี่จาก 60% - 100% ใช้เวลาระยะเวลา 140 นาที

จากผลการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นดังต่อไปนี้

- ค่าแรงดันที่ได้รับ  $114V - 102V = 12V$
- เปอร์เซ็นต์ที่ได้รับ  $100\% - 60\% = 40\%$  สรุปหากทำการชาร์จแบตเตอรี่จาก 60% -

100% จะใช้เวลาระยะเวลา 140 นาที ซึ่งถือว่าใช้เวลาในการชาร์จนานพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินโครงการเรื่องการพัฒนาชุดแบตเตอรี่ลิเทียมเพื่อความปลอดภัยในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง ทางผู้จัดทำสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

ผลจากการศึกษาข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลของพารามิเตอร์มีผลต่อแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง และประกอบรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง สรุปได้ว่าการเลือกใช้แบตเตอรี่ ลิเทียมชนิด Nickle-Manganese-Cobalt oxide (NMC) ความจุ 103.6V 120Ah 12.432kWh สำหรับเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับมอเตอร์ BLDC 72V 10/20kW เพียงพอต่อการใช้งาน โดยการทดลองที่ 4.2 การทดสอบบนเครื่องทดสอบ Dynamometer เพื่อวัดการทำงานของแบตเตอรี่ การที่รถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงสามารถวิ่งได้ Dynamometer ด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งได้ทำการวิ่งอยู่ที่ 94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่งได้ใช้เวลาไปทั้งหมด 35 นาที ดังนั้นหมายความว่าตัวแบตเตอรี่ลิเทียมชนิด Nickle-Manganese-Cobalt oxide (NMC) สามารถให้พลังงานกับตัวมอเตอร์ BLDC ได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถผ่านมาตรฐานที่กรมการขนส่งกำหนดได้ ส่วนในเรื่องของการใช้หัวชาร์จแบบ Type II ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62196 สามารถทำการสื่อสารกับตัวรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงได้ และสามารถทำการชาร์จได้อย่างปกติ ซึ่งจากการทดลองที่ 4.3 การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียม NMC ตัวสถานีชาร์จสามารถจ่ายไฟให้กับตัวแบตเตอรี่อย่างปกติและในการทำการชาร์จจากแบตเตอรี่ที่ 60% ถึง 100% ทำการใช้เวลาไปทั้งสิ้น 140 นาที

### 5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

#### 5.2.1 ปัญหาที่พบ

1. ตัวรถยนต์มีขนาดใหญ่ ทำให้ในการเคลื่อนย้ายรถไปทำงานในแต่ละที่ที่ต้องใช้เวลา และการวางแผนในการเคลื่อนย้ายที่ซับซ้อน หากวางแผนไม่ดีอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้
2. ชิ้นส่วนประกอบต่างๆมีราคาที่สูง หากเกิดการชำรุดต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง
3. โครงสร้างของตัวรถยนต์ไม่ได้สมบูรณ์สำหรับการพัฒนาต่อ ทำให้เสียเวลาไปกับการแก้ไขโครงสร้างใหม่
4. อุปกรณ์บางอย่างมีการข้อมูลที่เป็นข้อมูลส่วนตัวของทางบริษัท ซึ่งไม่สามารถเปิดเผยได้ ทำให้การศึกษาอุปกรณ์บางอย่างไม่สามารถเข้าใจได้อย่างแท้จริง หรือจะทำการปรับปรุงก็ไม่สามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การรอของอุปกรณ์ใช้เวลานาน เนื่องจากมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ
6. อุปกรณ์สำหรับการชาร์จไม่สามารถสื่อสารกับสถานีชาร์จได้

### 5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. วางแผนในการเคลื่อนย้ายให้ดีที่สุด
2. ทำให้ต้องระมัดระวังอย่างมากในการทำงาน
3. แก้ไขแผนการทำงานใหม่ เริ่มจากการปรับปรุงตัวโครงสร้างรถยนต์ก่อน
4. ศึกษาเพิ่มเติมจากผู้เชี่ยวชาญที่เปิดโอกาสให้เข้าถึงข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์
5. ไม่สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากมีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้
6. ต้องทำการเปลี่ยนตัวอุปกรณ์สำหรับชาร์จใหม่ จากผู้ผลิตรายใหม่ เนื่องจากผู้ผลิตรายเดิมใช้เวลาในการแก้เป็นเวลานาน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรพัฒนาในเรื่องของเทคโนโลยีในรถยนต์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใหม่ เพื่อให้รถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงมีเทคโนโลยีที่ทันสมัย
2. ทำการออกแบบระบบกันกระแทกใหม่ เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนเซลล์แบตเตอรี่ที่มากขึ้น พร้อมกับจำนวนน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่มากขึ้นตามด้วย หากต้องการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่มากขึ้น

## บรรณานุกรม

- [1] <https://www.thaiauto.or.th/2012/th/services/ev/pdf/research/2017>, คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2559-2560), การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า, หน้า 40- 59, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2565
- [2] <https://www.enconlab.com/etuktuk/index.php/menu-news-etuktuk/24-2017-09-18-09-22-18>, แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 2565
- [3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, (2563), ระบบชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 62196 Type II และแสดงผลไร้สายแบบเวลาจริงบนโปรแกรม LabVIEW, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2565
- [4] รศ.ร.อ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน, การบรรยายในคลาสเรียนวิชา “Hybrid and electric vehicle”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2565
- [5] <https://www.kia.com/th/discover-kia/ask/how-to-charge-a-car-battery.html>, วิชิชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่รถยนต์, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2565
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=vuNnBBU8Quq>, EVSE Charging State คืออะไรทำไมจึงต้องทดสอบ, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 19 มิถุนายน 2565
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=eXocmo38QAU>, รถยนต์ไฟฟ้าและสถานีชาร์จสื่อสารกันได้อย่างไร, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2565
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=nWKx0yyblqM>, เครื่องชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าทำงานอย่างไร, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2565
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=lOmJyLrh4Fw>, EV Charger ราคาแพง จั๊นทำใช้เองได้ไหม, ค้นคว้าเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2565
- [10] [https://www.youtube.com/watch?v=Ux\\_b\\_FyCNOU](https://www.youtube.com/watch?v=Ux_b_FyCNOU), รู้ไว้ก่อนเลือกซื้อ!! แบตเตอรี่ LFP กับ NMC แบบไหนดีกว่ากันสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า, ค้นคว้าวันที่ 16 กันยายน 2565
- [11] <http://img.banggood.com/file/products/20180718053121SKU973245-Instructions.pdf>, vac8010f-500v manual บอร์ดควบคุมแรงดัน กระแสแสดงผ่านจอแสดงผล, ค้นคว้าวันที่ 16 กันยายน 2565
- [12] หน่วยบริการวิชาการเฉพาะทางด้านการทดสอบสมรรถนะยานยนต์เชื้อเพลิงสะอาด, รายงานผลการทดสอบ, ค้นคว้าวันที่ 22 ธันวาคม 2565

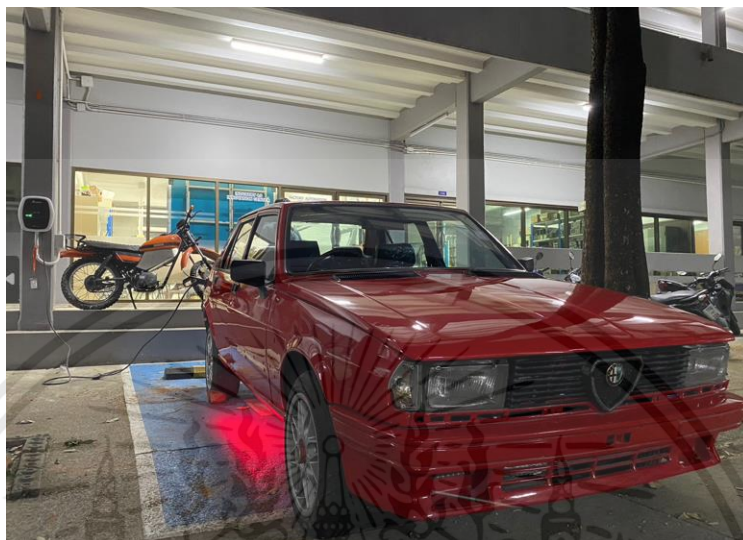


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ โดยการนำรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงไปชาร์จกับสถานีชาร์จ ซึ่งมีขั้นตอนการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงได้ดังนี้



รูปที่ ก.1 การนำรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลงไปชาร์จที่สถานีชาร์จ

1. เมื่อนำรถยนต์ไปจอดที่สถานีชาร์จแล้ว ทำการเปิดสวิตช์กุญแจที่ตัวรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง



รูปที่ ก.2 ทำการเปิดสวิตช์กุญแจที่ตัวรถยนต์ไฟฟ้าดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการนำหัวชาร์จจากสถานีชาร์จมาเสียบกับเต้ารับของรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง



รูปที่ ก.3 นำหัวชาร์จจากสถานีชาร์จมาเสียบกับเต้ารับของรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง

3. ทำการนำบัตรไปสแกนกับสถานีชาร์จเพื่อให้สถานีชาร์จจ่ายไฟให้กับตัวรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลง



รูปที่ ก.4 นำบัตรไปสแกนกับสถานีชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นไฟแดง LED ข้างตัวรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงจะติด แสดงถึงสถานะกำลังชาร์จ



รูปที่ ก.5 ไฟแดง LED ข้างตัวรถยนต์ไฟฟ้าตัดแปลงจะติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆของแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy density (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Internal resistance <sup>1</sup> (mΩ)	<100 12V pack	100-200 6V pack	200-300 6V pack	150-300 7.2V	25-75 <sup>2</sup> per cell	25-50 <sup>2</sup> per cell
Cycle Life (80% discharge)	200-300	1000 <sup>3</sup>	300-500 <sup>3</sup>	500-1000	500-1000	1000-2000
Fast-charge time	8-16 h	1h typical	2-4h	2-4h	1h or less	1h or less
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low.Cannot tolerate trickle charge		
Self-discharge/ month (room temp)	5%	20% <sup>5</sup>	30% <sup>5</sup>	< 10% <sup>5</sup>		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V <sup>7</sup>	1.2V <sup>7</sup>	3.6V <sup>8</sup>	3.8V <sup>8</sup>	3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection By voltage signature		4.20		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50-3.00		2.80
Peak load current Best result	5C <sup>9</sup> 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	> 3C < 1C	> 30C < 10C	> 30C < 10C
Charge temperature	-20 to 50°C	0 to 45°C		0 to 45°C <sup>10</sup>		
Discharge temperature	-20 to 50°C	-20 to 65°C		-20 to 60°C		
Maintenance requirement	3-6 months <sup>11</sup> (topping chg.)	30-60 days (discharge)	60-90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable. fuse Protection common		Protection circuit mandatory <sup>12</sup>		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและขั้วบวกและการใช้งาน

ประเภทที่	วัสดุขั้วบวก	วัสดุขั้วลบ	การใช้งาน
1	Lithium Cobalt Oxide (LiCoO <sub>2</sub> , LCO)	แกรไฟต์	โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต แล็ปท็อป กล้องดิจิทัล
2	Lithium Manganese Oxide (LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , LMO)	แกรไฟต์	เครื่องมือไฟฟ้า (Power tools) อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยาน พาหนะไฟฟ้า
3	Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (Li(Ni,Mn,Co)O <sub>2</sub> , NMC,NCM)	แกรไฟต์	จักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (มักใช้ในรถไฮบริด) ระบบสำรองไฟฟ้า
4	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (Li(Ni,Co,Al)O <sub>2</sub> , NCA)	แกรไฟต์	อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่งกำลังใน ยานพาหนะไฟฟ้า (เช่นที่พบใน Tesla Model S) ระบบสำรองไฟฟ้า
5	Lithium Iron Phosphate (LiFePO <sub>4</sub> , LFP)	แกรไฟต์	ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า หรือแทนแบตเตอรี่กรดตะกั่วใน รถยนต์ (Start-Lighting-Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแส และความทนทานสูง
6	แกรไฟต์ หรือ LMO	แกรไฟต์	ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบส่งกำลังใน ยานพาหนะไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ตารางเปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภท

วัสดุขั้วบวก	หน่วย	LCO หรือ NCA	NMC	LMO		LFP
วัสดุขั้วลบ		แกรไฟต์	แกรไฟต์	แกรไฟต์	LTO	แกรไฟต์
ออกแบบโดยเน้น		ความจุพลังงาน	ความจุพลังงานหรือกำลังไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	จำนวนรอบในการใช้งาน	กำลังไฟฟ้า
ช่วงแรงดันในการใช้งาน (Operating voltage range)	V	2.5-4.2	2.5-4.2	2.5-4.2	1.5-2.8	2.0-3.6
แรงดันเฉลี่ย (Nominal cell voltage)	V	3.6-3.7	3.6-3.7	3.7-3.8	2.3	3.3
ความจุพลังงานต่อน้ำหนัก	Wh/kg	175-240 (cylindrical) 130-450 (pouch)	100-240	100-150	70	60-110
ความจุพลังงานต่อปริมาตร	Wh/L	400-640 (cylindrical) 250-450 (pouch)	250-640	250-350	120	125-250
อัตราการคายประจุอย่างต่อเนื่อง (Continuous discharge rate)	C <sup>2</sup>	2-3	2-3 สำหรับ แบตเตอรี่ความจุพลังงานสูง >30 สำหรับ แบตเตอรี่กำลังไฟฟ้าสูง	>30	10	10-125
อายุการใช้งาน	รอบ	500+	500+	500+	4000+	1000+
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถอัด ประจุได้	°C	0-45	0-45	0-45	-20-45	0-45
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถคาย ประจุได้	°C	-20-60	-20-60	-30-60	-30-60	-30-60
ความปลอดภัย	1-4 (4 = ปลอดภัยที่สุด)	2	3	3	4	4
ราคา	1-4 (4 = ราคา ต่ำที่สุด)	3 (LCO) 2 (NCA)	3	3	1	3

ตารางที่ ข.4 ตารางมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย

	หมวดของมาตรฐาน	มาตรฐานชุดหลักที่อิง
1. ด้านสมรรถนะ	ด้านตัวยานยนต์	ISO 13064
2. ระบบสื่อสารของยานยนต์ไฟฟ้า		ISO 15118
3. แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	ด้านอุปกรณ์ต่อเชื่อมและโครงสร้างพื้นฐาน	IEC 61982/62660
4. หัวปลั๊กและเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า		IEC 62196
5. ระบบการประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (Charging system)		IEC 61851
6. ความปลอดภัยในยานยนต์ไฟฟ้า	การให้ความรู้และระมัดระวัง	ISO 6469
7. ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า(EMC)		CISPR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ตารางโหมดการชาร์จและค่าความต้านทาน

State	Pilot High	Pilot Low	Frequency	EV resistance	Description
State A	+ 12 V	N / A	Dc	N / A	Not Connected
State B	+ 9 V	-12 V	1KHz	2..74K	EV Connected (Ready)
State C	+6 V	-12V	1KHz	822	EV Charge
State D	+3 V	-12 V	1KHz	246	EV charge Vent. Required
State E	0V	0V	N / A		Error
State F	N / A	-12 V	N / A		Unknow / Error

ตารางที่ ข.6 ตารางค่ากระแสไฟฟ้าและ Duty cycle ที่ได้จากสมการ

Amp	Duty Cycle	Amp	Duty Cycle
6A	10%	40A	66%
12A	20%	48A	80%
18A	30%	65A	90%
24A	40%	75A	94%
30A	50%	80A	96%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค  
รายงานผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


**หน่วยบริการวิชาการเฉพาะทางด้าน การทดสอบสมรรถนะยานยนต์เชื้อเพลิงสะอาด**
**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 ชื่อศักดิ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520	
รายละเอียดตัวอย่าง	ตัวอย่างถูกส่งและซิปป์โดย/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, กำลังที่กักมอเตอร์ 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 กำหนดกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถตาม กฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ. 2560	
รายงานผลการทดสอบ	ผลการทดสอบมีรายละเอียดดังปรากฏในหน้าถัดไป	
เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการทดสอบ	นายนิพนธ์ เงินมี ผู้ทดสอบ	
หัวหน้าหน่วยบริการวิชาการเฉพาะ ทางด้าน การทดสอบสมรรถนะ ยานยนต์เชื้อเพลิงสะอาด	รศ.ดร.มนตรี ทองคำ ผู้ตรวจสอบ/ รับรองผล	
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์	รศ.ดร.สุธี ชูดีไพจิตร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รูปแสดงตัวอย่าง



## หมายเหตุ

รายละเอียดตัวอย่าง

แบตเตอรี่ NMC, แบตเตอรี่ 3.7 V 30 แอมป์ต่อแบตเตอรี่ 1 ลูก

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

มวลรถ มวลสูงสุดของรถ 1300 กิโลกรัม, มวลรถเมื่อพร้อมใช้งาน 1365 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ตารางแสดงเครื่องมือทดสอบ

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 ค.2 ตารางผลการตรวจสอบ

รายการตรวจสอบ	เงื่อนไข/เกณฑ์ทดสอบ	ผลการตรวจสอบ/การตัดสินใจ	
อุณหภูมิโดยรอบของการทดสอบ	ไม่กำหนด	32.6 องศาเซลเซียส	
สภาพพื้นผิวทดสอบ	เรียบแห้ง การยึดเกาะปกติ	<input checked="" type="checkbox"/> เรียบแห้ง การยึดเกาะปกติ <input type="checkbox"/> ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข/เกณฑ์ทดสอบ	
มวลรถในสภาพพร้อมใช้งาน		รวมน้ำหนัก 1300 กิโลกรัม	
มวลรถในสภาพพร้อมใช้งาน รวมขับหนัก 60 กิโลกรัม		รวมน้ำหนัก 1365 กิโลกรัม	
ความเร็วสูงสุด ( $V_{max}$ )		94 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	
ขนาดยางที่ใช้		ล้อหน้า	185/55R16
		ล้อหลัง	185/55R16
ลมยางที่ใช้	ใช้ความดันลมขณะเย็นที่ผู้ผลิต กำหนด บวก 20 กิโลปาสกาล	ล้อหน้า	227 กิโลปาสกาล
		ล้อหลัง	227 กิโลปาสกาล

ตารางที่ ค.3 ตารางแสดงผลการทดสอบ

ที่	ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
1	ความเร็วที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	94	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
2	เวลา (ไม่น้อยกว่า 30 นาที)	35	นาที

มอเตอร์ไฟฟ้าต้องสามารถขับเคลื่อนรถในขณะที่มีน้ำหนักบรรทุก (Gross Vehicle Weight) ตามที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยความเร็วสูงสุดต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที

หมายเหตุ ไดนาโมมิเตอร์แบบลูกกลิ้ง (Roller Dynamometer) ที่ใช้ในการทดสอบมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.48624 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพประกอบผลการทดสอบ



รูปที่ ค.1 รูปตัวเลขซีบ่งยานยนต์ตามรายการจดทะเบียน (เลขตัวถังรถ ZAR116A-00-03008044)



รูปที่ ค.2 รูปตัวเลขซีบ่งเครื่องยนต์ (เลขมอเตอร์ EVTL8848183)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 รูปแบตเตอรี่

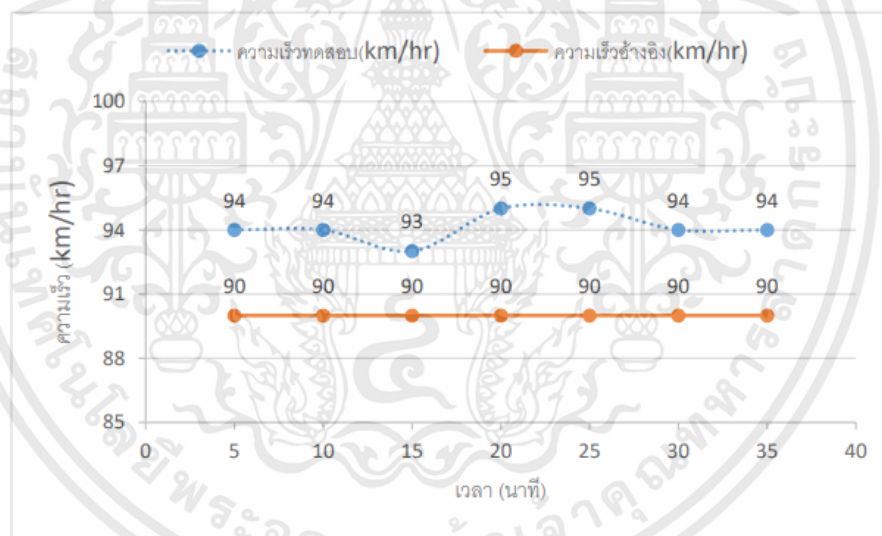


รูปที่ ค.4 รูปขนาดยางล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.5 รูปรถทดสอบ



รูปที่ ค.6 รูปกราฟแสดงผลการทดสอบความเร็วที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

-สิ้นสุดรายงานการทดสอบ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แบบแสดงข้อมูล**  
**Technical Information**

**1. ข้อมูลทั่วไป :**

**General :**

(1) ชนิด : ALFA ROMEO

Make :

(2) แบบรถ : GIULIETTA 2.0

Type:

(2.1) แบบย่อย : MT

Variant (s), Version (s) :

(3) ประเภทรถ : รถยนต์ดัดแปลง

Vehicle category :

(5) ชื่อและที่อยู่ของผู้รับบริการ :

Name and address of manufacturer's authorized representative, if any :

รศ.ดร.ทวีพล จี้อิสต์  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

**2. มวล :**

**Mass :**

(1) มวลของรถเมื่อพร้อมใช้งาน : 1300 กิโลกรัม (kg)

Mass of vehicle in running order :

(2) มวลสูงสุดของรถ : 1365 กิโลกรัม (kg)

Technical Maximum Gross Weight :

(3) มิติ (กว้าง x ยาว x สูง) : 1,376 x 4,330 x 1,400 มิลลิเมตร (mm)

Dimension :

**3. ระบบส่งกำลัง :**

**Transmission:**

ความเร็วสูงสุดของรถและเกียร์ที่ใช้ :

94 กิโลเมตร/ชั่วโมง (km/hr)

Maximum speed of vehicle and gear

in which it is reached (in km/h) (i) :

**4. มอเตอร์ไฟฟ้า :**

**Electric motor :**

(1) ยี่ห้อ :

Motor Make : Golden Motor,

Make :

Motor Type : EVTL8848183

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) แบบ :	DC motor
Type:	
(3) กำลังสูงสุด	20 กิโลวัตต์
Maximum hourly output : (kW)	
(4) แรงดันไฟฟ้า :	72-96 โวลต์
Operating voltage :	
<b>5. แบตเตอรี่ :</b>	
<b>Battery :</b>	
(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	
<b>6. ระบบกันสะเทือน :</b>	
<b>Suspension :</b>	
(1) ยาง (ประเภท ขนาด และความสามารถในการบรรทุกสูงสุด และขอบยาง (ประเภทมาตรฐาน) :	หน้า (Front) : 185/55R16 หลัง (Rear) : 185/55R16
Tires (category, dimensions and maximum Loading) and rims (standard type) :	
(2) ความดันลมยางที่ผู้ผลิตรถแนะนำ :	หน้า (Front) : 227 กิโลปาสกาล (kPa) หลัง (Rear) : 227 กิโลปาสกาล (kPa)
Tire pressures recommended by the manufacturer :	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง  
ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล พงศกร ใจชื่อสมบูรณ์

ที่อยู่ 161/240 ม.5 ต.บางเสา อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี 20251

เบอร์โทรศัพท์ 0911827550

E-mail 63015113@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเครื่องมือวัดและควบคุม  
วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน (ต่อ)



ชื่อ - นามสกุล มนต์มนัส พันธุ์สวัสดิ์

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 21 ถ.พหลโยธิน 87/6 แยก 1/2 ต.ประชาธิปไตย อ. ธีญบุรี จ.ปทุมธานี 12130

เบอร์โทรศัพท์ 0944952621

E-mail 63015138@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา อนุปริญญา สาขาวิชาเทคโนโลยีอากาศยาน วิชาเอกเครื่องวัด ประกอบการบิน สถาบันการบินพลเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน (ต่อ)



ชื่อ - นามสกุล ศิริวิชญ์ เหมือนพันธุ์

ที่อยู่ 184/50 ม.10 ต.บางเสา อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี 20250

เบอร์โทรศัพท์ 0991310325

E-mail 63015170@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้าควบคุม  
วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้