

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตามมาตรฐาน

IEC62196 สำหรับรถไถไฟฟ้า

Electrical energy storage system from solar cell and IEC62196
charging standard for electric tractors.



นายชัยวัฒน์ แก้วพลอย

นายพรดน้อย พุดเกลี้ยง

นายพลทิตย์ จูณา

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตามมาตรฐาน

IEC62196 สำหรับรถไถไฟฟ้า

Electrical energy storage system from solar cell and IEC62196
charging standard for electric tractors.



นายชัยวัฒน์ แก้วพลอย

นายพรดน้อย พุดเกลี้ยง

นายพลทิตย์ จูณา

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical energy storage system from solar cell and IEC62196
charging standard for electric tractors



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 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตาม
มาตรฐาน IEC62196 สำหรับรถไถไฟฟ้า

Electrical energy storage system from solar cell and
IEC62196 charging standard for electric tractors.

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายชัยวัฒน์ แก้วพลอย รหัสนักศึกษา 62015030

นายพรดน้อย พุดเกลี้ยง รหัสนักศึกษา 62015079

นายพลไทย์ จูเภา รหัสนักศึกษา 62015083

ปริญญา


วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา

2564

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร. ทวีพล ชื้อสัตย์	
รศ.รอ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC62196 สำหรับรถไถไฟฟ้า

Electrical energy storage system from solar cell and IEC 62196 charging standard for electric tractors.

นักศึกษาผู้จัดทำ

นายชัยวัฒน์ แก้วพลอย รหัสนักศึกษา 62015030

นายพรดน้อย พุดเกลี้ยง รหัสนักศึกษา 62015079

นายพลไทย์ จูเกา รหัสนักศึกษา 62015083

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ทวีพล ชื้อสตัย

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รศ.ร.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน

ปีการศึกษา

2564

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและการออกแบบระบบชาร์จประจุในยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 62196 Type II ร่วมกับการชาร์จด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells) มีพลังงาน 270 W แรงดันไฟฟ้า 38.5 V กระแส 9.08A โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟต ในยานยนต์ไฟฟ้าทางการเกษตร ให้สามารถนำไปใช้กับสถานีชาร์จประจุที่เป็นมาตรฐาน IEC 62196 Type II ได้ อีกทั้งยังสามารถ ชาร์จประจุไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells) ในโครงการนี้ได้พัฒนา ระบบกักเก็บพลังงานให้แกยานยนต์ไฟฟ้าอเนกประสงค์เพื่อเกษตรกรรม ที่มี Brushless DC Motor ขนาด 2,200 วัตต์ ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟตที่มีแรงดันขนาด 48 V 30 Ah พลังงาน 1536 Wh จากการทดลองพบว่าระบบที่ออกแบบนี้สามารถใช้งานได้ดี นอกจากสามารถ ตรวจสอบสถานะทางไฟฟ้าในขณะที่ชาร์จประจุได้แล้ว ยังสามารถตรวจสอบสถานะในขณะที่ขับขี่ได้อีกด้วย สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าอื่นได้ทุกชนิด

Thesis Title Electrical energy storage system from solar cell and IEC62196 charging standard for electric tractors

Student Mr. Chaiwat Keakploy **Student ID.** 62015030

Mr. Phatcharadanai Phudkliang **Student ID.** 62015079

Mr. Palotai Jupao **Student ID.** 62015082

Thesis Advisor Assoc. Prof. Dr. Taweepol Suesul

Thesis Advisor Assoc.Prof.Dr. Werachet Khanngern

Year 2021

ABSTRACT

This thesis is to study and design charging systems for electric vehicles (IEC 62196 Type II standard) with solar powered by solar panels of type. The Monocrystalline Silicon Solar Cells with power of 270 W, voltage 38.5 V, 9.08A current was used to charge an energy to storage system using lithium phosphate batteries. In agricultural electric vehicles, it can be applied to charging stations that are IEC 62196 Type II standard, and solar-powered electric charging is equipped with solar panels. The specification of energy storage system for agricultural multipurpose electric vehicles with 2,200 watt DC motor is 48 V 30 Ah 1536 Wh lithium phosphate batteries. In addition to being able to monitor the electrical status while charging, This system can also check the status while driving. It can be applied to other electric vehicles as well.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์.ดร. ทวีพล ชือสัตย์ และรองศาสตราจารย์ร้อยเอก.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า อันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	XI
สารบัญรูป	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่	4
2.2 แบตเตอรี่	5
2.2.1 กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ (Battery Pack)	5
2.3 เทคโนโลยีแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	6

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4 ประเภทของแบตเตอรี่.....	10
2.4.1 แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว (Lead Acid Battery).....	11
2.4.1.1 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว สำหรับติดเครื่องยนต์.....	12
2.4.1.2 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle หรือ Traction battery.....	12
2.4.1.3 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Stationary.....	12
2.4.2 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium).....	13
2.4.3 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH Battery).....	14
2.4.4 แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery).....	15
2.4.4.1 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮไดรด์ NCM.....	16
2.4.4.2 แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ NCA.....	17
2.4.4.3 แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ LCO.....	18
2.4.4.4 แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ LMO.....	19
2.4.4.5 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต LFP.....	20
2.4.4.6 แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนด LTO(Anode).....	21
2.4.5 แบตเตอรี่ประเภทเมทัล-แอร์(Metal-Air Battery).....	22
2.5 เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ Battery Management System (BMS).....	27
2.6 Lithium Battery Safety Requirement.....	30
2.6.1 กระบวนการ Thermal runaway effect หรือ กระบวนการ Domino effect.....	30
2.7 เทคโนโลยีโซลาร์เซลล์และชนิดของโซลาร์เซลล์.....	32

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7.1 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline).....	34
2.7.2 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline).....	35
2.8 รูปแบบการนำโซลาร์เซลล์ไปใช้งานโดยมีด้วยกัน 3 ระบบ.....	38
2.8.1 ระบบออฟกริด (Off Grid) หรือ แบบอิสระ (Stand Alone).....	38
2.8.2 ระบบออนกริด (On Grid) หรือ แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟการไฟฟ้า	39
2.8.3 ระบบไฮบริดส์ (Hybrid) หรือแบบผสม	41
2.9 เทคโนโลยีการประจุไฟฟ้า	42
2.9.1 การชาร์จประจุไฟฟ้า.....	42
2.9.1.1 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบปกติ (Normal Charge).....	42
2.9.1.2 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charge)	44
2.9.1.3 การแบ่งประเภทการชาร์จตาม Mode.....	45
2.9.2 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า.....	47
2.9.2.1 เทคโนโลยีของสหภาพยุโรป : มาตรฐาน IEC 62196	47
2.9.2.2 เทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกา : มาตรฐาน SAE J1772.....	48
2.9.2.3 เทคโนโลยีของญี่ปุ่น : มาตรฐาน CHAdeMO	50
2.9.2.4 เทคโนโลยีของจีน : มาตรฐาน GB/T	51
2.9.2.5 มาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับประเทศไทย	52
2.9.3 การเชื่อมต่อระหว่าง EV Station และ EV Car.....	54
2.10 การคำนวณค่าไฟฟ้า.....	55

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.10.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้ไฟฟ้า	55
2.10.2 การแบ่งประเภทการใช้ไฟฟ้า	56
2.10.2.1 ประเภทที่ 1 (บ้านอยู่อาศัย)	56
2.10.2.2 ประเภทที่ 2 (กิจการขนาดเล็ก)	56
2.10.2.3 ประเภทที่ 3 (กิจการขนาดกลาง)	56
2.10.2.4 ประเภทที่ 4 (กิจการขนาดใหญ่)	57
2.10.2.5 ประเภทที่ 5 (กิจการเฉพาะอย่าง)	57
2.10.2.6 ประเภทที่ 6 (องค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร)	57
2.10.2.7 ประเภทที่ 7 (สูบน้ำเพื่อการเกษตร)	57
2.10.3 การคำนวณค่าไฟฟ้า	58
2.10.3.2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)	58
2.10.3.3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (Vat)	59
2.11 การคำนวณการใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	59
2.12 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	62
2.12.1 Battery LiFePo4 3.3Volt 6000mA	62
2.12.2 BMS (Battery Management System)	62
2.12.3 High Voltage DC Step-up 12-60Volt to 12-80Volt DC 10A 600W	63
2.12.4 Circuit Breaker DC 12-100Volt 2P 10A	64
2.12.5 Adapter Charger Battery LifePo4 220Volt to 48Volt DC to AC 10A 580W	65

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.11.6 Sola Module Type: OSM60-156M-270W	66
2.12.7 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle ขนาด 12Volt 120Ah	67
2.12.8 Battery capacity Voltage.....	67
บทที่3 การออกแบบและวิธีการดำเนินการ.....	69
3.1 การออกแบบระบบของยานยนต์ไฟฟ้า	69
3.1.1 การออกแบบระบบย่อยๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า	69
3.1.2 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า	70
3.1.2.1 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่.....	70
3.1.2.2 การคำนวณออกแบบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ที่นำไปใช้ในรถไฟฟ้า	70
3.1.2.3 การประกอบชุดโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส	72
3.1.3 การคำนวณออกแบบ Solar Cell เพื่อนำไปใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า	74
3.2 ขั้นตอนการทำงานของ Charger System.....	78
3.2.1 Volt & Amp Meter.....	79
3.2.2 High Voltage DC Step-up 12-60Volt to 12-80Volt DC 10A 600W	79
3.2.3 On Board Charger 220Volt to 48Volt 10A.....	79
3.2.4 วงจรมาตรฐาน Type 2 ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับสถานีชาร์จประจุ.....	80
3.2.5 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ภายในตัวรถไฟฟ้า.....	80
3.2.5.1 อุปกรณ์ภายใน Charger Box.....	81
3.3 การแสดงผลของ Battery Capacity Voltage.....	82

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การตั้งค่าจอแสดงผลของ Battery Capacity Voltage	83
บทที่4 ผลการทดลอง.....	86
4.1 กล่าวนำ.....	86
4.2 การทดลองการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ.....	87
4.2.1 ผลการการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ.....	87
4.2.2 ผลการทดลองจับเวลาการชาร์จประจุของระบบการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ.....	88
4.3 การทดลองระบบกักเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์.....	91
4.4 การทดลองระยะเวลาการ Discharging ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส.....	102
4.4.1 การทดลองที่ 1.....	103
บทที่5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ.....	111
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	111
5.1.2 ปัญหาที่พบ.....	112
5.1.3 แนวทางการแก้ปัญหา.....	112
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	112
บรรณานุกรม.....	114
ภาคผนวก ก.....	115

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข.....	120
ประวัติผู้เขียน.....	135



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 2.1	ตารางเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า 26
ตารางที่ 2.2	มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย 53
ตารางที่ 2.3	โหมตการชาร์จและค่าความต้านทาน..... 54
ตารางที่ 2.4	ค่า Amp และ Duty cycle ที่ได้จากสมการ..... 55
ตารางที่ 4.1	การทดลองการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ..... 87
ตารางที่ 4.2	การทดลองจับเวลาการชาร์จโดยใช้มิเตอร์ไฟฟ้าในการวัดแรงดัน..... 88
ตารางที่ 4.3	การทดลองวัดแรงดันโดยใช้ Battery capacity voltage..... 89
ตารางที่ 4.4	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 12.30 น..... 91
ตารางที่ 4.5	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 13.00 น..... 91
ตารางที่ 4.6	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 13.30 น..... 92
ตารางที่ 4.7	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 14.00 น..... 92
ตารางที่ 4.8	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 14.30 น..... 93
ตารางที่ 4.9	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 15.00 น..... 93
ตารางที่ 4.10	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 15.30 น..... 94
ตารางที่ 4.11	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 16.00 น..... 94
ตารางที่ 4.12	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 12.30 น..... 95
ตารางที่ 4.13	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 13.00 น..... 95
ตารางที่ 4.14	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 13.30 น..... 96
ตารางที่ 4.15	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 14.00 น..... 96
ตารางที่ 4.16	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 14.30 น..... 97
ตารางที่ 4.17	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 15.00 น..... 97
ตารางที่ 4.18	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 15.30 น..... 98
ตารางที่ 4.19	การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 16.00 น..... 98
ตารางที่ 4.20	ค่าเฉลี่ยของระบบกักเก็บพลังงานที่ได้จากระบบโซล่าเซลล์ 99

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 4.21 การทดลองโดยให้รถไถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยไม่มี ภาระโหลด	103
ตารางที่ 4.22 การทดลองวิ่งทางเรียบในระยะทาง 100ม.....	105
ตารางที่ 4.23 การทดลองวิ่งทางขรุขระในระยะทาง 100ม.....	107
ตารางที่ 4.24 การทดลองวิ่งทางทุ่งหญ้าในระยะทาง 100ม.....	109



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV).....	4
รูปที่ 2.2 กล่องแบตเตอรี่ และการจัดวางของโมดูลแบตเตอรี่ในกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่.....	5
รูปที่ 2.3 ภาพหลักการทำงานของแบตเตอรี่.....	7
รูปที่ 2.4 สมรรถนะแบตเตอรี่ในมิติต่าง ๆ	8
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติด้าน C-rate, SOC และ%DODของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ	10
รูปที่ 2.6 กราฟค่าพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภท.....	16
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ NCM.....	17
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์ NCA	18
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ LCO	19
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ LMO.....	20
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต LFP	21
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนด LTO(Anode)	22
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air.....	23
รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างแบตเตอรี่ที่ใช้Zn เป็นขั้วแอโนดและแบตเตอรี่ Zn-Air	23
รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบค่าพลังงานของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ ที่ทำได้จริงกับทางทฤษฎี	24
รูปที่ 2.16 ห่วงโซ่คุณค่าสำหรับแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า.....	26
รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน.....	29
รูปที่ 2.18 องค์ประกอบการเกิดเพลิงไหม้	30
รูปที่ 2.19 กระบวนการ Domino effect	31
รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์ (Solar Cell).....	32
รูปที่ 2.21 การทำงานของโซลาร์เซลล์ (Solar Cell).....	33
รูปที่ 2.22 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline)	34
รูปที่ 2.23 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline)	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.24 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film).....	36
รูปที่ 2.25 การต่อโซลาร์เซลล์ ระบบออฟกริด (Off Grid) หรือ แบบอิสระ (Stand Alone).....	38
รูปที่ 2.26 การต่อโซลาร์เซลล์ ระบบออนกริด (On Grid) หรือ แบบเชื่อมต่ออิงกับระบบไฟการไฟฟ้า	40
รูปที่ 2.27 การต่อโซลาร์เซลล์ ระบบไฮบริดส์ (Hybrid) หรือแบบผสม	41
รูปที่ 2.28 สายประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1.....	43
รูปที่ 2.29 ตัวอย่างเครื่องประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2.....	44
รูปที่ 2.30 การชาร์จประจุไฟฟ้าการชาร์จประจุไฟฟ้าแบบปกติและการชาร์จประจุไฟฟ้าแบบเร็ว	45
รูปที่ 2.31 รูปแบบการชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมดต่าง ๆ	46
รูปที่ 2.32 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า	47
รูปที่ 2.33 รายละเอียดของ J1772 connector และ EV Socket	48
รูปที่ 2.34 รายละเอียดของ J1772 Combo connector และ Combo EV Socket.....	49
รูปที่ 2.35 การทำงานร่วมเข้ากันได้ของมาตรฐานของ Combo socket และ Combo connectors.....	50
รูปที่ 2.36 หัวปลั๊กและเต้ารับตามมาตรฐาน CHAdeMO	51
รูปที่ 2.37 รายละเอียดของ GB/T 20234.2-2001	52
รูปที่ 2.38 หัวปลั๊กและเต้ารับแบบ IEC 62196 Type 2 (ก) และแบบ CCS Combo 2 (ข)	53
รูปที่ 2.39 รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่าง EV Station กับ EV car	54
รูปที่ 2.40 ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 1	58
รูปที่ 2.41 Battery LiFePo4.....	62
รูปที่ 2.42 BMS (Battery Management System).....	63
รูปที่ 2.43 High Voltage DC Step-up 12-60Volt to 12-80Volt DC 10A 600W.....	64
รูปที่ 2.44 Circuit Breaker DC 12-100V 2P 10A.....	65
รูปที่ 2.45 Adapter Charger Battery LifePo4 220Volt to 48Volt DC to AC 10A 580W	66
รูปที่ 2.46 Sola Module Type: OSM60-156M-270W	66

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.47 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle	67
รูปที่ 2.48 Battery capacity Voltage	68
รูปที่ 3.1 โครงสร้างการออกแบบ	69
รูปที่ 3.2 แบตเตอรี่ลิเทียม LiFePo4.....	70
รูปที่ 3.3 การแพ็คแบตเตอรี่ขนาด 16S 5P	72
รูปที่ 3.4 วงจร Battery Management System(BMS).....	73
รูปที่ 3.5 การติดตั้ง BMS เข้ากับโมดูลแบตเตอรี่	73
รูปที่ 3.6 การหุ้มเทปกั้นความร้อนของชุดโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสขนาด 51.2Volt 30Ah.....	74
รูปที่ 3.7 การหุ้มด้วยฟิล์มหัดของชุดโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสขนาด 51.2Volt 30Ah.....	74
รูปที่ 3.8 แผงโซล่าเซลล์ ติดตั้งบนหลังคารถไฟฟ้า.....	76
รูปที่ 3.9 ปรับแรงดันของโซล่าเซลล์จาก Step-Up	76
รูปที่ 3.10 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบทั้งหมด.....	77
รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์และระบบการอัดประจุตาม มาตรฐานCE62196.....	78
รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการเชื่อมต่อ และตัวต้านทานค่าต่างๆ ที่ทำให้กระแสเอาต์พุตต่างกัน	80
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งของอุปกรณ์บนตัวรถไฟฟ้า.....	80
รูปที่ 3.14 การจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง Charger Box.....	81
รูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงผลของ Battery Capacity Voltage	82
รูปที่ 3.16.....	83
รูปที่ 3.17.....	84
รูปที่ 3.18.....	84
รูปที่ 3.19.....	85
รูปที่ 3.20.....	85

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.1 รถไฟฟ้าโดยไม่มีการต่อภาระโหลด	102
รูปที่ 4.2 รถไฟฟ้าโดยมีการต่อภาระโหลด	102
รูปที่ 4.3 หน้าจอแสดงผลขณะใช้งาน	106
รูปที่ 4.4 การทดลองวิ่งทางเรียบในการทดลองวิ่งทางเรียบ	106
รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผลขณะใช้งานในการทดลองวิ่งทางขรุขระ	107
รูปที่ 4.6 การทดลองวิ่งทางขรุขระ	108
รูปที่ 4.7 การทดลองวิ่งทางทู่หญ้าในการทดลองวิ่งทางทู่หญ้า	109
รูปที่ 4.8 การทดลองวิ่งทางทู่หญ้า	110

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันบริษัทในอุตสาหกรรมยานยนต์ยักษ์ใหญ่ทั่วโลกให้ความสำคัญแก่พลังงานทางเลือกใหม่ๆที่จะมาทดแทนน้ำมัน และแก๊สธรรมชาติที่กำลังจะหมดลงเรื่อย ๆ โดยพลังงานจำพวกนี้ยังส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดแก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบันซึ่งมีความร้ายแรงต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิต นั่นจึงเป็นสาเหตุที่บริษัทในอุตสาหกรรมยานยนต์ยักษ์ใหญ่ทั่วโลก เกิดการเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญจากยานยนต์สันดาปภายในธรรมดาที่มีแหล่งพลังงานหลักที่เป็นจำพวกกลุ่มน้ำมัน และกลุ่มแก๊สธรรมชาติ เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเริ่มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้ามาเป็นปัจจัยร่วมในการขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้า โดยชนิดของยานยนต์ไฟฟ้ามีด้วยกัน BEV HEV PHEV และFCV ซึ่งเป็นโมเดลยานยนต์ไฟฟ้าชนิดหลักๆที่ใช้งานกันอยู่ในยุคปัจจุบัน ซึ่งในการกับเก็บพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้านั้นจำเป็นจะต้องมีมาตรฐานการชาร์จประจุไฟฟ้าที่สามารถใช้ร่วมกันที่หลากหลายโดยการนำมาตรฐานการชาร์จประจุไฟฟ้าเข้ามาเป็นเกณฑ์การใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น สหภาพยุโรปใช้มาตรฐาน IEC 62196 สหรัฐอเมริกาใช้มาตรฐาน SAE J1772 ญี่ปุ่นใช้มาตรฐาน CHAdeMO จีนใช้มาตรฐาน GB/T สำหรับประเทศไทยมาตรฐานการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ คือ IEC 62196 Type 2 และสำหรับมาตรฐานการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง คือ CCS Combo 2

สำหรับกลุ่มยานยนต์ในอุตสาหกรรมการเกษตรของเครื่องยนต์สันดาปภายใน นั้นยังก่อให้เกิดการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีส่วนทำให้เกิดภาวะโลกร้อน จึงทำให้เห็นถึงความสำคัญของกลุ่มยานยนต์พลังงานไฟฟ้าเพื่อการเกษตร ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า 100% แต่กระแสของยานยนต์ไฟฟ้าได้เข้ามาในประเทศไทยนานแล้ว จึงทำให้กลุ่มบุคคลบางกลุ่มที่ได้มีการประกอบยานยนต์ไฟฟ้าใช้กันเอง และยังคงชาร์จประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่ในแบบปลั๊กมาตรฐานตามบ้านเรือนอยู่ ไม่สามารถนำมาชาร์จกับสถานีชาร์จที่เป็นมาตรฐานได้ ดังนั้น Project นี้ จึงจัดทำขึ้นเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาข้างต้น กลุ่มผู้จัดทำจึงทำการสร้างและออกแบบระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC62196 สำหรับรถไฮไฟฟ้า 100% โดยสร้างกล่องควบคุมการชาร์จเพื่อให้สามารถชาร์จกับสถานีชาร์จมาตรฐานได้ และเสริมด้วยการชาร์จด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานให้กับตัวรถไฟฟ้า อีกทั้งยังได้ออกแบบระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าหรือรถไฮพลังงานไฟฟ้าทางเกษตรกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อออกแบบระบบชาร์จแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV)ตามมาตรฐาน IEC 62196 Type II ให้กับรถไฮไฟฟ้าเอนกประสงค์
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบชาร์จด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในการชาร์จแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV)
- 1.2.3 เพื่อศึกษาระบบจัดการแบตเตอรี่ลิเทียมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.3.1 สร้างระบบกักเก็บพลังงานในยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 62196 Type II ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.3.2 ใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นระบบชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานทางเลือก ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาตั้งแต่ส่วนประกอบของยานยนต์ไฟฟ้า มาตรฐานการชาร์จ ระบบขับเคลื่อน ระบบแบตเตอรี่ รวมทั้งการนำความรู้ที่ได้จากการเรียนที่ผ่านมาประยุกต์ใช้ให้เกิดเป็นโครงงานดังกล่าว
- 1.3.3 พัฒนาระบบกักเก็บพลังงานประจุในยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 Type II สำหรับรถไฮไฟฟ้าทางการเกษตร ที่มีสเปคมอเตอร์กระแสตรงขนาด 2,200 วัตต์ และใช้แบตเตอรี่ลิเทียมฟอสเฟสที่มีแรงดันขนาด 48 โวลต์ 20 แอมแปร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 สามารถวางแผนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.3 ช่วยให้เข้าใจหลักการทำงานของระบบรถยนต์ไฟฟ้า และการเลือกแบตเตอรี่ให้

เหมาะสมกับการใช้งาน

1.4.4 สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1.5.1 ศึกษาส่วนประกอบของแบตเตอรี่แต่ละชนิดของระบบ เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานในเบื้องต้น ชนิดของแบตเตอรี่ การคำนวณขนาดแบตเตอรี่ เพื่อที่จะสามารถนำระบบมาเชื่อมต่อได้อย่างถูกต้อง

1.5.2 ศึกษาการให้พลังงานของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานและการนำไปใช้อย่างถูกต้องในเบื้องต้น

1.5.3 ศึกษามาตรฐานการชาร์จแบบต่างๆ โดยเน้นไปที่มาตรฐานการชาร์จโดยใช้หัวปลั๊กแบบ type II ซึ่งจะมีวงจรติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีชาร์จแต่ตัวรถ เพื่อความปลอดภัยในการชาร์จ

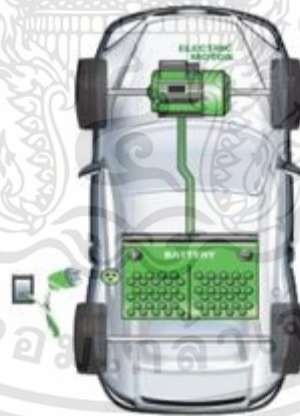
1.5.4 ศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับการลดระดับแรงดันโดยใช้วงจร Voltage divider เพื่ออ่านค่าแรงดัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่

ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังสำหรับให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เท่านั้น ตามรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ามีความเรียบง่ายในการจัดวางอุปกรณ์ ไม่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในอื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จะขึ้นอยู่กับการออกแบบ ขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันบริษัทรถยนต์ได้มีการผลิตและจำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ขึ้นในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น จีน ญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ทั้งนี้ เพราะเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่ดีขึ้นและราคาจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่มีความเป็นไปได้มากขึ้น โดยโครงการนี้เราจะเน้นยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV)



รูปที่ 2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV)

2.2 แบตเตอรี่

2.2.1 กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ (Battery Pack)

ชุดแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยของเซลล์แบตเตอรี่จำนวนมาก ดังรูปที่ 2.2 โดยแสดงถึงการจัดวางของโมดูลแบตเตอรี่ในกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ แต่ละโมดูลจะประกอบด้วยเซลล์ย่อย เซลล์ย่อยแต่ละเซลล์ทำงานได้ด้วยการบรรจุสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่ติดไฟได้อยู่ภายใน และเป็นที่รู้กันว่าการคายประจุหรือรับการอัดประจุในสถานะที่ไม่เหมาะสมสามารถนำไปสู่กระบวนการ Thermal runaway ได้ คือ สถานะการทำงานที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดความร้อนปริมาณมากกว่าปกติ แล้วความร้อนนั้นจะนำไปสู่กระบวนการทางเคมีระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ ที่ให้เกิดความร้อนที่เพิ่มขึ้น จนในที่สุด ปริมาณความร้อนมีปริมาณที่มากจนเกิดการลุกติดไฟได้ในชุดแบตเตอรี่ เพื่อเป็นการป้องกันการติดไฟลุกไหม้กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่จะมีการออกแบบระบบหล่อเย็นเพื่อป้องกันกระบวนการ Thermal runaway



รูปที่ 2.2 กล่องแบตเตอรี่ และการจัดวางของโมดูลแบตเตอรี่ในกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่

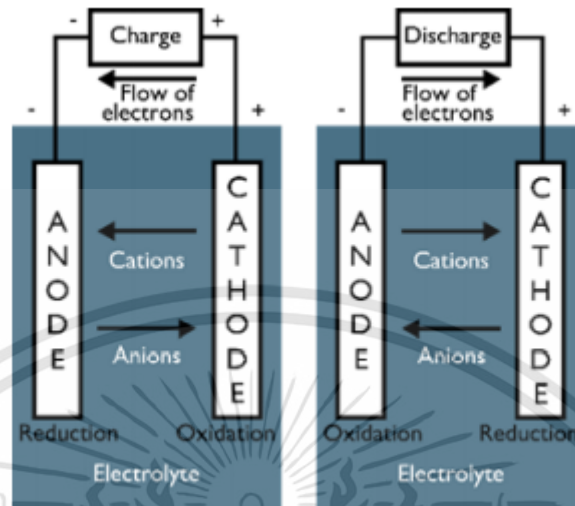
การติดตั้งชุดแบตเตอรี่ ในปัจจุบันมีตำแหน่งโดยปกติอยู่จะติดอยู่ที่พื้นของห้องโดยสาร กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่จึงต้องถูกออกแบบมาให้มีความแข็งแรงในหลายลักษณะ เพื่อทนต่อของมีคมที่อาจจะวิ่งเข้ามาทะลุทะลวงกล่องบรรจุทำให้เกิดความเสียหายได้เมื่อขับขี่ด้วยความเร็ว ซึ่งจะยกกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นกับรถ Tesla model S ที่แม้ว่าจะมีกล่องบรรจุที่แข็งแรงและมีแผ่นปกป้องการเจาะทะลุอีกชั้นที่ด้านหน้าของตัวรถก็เกิดเหตุเศษโลหะที่อยู่บนถนนกระเด็นเจาะเข้าไปทำให้ความเสียหายแก่ชุดแบตเตอรี่ และนำไปสู่เพลิงไหม้ได้ จึงนำไปสู่แนวทางการออกแบบอีกส่วน ก็คือกล่องบรรจุนี้ต้องปกป้องการลุกลาม

ของไฟได้ ไม่ให้เข้าสู่ห้องโดยสาร ซึ่งในกรณีดังกล่าว รถ Tesla model S ออกแบบในลักษณะนี้ไว้ได้ดี ทำให้ผู้โดยสารหนีออกจากห้องโดยสารได้แม้เกิดไฟไหม้กับชุดแบตเตอรี่โดยไม่มีอันตราย

นอกจากประเด็นความแข็งแรงแล้ว ทางผู้ผลิตต้องจัดทำระบบความปลอดภัยของแบตเตอรี่กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ (Battery pack) ต้องมีการป้องกันการสัมผัสโดยตรง และมีการทำเครื่องหมายเพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงประเภทของกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ และจุดที่ห้ามสัมผัสภายในระบบไฟฟ้าภายในส่วนอุปกรณ์ภายในของแบตเตอรี่ ต้องมีเซนเซอร์วัดระดับอุณหภูมิทั้งในระดับเซลล์และระดับโมดูลย่อย เพื่อทำงานกับระบบป้องกันแบตเตอรี่ใหม่และลูกติดไฟของแบตเตอรี่ มีการแยกสีของสายไฟใช้สีส้มเพื่อแยกไฟฟ้าแรงสูงกับแรงต่ำ จากนั้น การแยกส่วนของระบบไฟฟ้าแรงสูงในกรณีอุบัติเหตุหรือกรณีฉุกเฉินต้องทำได้ด้วยอุปกรณ์เฉพาะที่เรียกว่าชุด Kill switch ที่ใช้ตัดแยกวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงได้อย่างฉับพลัน โดยต้องเข้าถึงได้ง่ายโดยช่างเทคนิคหรือหน่วยกู้ภัยในกรณีเกิดเหตุ นอกจากนี้ การแยกส่วนของระบบไฟฟ้าแรงสูงในกรณีอุบัติเหตุหรือกรณีฉุกเฉินต้องทำได้ด้วยอุปกรณ์เฉพาะที่เรียกว่าชุด Kill switch ที่ใช้ตัดแยกวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงได้อย่างฉับพลัน โดยต้องเข้าถึงได้ง่ายโดยช่างเทคนิคหรือหน่วยกู้ภัยในกรณีเกิดเหตุ

2.3 เทคโนโลยีแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

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



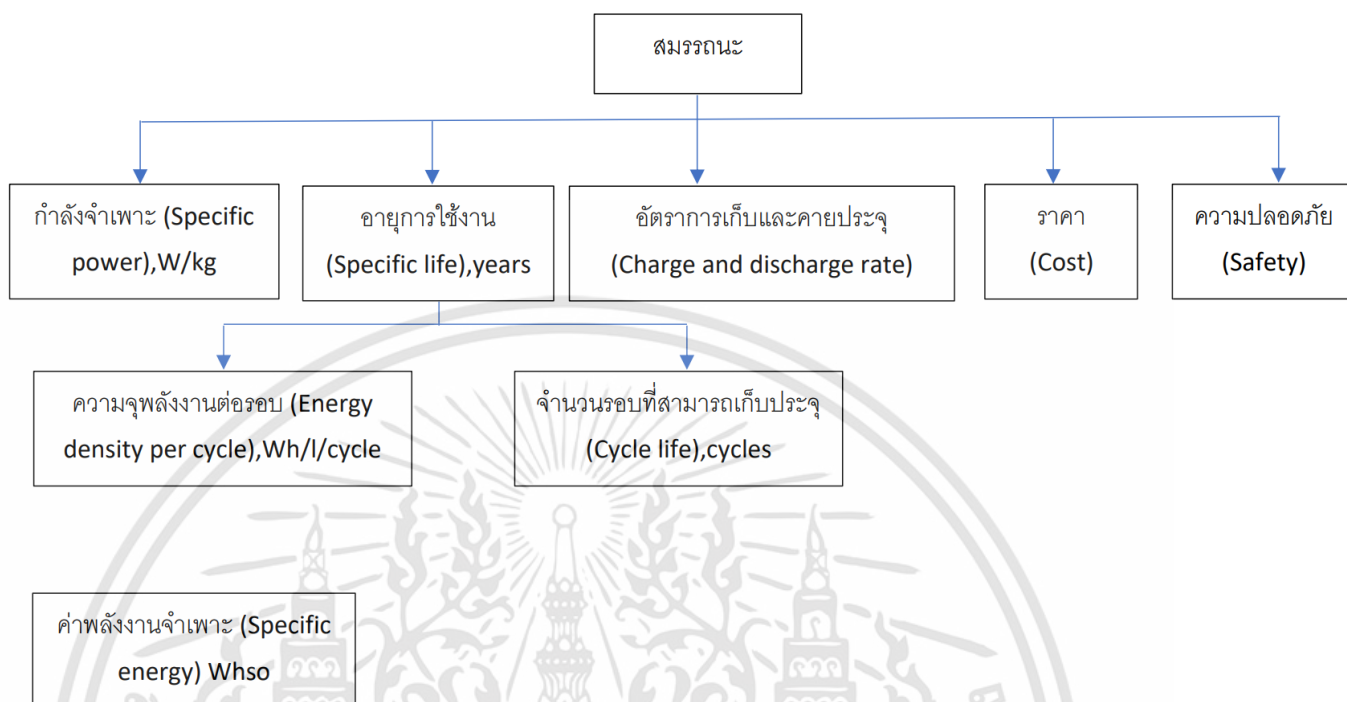
รูปที่ 2.3 ภาพหลักการทำงานของแบตเตอรี่

เมื่อพิจารณาประเภทของแบตเตอรี่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

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

โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าจะเป็นแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี ของขั้วแคโทดและแอโนดที่แตกต่างกันหลายประเภท ดังต่อไปนี้

การวัดสมรรถนะของแบตเตอรี่สามารถวัดได้หลายมิติ โดยมีมิติที่สำคัญได้แก่ กำลังจำเพาะ (Specific power, W/kg) อายุการใช้งาน (Service life) อัตราการเก็บและคายประจุ (Charge and discharge rate) ราคาและความปลอดภัย (Cost and safety) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นกับ ความจุ (Capacity, Ah) และจำนวนรอบที่สามารถเก็บประจุ (Charge cycles) ซึ่งค่าความจุจะขึ้นกับ ค่าพลังงานจำเพาะ (Specific energy, Wh/kg) หรือค่าความหนาแน่นพลังงาน (Energy density, Wh/l) ดังนั้น องค์ประกอบในการพิจารณาสมรรถนะของแบตเตอรี่จึงเขียนได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สมรรถนะแบตเตอรี่ในมิติต่าง ๆ

นอกจากนี้ คำจำกัดความอื่น 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 1/2 ชั่วโมงกว่าจะหมด หรือ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยอัตรากระแสที่จะทำให้แบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 1/2 ชั่วโมง

C/4 หมายถึง แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสออกไปโดยใช้เวลา 4 ชั่วโมงกว่าจะหมด หรือ แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุด้วยอัตรากระแสที่จะทำให้แบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 4 ชั่วโมง

2. DOD (Depth of discharge) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความจุที่แบตเตอรี่ถูกใช้ไปเทียบกับ ความจุทั้งหมด เช่น

10% DOD หมายถึง แบตเตอรี่ถูกใช้งานไป 10% และเหลือความจุอยู่ 90%

80% DOD หมายถึง แบตเตอรี่ถูกใช้งานไป 80% และเหลือความจุอยู่ 20% เป็นต้น โดยการใช้งานแบตเตอรี่ในงานแต่ละประเภท DOD ที่แบตเตอรี่ต้องเจอบ่อย ๆ นั้นจะอยู่ในระดับที่ไม่เท่ากัน เช่นในยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ขับเคลื่อนทั้งหมด DOD จะอยู่ระหว่าง 20% ในขณะที่รถประเภทไฮบริดนั้น DOD ของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ 40%

3. SOC (State of charge) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความจุที่แบตเตอรี่มีอยู่ เช่น

10% SOC หมายถึง แบตเตอรี่มีความจุอยู่ 10%

80% SOC หมายถึง แบตเตอรี่มีความจุอยู่ 80%

โดยการใช้งานแบตเตอรี่ในงานแต่ละประเภท SOC ที่แบตเตอรี่ต้องเจอบ่อย ๆ นั้นจะอยู่ในระดับที่ไม่เท่ากันเช่นเดียวกับ DOD เช่นยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ขับเคลื่อนทั้งหมด SOC จะอยู่ระหว่าง 20-95%ในขณะที่ยานยนต์ไฮบริด นั้น SOC ของแบตเตอรี่จะอยู่ที่ระดับ 40-80%

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

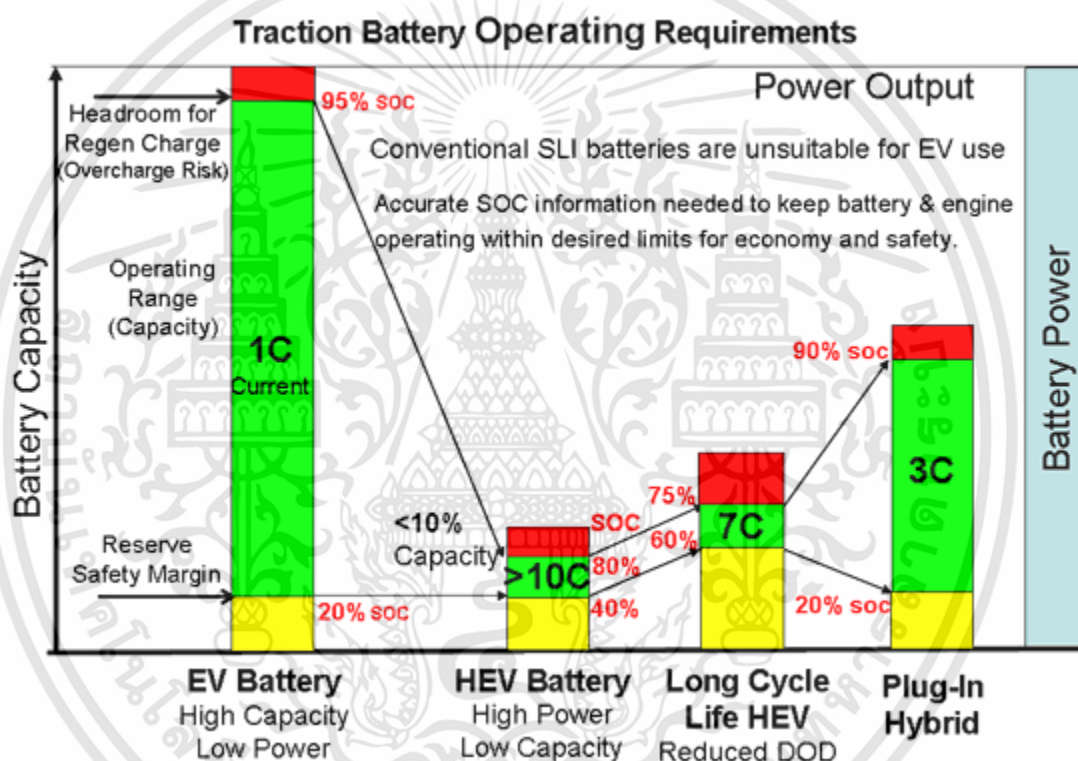
$P/E = 2:1$ ของแบตเตอรี่ 1 kWh หมายความว่า แบตเตอรี่จะมีศักยภาพในการให้กำลังไฟฟ้าเป็น 2 kW

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

ทั้งนี้แบตเตอรี่ที่มีค่า P/E ratio สูงจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็น High power batteryซึ่ง มักจะถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงเป็นช่วงสั้นๆ เช่น ใช้สำหรับการติดเครื่องยนต์ หรือ สำหรับการเร่งเครื่องยนต์เท่านั้นแต่ไม่ใช่เป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อน

การใช้งานแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ นั้นจะมีความแตกต่างกันตาม ลักษณะการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ จะมีความ แตกต่างกันใน

ด้านต่าง ๆ เช่น วัสดุที่ใช้สร้างแบตเตอรี่ โครงสร้างของแบตเตอรี่ ความจุประจุและค่า ความต่างศักย์ของ แบตเตอรี่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ ชนิดนั้น รวมไปถึง ลักษณะการใช้งาน เช่น อุณหภูมิที่ใช้ หรือปริมาณไฟที่ถูกใช้ไป หรืออัตราการอัด ประจุ (C-rate) หรือ ปริมาณประจุของแบตเตอรี่ (SOC) ณ ขณะนั้น ส่วนอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้งาน ความรวดเร็วในการดึงพลังงานไปใช้ (Load level) ชนิดและลักษณะ อนุภาคของส่วนประกอบขั้ว ชนิด ของอิเล็กโทรไลต์ และ %DOD เป็นต้น



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติด้าน C-rate, SOC และ%DODของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ

2.4 ประเภทของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่นั้นมีด้วยกันหลายประเภทและแต่ละประเภทจะมีข้อจำกัดในการใช้งานที่ต่างกัน ดังนั้น ควรเข้าใจความหลักการทำงานของแบตเตอรี่ในๆแต่ละชนิดก่อนจะนำไปใช้งานโดยแบตเตอรี่

2.4.1 แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว (Lead Acid Battery)

แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วถูกคิดค้นขึ้นมาครั้งแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1859 โดย Gaston Plante และได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 โดยปัจจุบันเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้กันมากที่สุดใดยานยนต์ โดยใช้เป็นแบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจาก แบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคาถูกเนื่องจากวัสดุที่ใช้สามารถหาได้ง่ายและมีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน แบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วมีขั้วลบทำจากตะกั่วที่มีลักษณะพรุน (Porous lead) ส่วนขั้วบวกเป็น ตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) ที่มีลักษณะพรุนเช่นเดียวกัน โดยมีกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้นเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์และมีปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นขั้วทั้งสองในระหว่างการใช้งาน (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 ปฏิกิริยานี้จะเกิดการย้อนกลับทำให้สามารถนำ แบตเตอรี่กลับมาใช้งานได้อีก ขั้วทั้งสองนี้มีลักษณะพรุนเพื่อให้มีพื้นที่ผิวที่จะทำปฏิกิริยาซึ่งก่อให้เกิด ไฟฟ้าได้มากขึ้นและส่งผลให้มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น การปล่อยแบตเตอรี่ให้อยู่ในสถานะที่ไฟหมดเป็น เวลานานทำให้เกิดผลึก $PbSO_4$ ขนาดใหญ่ซึ่งไปอุดตันรูพรุนเหล่านี้ ส่งผลให้ความต้านทานไฟฟ้าของ ขั้วเพิ่มสูงขึ้นและเกิดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ในที่สุด นอกจากนี้บางครั้งเกิดการรวมตัวของ H^+ เป็นก๊าซ H_2 และ O_2 เป็นก๊าซ O_2 แพร่ออกจากแบตเตอรี่ดังนั้นจึงต้องมีการเติมน้ำกลั่นอยู่เสมอเพื่อ ทดแทน H^+ และ O_2 ที่เสียไป อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่สมัยใหม่นั้นไม่ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยครั้ง เนื่องจากกล่องของแบตเตอรี่ ได้ถูกออกแบบมาให้เอื้ออำนวยต่อการรวมตัวของก๊าซไฮโดรเจนและ ออกซิเจนให้กลั่นตัวเป็นน้ำ (Sealed/valve regulated lead acid battery หรือ Gel battery) แบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วมีความจุพลังงานต่อน้ำหนักและปริมาตรต่ำ การใช้งานใดยานยนต์จึงมักใช้ สำหรับการติดเครื่องยนต์ในรถยนต์ขนาดทั่วไป แต่ก็เป็นที่นิยมใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า ขนาดเล็กเป็นอย่างมาก โดยแบตเตอรี่กรดตะกั่วสามารถแบ่งประเภทย่อยได้อีก 3 ประเภท คือ

2.4.1.1 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว สำหรับติดเครื่องยนต์

Starting Lighting Ignition หรือ SLI Battery เป็นแบตเตอรี่กรดตะกั่วที่มี สัดส่วนการใช้งานมากที่สุด โดยถูกใช้สำหรับงานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูง เป็นระยะสั้น เช่น สำหรับ ติดเครื่องยนต์ ในรถยนต์ หรือติดเครื่องยนต์สำหรับเครื่องจักร ทั้งนี้ แบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์จะ มีอายุการใช้งาน สั้น ประมาณ 1.5 - 3 ปี

2.4.1.2 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle หรือ Traction battery

เป็นแบตเตอรี่ที่สำหรับใช้งานที่ต้องมีการจ่ายกระแสต่อเนื่องเป็นระยะ เวลานาน โดยมีการใช้งานอยู่หลายประเภท เช่น สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า รถกอล์ฟ รถ forklift อุปกรณ์ทางการแพทย์ หรือสำหรับเก็บไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่น เช่นจากเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ จากกังหันลม เป็นต้น

2.4.1.3 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Stationary

แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบมาให้สามารถจ่ายกระแสต่อเนื่อง เป็นระยะเวลานาน แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ต่างจากแบตเตอรี่ประเภท deep cycle โดยที่มักใช้งานใน สถานะ ประจุถูกอัดอยู่เต็มอยู่ตลอดเวลา และมีการใช้งานเป็นครั้งคราวเท่านั้น มักใช้เพื่อการสำรอง ไฟฟ้าเวลาฉุกเฉิน (UPS) และใช้งานอยู่กับที่ ดังนั้นความจุพลังงานต่อน้ำหนักจึงไม่มีความสำคัญเท่า แบตเตอรี่ ประเภท deep cycle ที่ต้องมีการเคลื่อนที่จึงมีขนาดค่อนข้างใหญ่กว่าแบตเตอรี่ประเภท อื่นที่ความจุ เดียวกันแบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกว่า 3 ปี และอาจจะใช้ งานได้นานถึง 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
- มีระเบียบที่เข้มงวดในการขนส่งโดยเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วแบบเปียก เพราะอาจเกิดการรั่วซึมของกรดออกจากแบตเตอรี่ได้

2.4.2 แบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium)

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียมเป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดอัลคาไลน์ชนิดแรก โดยชื่ออัลคาไลน์นั้นมาจากสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ซึ่งมีธาตุในหมู่อัลคาไลน์เป็นส่วนประกอบ เช่น สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ (KOH) เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่รู้จักในนาม “นิแคด” โดยนิแคดได้ถูกค้นพบมานานกว่าศตวรรษโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน แต่ไม่ได้นำเข้าสู่ตลาดจนกระทั่งช่วงเวลา 40 ปีที่ผ่านมา โดยข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้อยู่ที่ไม่ต้องการการดูแลรักษา เช่น การเติมน้ำกลั่น เก็บไว้ได้นานไม่ว่าจะอยู่ในสถานะที่มีประจุไฟฟ้าเต็มหรือไม่สามารถอัดประจุไฟฟ้าได้เร็ว ใช้ได้ที่อุณหภูมิต่ำและค่าความต่างศักย์ขณะใช้งานคงที่ อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ประเภทนี้มีข้อเสียคือราคาวัตถุดิบและราคาการผลิตที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วมากอีกทั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมี Memory effect ซึ่งหมายถึงสภาวะที่แบตเตอรี่เสื่อมเนื่องจากการถูกใช้งานไม่หมดก่อนถูกอัดประจุไฟฟ้าอีกครั้งและมีความสูญเสียทางประจุไฟฟ้า

มากกว่าแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วองค์ประกอบหลักของแบตเตอรี่ชนิดนี้มี Zn ซึ่งเป็นแคดเมียม (Cd) Zn เป็นนิเกิลออกไซด์ ($\text{NiO}(\text{OH})$) โดยมีสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่แบบอัลคาไลน์ซึ่งต่างจากแบตเตอรี่ชนิดกรดตะกั่วตรงที่อิเล็กโทรไลต์ไม่เข้าร่วมทำปฏิกิริยากับขั้วแบตเตอรี่โดยตรงเพียงแต่เป็นตัวนำไอออนเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแคดเมียมเป็นสารมีพิษที่ค่อนข้างร้ายแรง การใช้งานและพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้จึงไม่ได้รับการสนับสนุนมากนัก การพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้แบตเตอรี่ในแคดจึงมีอยู่น้อยมาก โดยสรุป แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม มีข้อดีและข้อด้อยดังต่อไปนี้

ข้อดี

- กำลังไฟสูง

ข้อด้อย

- แคดเมียมที่ใช้เป็นส่วนประกอบ เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
- มีปัญหา Memory Effect จึงไม่สามารถอัดประจุในขณะที่แบตเตอรี่ยังมีประจุเนื่องจากจะทำให้แบตเตอรี่ไม่จดจำระดับการอัดประจุสูงสุดได้

2.4.3 แบตเตอรี่ประเภทนิเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้อาศัยปฏิกิริยาเคมีที่มี Zn ซึ่งเป็นโลหะผสม (M) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิดเป็นเมทัลไฮไดรด์ได้ โดยโลหะพวกนี้มักมีตัวยอทางเคมีอยู่ในรูปแบบของ AB_2 หรือ AB_5 เช่น ZrNi_2 หรือ LaNi_5 ส่งผลให้แบตเตอรี่ประเภทนิเกิล-เมทัลไฮไดรด์มีความจุพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วมาก

ในด้านการพัฒนาด้านอายุการใช้งานและความปลอดภัยทำให้แบตเตอรี่แบบนิเกิล-เมทัลไฮไดรด์ได้ถูกนำไปใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าประเภทไฮบริดในยุคแรกๆที่ผลิตโดยบริษัท โตโยต้า จำกัด ซึ่งพัฒนาร่วมกับบริษัท Panasonic EV Energy จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทลูกของบริษัท พานาโซนิค จำกัด อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กเนื่องจากราคาแพงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว ในขณะที่เดียวกันประสิทธิภาพโดยรวม เช่น ความจุพลังงาน อายุการใช้งาน และการ

บำรุงรักษา นั้น ยังคงดีกว่าแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนซึ่งขณะนี้ เป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่ใช้กัน อย่างแพร่หลายที่สุด เนื่องจากแบตเตอรี่ ประเภทนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ จะเสื่อมสภาพหากไม่ถูกใช้งาน โดยสรุป แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ มีข้อดีและข้อด้อยดังต่อไปนี้

ข้อดี

- กำลังไฟสูง
- ใช้เมทัลไฮไดรด์ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- มีความหนาแน่นพลังงานหรือค่าพลังงานต่อน้ำหนักสูง
- อายุการใช้งานนาน มีจำนวนวัฏจักรการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ(Discharge) สูง

ข้อด้อย

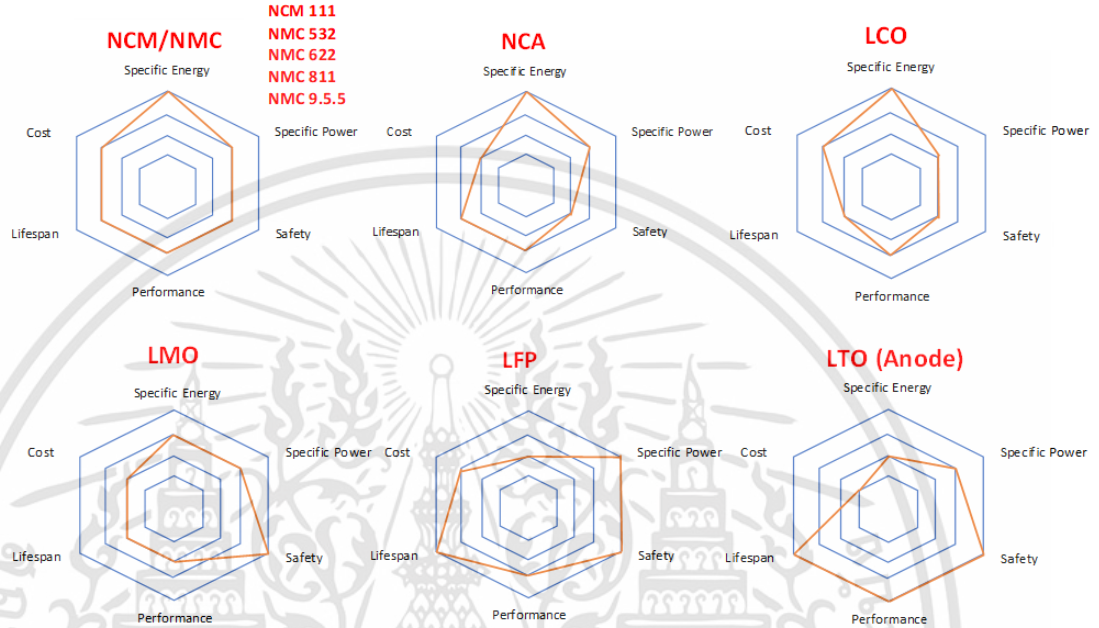
- ราคาค่อนข้างสูง
- มีปัญหา Memory Effect จึงไม่สามารถอัดประจุในขณะที่แบตเตอรี่ยังมีประจุเนื่องจากจะทำให้แบตเตอรี่ไม่จดจำระดับการอัดประจุสูงสุดได้

2.4.4 แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออน (Lithium-Ion Battery)

แบตเตอรี่ลิเทียมมีด้วยกันหลายประเภทด้วยกันและมีการใช้งานที่ต่างกัันดังนั้นเราควรเลือกประเภทของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน โดยแบตเตอรี่ลิเทียมนั้นมีด้วยกันหลายประเภทเช่น NCM/NMC,NCA,LCO,LMO,LFFและLTO(Anode) สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟค่าพลังงานของแบตเตอรี่ดัง รูปที่2.6

Lithium-Ion Batter

Various Type of Lithium-Ion Battery Performance

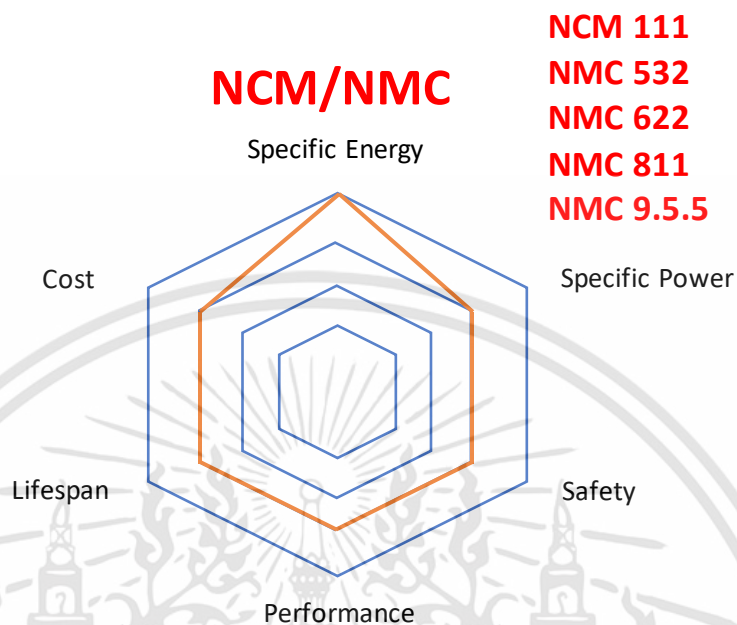


รูปที่ 2.6 กราฟค่าพลังงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภท

จากรูปที่ 2.6 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทนั้นสามารถอธิบายและเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

2.4.4.1 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ NCM

แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ เป็นแหล่งพลังงานประเภทใหม่ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ลิเทียมแบบเก่า แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ ถูกใช้งานมากในอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรขนาดเล็กที่มีความต้องการความหนาของพลังงานและความจุ



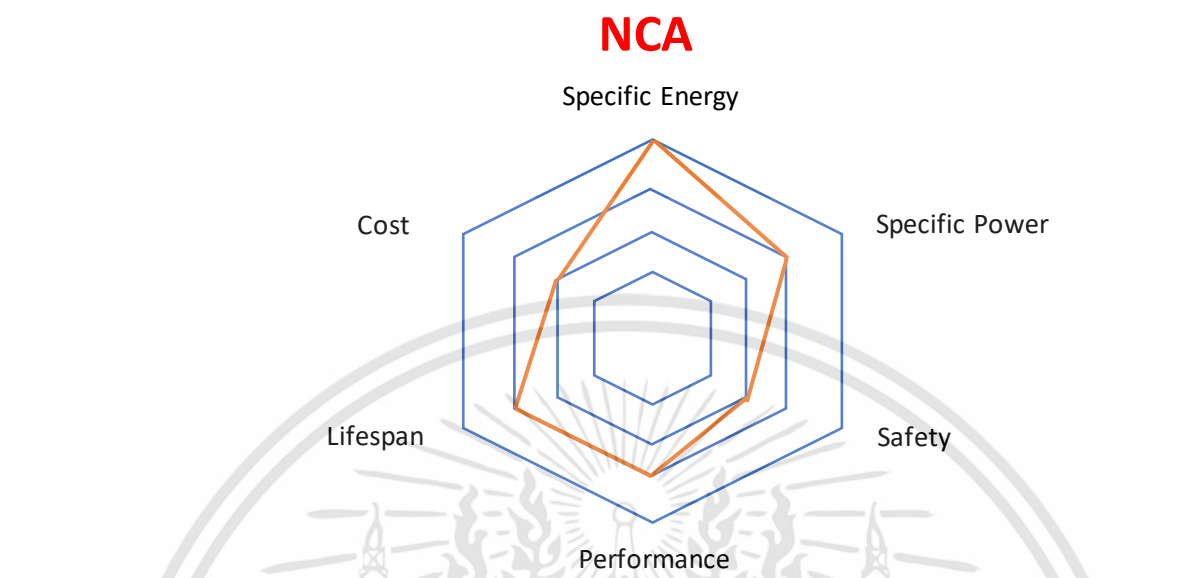
NCM 111
NMC 532
NMC 622
NMC 811
NMC 9.5.5

รูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ NCM

จากรูปที่ 2.7 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์ NCM สามารถอธิบายได้ว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์นั้นมีความโดดเด่นในด้านของพลังงานที่มากที่สุดที่ 150-220Wh/kg และมีการให้กำลังที่ดีเมื่อเทียบกับขนาดของแบตเตอรี่มีความปลอดภัยจากหลักการ thermal runaway เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์สามารถทนความร้อนได้ถึง 210 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานถึง 1000-2000 ครั้งในการใช้งาน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีส จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีสมีประสิทธิภาพที่ดี มีความคุ้มค่ามาก

2.4.4.2 แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ NCA

แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์มีการค้นพบเมื่อปี พ.ศ. 2542 แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์มีความคล้ายคลึงกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ไฮดรอกไซด์โดยแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์มีการให้พลังงานและกำลังต่อกิโลกรัมที่เท่ากันอีกทั้งอายุการใช้งานรวมถึงประสิทธิภาพที่คล้ายคลึงกัน

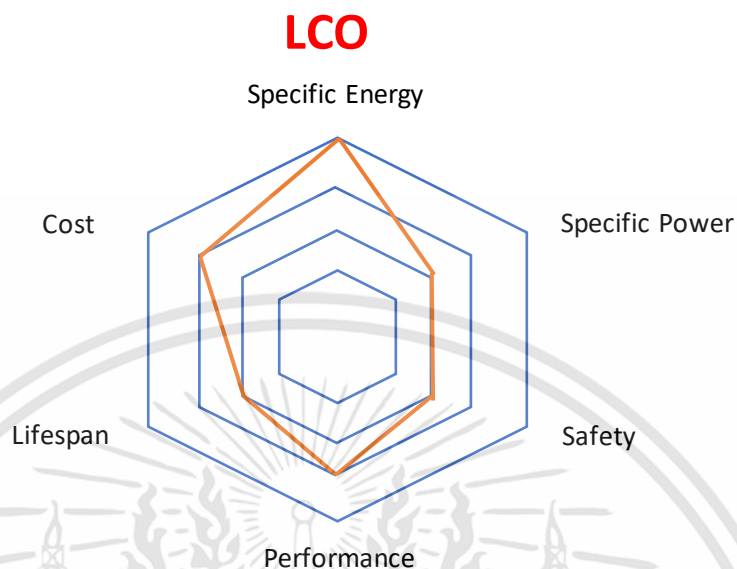


รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์ NCA

จากกราฟสามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์นั้นมีความโดดเด่นในด้านของพลังงานที่ตีมากที่สุดที่ 200-260Wh/kg และมีการให้กำลังที่ดีเมื่อเทียบกับขนาดของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ค่อนข้างมีความปลอดภัยในระดับที่พอใช้เนื่องจากหลักการ thermal runaway เพราะแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์สามารถทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานถึง 500 ครั้งในการใช้งานแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์ จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์มีประสิทธิภาพที่ดี ในเรื่องของความคุ้มค่านั้นอยู่ในระดับพอใช้

2.4.4.3 แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ LCO

แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ นิยมนำแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ไปใช้สำหรับเป็นแบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ แล็บท็อปและกล้องดิจิทัล แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มี



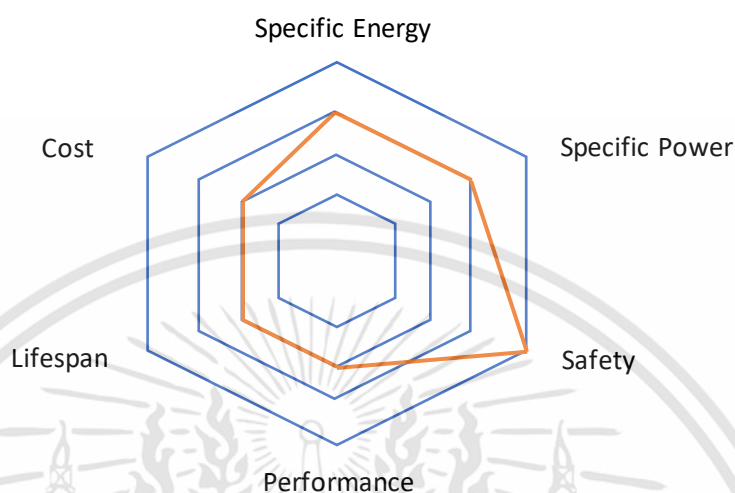
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ LCO

จากรูปที่ 2.9 กราฟประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์สามารถอธิบายได้ว่า แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ นั้นมีความโดดเด่นในด้านของพลังงานที่มากที่สุดที่ 150-200Wh/kg แต่ แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์มี Cell ที่พิเศษกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมชนิดอื่น ซึ่ง Cell ของแบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์นั้นสามารถมีพลังงานต่อน้ำหนักได้ถึง 240 Wh/kg แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ประสิทธิภาพในการใช้งานที่คงทน มีความคุ้มค่าต่อราคา แต่มีการให้กำลังต่อกิโลกรัมที่ค่อนข้างพอร์รับได้ แบตเตอรี่ค่อนข้างมีความปลอดภัยในระดับที่พอใช้เนื่องจากหลักการ thermal runaway เพราะ แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ สามารถทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียส มีอายุการใช้งานถึง 500-1000 ครั้งในการใช้งานแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์ ออกไซด์

2.4.4.4 แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ LMO

แบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ เมื่อปี พ.ศ. 2539 ได้มีการผลิต Cell Li-ion ด้วยลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ใช้เป็นขั้วลบ จากโครงสร้างของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ จะช่วยให้การไหลของไอออนที่ขั้วไฟฟ้าจะส่งผลให้ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลดลง ในส่วนของปล่อยกระแสไฟฟ้ามี่การไหลที่ นิยมนำมาใช้กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ จักรยานไฟฟ้า และเครื่องใช้ไฟฟ้า

LMO

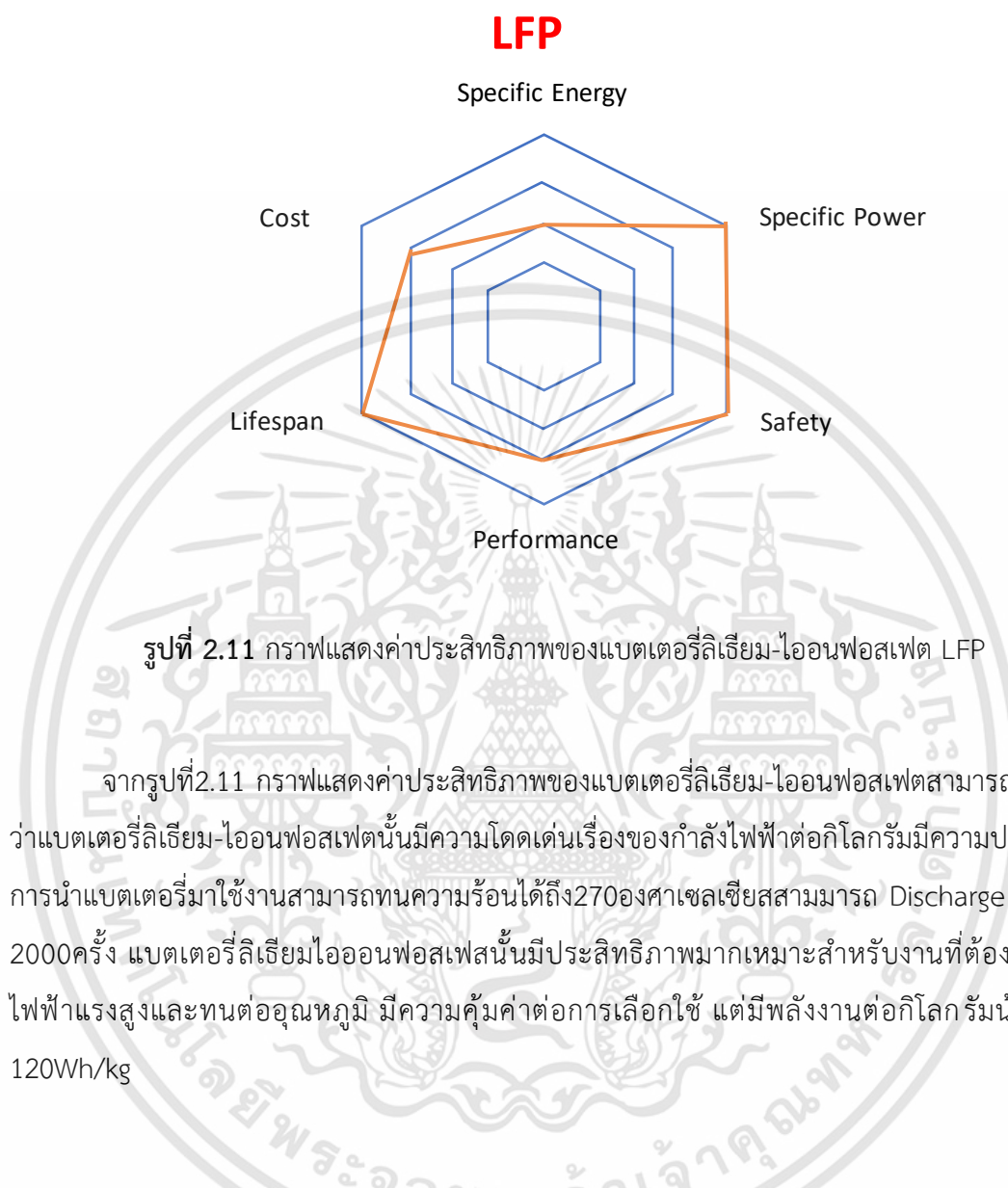


รูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ LMO

จากรูปที่ 2.10 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์สามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์นั้นมีความโดดเด่นในเรื่องของความปลอดภัยในการใช้งานในระดับดีเยี่ยมอิงจากหลักการ thermal runaway เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ สามารถทนความร้อนได้ถึง 250 องศาเซลเซียส มีพลังงานต่อน้ำหนักของแบตเตอรี่นั้นอยู่ที่ 100-150 Wh/kg และกำลังไฟฟ้าน้ำหนักอยู่ในระดับดีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ค่อนข้างพอใช้ มีการ Discharge ถึง 300-700 ครั้ง ความคุ้มค่างของราคานั้นจัดว่าอยู่ในเกณฑ์พอใช้

2.4.4.5 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต LFP

แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องจักรรวมถึงอุตสาหกรรมยานยนต์ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตนั้นมีการศึกษาและวิจัยว่าสามารถใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า และ รถฟอร์คลิฟ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตนั้น มีความเสถียรแม่นยำและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง



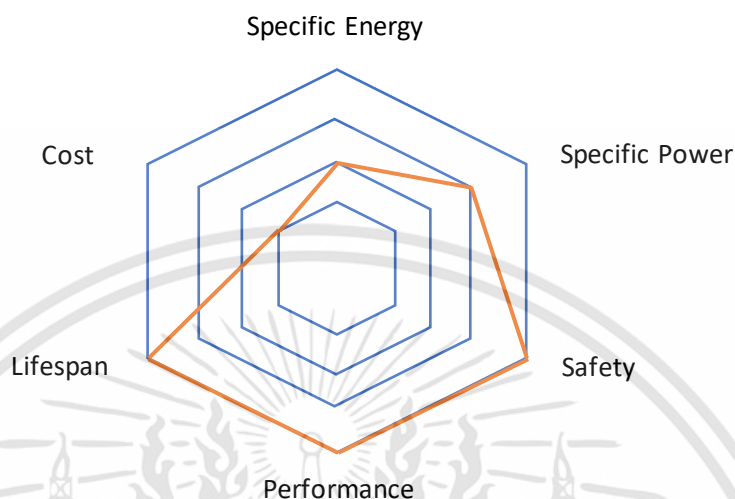
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟต LFP

จากรูปที่ 2.11 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟตสามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนฟอสเฟตนั้นมีความโดดเด่นเรื่องของกำลังไฟฟ้าต่อกิโลกรัมมีความปลอดภัยในการนำแบตเตอรี่มาใช้งานสามารถทนความร้อนได้ถึง 270 องศาเซลเซียสสามารถ Discharge ได้ 1000-2000 ครั้ง แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตนั้นมีประสิทธิภาพมากเหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าแรงสูงและทนต่ออุณหภูมิ มีความคุ้มค่าต่อการเลือกใช้ แต่มีพลังงานต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 90-120 Wh/kg

2.4.4.6 แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนด LTO (Anode)

แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนดมีสารประกอบของธาตุลิเทียมและไททาเนียมในขั้วบวกในส่วนหนึ่งของขั้วลบนั้นทำมาจากธาตุลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ มีการนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมของยานพาหนะไฟฟ้าและจักรยานไฟฟ้า และสามารถนำไปใช้กับเก็บพลังงานแสงอาทิตย์

LTO (Anode)



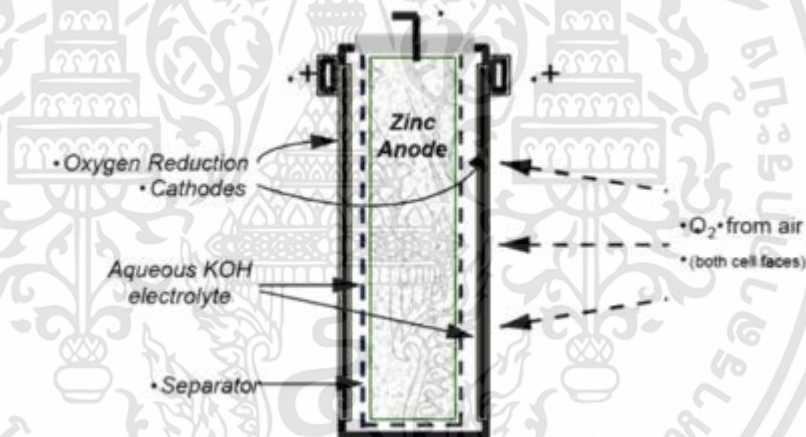
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด LTO(Anode)

จากรูปที่ 2.12 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด สามารถอธิบายได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนด นั้นมีความโดดเด่นเรื่องของความปลอดภัยในการใช้งานเพราะแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนดนั้นสามารถทนความร้อนได้ดีที่สุดในแบตเตอรี่ลิเทียมด้วยกัน ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้จึงมีประสิทธิภาพสูงมากสามารถ Discharge ได้สูงสุด 3000-7000 ครั้ง มีกำลังไฟฟ้าต่อกิโลกรัมที่ดีแต่ในส่วนของพลังงานที่แบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนดให้มันจะอยู่ที่ 70-80Wh/kg เท่านั้น ความคุ้มค่าต่อราคาแบตเตอรี่ลิเทียมไทเทเนียมแอนโนดนั้นจัดอยู่ในระดับที่ไม่ค่อยดีนัก

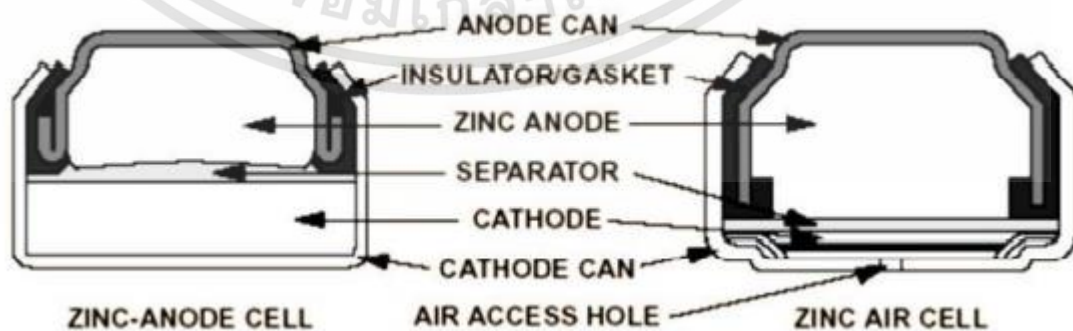
2.4.5 แบตเตอรี่ประเภทเมทัล-แอร์(Metal-Air Battery)

แบตเตอรี่ประเภท Metal-Air ถูกพัฒนามาอย่างยาวนานตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1960 เนื่องจากในทางทฤษฎีแบตเตอรี่ประเภทนี้มีค่าความหนาแน่นพลังงานสูง ทั้งนี้ความพยายามในการ พัฒนาแบตเตอรี่ประเภท Metal-air เพื่อใช้ในยานยนต์มีมาตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1979 ไม่ว่าจะเป็น Li-Air, Mg-Air, Al-Air หรือ Zn-Air แต่จนถึงปัจจุบันมีเพียงแบตเตอรี่ Zn-Air เท่านั้นที่ได้รับการพัฒนา และทดสอบจริงกับยานยนต์ไฟฟ้า โดย ข้อจำกัดของแบตเตอรี่ Zn-Air ในระหว่างใช้งาน

ในทางทฤษฎีแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air มีความหนาแน่นพลังงานสูงถึง 1,330 Wh/kg โดยโครงสร้างของแบตเตอรี่ Zn-Air ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในระหว่างการคายประจุสังกะสีที่แอโนดจะทำปฏิกิริยาเกิดออกไซด์ของสังกะสีและที่ขั้วแคโทดออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไฮดรอกไซด์ 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 ซึ่งเห็นได้ว่าความจุพลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น สถานภาพปัจจุบันของการพัฒนาแบตเตอรี่ Zn-Air เพื่อใช้กับยานยนต์ไฟฟ้ามี 2 บริษัทที่กำลังอยู่ในขั้นตอนพัฒนา ได้แก่ บริษัท EOS Energy จำกัด และ บริษัท Revolt Technology จำกัด



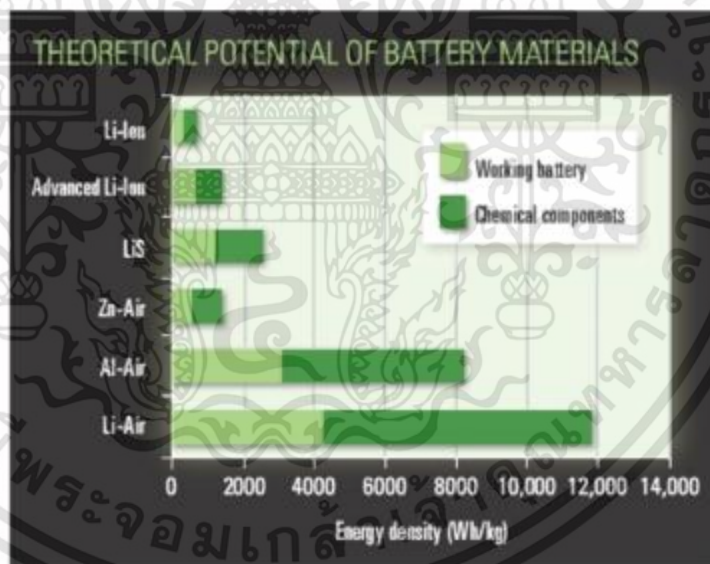
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างแบตเตอรี่ที่ใช้ Zn เป็นขั้วแอโนดและแบตเตอรี่ Zn-Air

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากแบตเตอรี่ประเภท Zn-Air แล้ว แบตเตอรี่ประเภท Li-Air เป็นแบตเตอรี่อีก ประเภทหนึ่งที่มีความสนใจในการนำมาพัฒนาเพื่อใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้โดยทฤษฎีแล้ว แบตเตอรี่ Li-Air มีความหนาแน่นพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ Zn-Air ประมาณ 9 เท่า (ค่าความ หนาแน่นพลังงานทางทฤษฎีของแบตเตอรี่ Li-Air เท่ากับ 11,148 Wh/kg) ทั้งนี้สมรรถนะของ แบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภท สามารถเปรียบเทียบกับทฤษฎีดังแสดงในรูปที่ 2.15 ในการพัฒนาแบตเตอรี่ Li-Air สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า บริษัท IBM จำกัด ได้ประกาศว่าจะพัฒนาแบตเตอรี่ Li-Air สำหรับ ขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าโดยมีเป้าหมายให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ 500 ไมล์(ประมาณ 800กิโลเมตร) ต่อการเก็บประจุ 1 ครั้งภายใต้ชื่อโครงการ Battery 500 โดยแบตเตอรี่ประเภทนี้มีค่าความหนาแน่นพลังงานทางทฤษฎีสูงถึง 1300 Wh/kg ซึ่งสถานะปัจจุบันอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา และ บริษัท IBM จำกัด คาดว่าจะสามารถพัฒนาให้ใช้ได้จริงภายในช่วงปี ค.ศ. 2020-2030



รูปที่ 2.15 การเปรียบเทียบค่าพลังงานของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ ที่ทำได้จริงกับทางทฤษฎี

โดยสรุป หากพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่ประเภทต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 2.1 พบว่ามีเทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมกว่าแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่ว เช่น แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนซึ่งมีค่าความจุพลังงานสูงที่สุดสุดเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่นิยม

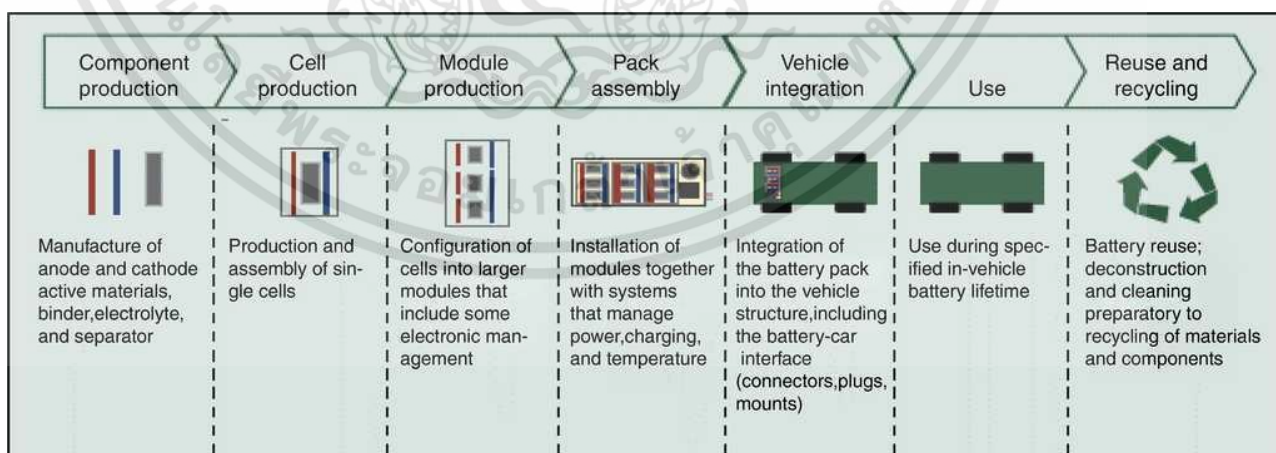
ใช้ในยานยนต์ทั้งหมด มีอายุการใช้งานนานกว่า อัตราประจุไฟฟ้าได้รวดเร็วกว่า ความต่างศักย์สูงกว่าซึ่งส่งผลให้ไม่จำเป็นต้องต่อแบตเตอรี่หลายเซลล์ และต้องการการดูแลรักษาที่น้อยกว่าแบตเตอรี่ประเภทกรดตะกั่วและแบตเตอรี่ประเภทนิกเกิล ทำให้แบตเตอรี่ประเภทนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบันสำหรับการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าทั่วไป อย่างไรก็ตามจากรายงานของ Pike Research จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่กรดตะกั่วยังคงได้รับความนิยมสำหรับการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กโดยเฉพาะรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของการใช้และกลุ่มผู้ซื้อ ซึ่งมักขับเคลื่อนในระยะใกล้ และเป็นตลาดซึ่งคำนึงถึงราคาและค่าใช้จ่ายเมื่อซื้อเป็นหลัก แม้ว่าหากคำนึงถึงระยะยาวแล้วราคาของแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมไอออนต่อจำนวนครั้งในการใช้งานจะถูกลงกว่าเมื่อใช้งานในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย

หากพิจารณาถึงห่วงโซ่คุณค่าในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าพบว่ากระบวนการผลิตแบตเตอรี่ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่

1. การผลิตชิ้นส่วนของเซลล์ เช่น ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด เป็นต้น
2. การผลิตและการประกอบเซลล์แบตเตอรี่
3. การผลิตโมดูลแบตเตอรี่ หมายถึง การเชื่อมต่อเซลล์แบตเตอรี่เข้าด้วยกันเป็นโมดูล
4. การประกอบแพ็คแบตเตอรี่ หมายถึง การติดตั้งโมดูลแบตเตอรี่เข้าด้วยกันกับระบบบริหารจัดการการอัดประจุไฟฟ้า การจ่ายประจุไฟฟ้า และการควบคุมอุณหภูมิระหว่างใช้งาน
5. การติดตั้งแพ็คแบตเตอรี่เข้ากับยานยนต์ไฟฟ้า
6. การใช้งานแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า
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 ¹ (mΩ)	<100 12V pack	100-200 6V pack	200-300 6V pack	150-300 7.2V	25-75 ² per cell	25-50 ² per cell
Cycle Life (80% discharge)	200-300	1000 ³	300-500 ³	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% ⁵	30% ⁵	< 10% ⁵		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁷	1.2V ⁷	3.6V ⁸	3.8V ⁸	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 ⁹ 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 ¹⁰		
Discharge temperature	-20 to 50°C	-20 to 65°C		-20 to 60°C		
Maintenance requirement	3-6 months ¹¹ (topping chg.)	30-60 days (discharge)	60-90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable. fuse Protection common		Protection circuit mandatory ¹²		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999



Revista de Administração e Inovação. 2017;14:333-8

รูปที่ 2.16 ห่วงโซ่คุณค่าสำหรับแบตเตอรี่สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ Battery Management System (BMS)

ในการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย จำเป็นต้องอาศัยการจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบ โดยอุปกรณ์หนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการพลังงาน เรียกว่า “ระบบ บริหารจัดการแบตเตอรี่ หรือ Battery Management System (BMS)” ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีหน้าที่ในการจัดการ ให้มีการใช้พลังงานที่กักเก็บภายในแบตเตอรี่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและลดความเสี่ยงที่แบตเตอรี่จะเกิดความเสียหายจากการใช้งานให้มากที่สุดผ่านกระบวนการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการอัดและคายประจุของ แบตเตอรี่ 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 อีกทั้งแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกใช้งานที่สภาวะกระแสและแรงดันสูงอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้กำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อการขับเคลื่อน 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

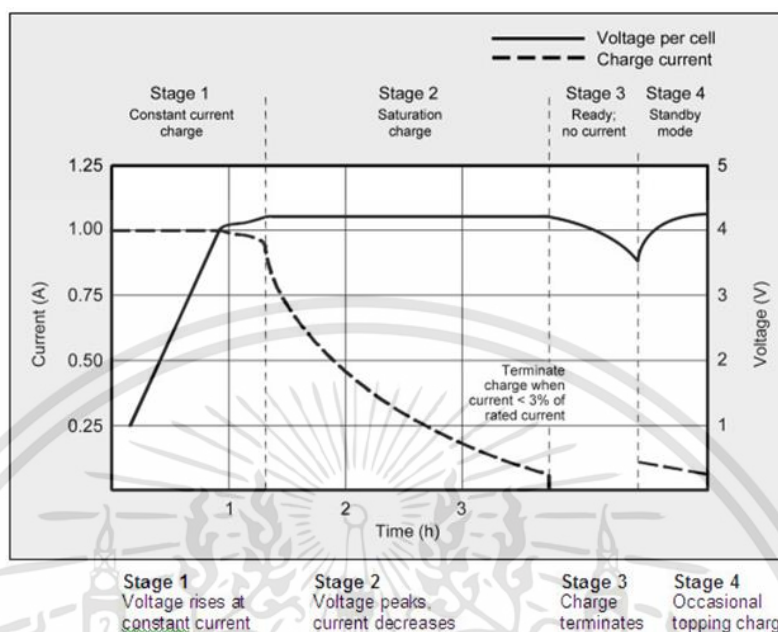
ในการใช้งานแบตเตอรี่ประเภทลิเธียมไอออน ซึ่งเป็นประเภทแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าจะต้อง มีการอัดประจุไฟฟ้าตามวัฏจักร ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ซึ่งแบ่งการอัดประจุไฟฟ้าออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 Constant current charge คือ การอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่จนกว่าแรงดันจะเข้าสู่ค่าที่กำหนด

ระยะที่ 2 Saturation charge เมื่อแรงดันเข้าสู่ค่าที่กำหนด แรงดันจะคงที่จนกระทั่งอัดประจุได้เต็มในขณะเดียวกันนั้นกระแสจะลดลงไปเรื่อย ๆ

ระยะที่ 3 Ready; no current เมื่ออัดประจุจนเต็มแล้ว กระบวนการอัดประจุจะหยุดลง

ระยะที่ 4 Standby mode เมื่ออัดประจุเรียบร้อยแล้วและแบตเตอรี่ยังไม่ได้ถูกใช้งาน แรงดันจะลดลง จึงมีระยะนี้ไว้เพื่ออัดประจุกลับไปให้เต็มอีกครั้ง

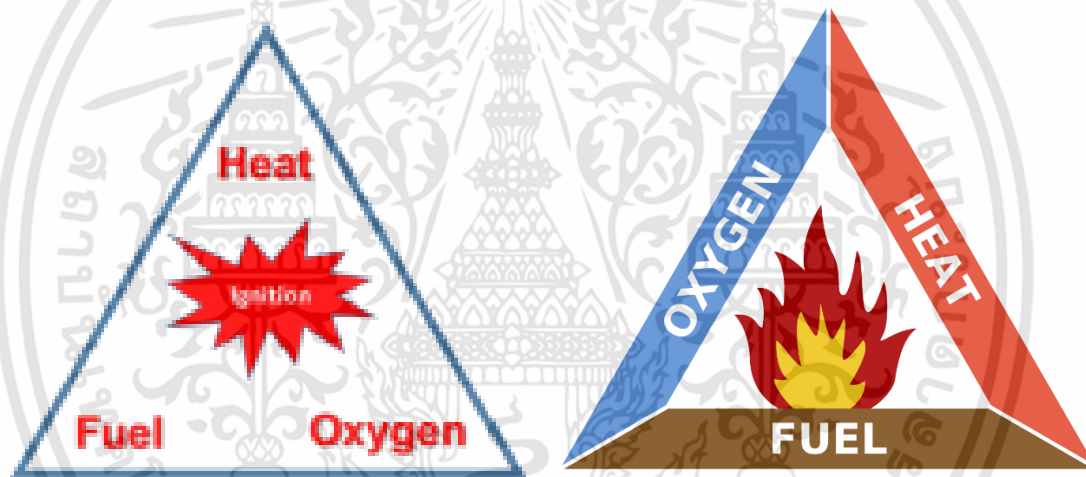


รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการอัดประจุของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่จะทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น และจะแสดงผลสถานะของแบตเตอรี่ (Cell monitoring) โดยอ่านค่าแรงดันของแต่ละเซลล์และอ่านค่าอุณหภูมิของของ แบตเตอรี่ก่อนส่งผ่านข้อมูลดังกล่าวไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลให้ผู้ขับขี่ต่อไป สำหรับขั้นตอน การปรับสมดุลของแต่ละเซลล์ (Cell balancing) จะเริ่มจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจสอบค่า แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์และเมื่อต้องการที่จะปรับความสมดุลของแต่ละเซลล์BMS จะตรวจสอบว่าเซลล์ใดที่มีค่าแรงดันมากกว่าเซลล์อื่น และเซลล์นั้นจะถูกปรับลดแรงดันลงให้มีค่าแรงดันเท่าเซลล์อื่น ๆ และสำหรับ หน้าที่การป้องกันความเสียหายของเซลล์แบตเตอรี่ (Cell protecting) ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่จะอ่านค่า แรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งเมื่อค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่อ่านได้มีค่าต่ำเกินกว่ากำหนด หรืออุณหภูมิที่วัดได้สูงเกินกว่ากำหนด จะมีสัญญาณเตือนดังขึ้น และหากในขณะที่ยอดประจุไฟฟ้า ถ้าแบตเตอรี่เกิดการอัดประจุเกิน (Overcharge) ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่จะส่งสัญญาณไปที่สวิตช์รีเลย์เพื่อตัดวงจรการอัดประจุให้หยุดทำงาน โดยสรุป ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่มีความสำคัญต่อการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย เนื่องจากระบบดังกล่าวจะทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะของเซลล์แบตเตอรี่ ปรับความสมดุลของเซลล์แต่ละเซลล์ และตัดการทำงานของแบตเตอรี่หากตรวจพบการทำงานที่ผิดปกติ

2.6 Lithium Battery Safety Requirement

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



รูปที่ 2.18 องค์ประกอบการเกิดเพลิงไหม้

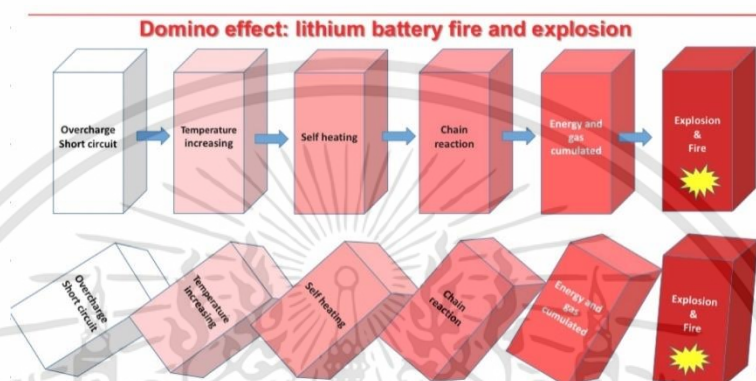
เพราะฉะนั้นต้องคอยรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ไม่ให้เกินเหตุการณ์ดังกล่าว ควรติดตั้งระบบระบายความร้อนให้เหมาะสมเพื่อคงระยะเวลาการทำงานของแบตเตอรี่

2.6.1 กระบวนการ Thermal runaway effect หรือ กระบวนการ Domino effect

การที่จะเกิดกระบวนการ Thermal runaway ได้นั้นก็ต่อเมื่อแบตเตอรี่ได้ทำงานต่อใช้งานกับชาร์จเจอร์อยู่นั้นมีอุณหภูมิสะสมสูงขึ้นจนทำให้แบตเตอรี่เกิดการผิดรูปไปทางเดิม(แบตเตอรี่บวม) ซึ่งอาจทำให้เซลล์ของแบตเตอรี่เสื่อมสภาพและอาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ขึ้นเป็นลำดับ หรือ เราเรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเกิดแบบ Domino effect เป็นกระบวนการขั้นตอนการเกิดความร้อน โดยเริ่มจากการเกิด Overcharge & Short circuit ไปจนถึงการเกิดเพลิงไหม้หรือระเบิด ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 กระบวนการ Domino effect

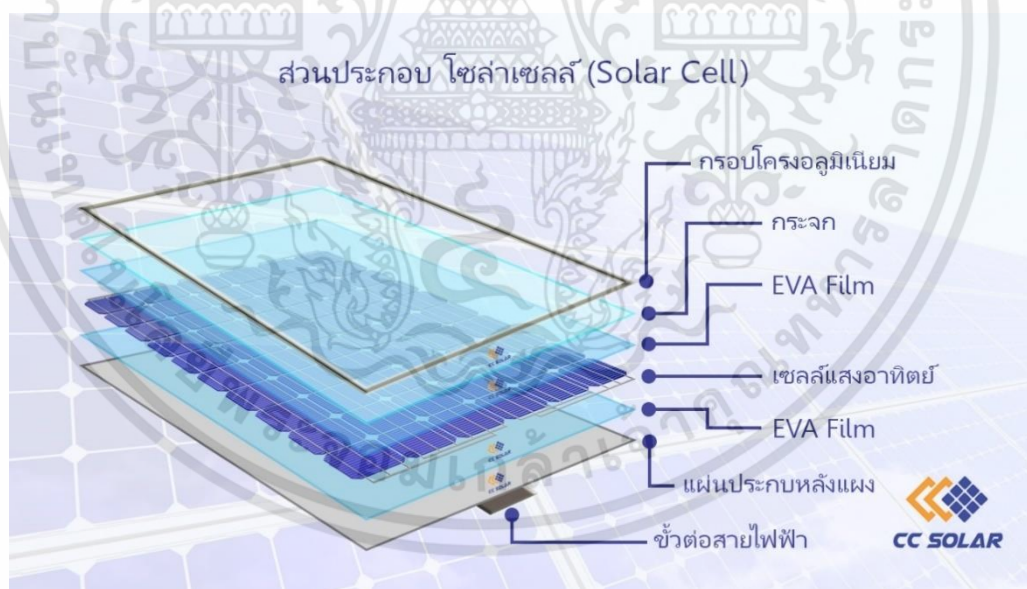
จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการ Overcharge & Short circuit ผลที่ได้คือเกิดปฏิกิริยาเป็นทอดๆตามลำดับเหมือนกับ โดมิโน อธิบายได้ว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ Overcharge & Short circuit แล้วจากนั้นอุณหภูมิของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้น (Temperature increasing) แล้วนั้นแบตเตอรี่เริ่มมีการระอุภายในหรือมีความร้อนสะสมในตัวเอง (Self heating) ต่อมาจะเข้าสู่การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ทางเคมี ความร้อนสะสมสูงขึ้นอีก (chain reaction) เมื่อเวลาผ่านไปจะเข้าสู่ปฏิกิริยาถัดมาคือ (Energy and gas cumulated) เกิดแก๊สพิษและเกิดการผิดรูปของแบตเตอรี่เริ่มเกิดขยายตัวของแบตเตอรี่และอาจมีของเหลวหรือสารพิษภายในแบตเตอรี่ไหลซึมออกมาแล้วอาจเข้าสู่ (Explosion & Fire) สามารถเกิดการระเบิดและเพลิงไหม้ของแบตเตอรี่ได้ทุกเมื่อ แบตเตอรี่จะไม่สามารถดับเพลิงไหม้ได้จะต้องรอจนกว่าแบตเตอรี่เผาไหม้ตัวแบตเตอรี่เองจนหมดเพราะ ในตัวของแบตเตอรี่ลิเธียมนี้มีความร้อนสูงมาก และอาจมีความร้อนสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส ไม่สามารถดับเพลิงไหม้ได้ ไม่ว่าจะใช้โฟมหรือน้ำดับก็ไม่สามารถดับได้

ถ้าหากแบตเตอรี่มีความจุขานาน 1KWh เมื่อแบตเตอรี่เกิดเพลิงไหม้ จะสามารถให้มลพิษถึง 600 ลิตรซึ่งสารพิษที่ปล่อยออกประกอบไปด้วย Co_2 , Co , H_2 ซึ่งเป็นสารพิษทั้งหมด

2.7 เทคโนโลยีโซลาร์เซลล์และชนิดของโซลาร์เซลล์

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หรือ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic cell) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์นั้น จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) ซึ่งเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที รวมทั้งสามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลังได้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและไม่สร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมและไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Co2) เหมือนกับแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น น้ำมัน, โรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตจากก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นพลังงาน ที่ใช้แล้วไม่มีวันหมดไป โดยส่วนประกอบของ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) นั้นจะประกอบไปด้วย เซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่มี EVA Film ประกอบด้านหลัง ดังรูปที่ 2.20

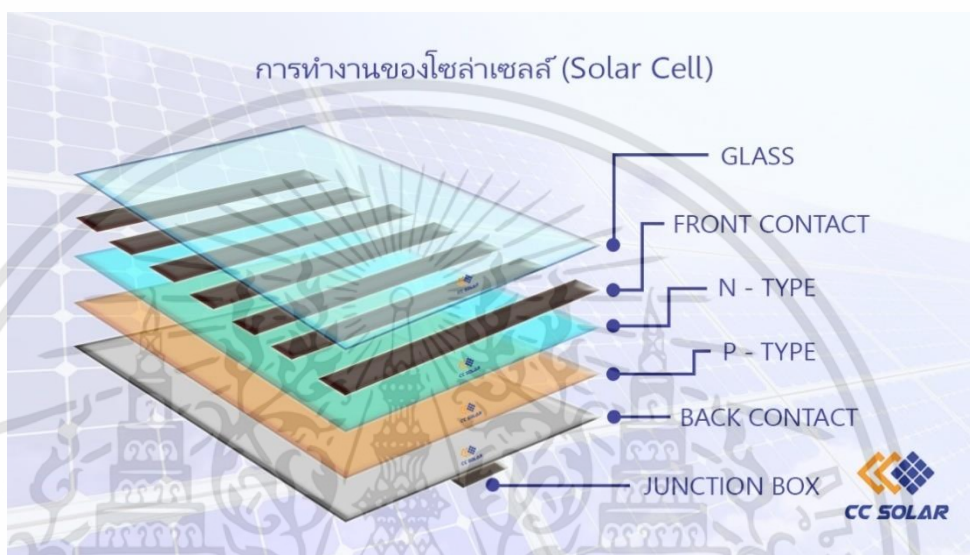


รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

การทำงานของ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานไปกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ เราจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ดังรูปที่ 2.21



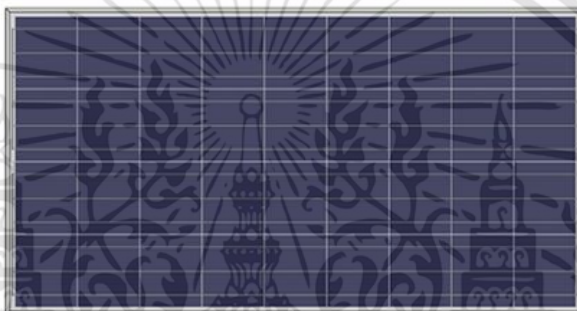
รูปที่ 2.21 การทำงานของโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

1. N-Type คือแผ่นซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการ โดปปิ้ง (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัส ทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวส่งอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์
2. P-Type คือแผ่นซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการ โดปปิ้ง (Doping) ด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) โดยเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะมีคุณสมบัติเป็นตัวรับอิเล็กตรอน

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน และโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวขึ้น โดยอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนไหวไปรวมตัวกันที่ Front Electrode และโฮลก็จะเคลื่อนไหวไปรวมตัวกันที่ Back Electrode และเมื่อมีการเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น ให้เราสามารถนำไปใช้งานได้ โดยชนิดของแผงโซลาร์เซลล์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด

2.7.1 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline)

แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline) เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดแรก ที่ทำมาจากผลึกซิลิคอน บางครั้งเรียกว่า มัลติ-คริสตัลไลน์ (Multi-Crystalline) โดยกระบวนการผลิต จะนำเอาซิลิคอนเหลว มาเทใส่โมลด์ที่เป็นสี่เหลี่ยม ก่อนจะนำมาตัดเป็นแผ่นบางอีกที จึงทำให้แต่ละเซลล์ดังรูปที่ 2.22 เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สีของแผงจะออกสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.22 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline)

ข้อดี

- มีขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อน จึง ใช้ปริมาณซิลิคอน ในการผลิตน้อยกว่า เมื่อเทียบกับชนิด โมโนคริสตัลไลน์
- มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ในที่อุณหภูมิสูง ดีกว่า ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ เล็กน้อย
- มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับ ชนิด โมโนคริสตัลไลน์

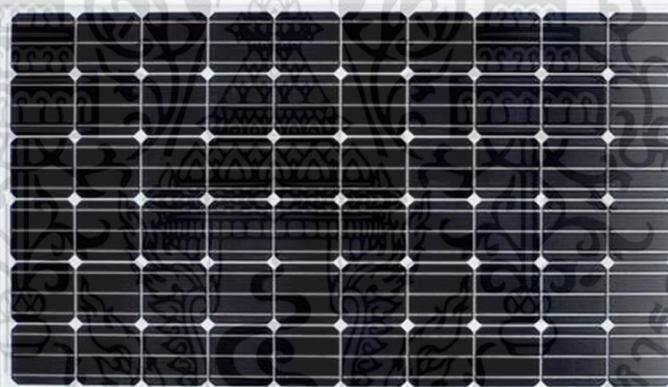
ข้อเสีย

- มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสง เป็นกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 13-16% ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเทียบกับชนิด โมโนคริสตัลไลน์
- มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำกว่า ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ ในกรณี ถ้าแสงมีความเข้มข้น

- แผงมีสีน้ำเงิน ทำให้บางครั้งอาจดูไม่สวยงาม เมื่อเทียบกับ ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ และชนิด thin film ที่มีสีเข้ม เข้ากับสิ่งแวดล้อม เช่น หลังคาบ้านได้ดีกว่า

2.7.2 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline)

แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline) เป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำมาจาก ผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (Mono-Silicon) บางครั้งเรียกว่า Single Crystalline ลักษณะแต่ละเซลล์เป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสีเข้ม ทำมาจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง กวนให้ผลึกเกาะกันที่แกนกลาง ทำให้เกิดแท่งทรงกระบอก จากนั้นนำมาตัดให้เป็นสี่เหลี่ยมและลบมุมทั้งสี่ออก ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้วัตถุดิบ Mono-Silicon ลง ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นอีกที ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline)

ข้อดี

- มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะผลิตมาจาก ซิลิคอนเกรดดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสง เป็นกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 15-20%
- มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่สูงกว่าแบบ Poly เพราะทำให้กำลังสูงจึงต้องการพื้นที่น้อยที่สุดในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ โมโนคริสตัลไลน์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เกือบ 4 เท่า ของชนิด ฟิล์มบางหรือ thin film

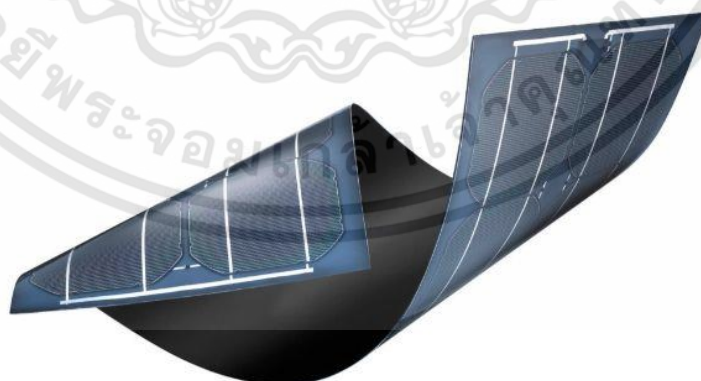
- มีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 25 ปีขึ้นไป
- ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าชนิด โพลีคริสตัลไลน์ เมื่ออยู่ในภาวะแสงน้อย

ข้อเสีย

- มีราคาแพงที่สุด ในบางครั้งการติดตั้งด้วย แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ หรือชนิด thin film อาจมีความคุ้มค่ามากกว่า
- ถ้าหาก แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ มีความสกปรกหรือถูกบังแสงในบางส่วนของแผง อาจทำให้วงจรหรือ inverter ไหม้ได้ เพราะอาจจะทำให้เกิดโวลต์สูงเกินไป

2.7.3 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film)

แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film) เป็นแผงโซลาร์เซลล์ที่ทำมาจาก การนำสารที่แปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า มาฉาบเป็นชั้นบางๆ ซ้อนกันหลายๆชั้น จึงเรียกโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ว่า ฟิล์มบาง (thin film) แผงโซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบาง มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นฟิล์มฉาบ ดังรูปที่ 2.24 แต่สำหรับบ้านเรือนโดยทั่วไปแล้ว มีเพียงประมาณ 5% เท่านั้นที่ใช้ แผงโซลาร์เซลล์ ที่เป็นแบบชนิดฟิล์มบาง



รูปที่ 2.24 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film)

ข้อดี

- มีราคาถูกกว่า เพราะสามารถผลิตจำนวนมาก โถผลึกซิลิคอน
- ในที่อากาศร้อนมากๆ แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด ฟิล์มบาง มีผลกระทบน้อยกว่า
- ไม่มีปัญหาเรื่อง เมื่อแผงสกปรกแล้วจะทำให้อายุไหม้
- ถ้าคุณมีที่เหลือเพื่อ แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด ฟิล์มบาง ก็เป็นทางเลือกที่ดี

ข้อเสีย

- มีประสิทธิภาพต่ำ
- มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำ
- สิ้นเปลืองค่าโครงสร้างและอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สายไฟ
- ไม่เหมาะนำมาใช้ตามหลังคาบ้าน เพราะมีพื้นที่จำกัด
- การรับประกันสั้นกว่าชนิด ผลึกซิลิคอน

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทน ที่ไม่สามารถผลิตใช้งานได้ตลอดเวลา เพราะอาศัยแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟ ไม่เหมือนกับโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ(เขื่อน) หรือพลังงานไอน้ำ (จากถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ) ที่สามารถผลิตได้ตลอด 24 ชั่วโมง

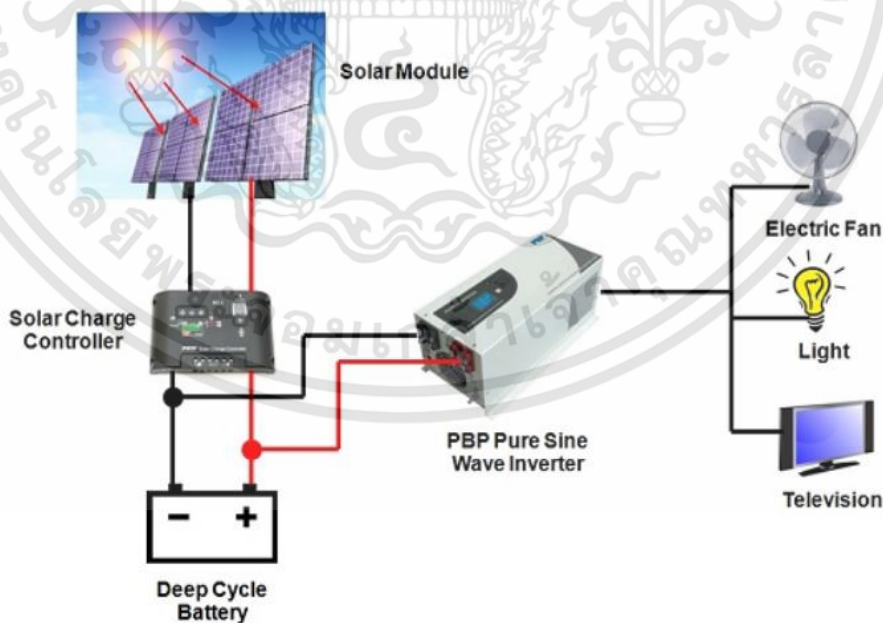
ถ้าหากเราต้องการนำระบบไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มาใช้เป็นพลังงานหลักแล้ว จำเป็นต้องคำนึงถึงแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้งานในช่วงกลางคืนหรือในช่วงที่ไม่มีแสงแดด ซึ่งอุปกรณ์ที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าก็คือแบตเตอรี่

2.8 รูปแบบการนำโซล่าเซลล์ไปใช้งานโดยมีด้วยกัน 3 ระบบ

2.8.1 ระบบออฟกริด (Off Grid) หรือ แบบอิสระ (Stand Alone)

คือ ระบบปิด ที่ผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ โดยไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบไฟของการไฟฟ้านครหลวง หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบนี้เหมาะกับสถานที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ไม่คุ้มที่จะเดินลากสายไฟยาวๆเข้ามาใช้เนื่องจากต้นทุนสูง

วิธีการนำไปใช้คือการนำกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ มาชาร์จเข้าแบตเตอรี่ แล้วจึงนำไฟฟ้าที่ได้มาใช้งาน ซึ่งก็สามารถเลือกที่จะนำจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ ที่ใช้ไฟ AC ทั้งนี้ข้อดีของการที่มีแบตเตอรี่คือสามารถเก็บประจุไฟฟ้าไว้ใช้งานได้กรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์ หรือสามารถใช้ไฟฟ้าในเวลากลางคืนได้ เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานภายในบ้านเราเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ AC (Alternating Current) แต่ไฟฟ้าที่ได้จากแผง Solar Cell เป็นไฟฟ้ากระแสตรง DC (Direct Current) ตามรูปที่ 2.24 ดังนั้น ก่อนนำไปใช้งานจึงต้องนำมาแปลงมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเสียก่อน โดยนำมาต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้ก็จะมี การสูญเสียจากการแปลงฯ ทำให้ลดทอนประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าลงไป



รูปที่ 2.25 การต่อโซล่าเซลล์ ระบบออฟกริด (Off Grid) หรือ แบบอิสระ (Stand Alone)

ข้อดี/ข้อเสีย

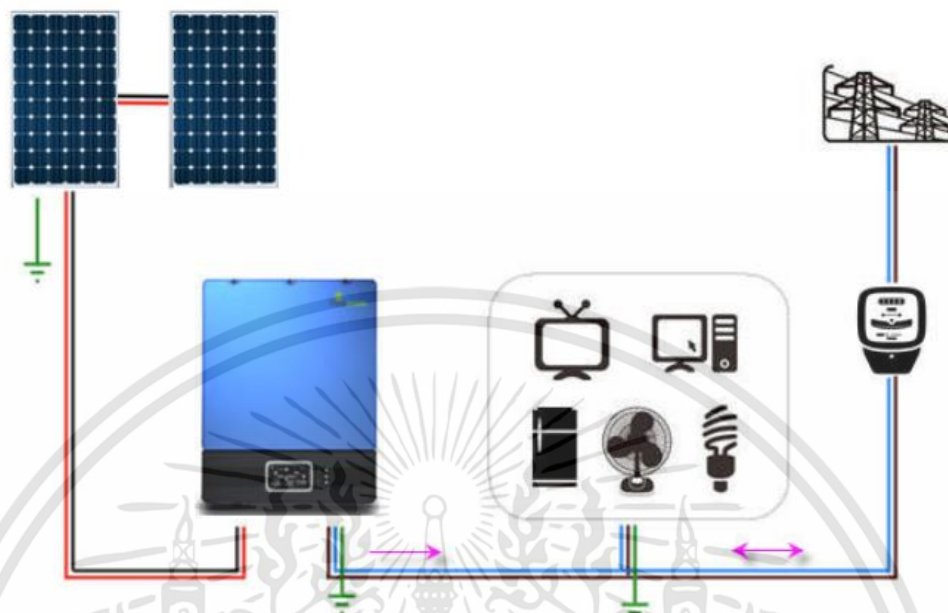
ข้อดี เป็นระบบที่ไม่ต้องจ่ายไฟจากการไฟฟ้าหลวงเลย สามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองได้

ข้อเสีย งบประมาณสูง เพราะต้องใช้แบตเตอรี่ มาใช้ในการเก็บไฟและต้องคำนวณการใช้ไฟให้ถูกต้อง เพื่อให้การใช้ไฟฟ้าได้ต่อเนื่องตลอดเวลา

2.8.2 ระบบออนกริด (On Grid) หรือ แบบเชื่อมต่ออิงกับระบบไฟการไฟฟ้า

คือการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ด้วยอุปกรณ์ Inverter จากนั้นก็เชื่อมระบบเข้ากับการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งข้อดีคือเราสามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขายให้การไฟฟ้าฯ (ตามโครงการขายไฟให้การไฟฟ้า) ดังรูปที่ 2.26 หรือนำไฟฟ้าที่ได้มาใช้งานเองเพื่อลดค่าไฟฟ้า หากผลิตกระแสไฟไม่พอใช้ อุปกรณ์ควบคุมก็จะนำไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้ามาใช้งานทดแทนทันที

วิธีการนำไปใช้คือ การติดตั้งแบบนี้ เพื่อลดค่าไฟฟ้า โดยเมื่อมีการใช้ไฟ มากกว่าที่ผลิตเองจากโซลาร์เซลล์ ตัวอุปกรณ์ Grid Tie Inverter ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ ก็จะทำหน้าที่ดึงกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้งานโดยอัตโนมัติ ดังนั้นก็จะทำให้ลดค่าไฟฟ้าลงได้และไม่มีข้อจำกัดเรื่องกำลังไฟไม่พอ เพราะดึงจากการไฟฟ้ามาชดเชย แต่การติดตั้งแบบนี้ต้องได้รับการอนุญาตจาก การไฟฟ้าฯ ก่อน แต่ข้อเสียของระบบนี้คือช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์หรือเวลากลางคืน ก็จะไม่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาซึ่งช่วงนี้ก็ต้องดึงพลังงานไฟฟ้ามาจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ



รูปที่ 2.26 การต่อโซลาร์เซลล์ ระบบออนกริด (On Grid) หรือ แบบเชื่อมต่ออิงกับระบบไฟการไฟฟ้า

ข้อดี/ข้อเสีย

ข้อดีคือ สามารถลดค่าไฟฟ้า หรือใช้ไฟฟ้าฟรี (หากใช้แผงโซลาร์เซลล์จำนวนมาก) เนื่องจากผลิตไฟฟ้าได้เองในตอนกลางวัน ใช้ไฟฟ้าฟรี ลดค่าไฟฟ้าได้ สำหรับผู้ประกอบการติดตั้งระบบไฟขนาดใหญ่ สามารถขายไฟคืนให้การไฟฟ้าได้ โดยติดต่อกับการไฟฟ้า จะต้องสมัครทำสัญญาและยื่นเอกสาร ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อเสียคือ กรณีที่ไฟจากการไฟฟ้าดับ ระบบโซลาร์เซลล์ยังจ่ายไฟปกติ แต่กริดไทน์อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงาน โดยไม่จ่ายไฟเข้าสายส่ง เพื่อป้องกันไฟดูดเจ้าหน้าที่การไฟฟ้า ซึ่งกำลังทำการซ่อมระบบสายไฟฟ้า การใช้งานระบบนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ในพื้นที่ที่มีไฟฟ้าเข้าถึงแล้ว ใช้เพื่อช่วยลดค่าไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ซึ่งทางผู้ที่ต้องการติดตั้ง ต้องมีพื้นที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ และรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในตอนกลางวัน โดยดูจากหน่วยการใช้ไฟฟ้า ที่เสียค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน เพื่อออกแบบกำลังการผลิตระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ หาขนาดกริดไทน์อินเวอร์เตอร์ และจำนวนแผงโซลาร์เซลล์

2.8.3 ระบบไฮบริดส์ (Hybrid) หรือแบบผสม

เป็นระบบที่นำเอาระบบออนกริด และ ออฟกริด มารวมกันคือจะมีระบบแบตเตอรี่ มาสำรองพลังงาน ใช้งานในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์ และสำหรับกรณีที่เมื่อมีแสงอาทิตย์แล้วผลิตกระแสไฟฟ้าได้หากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้มีมากกว่าที่นำมาใช้งาน ระบบก็นำกระแสไฟฟ้านั้นชาร์จเข้าแบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้งานได้ต่อไป พอถึงเวลากลางคืนที่ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ไม่ได้ ระบบก็จะไปนำเอากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ก่อน หากยังไม่เพียงพอ ระบบก็จะไปดึงไฟฟ้ามาจากระบบจำหน่ายมาชดเชยอีกทีหนึ่ง

วิธีการนำไปใช้คือ เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ ก็แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วส่งต่อมายัง ไฮบริดส์ อินเวอร์เตอร์ ซึ่งไฮบริดส์ อินเวอร์เตอร์ก็แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งก็จะเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟของการไฟฟ้าฯ และอีกขั้วหนึ่งก็ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ และอีกขั้วหนึ่งก็ต่อไฟฟ้าไปใช้งานต่างๆ ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 การต่อโซลาร์เซลล์ ระบบไฮบริดส์ (Hybrid) หรือแบบผสม

ข้อดี/ข้อเสีย

ข้อดี ระบบทำงานได้ทั้งแบบ on-grid และ off-grid สามารถเปลี่ยนแหล่งไฟฟ้าได้เองตามสถานการณ์ ช่วยรักษาความเสถียรของระบบไฟฟ้า และใช้ไฟได้เองภายในกรณีไฟจากการไฟฟ้าดับ

ข้อเสีย อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้มีให้เล็กลงน้อยมาก และยังไม่ได้รับการยอมรับจากการไฟฟ้า (กฟผ.) เลยไม่สามารถขนานไฟฟ้ากับกริดได้ ไม่สามารถขายไฟคืน กฟผ. ได้ ต้องใช้อุปกรณ์มากเช่นเดียวกับ off-grid ซึ่งทำให้ระบบโดยรวมแพง และไม่คุ้มค่า

2.9 เทคโนโลยีการประจุไฟฟ้า

การอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า เพื่ออัดประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับ การเติมน้ำมันของยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าจะทำให้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ลดลงไปตามการใช้งาน และหากพลังงานที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่หมดลง ยานยนต์ไฟฟ้าก็จะไม่สามารถขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าได้อีก ซึ่งในกรณียานยนต์ไฟฟ้าชนิดแบตเตอรี่ (BEV) จะไม่สามารถขับเคลื่อนต่อไปได้อีก แต่ในกรณียานยนต์ไฟฟ้าชนิด PHEV จะยังสามารถใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อขับเคลื่อนยานยนต์ต่อไปได้แต่ก็จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนั้น ผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่เป็นระยะเพื่อเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ให้เพียงพอต่อการใช้งาน

2.9.1 การชาร์จประจุไฟฟ้า

การชาร์จประจุไฟฟ้าแบ่งตามระดับพลังงานที่ใช้ในการประจุแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.9.1.1 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบปกติ (Normal Charge)

เป็นการชาร์จประจุโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับโดยชาร์จผ่าน On Board Charger ซึ่งเป็นตัวบริหารระบบการชาร์จที่ติดตั้งอยู่ภายในรถยนต์ไฟฟ้านั้น ๆ ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยขนาดของ On Board Charger จะขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่หรือยี่ห้อรถยนต์ ซึ่งมีผลในการชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า การประจุไฟฟ้า แบบปกติ (Normal Charging) แบ่งเป็น 2 ระดับ

1) การประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1 (AC level 1 Charging) เป็นการประจุในแบบ

มาตรฐานสำหรับประจุในที่อยู่อาศัย เป็นระดับที่ 1 จากสามระดับที่ระบุโดยมาตรฐาน SAE J1772ซึ่งจะใช้ไฟกระแสสลับขนาด 120 VAC เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด การประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1 จะกำหนดระดับของกำลังไฟฟ้าเทียบเท่ากับการใช้พลังงานในเครื่องปิ้งขนมปัง การประจุไฟฟ้า ระดับ 1เป็นการชาร์จโดยใช้ไฟฟ้า 1 เฟสและมีกำลังในการชาร์จมากที่สุด (Maximum Power) คือ 3kW และใช้เวลาในการชาร์จประจุประมาณ 8-12 ชั่วโมง เหมาะแก่การชาร์จแบบปล่อยทิ้งไว้หรือชาร์จข้ามคืน



รูปที่ 2.28 สายประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1

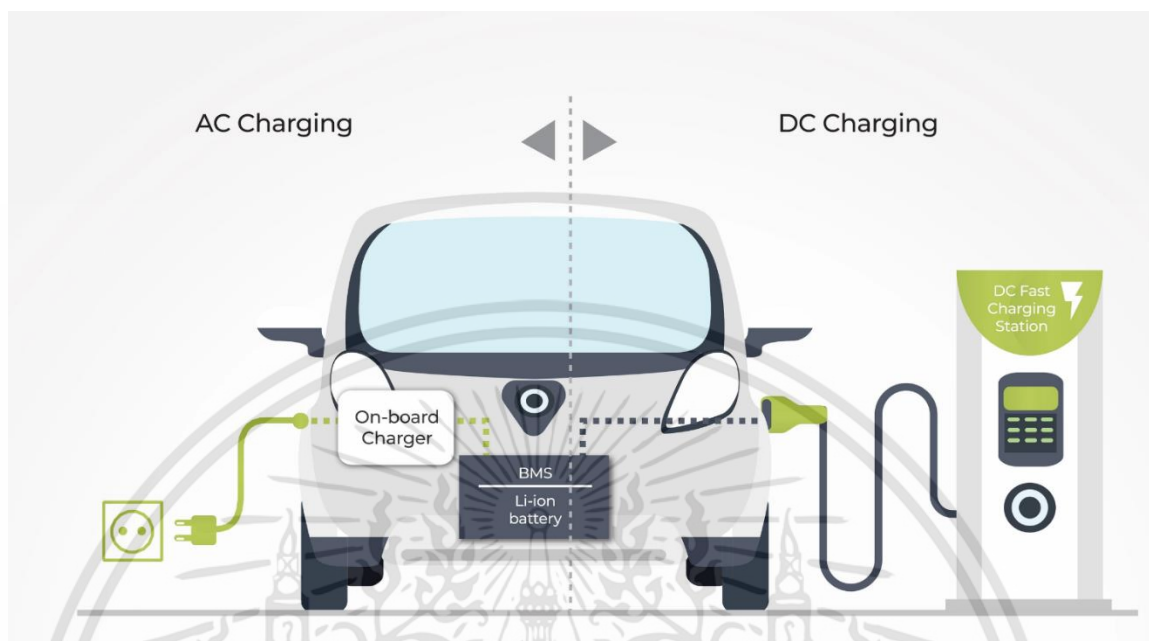
2) การประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2 (AC Level 2 Charging) การประจุในระดับที่ 2 นี้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 80 แอมป์ AC (วงจรรับกระแสไฟขนาด 100 แอมป์) โดยจะมีชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์โดยผ่านอุปกรณ์ on-board charger ที่จะแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เพื่อจ่ายเข้าไปในแบตเตอรี่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



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างเครื่องประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2

2.9.1.2 การชาร์จประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charge)

การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charging) หรือ DC Fast Charging เป็นการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วจ่ายเข้าแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าโดยตรง เทียบได้กับการประจุไฟฟ้าระดับที่ 3 ตามมาตรฐาน SAE กรณีนี้ช่วยให้อัตราการประจุไฟฟ้า เร็วขึ้นประมาณ 75% - 80% และใช้เวลาในการประจุเพียง 20 - 30 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ด้วย แต่ด้วยค่ากระแสที่สูง จึงเป็นอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า แบบ 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 200kW และใช้เวลาประมาณ 12 นาที - 2 ชั่วโมงในการชาร์จประจุ แบบนี้จะเหมาะกับจุดพักรถต่าง ๆ ที่จะมาแทนปั้มน้ำมันแบบ 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 2.30 การชาร์จประจุไฟฟ้าการชาร์จประจุไฟฟ้าแบบปกติและการชาร์จประจุไฟฟ้าแบบเร็ว

2.9.1.3 การแบ่งประเภทการชาร์จตาม Mode

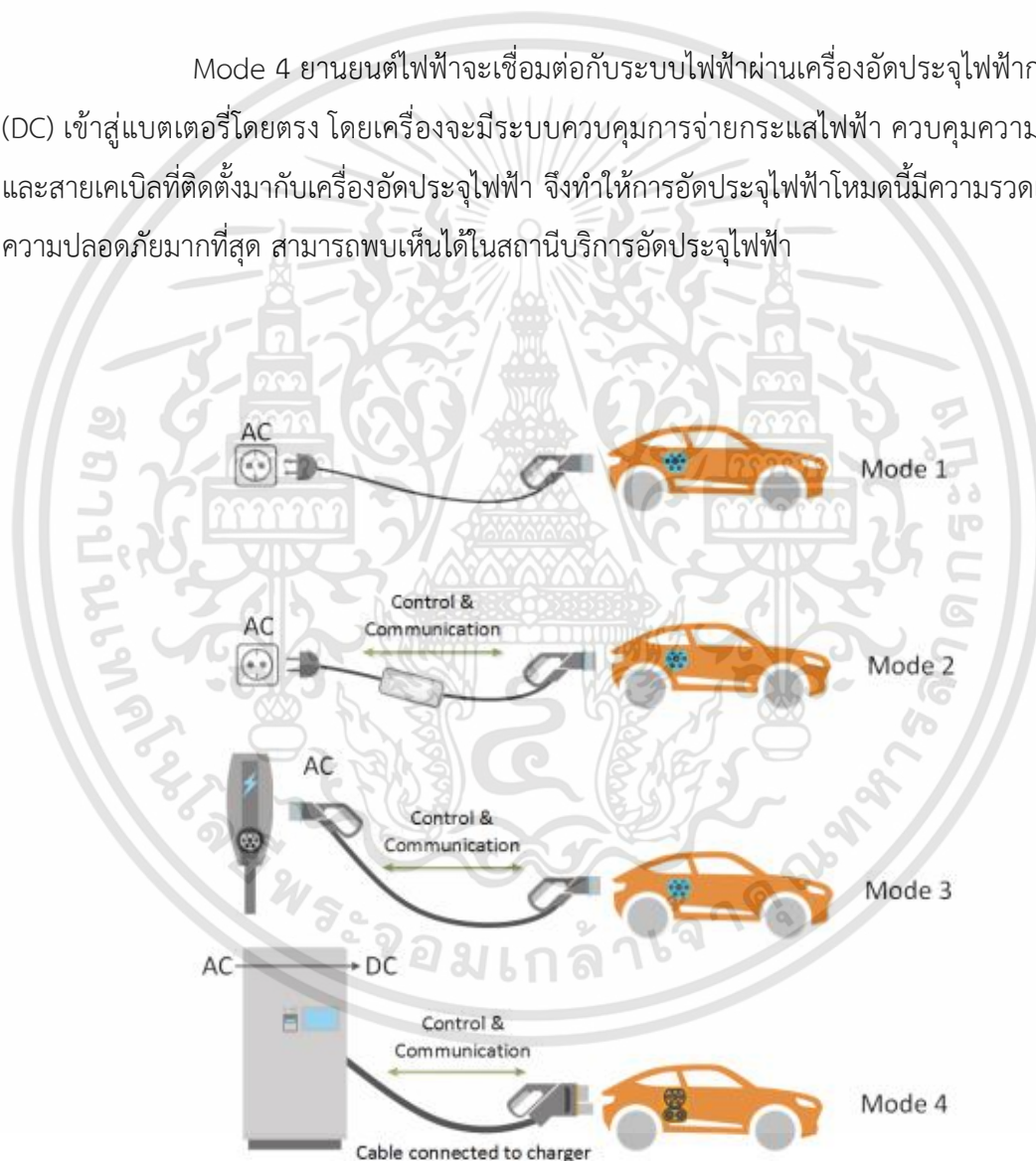
เป็นการชาร์จโดยใช้ Protocol ที่บอกถึงความปลอดภัยระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า และสถานีชาร์จประจุเป็นตัวแบ่งซึ่งการแบ่งชนิดนี้นิยมใช้กันทั่วโลก โดยแบ่งได้ 4 Mode ดังนี้

Mode 1 ยานยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านเต้ารับจากที่อยู่อาศัยโดยตรง เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย มีการติดตั้งสายดิน อุปกรณ์การตัดไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันการเกิดกระแสไฟฟ้ารั่ว เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 1 ใช้เวลาดำเนินการนานอาจทำให้เกิดความร้อนที่เต้ารับ และสายไฟฟ้าทำให้อุณหภูมิเกินอันตราย จึงจำเป็นที่จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว

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

Mode 3 ยานยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีแผงควบคุมวงจรในการอัดประจุไฟฟ้า และควบคุมความปลอดภัยในการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ได้ดีกว่า โหมด 1 และโหมด 2 ซึ่งการอัดประจุไฟฟ้าโหมดนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะที่สามารถจอดรถเป็นระยะเวลานานได้ เช่น ห้างสรรพสินค้า ที่ทำงาน เป็นต้น

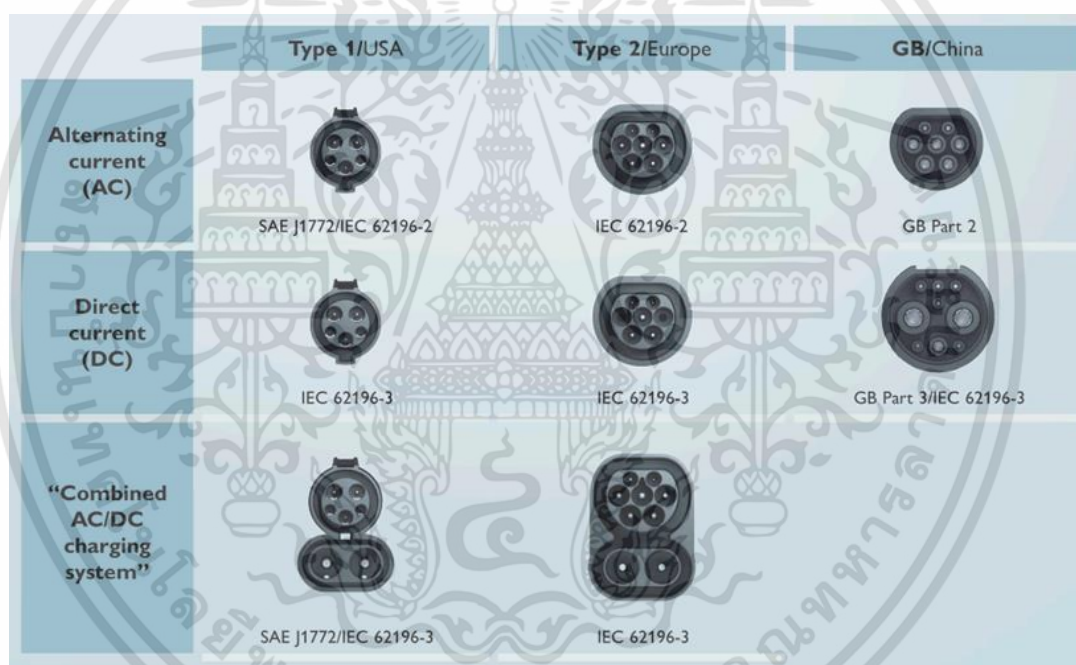
Mode 4 ยานยนต์ไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เข้าสู่แบตเตอรี่โดยตรง โดยเครื่องจะมีระบบควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ควบคุมความปลอดภัย และสายเคเบิลที่ติดตั้งมากับเครื่องอัดประจุไฟฟ้า จึงทำให้การอัดประจุไฟฟ้าโหมดนี้มีความรวดเร็ว และมีความปลอดภัยมากที่สุด สามารถพบเห็นได้ในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.31 รูปแบบการชาร์จประจุไฟฟ้าในโหมดต่าง ๆ

2.9.2 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

มาตรฐานของสถานีประจุไฟฟ้า ในต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็น ยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น และจีน มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดตามการใช้งาน เนื่องจากแต่ละประเทศมีความแตกต่างด้านระดับแรงดันของไฟฟ้า รูปแบบของเครื่องมือและอุปกรณ์จึงมีส่วนทำให้มาตรฐานและการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของยานยนต์ไฟฟ้าแตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.32 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าประกอบด้วยสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และจีน และจะมีลักษณะของอุปกรณ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละประเภทของการประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.32 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

2.9.2.1 เทคโนโลยีของสหภาพยุโรป : มาตรฐาน IEC 62196

มาตรฐาน IEC62196 เป็นมาตรฐานที่ควบคุมในส่วนของหัวปลั๊ก เติร์ปมาตรฐานนี้โดยเบื้องต้นกล่าวถึงโหมดการประจุ การกำหนดค่าการเชื่อมต่อและข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจงซึ่งรวมถึงในส่วนของความปลอดภัยของทั้งยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า (EVSE) เช่น ไฟจะไม่เข้าระบบ (ประจุไม่เข้า) หากการต่อสายยังไม่เรียบร้อยและขณะประจุรถจะต้องไม่มีการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)

2.9.2.2 เทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกา : มาตรฐาน SAE J1772

SAE J1772 (IEC ประเภท 1) เป็นมาตรฐานของอเมริกาเหนือ สำหรับหัว ปลั๊กไฟฟ้า สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดูแลโดย SAE International ที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่า "SAE Surface Vehicle Recommended Practice J1772, SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler" เป็นมาตรฐานที่ครอบคลุมในเรื่องของข้อมูลทั่วไปด้านกายภาพ, ด้านไฟฟ้า, การสื่อสาร และข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพสำหรับระบบประจุไฟฟ้า และอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า รวมไปถึง ข้อกำหนดลักษณะของระบบการประจุยานยนต์ไฟฟ้า ข้อกำหนดในตัวฟังก์ชันและส่วนประกอบของ หัวปลั๊กไฟฟ้า.

มาตรฐาน J1772 ของตัวรับและหัวปลั๊ก ในมาตรฐานนี้จะพูดถึงการเชื่อมต่อจากสถานีประจุไฟฟ้า จากโครงข่ายไฟฟ้าและบ้านอยู่อาศัย เน้นความปลอดภัยสูงขณะประจุมิการตั้งค่าในการประจุอยู่ที่ 80A ใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 240 V ในปัจจุบันพบว่าการใช้งานอยู่ในการประจุไฟฟ้า ระดับ 1 แต่การใช้งานจริงน้อยกว่า 30 A และมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าใช้ไปทั่วโลกนิยมใช้



รูปที่ 2.33 รายละเอียดของ J1772 connector และ EV Socket

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน J1772 Combo (AC/DC) มีความซับซ้อนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น สายเคเบิลที่ใช้ในการจ่ายพลังงานที่ใช้ DC ให้กับยานยนต์ไฟฟ้า และต้องมีฉนวนไฟฟ้าสำหรับการแยกแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำสุด 1.25 M Ω นอกจากนี้โปรโตคอลการสื่อสารสถานะและการประจุของยานยนต์ไฟฟ้า และต้องได้รับการปกป้องการลัดวงจรและการปล่อยไฟฟ้าสถิตที่อาจเกิดขึ้นได้มาตรฐาน J1772 Combo socket ที่ทำงานร่วมกันได้ดังรูปที่ 2.35 ที่แสดงถึงปลั๊กมาตรฐาน J1772 (AC) และ ปลั๊กแบบ Combo (AC/DC) ว่าเสียบเข้ากันได้กับเต้ารับที่กำหนด



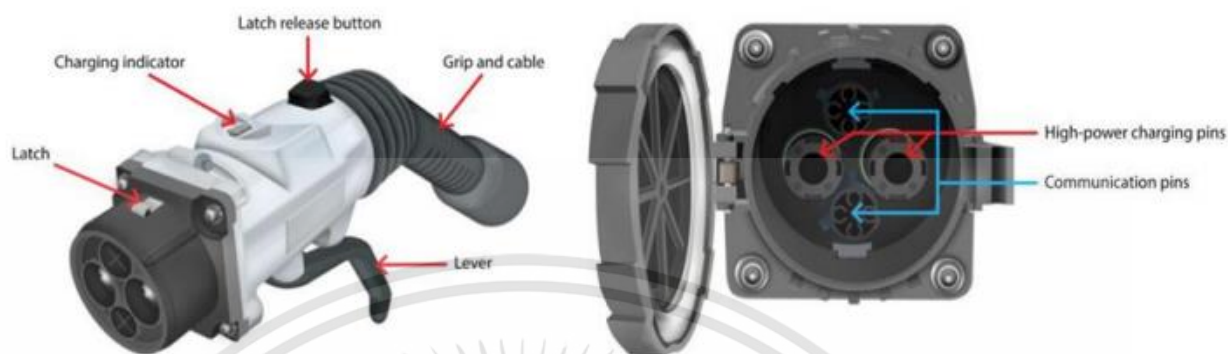
รูปที่ 2.34 รายละเอียดของ J1772 Combo connector และ Combo EV Socket



รูปที่ 2.35 การทำงานร่วมกันได้ของมาตรฐานของ Combo socket และ Combo connectors

2.9.2.3 เทคโนโลยีของญี่ปุ่น : มาตรฐาน CHAdeMO

CHAdeMO เป็นมาตรฐานที่ถูกสร้างขึ้นโดยบริษัท The Tokyo Electric Power Company, Nissan, Mitsubishi และบริษัท Fuji Heavy Industries (The Manufacturer of Subaru vehicles) ซึ่งเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบรวดเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น ลักษณะหัวปลั๊กเป็นตามรูปที่ 2.35 ในส่วนของ Communication pins จะเป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณผ่านโปรโตคอล CAN bus ส่วน High Power Charging pins จะเป็นตัวรับพลังงานระดับสูงที่ใช้ในการประจุ โดยถูกออกแบบมาเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าสูงถึง 62.5 กิโลวัตต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขั้วไฟฟ้าพิเศษ ทำให้ในการผลิตและออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อนั้น มุ่งเน้นในการติดตั้งเครื่องประจุไฟฟ้าและอุปกรณ์เชื่อมต่อที่มีความรวดเร็ว ตัวเต้ารับก็มีลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 หัวปลั๊กและเต้ารับตามมาตรฐาน CHAdeMO

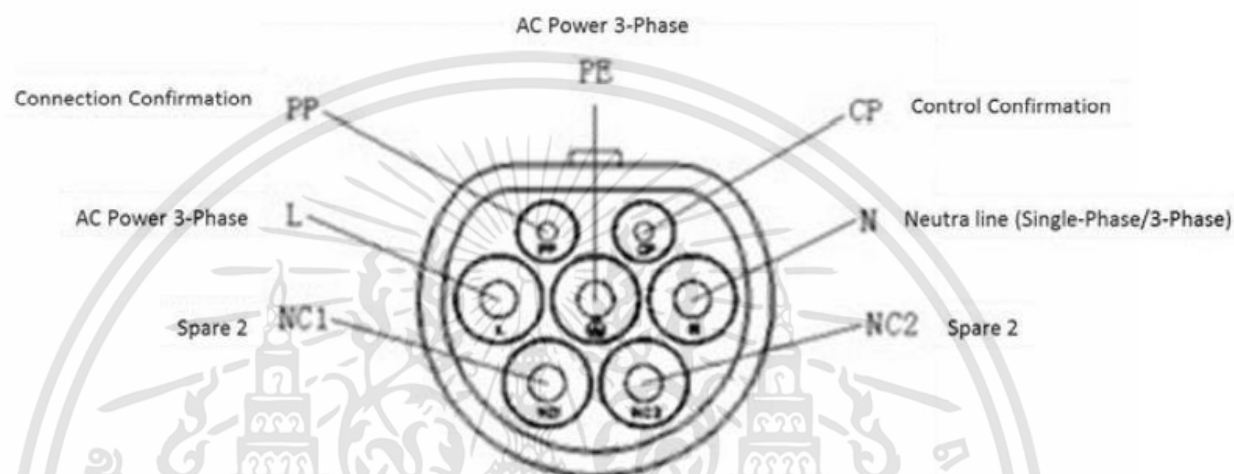
ในส่วนของอุปกรณ์เชื่อมต่อของ CHAdeMO นั้นจริง ๆ แล้วเป็นรูปแบบของ DC Fast charging ที่มีไฟฟ้าแรงสูง มีขนาดมากกว่า 500 VDC และมีกระแสไฟฟ้าสูงถึง 125 แอมป์อุปกรณ์จึงต้องใช้มาตรฐาน ทั้ง 2 รูปแบบ กล่าวคือใช้มาตรฐาน DC Fast charging ของญี่ปุ่นคือ CHAdeMO และมาตรฐาน AC Level 2 ของ SAE J1772

2.9.2.4 เทคโนโลยีของจีน : มาตรฐาน GB/T

เป็นมาตรฐานระดับชาติที่ออกโดย Standardization Administration of China (SAC) และคณะกรรมการแห่งชาติจีนของ ISO และ IEC มีชื่อว่า GB ซึ่งย่อมาจาก Guobiao ถูกมาตรฐานที่จีนใช้บังคับมีคำนำหน้า "GB" มาตรฐานที่แนะนำมีคำนำหน้า "GB / และตามด้วย หมายเลขของมาตรฐานนั้น เช่น "GB-XXXX" หรือ "GB/T-XXXX" ซึ่งมาตรฐาน GB เป็นพื้นฐานที่ใช้ สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ต้องได้รับการรับรองจากประเทศจีน หรือ China Compulsory Certificate (CCC) ถ้าไม่มีมาตรฐาน GB ที่สอดคล้องกับการรับรองของ China Compulsory Certificate (CCC) จะไม่อนุญาตให้ใช้งานข้อกำหนดของมาตรฐานของจีน ในส่วนของ GB/T 20234 ตามรูปที่ 2.37 ที่เกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานของหัวปลั๊กและมาตรฐาน EV ในประเทศจีน จะมีลักษณะคล้ายกับหัวปลั๊ก ของมาตรฐาน IEC 62196 จากเยอรมนี ซึ่งมาตรฐานของ GBT นั้นจะสนับสนุนทั้ง AC Charging ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 รวมถึงการสนับสนุน AC แบบสามเฟส และรองรับแรงดันไฟฟ้า 250 V และ 400 V DC ในขณะที่รูปแบบพินมีลักษณะคล้ายกับตัวเชื่อมต่อของมาตรฐาน IEC แต่ฟังก์ชันการทำงานจะไม่เหมือนกัน ส่วนข้อแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการหนึ่ง คือ ช่องเสียบ GBT ของจีนใช้สัญญาณ CAN BUS ในการควบคุมมากกว่าโปรโตคอลควบคุม PLC



รูปที่ 2.37 รายละเอียดของ GB/T 20234.2-2001

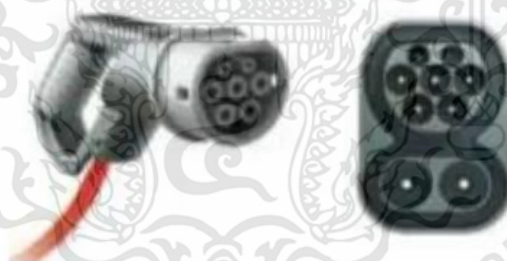
2.9.2.5 มาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับประเทศไทย

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

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย

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

มาตรฐานการประจุไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย สำหรับการประจุไฟฟ้ากระแสสลับ คือ IEC 62196 Type 2 และสำหรับการประจุไฟฟ้ากระแสตรง คือ CCS Combo 2 โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.38



(ก) IEC 62196 Type 2



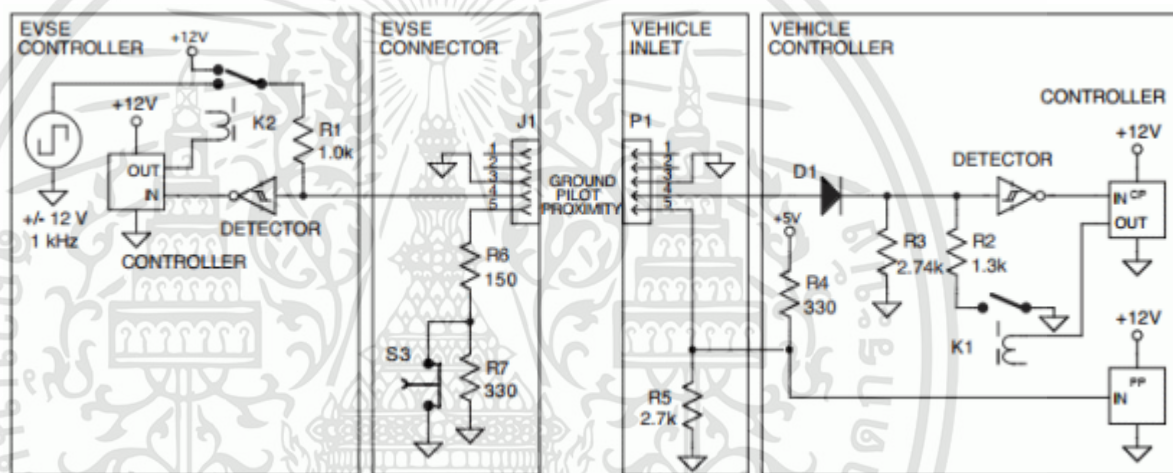
(ข) CCS Combo 2

รูปที่ 2.38 หัวปลั๊กและเต้ารับแบบ IEC 62196 Type 2 (ก) และแบบ CCS Combo 2 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 การเชื่อมต่อระหว่าง EV Station และ EV Car

เมื่อเราเสียบปลั๊กเข้ากับเต้าชาร์จแล้วจะยังไม่มีกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไหลออกมาจากสถานี เนื่องจากมาตรฐาน SAE J1772 นั้นมีมาตรฐานความปลอดภัย คือ ถ้าตัวรถไม่ส่งสัญญาณมาสั่งให้สถานีจ่ายกระแสไฟฟ้า สถานีก็จะไม่จ่ายกระแสออกมาดังนั้นจึงต้องทำการต่อความต้านทานเข้าไปเพื่อให้สัญญาณควบคุมหรือ Cp นั้น ตรงกับโหมดการชาร์จ สถานีจึงจะยอมจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาโดยจะมีโหมดต่าง ๆ กับค่าความต้านทานการดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.39 รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่าง EV Station กับ EV car

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	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สัญญาณ Cp นั้นยังสามารถควบคุมการจ่ายกระแสของสถานีชาร์จประจุได้โดยการ ควบคุม 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

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%

2.10 การคำนวณค่าไฟฟ้า

2.10.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอัตราการใช้ไฟฟ้า

ตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในด้านไฟฟ้าจะประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) และ ความต้านทานไฟฟ้า (R) ซึ่งทั้ง 3 ตัวแปรสามารถนำมาใช้ในการวัดอัตราการใช้ ไฟฟ้าได้อีก 2 ตัวคือ กำลังไฟฟ้า (P) และ วัดต่อชั่วโมง (Wh) ซึ่งค่าที่ควรทราบจริง ๆ เพื่อใช้ในการ วัดอัตราการใช้ไฟฟ้าจะมี อยู่ 2 ตัว คือ แรงดันไฟฟ้า (V) และ กระแสไฟฟ้า (I) ส่วนค่าอื่น ๆ สามารถ คำนวณได้จากสูตรดังนี้

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

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

ดังนั้น การว่าวัดต์ชั่วโมง จะใช้เป็นการจับเวลา ให้ครบ 1 วินาที แล้วนำค่ากำลังไฟฟ้ามาบวกกัน ไปเรื่อย ๆ หน่วยวัดต์ (W) ซึ่งในการคำนวณค่าไฟฟ้าจะใช้หน่วย ยูนิต เป็นหน่วยในการคำนวณ ซึ่ง 1 ยูนิต มีค่า เท่ากับ 1 KWh หรือ 1000Wh ดังนั้นหากต้องการหาค่ายูนิต ในนำว่าวัดต์ชั่วโมงหารด้วย 1000 จะได้ เป็นค่า ยูนิตออกมา

2.10.2 การแบ่งประเภทการใช้ไฟฟ้า

2.10.2.1 ประเภทที่ 1 (บ้านอยู่อาศัย)

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับบ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบ ศาสนกิจของทุกศาสนา ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.10.2.2 ประเภทที่ 2 (กิจการขนาดเล็ก)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจร่วมกับบ้านอยู่อาศัยอุตสาหกรรม ส่วน ราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กร ปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจสถานทูต สถานที่ ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่นๆ ตลอดจน บริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์โดยต่อผ่าน เครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.10.2.3 ประเภทที่ 3 (กิจการขนาดกลาง)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงานหรือ หน่วยงานอื่นใดของรัฐ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2.4 ประเภทที่ 4 (กิจการขนาดใหญ่)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงานหรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.10.2.5 ประเภทที่ 5 (กิจการเฉพาะอย่าง)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ย ใน 15 นาทีสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.10.2.6 ประเภทที่ 6 (องค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร)

สำหรับการใช้ไฟฟ้าขององค์กรที่มีวัตถุประสงค์ในกำไรให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว แต่ไม่รวมถึง ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ และ สถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ

2.10.2.7 ประเภทที่ 7 (สูบน้ำเพื่อการเกษตร)

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยงานราชการสหกรณ์เพื่อการเกษตร กลุ่มเกษตรกรที่จดทะเบียนจัดตั้งกลุ่ม เกษตรกร กลุ่มเกษตรกรที่หน่วยงานราชการรับรอง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.10.3 การคำนวณค่าไฟฟ้า

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

2.7.3.1 ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน

เรหราคที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า โดยจะนำข้อมูลมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แสดงดังรูปที่ 2.40

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	
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	

รูปที่ 2.40 ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 1

2.10.3.2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)

เรหราคที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า โดยจะนำข้อมูลมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยอ้างอิงข้อมูล ณ วันที่ 12 ธันวาคม 2564 แสดงดังรูปที่ 2.41

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 (อัตรา TOU)
ผู้ใช้ไฟฟ้ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าปริมาณ	0 หน่วยต่อเดือน
การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดย อัตโนมติ (F ₁)	-12.43 สตางค์ / หน่วย

รูปที่ 2.41 ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าผันแปรจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 1

2.10.3.3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (Vat)

เป็นการนำค่าไฟฟ้าพื้นฐาน มารวมกับค่าไฟฟ้าผันแปร แล้วคูณด้วยภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% หรือ 0.07 ซึ่งจะทำให้ได้ภาษีมูลค่าเพิ่มของค่าไฟฟ้า

โดยค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระทั้งหมดให้กับการไฟฟ้าเกิดจากการนำค่าทั้งหมดมารวมกันคือ ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน ค่าไฟฟ้าผันแปร และภาษีมูลค่าเพิ่ม

2.11 การคำนวณการใช้งานแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

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

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่ากระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในการทำงาน

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

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

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

ขั้นตอนที่ 2 : หาค่าการใช้พลังงานจ (Wh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น มีการใช้งานมอเตอร์ขนาด 2,200 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จะได้ $1500 \text{ วัตต์} \times 1 \text{ ชั่วโมง}$

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

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

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

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

ดังนั้นในการใช้งานมอเตอร์ 2200 วัตต์เป็นเวลา 1 ชม. จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 48V 60 Ah และหากรถไถไฟฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 35 กม./ชม. จะสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นระยะทาง 35 กม. หากต้องการเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 70 กม. จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 48V 120Ah และหากต้องการเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 105 กม. จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 48V 180Ah

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

วิธีการคำนวณ

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

ตัวอย่าง เช่น

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

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

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

การชาร์จควรชาร์จแบตเตอรี่นานกี่ชั่วโมง ดูค่าได้จากกราฟใน data sheet ของแบตเตอรี่รุ่นที่เราใช้ ส่วนใหญ่เมื่อแบตเตอรี่หมดประจุ จะเหลือความจุแบตเตอรี่ (Ah) ประมาณ 35% ดังนั้นจึงต้องชาร์จเพิ่มอีก 65% เพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม

วิธีการคำนวณ

$$\text{จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม} = 65\% \times \text{ขนาดแบตเตอรี่ (Ah)}$$

$$\text{จำนวนชั่วโมง ชาร์จ} = \text{จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม} \div \text{กระแสที่ควรชาร์จ}$$

ตัวอย่าง เช่น

- แบตเตอรี่รถยนต์ 12V 65Ah

$$\text{จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม} = 0.65 \times 65\text{Ah}$$

$$= 42.25\text{Ah}$$

$$\text{จำนวนชั่วโมง ชาร์จ} = 42.25\text{Ah} \div 6.5\text{A}$$

$$= 6.5 \text{ ชม.} \approx 7 \text{ ชม.}$$

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

- แบตเตอรี่มอเตอร์ไซค์ 12V 5Ah

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวน Ah ที่ต้องชาร์จเพิ่ม} &= 0.65 \times 5 \text{ Ah} \\
 &= 3.25 \text{ Ah} \\
 \text{จำนวนชั่วโมง ชาร์จ} &= 3.25\text{Ah} \div 0.5\text{A} \\
 &= 6.5 \text{ ชม.} \approx 7 \text{ ชม.}
 \end{aligned}$$

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

2.12 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 Battery LiFePo4 3.3Volt 6000mA

Battery LiFePo4 เป็นแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานในด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ในปัจจุบันมากที่สุด เพราะเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุไฟฟ้าสูงจ่ายไฟได้แรงแล้วสามารถชาร์จไฟได้บ่อยครั้งโดยไม่มี Memory effect



รูปที่ 2.41 Battery LiFePo4

2.12.2 BMS (Battery Management System)

Battery Management System มีหน้าที่ในการ Maintain balance cell battery เพื่ออัดประจุไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด และยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยการวัดสถานะการชาร์จ (SoC) ประสิทธิภาพในแต่ละเซลล์ (SoH) รวมถึงการตรวจสอบเซ็นเซอร์ต่างๆ (SoF) BMS จะมีประสิทธิภาพในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจจับความผิดปกติของความจุที่หายไป ซึ่งจะประเมินจากแรงดันและความต้านทานภายในแบตเตอรี่ จาก 100 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าความจุจะลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน BMS ก็จะตรวจสอบต่อความผิดปกติ และความต่างศักย์ระหว่างเซลล์ที่เกิดจากความไม่สมดุลของเซลล์และการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายใน จะคำนวณ Coulomb counting ในการควบคุมการเปิด/ปิด ความสมดุลในการชาร์จ (SOC) จะทำงานแปรผันตามความเสื่อมลงของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.42 BMS (Battery Management System)

2.12.3 High Voltage DC Step-up 12-60Volt to 12-80Volt DC 10A 600W

DC Step-up เป็นวงจรปรับแรงดันแบบปรับค่าได้ และสามารถปรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 15A โดยหลักการทำงานของวงจรนี้คือใช้กระแส Input ไปแปลงเป็นแรงดัน Output ดังนั้นเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นสูงมากเท่าไร กระแสก็จะลดลงผกผันกัน



รูปที่ 2.43 High Voltage DC Step-up 12-60Volt to 12-80Volt DC 10A 600W

2.12.4 Circuit Breaker DC 12-100Volt 2P 10A

เซอร์กิตเบรกเกอร์หรือเบรกเกอร์ คือสวิตช์ไฟฟ้าอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันวงจรไฟฟ้าจากความเสียหายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าส่วนเกิน โดยทั่วไปจะเกิดจากโหลดไฟฟ้าเกินหรือไฟฟ้าลัดวงจร หลักการทำงานคือตัดกระแสไฟฟ้าหลังจากตรวจพบความผิดปกติในวงจรไฟฟ้า Circuit Breaker เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินเช่นเดียวกับฟิวส์แต่แตกต่างกันที่เมื่อตัดวงจรแล้วสามารถเปิดและปิดวงจรได้ทันทีหลังจากแก้ปัญหาเสร็จแล้ว



รูปที่ 2.44 Circuit Breaker DC 12-100V 2P 10A

2.12.5 Adapter Charger Battery LifePo4 220Volt to 48Volt DC to AC

10A 580W

Adapter อะแดปเตอร์คือตัวแปลงแรงดันไฟฟ้าคือการแปลงแรงดันสูงของ AC เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำ DC ผ่านการแก้ไขและการแปลงแรงดันไฟฟ้าของอะแดปเตอร์ จากแรงดัน 220VAC 50-60Hz เป็นแรงดันต่ำ 48V 10A ทำหน้าที่คอยอัดประจุไฟฟ้า ให้แบตเตอรี่ โดยจ่ายกระแส 10A อย่างต่อเนื่อง และเมื่อทำการอัดประจุ (Ah) ของแบตเตอรี่จนครบเซลล์แบตเตอรี่จากนั้น Adapter จะทำการหยุดอัดประจุให้กลับเซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ 2.45 Adapter Charger Battery LifePo4 220Volt to 48Volt DC to AC 10A 580W

2.11.6 Sola Module Type: OSM60-156M-270W

Sola Cell เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์หรือโฟตอนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โยยอาศัยปรากฏการณ์ โฟโตโวลตาอิก หลักการทำงานคือเมื่อมีแสงมาตกกระทบสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอนที่ฉาบไว้ จะทำให้คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิคอน เปลี่ยนไปเป็นแรงดัน และกระแสไฟฟ้า หรือความต้านทานเมื่อต่อโหลดทางไฟฟ้า จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโหลดได้ แผงโซลาร์เซลล์นี้จะต้องทนทานต่อสภาพอากาศที่เลวร้าย เช่น พายุฝน ลมกระโชกแรง และลูกเห็บ เป็นต้น ทำให้ต้องมีมาตรฐานแผงโซลาร์เซลล์กำกับเพื่อแสดงถึงความสามารถในการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

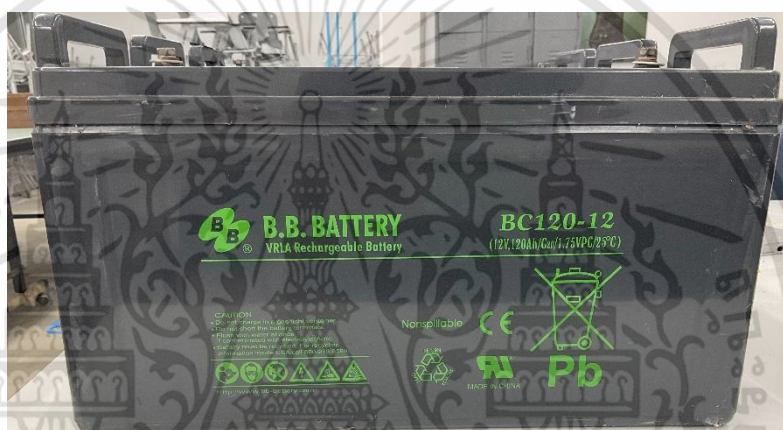


รูปที่ 2.46 Sola Module Type: OSM60-156M-270W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.7 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle ขนาด 12Volt 120Ah

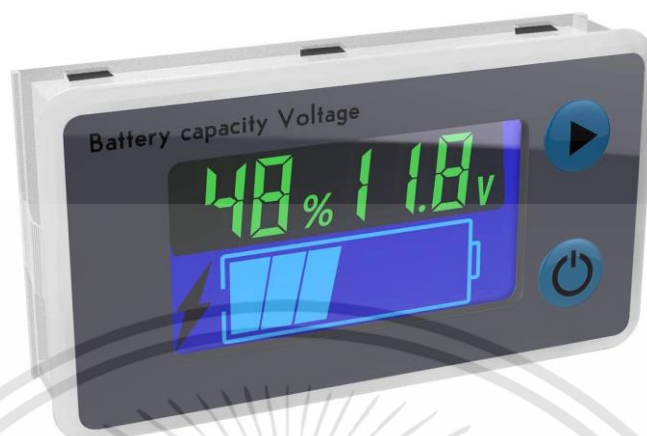
แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่ที่มีอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักที่ต่ำมาก และอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาตรที่ต่ำ แต่มีอัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง นั่นหมายถึงมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟกระชากที่สูง ด้วยคุณสมบัติข้างต้นรวมกับราคาที่ค่อนข้างถูก ทำให้เป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ที่ต้องใช้กระแสสูงสำหรับการจุดเครื่องยนต์.



รูปที่ 2.47 แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle

2.12.8 Battery capacity Voltage

Battery capacity Voltage เป็นชุดโมดูลที่ใช้สำหรับวัดแรงดันของแบตเตอรี่แล้วใช้หาค่าสถานะของแรงดันแบตเตอรี่ในรูปแบบ Real time



รูปที่ 2.48 Battery capacity Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

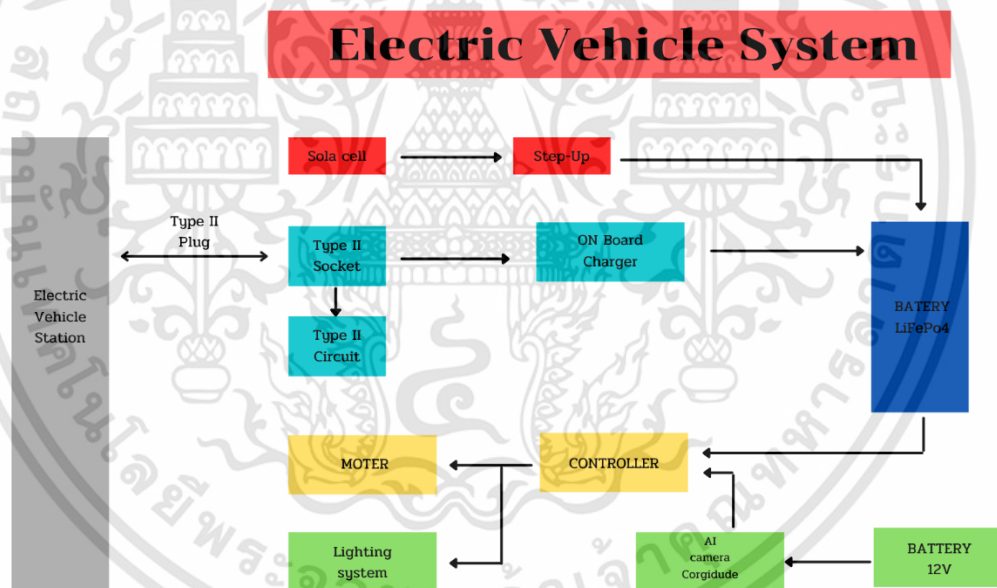
บทที่ 3

การออกแบบและวิธีการดำเนินการ

3.1 การออกแบบระบบของยานยนต์ไฟฟ้า

3.1.1 การออกแบบระบบย่อยๆ ของยานยนต์ไฟฟ้า

หลักการออกแบบระบบชาร์จประจุในยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐาน ICE 62196 Type II จำเป็นต้องรู้ระบบส่วนประกอบต่างๆ ในยานยนต์ไฟฟ้าที่เราจะทำ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการออกแบบ

3.1.2 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

3.1.2.1 การเลือกใช้งานแบตเตอรี่

เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิด LiFePo4 ขนาด 3.2Volt 6000mA เนื่องจากมีความจุมากกว่า แบตเตอรี่เมื่อเทียบกับ Specific energy ของแบตเตอรี่ด้วยกันเอง และง่ายต่อการประกอบขึ้นรูปเป็น Model แบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า อีกทั้งยังมีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย และยังมีประสิทธิภาพในการทำงาน มีความเสถียรภาพ มีการจ่ายพลังงานอย่างแม่นยำ มีการชาร์จที่รวดเร็วและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานหากเมื่อเกิดเหตุการณ์ Over Charging , Short Circuit , Mechanical Damage และ Ignition แบตเตอรี่จะไม่สามารถเกิดเพลิงไหม้ด้วยตัวของแบตเตอรี่เองได้หรือ Ignition Reaction แต่จะสามารถมีปฏิกิริยาการเผาไหม้ทางเคมีในตัวของแบตเตอรี่เอง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบตเตอรี่ลิเทียม LiFePo4

3.1.2.2 การคำนวณออกแบบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ที่นำไปใช้ในรถไฟฟ้า

เนื่องจากค่าประสิทธิภาพของ Inverter Controller ของรถไฟฟ้า อยู่ที่ 90%
 $2530(1-0.9)+2530=2783$ ดังนั้น ค่าพลังงานจาก 0W ควรใช้ในการเลือกขนาดพลังงานในแบตเตอรี่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 2783 W ซึ่งจะสามารถใช้งานได้ 1 ชม. เนื่องจากตัวรถมีน้ำหนักที่จำกัดเราจึงเลือกแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับพื้นที่ติดตั้งของตัวรถไฟฟ้า และอุณหภูมิภายในของรถไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด โดยเลือกแบตเตอรี่ที่ขนาดพลังงานที่ไม่ต่ำกว่า 1500 เพื่อให้รถไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ในระยะเวลาไม่ต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง ดังนั้นเราจึงออกแบบแบตเตอรี่ขนาด 16S 5P เพราะฉะนั้นถ้าหากวิ่งด้วยความเร็วคงที่ที่ 5Km/h จะสามารถวิ่งได้มีระยะทาง 2.66 Km โดยใช้เวลาโดยประมาณ 32 นาที จากสูตร การเคลื่อนที่แนวราบด้วยความเร็วคงที่ $V=S/T$ ตามทฤษฎีโดยไม่มี Load

ขั้นตอนที่ 1 : นำเซลล์แบตเตอรี่มาต่อแบบอนุกรมกัน 16S เพื่อหาแรงดัน

แรงดันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน $3.2V \times 16S$

แรงดัน = 51.2V (ตามทฤษฎีจัดอยู่ในระบบ 48Volt)

ขั้นตอนที่ 2 : นำเซลล์แบตเตอรี่มาต่อแบบขนานกัน 5P เพื่อหาค่าจุ

ความจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน $6Ah \times 5P$

ความจุ = 30Ah

ขั้นตอนที่ 3 : หาค่าพลังงานของแบตเตอรี่ หาได้จาก

พลังงาน = แรงดัน \times ความจุ

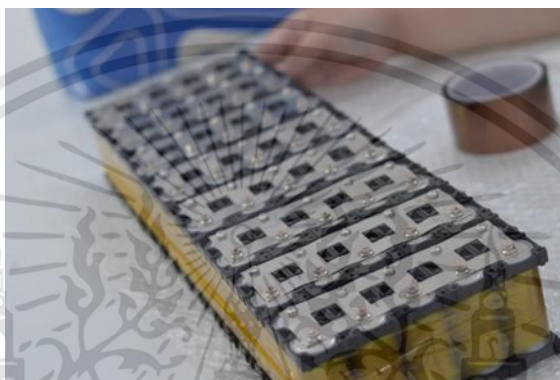
พลังงาน = $51.2V \times 30Ah$

พลังงาน = 1536 Wh

ถ้าหากต้องการให้รถไฟฟ้าให้สามารถใช้งาน 1 ชั่วโมง รถไฟฟ้าจะต้องใช้พลังงาน 2793W ดังนั้นรถไฟฟ้าจะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุแบตเตอรี่ $2793W \div 51.2V = 54.55Ah$ หรือจะต้องมีความจุของแบตเตอรี่ประมาณ 60Ah รถไฟฟ้าจึงสามารถวิ่งได้ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ตามตามทฤษฎีหรือต้องการให้รถไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ 2 ชั่วโมง จะต้องเพิ่มความจุของแบตเตอรี่ 120Ah รถไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง ตามทฤษฎี

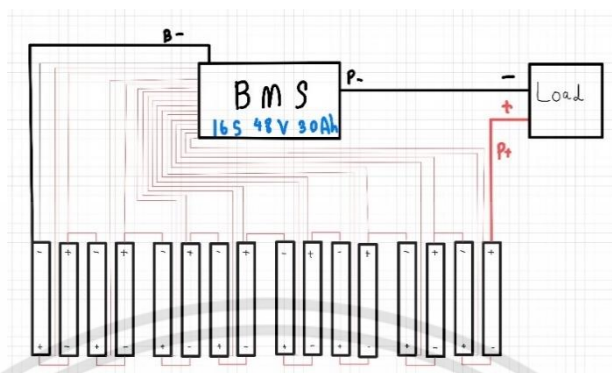
3.1.2.3 การประกอบชุดโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส

ทำการประกอบโมดูลแบตเตอรี่โดยนำเซลล์แบตเตอรี่ที่ได้ออกแบบพลังงานไว้แล้วจึงนำแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสมีขนาด 16S 5P หรือ 51.2V 30Ah 1536Wh ดังรูปที่ 3.3

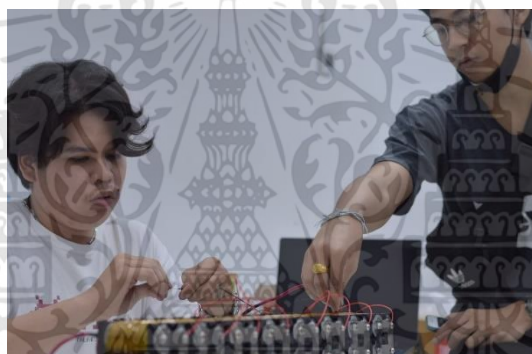


รูปที่ 3.3 การแพ็คแบตเตอรี่ขนาด 16S 5P

จากนั้นทำการประกอบ Battery Management System(BMS)ขนาด48V 30Ah 16S 5P เพื่อป้องกันโมดูลแบตเตอรี่ไม่ให้เกิด Overcharge & Short circuit อีกทั้งคอยควบคุมอุณหภูมิในการทำงานให้ไม่เกิน 55องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้เซลล์ในโมดูลแบตเตอรี่นั้นเสื่อมสภาพก่อนเวลาที่กำหนด และ BMS มีหน้าที่ ความคุมการ Charging & Discharging ในการติดตั้ง Battery Management System(BMS) นั้นจะมีสาย สำหรับ balance cell battery ทั้งหมด 16เส้น โดยให้ต่อสายไฟเข้าที่ ขั้วบวกของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจร Battery Management System(BMS)



รูปที่ 3.5 การติดตั้ง BMS เข้ากับโมดูลแบตเตอรี่

เมื่อทำการประกอบ Battery Management System(BMS) เข้ากับโมดูลแบตเตอรี่สำเร็จแล้ว จะต้องทำการหุ้มเทปกั้นความร้อนให้มิดชิด ดังรูปที่ 3.5 แล้วให้ทำการหุ้มด้วยฟิล์มหูดอีกชั้นดังรูปที่ 3.6 เพื่อป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนที่เซลล์แบตเตอรี่ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ



รูปที่ 3.6 การหุ้มเทปกั้นความร้อนของชุดโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสขนาด 51.2Volt 30Ah



รูปที่ 3.7 การหุ้มด้วยฟิล์มหัดของชุดโมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสขนาด 51.2Volt 30Ah

3.1.3 การคำนวณออกแบบ Solar Cell เพื่อนำไปใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

หลักการออกแบบระบบ Solar cell นั้นเราจำเป็นต้องรู้จำนวนพลังงานที่เราต้องใช้ (Power Load) รวมถึงจำนวนการใช้งาน โดยมี 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : หาอัตราส่วนของพลังงานที่จะนำไปใช้ เท่ากับ 1536 Wh

จากสูตร ; ความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์ = อัตราพลังงานที่นำไปใช้ \times อัตราส่วนสมรรถนะแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{ความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์} &= 1536 \text{ Wh} \div 80\% \\ &= 1920 \text{ Wh} \end{aligned}$$

- ขั้นตอนที่ 2 : หาขนาดของ Solar cell โดยการใช้ค่าความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยค่า SPH ที่เหมาะสำหรับการติดตั้งแสง

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร ; ขนาดของ Solar cell} &= \frac{\text{ความต้องการพลังงานแสงอาทิตย์}}{\text{SPH}} \\ \text{ขนาดของ Solar cell} &= \frac{1920 \text{ Wh}}{4.5h} \\ \text{ขนาดของ Solar cell} &= 426.66 \text{ Wp} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 3 : เมื่อทราบถึงขนาดของ Solar cell แล้วต้องกำหนดประเภทของ Solar cell ทางกลุ่มได้เลือกใช้ Sola Module Type: OSM60-156M-270W

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร ; แผง Solar cell} &= \frac{\text{ขนาดของ Solar cell}}{\text{Out Peak Power}} \\ \text{จากสูตร ; แผง Solar cell} &= \frac{426.66 \text{ Wh}}{270 \text{ W}} \\ \text{จากสูตร ; แผง Solar cell} &= 1.5 \text{ แผง (ประมาณ 2 แผงตาม} \end{aligned}$$

ทฤษฎี)

จากการคำนวณหาจำนวนของแผงโซลาร์เซลล์นั้นจำเป็นจะต้องติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 270W จำนวน 2 แผงถึงจะเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน แต่เนื่องจากการออกแบบบอร์ดไฟฟ้าที่มีพื้นที่จำกัดจึงติดตั้งได้ 1 แผงดังรูปที่ 3.6 และได้ทดแทนการนำ Step-Up นำมาติดตั้งแทนทำให้มีพลังงานมากพอที่จะสามารถมีพลังงานเพียงพอต่อการใช้งานโดยได้ทำการ Set Step-Up ให้ปล่อยแรงดันคงที่ ที่ 58Volt แล้วทำการปรับกระแสที่ออกจาก Step-Up ที่ขึ้นต่ำ 3A ดังรูปที่ 3.7



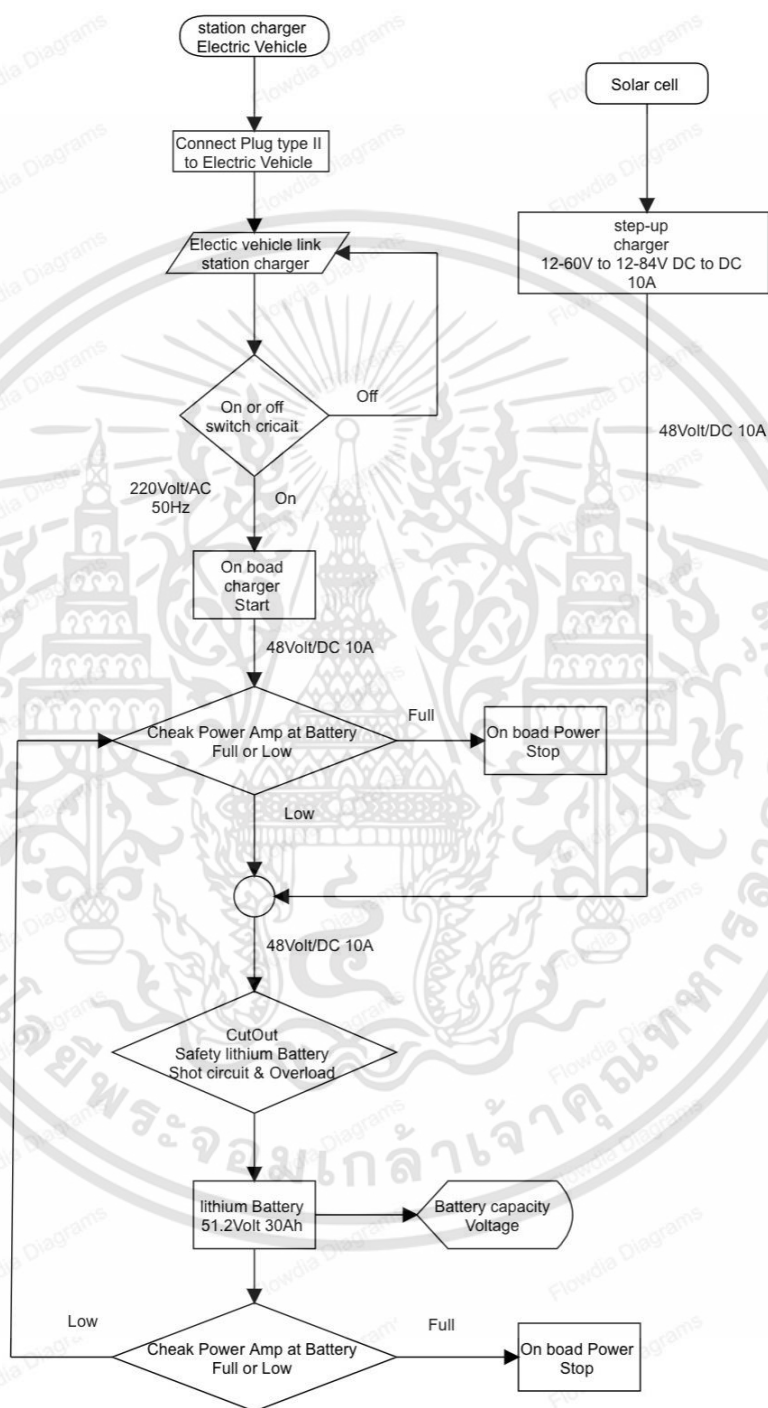
รูปที่ 3.8 แผงโซลาร์เซลล์ ติดตั้งบนหลังคารถไฟไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 ปรับแรงดันของโซลาร์เซลล์จาก Step-Up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทำงาน

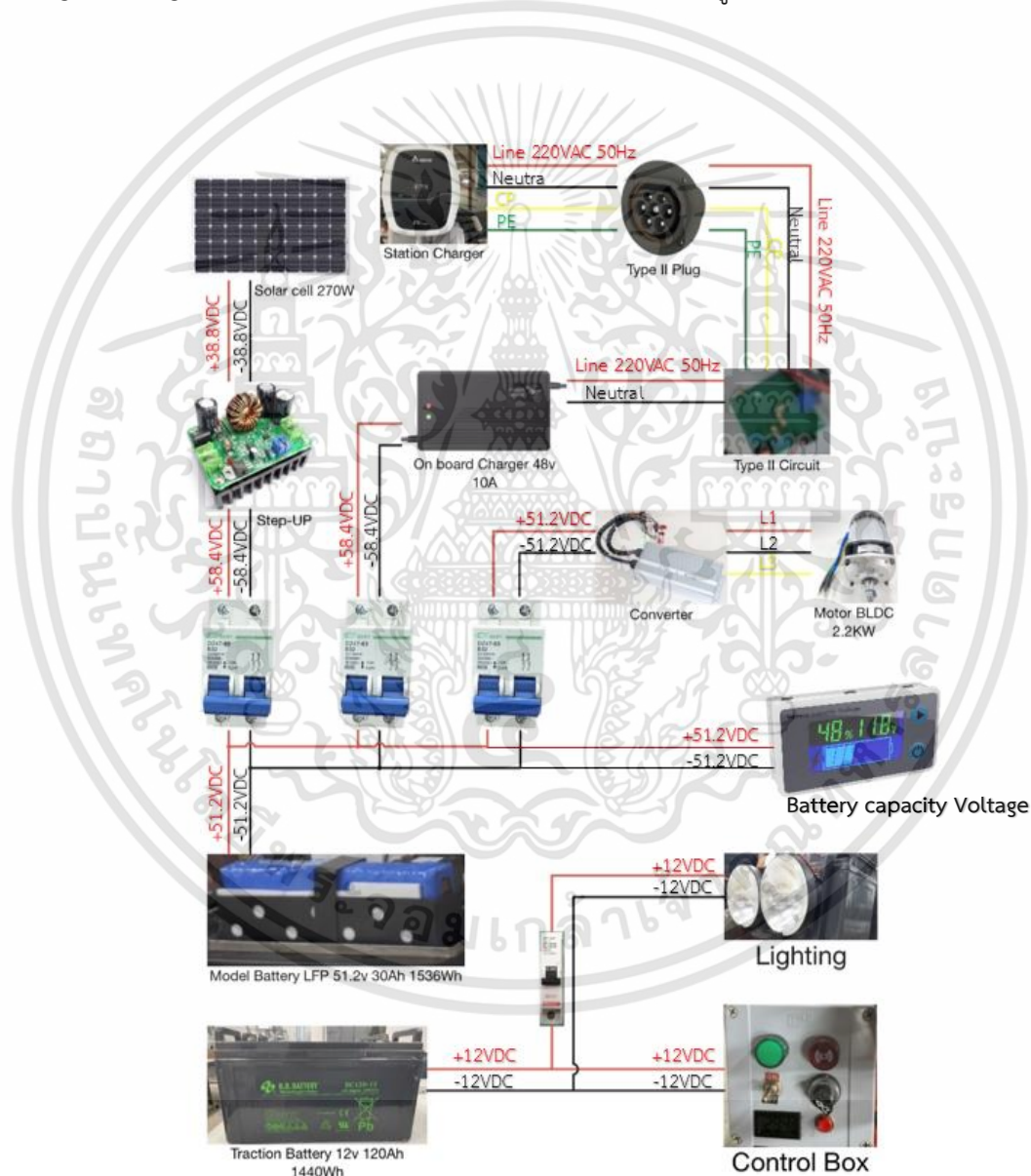


รูปที่ 3.10 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทำงานของ Charger System

โดยในส่วนของ Charger System ออกแบบมาเพื่อเก็บพลังงานงานไฟฟ้าจาก Station Charger และ Solar Cell ให้กับ Battery LiFePO4 และวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไหลเข้า Battery LiFePO4 เพื่อการนำมาแสดงผลต่อไป โดยมีการติดตั้งกล่อง Feature Charger ประกอบไปด้วย On Board Charger, Charger Box และ Volt Meter ที่ติดตั้งภายในตัวรถ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ของระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์และระบบการอัดประจุตามมาตรฐาน ICE62196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 Volt & Amp Meter

Volt & Amp Meter ทำหน้าที่ในการอ่านค่า แรงดัน จากสถานีชาร์จ และ Solar Cell ที่อัดพลังงานเข้าแบตเตอรี่ ใช้เพื่อสำหรับอ่านค่าแรงดันของแบตเตอรี่ และ บอกเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่ มีขีดบอกปริมาณของแบตเตอรี่จำนวน 10 ขีด โดยที่ 1 ขีดจะเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่

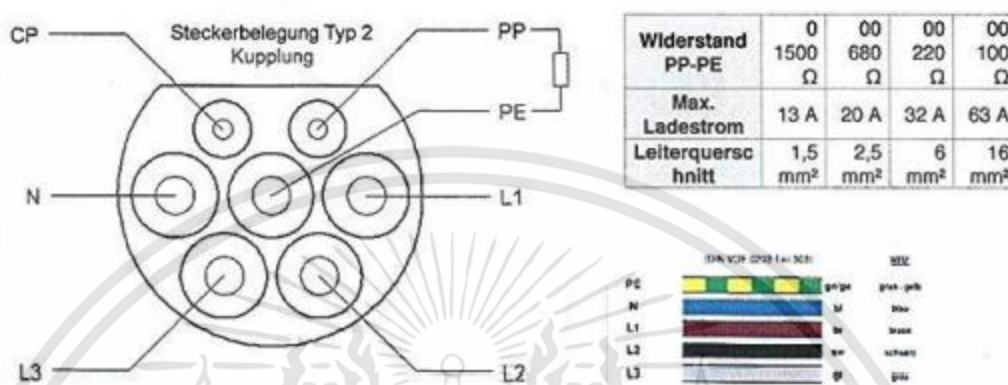
3.2.2 High Voltage DC Step-up 12-60Volt to 12-80Volt DC 10A 600W

High Voltage DC Step-up ทำหน้าที่แปลงแรงดันจาก Solar cell ให้มีแรงดันลดเหลือ 48Volt ที่ 10A เพื่ออัดพลังงานที่ได้จาก Solar cell ให้กับ แบตเตอรี่ลิเธียม ติดตั้งอยู่ในกล่องขนาดกลาง

3.2.3 On Board Charger 220Volt to 48Volt 10A

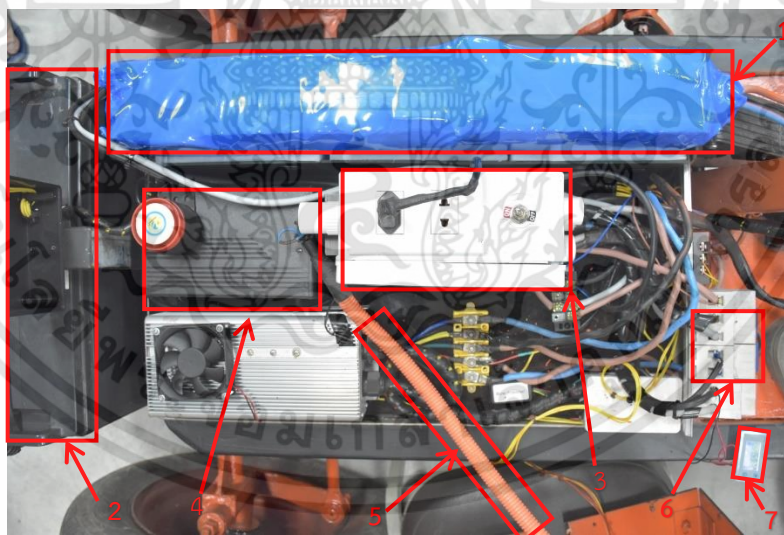
Adapter 220Volt to 48Volt 10A ทำหน้าที่แปลงพลังงานจากสถานีชาร์จที่มีแรงดันไฟ 220Volt เป็นแรงดัน 48Volt 10A เพื่ออัดพลังงานให้กับแบตเตอรี่ ลิเธียม และมีวงจรตัดกระแส หากพลังงานของแบตเตอรี่นั้นเต็ม โดยจะมีไฟ LED โห้วสถานะโดยจะมีไฟ LED สีแดงและไฟLED สีเขียว โดยที่ไฟ LED สีแดงนั้นจะบ่งบอกถึงว่ากำลังชาร์จพลังงานให้กับแบตเตอรี่ลิเธียม และไฟLED สีเขียวจะบ่งบอกถึงปริมาณของแบตเตอรี่นั้นเต็มแล้วพร้อมหยุดจ่ายพลังงานเข้าแบตเตอรี่

3.2.4 วงจรมาตรฐาน Type 2 ที่ใช้ติดต่อกับสถานีชาร์จประจุ



รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการเชื่อมต่อ และตัวต้านทานค่าต่างๆ ที่ทำให้กระแสเอาต์พุตต่างกัน

3.2.5 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ภายในตัวรถไฟฟ้า



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งของอุปกรณ์บนตัวรถไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบชาร์จประจุในยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 62196 Type II มีการวางตำแหน่งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 1 คือ โมดูลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส 51.2V 30Ah 1536Wh

หมายเลข 2 คือ แบตเตอรี่กรดตะกั่ว แบบ Deep cycle ขนาด 12Volt 120Ah

หมายเลข 3 คือ Charger Box

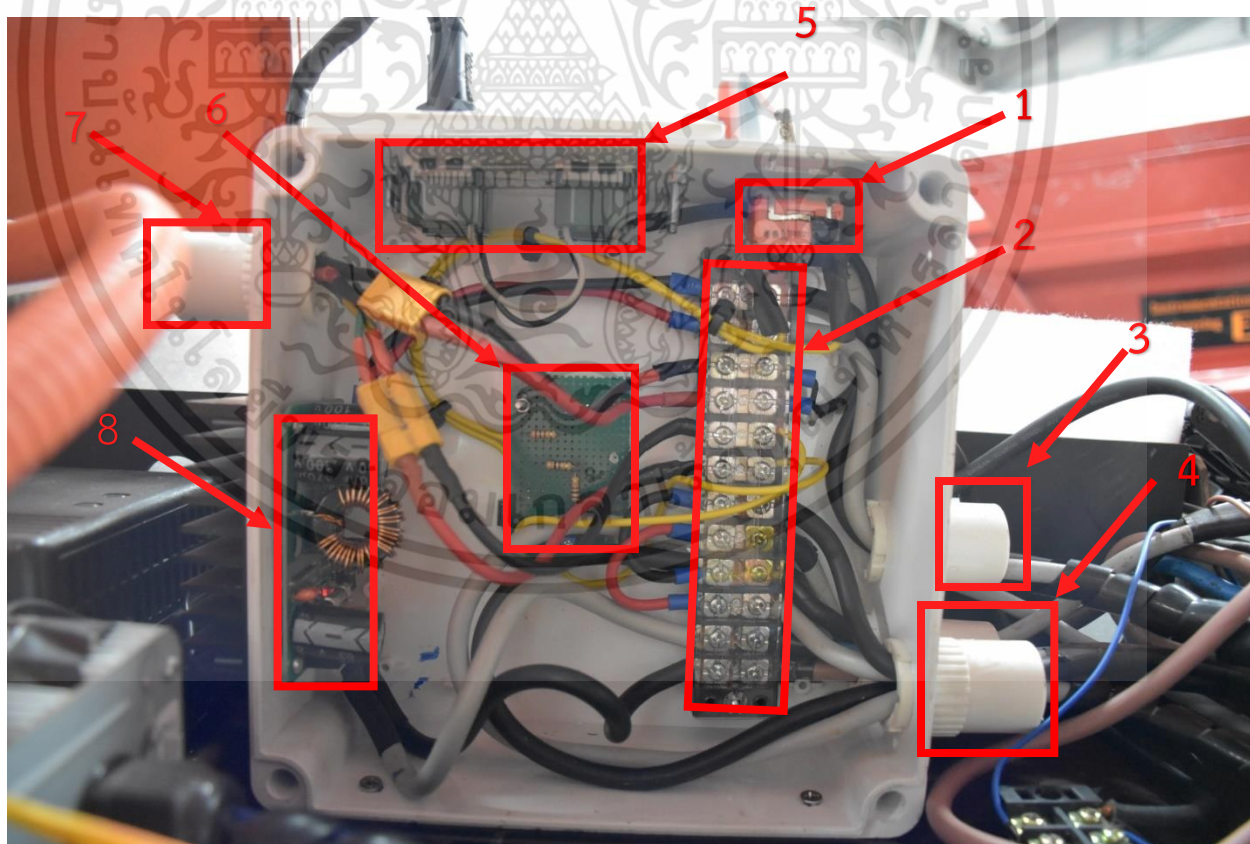
หมายเลข 4 คือ On Board Charger 220Volt to 48Volt 10A

หมายเลข 5 คือ Type 2 Plug

หมายเลข 6 คือ Circuit Breaker DC 12-100V 2P 10A

หมายเลข 7 คือ Battery capacity Voltage

3.2.5.1 อุปกรณ์ภายใน Charger Box



รูปที่ 3.14 การจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง Charger Box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Charger Box เป็นกล่องที่คอยควบคุมการทำงานของฟิ่งชั่นชาร์จ ที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ลิเธียม โดยมีการจัดวางอุปกรณ์ดังนี้

หมายเลข 1 คือ Switch แบบคั่นโยก

หมายเลข 2 คือ Terminal 16 ช่อง

หมายเลข 3 คือ เป็นสาย Power ที่ออกจาก Charger Box โดยจะมีสายจาก Step-Up เข้าไปยัง แบตเตอรี่และสายจากแบตเตอรี่ไปยัง Converter

หมายเลข 4 คือ เป็นสาย Power ของโซลาร์เซลล์ที่เข้ามายัง Charger Box ไปยัง Step-Up

หมายเลข 5 คือ เต้าปลั๊กจ่ายไฟ 220Volt

หมายเลข 6 คือ Type II Circuit

หมายเลข 7 คือ เป็นสาย Power ของ Type II Plug เข้ามายัง Charger Box ไปยัง Type II Circuit

หมายเลข 8 คือ Step-Up

3.3 การแสดงผลของ Battery Capacity Voltage

เป็นการแสดงค่าสถานะของพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ของรถไถไฟฟ้า โดยมีหน้าจอแสดงผลดัง รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.15 หน้าจอแสดงผลของ Battery Capacity Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 สามารถบอกตำแหน่งการแสดงผลได้ดังนี้

หมายเลข 1 แสดงสถานะแรงดันของแบตเตอรี่

หมายเลข 2 ปุ่มเมนูสามารถแสดงผลของอุณหภูมิของแบตเตอรี่และระบบ Setting ต่างๆ

หมายเลข 3 ปุ่มเปิด-ปิด การทำงานของ Battery Capacity Voltage

หมายเลข 4 แสดงสถานะค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ให้อยู่ในรูปแบบ Scale

หมายเลข 5 แสดงสถานะค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ให้อยู่ในรูปแบบเปอร์เซ็นต์

3.3.1 การตั้งค่าจอแสดงผลของ Battery Capacity Voltage

การตั้งค่าจอแสดงผล Battery Capacity Voltage เปรียบเสมือนการตั้งค่าของมิเตอร์ไฟฟ้า โดยจะต้องทำการปรับตั้งย่านการวัดสเกลของตัว Battery Capacity Voltage ให้สอดคล้อง กับแรงดันของแบตเตอรี่ที่ 51.2V หรือ อยู่ในระบบ 48V มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

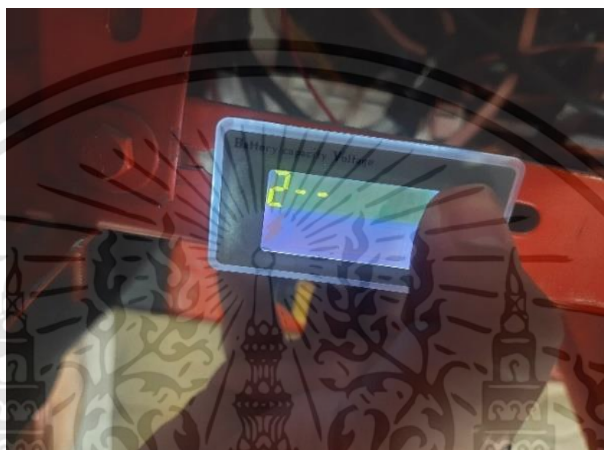
1. ติดตั้งตำแหน่งจอและต่อเข้ากับแบตเตอรี่



รูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.กดปุ่ม ▶ ค้าง 5 วินาทีเพื่อเข้าสู่โหมดการตั้งค่า



รูปที่ 3.17

3.กดปุ่ม ▶ เพื่อให้แสดงเลขบนหน้าจอเป็นเลข 1 เพื่อตั้งค่าระบบวัดแบตเตอรี่ แล้วกดปุ่ม Power



รูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กดปุ่ม ► เพื่อให้แสดงเลขบนหน้าจอเป็น P แล้วกดปุ่ม Power



รูปที่ 3.19

5. กดปุ่ม ► เพื่อเลือกย่านวัดแรงที่เราต้องการที่จะวัดจากแบตเตอรี่โดยเราเลือกใช้แรงดันที่ 48V จากนั้นกดปุ่ม Power เป็นการเสร็จสิ้นการตั้งค่า



รูปที่ 3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ







การทดลองระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC62196 สำหรับรถไฟฟ้า จะประกอบไปด้วยการทดลองการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากสถานีชาร์จที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ แล้วยังได้ทำการทดลองการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากโวลต์เซลล์ที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ และทดลองระยะเวลาการ Discharging ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟส



4.2 การทดลองการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ

4.2.1 ผลการการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ

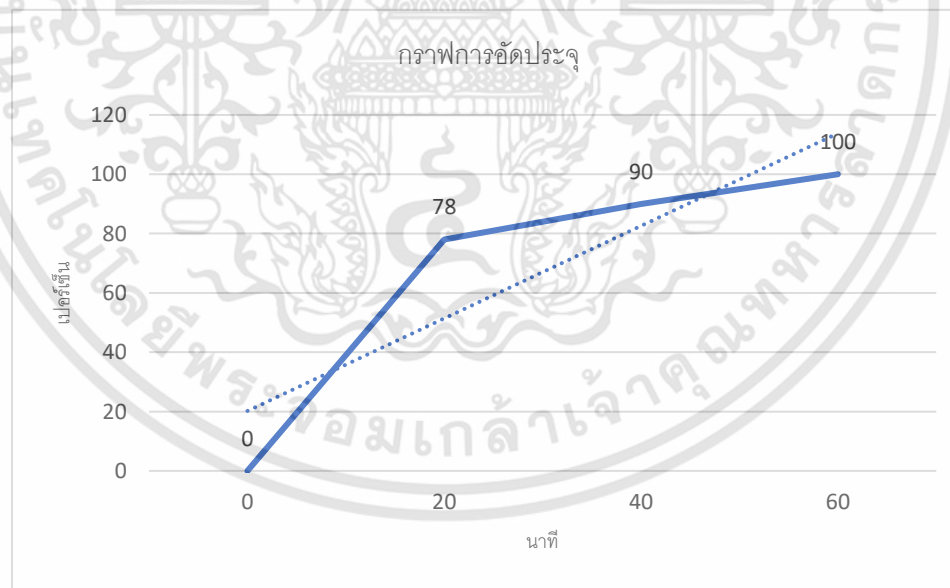
ตารางที่ 4.1 การทดลองการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ

On/Off Circuit	Station Charger(V)	On board Charger	
		แรงดัน(V)	กระแส(A)
เปิด	 228V	 54.4V	 10.73A
ปิด	 0V	 54.2V	 1.32A

4.2.2 ผลการทดลองจับเวลาการชาร์จประจุของระบบการปล่อยพลังงานของสถานี ชาร์จ

ตารางที่ 4.2 การทดลองจับเวลาการชาร์จโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการวัดแรงดัน

ระยะเวลาในการชาร์จ	แรงดันของแบตเตอรี่	เปอร์เซ็นต์
0 นาที	49.17 V.	0%
20 นาที	52.74 V.	78%
40 นาที	53.29 V.	90%
60 นาที	53.75 V.	100%



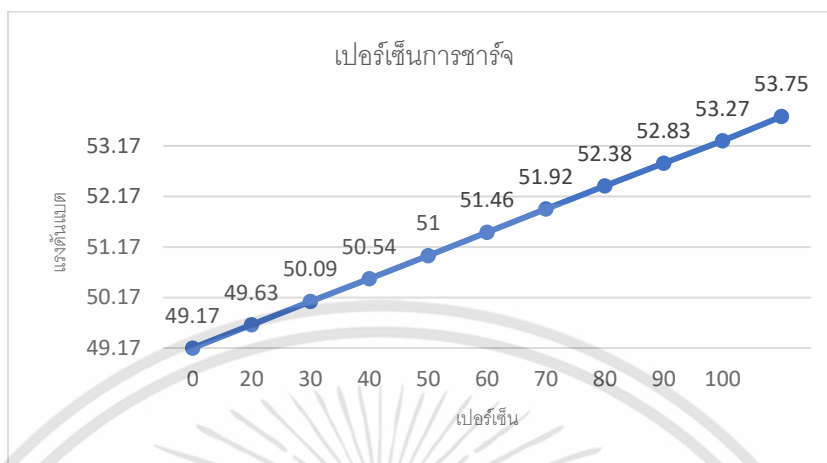
กราฟที่ 3.1 กราฟการอัดประจุโดยใช้สถานีชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 และกราฟการอัดประจุโดยใช้สถานีชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการอัดประจุชาร์จพลังงานแก่แบตเตอรี่โดยสถานีตามมาตรฐาน IEC62196 ใช้เวลาในการอัดประจุจากแรงดัน 49.17 V ถึง 53.75 V ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 การทดลองวัดแรงดันโดยใช้ Battery capacity voltage

เปอร์เซ็นต์	Battery capacity voltage (V)
0%	49.17
10%	49.63
20%	50.09
30%	50.54
40%	51.00
50%	51.46
60%	51.92
70%	52.38
80%	52.83
90%	53.29
100%	53.75







กราฟที่ 3.2 กราฟการอัดพลังงาน Volt/hr.

จากตารางที่ 3.3 และกราฟการอัดพลังงาน Volt/hr. จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไม่สามารถนำพลังงานจากแบตเตอรี่ที่แรงดัน 49.17 V มาใช้งานต่อได้ จึงนับเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ และแรงดันสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถรับได้ที่แรงดัน 53.75 V จึงนับเป็น 100 เปอร์เซ็นต์





4.3 การทดลองระบบกักเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์

4.3.1 ผลการทดลองการให้พลังงานของระบบกักเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์

ตารางที่ 4.4 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 12.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
34.1	4.84	9.37	ปลอดโปร่ง	165.044
				

ตารางที่ 4.5 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 13.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
34	4.55	8.96	ปลอดโปร่ง	154.7
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 13.30 น.




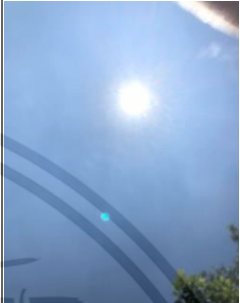
V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.9	4.2	8.37	ปลอดโปร่ง	142.38
				

ตารางที่ 4.7 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 14.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
34.4	4.08	8.24	ปลอดโปร่ง	140.352
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 14.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.9	3.83	7.85	ปลอดโปร่ง	129.837
				

ตารางที่ 4.9 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 15.00 น.

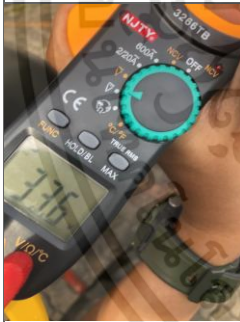

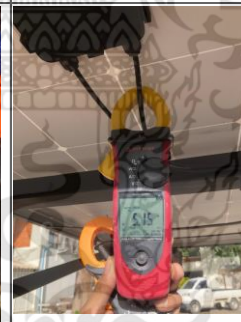

V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.8	3.25	6.93	ปลอดโปร่ง	109.85
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 15.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	1.33	3.03	มีเมฆมาก	44.688
				

ตารางที่ 4.11 การทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่1 เวลา 16.00 น.




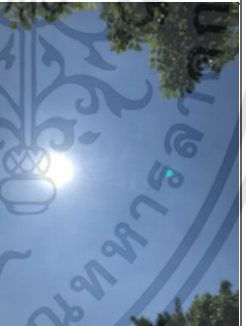
V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	2.23	5.15	ปลอดโปร่ง	74.928
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 12.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
35.5	4.26	8.56	ปลอดโปร่ง	151.23
				

ตารางที่ 4.13 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 13.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.7	4.4	8.57	ปลอดโปร่ง	148.28
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 13.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.4	4.21	8.54	ปลอดโปร่ง	140.614
				

ตารางที่ 4.15 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 14.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.4	4.06	8.18	ปลอดโปร่ง	135.604
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 14.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	1.16	4.23	มีเมฆ	38.976
				

ตารางที่ 4.17 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 15.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.8	3.42	6.86	ปลอดโปร่ง	115.596
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 15.30 น.

V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	2.67	5.77	ปลอดโปร่ง	89.712
				

ตารางที่ 4.19 การทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 16.00 น.

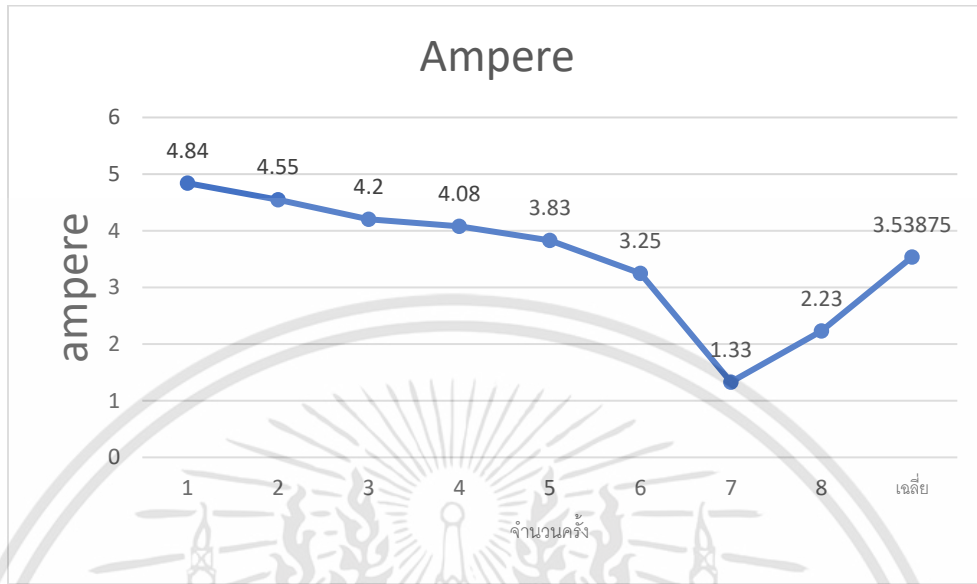
V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	1.93	4.4	ปลอดโปร่ง	64.848
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

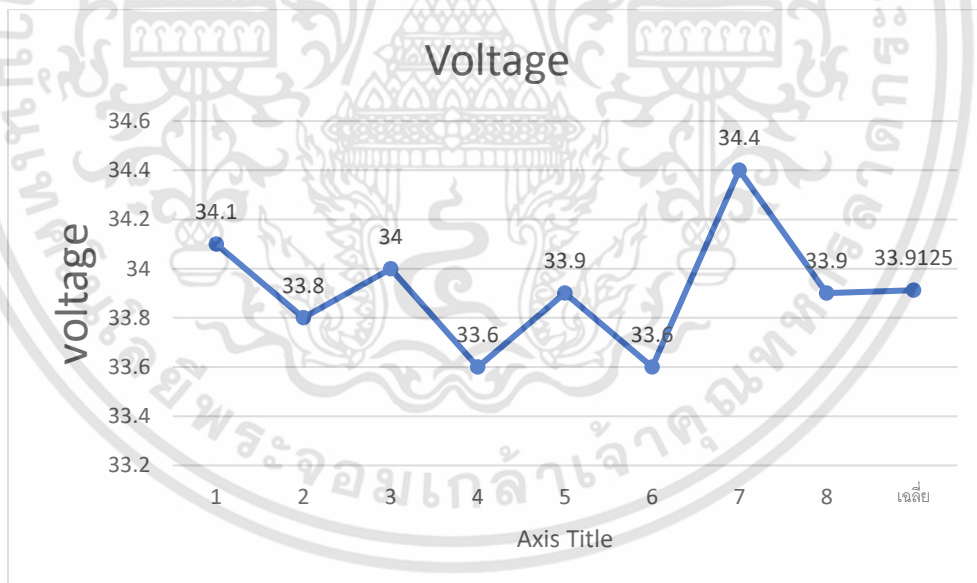
ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยของระบบกักเก็บพลังงานที่ได้จากระบบโซลาร์เซลล์

ครั้งที่	A. In the Battery (A)	V. from Solar cell (V)	A. From Solar cell (A)	Power Battery
1	4.84	34.1	9.37	165.044
2	4.55	33.8	8.96	154.700
3	4.20	34.0	8.37	142.380
4	4.08	33.6	8.24	140.352
5	3.83	33.9	7.85	129.837
6	3.25	33.6	6.93	109.85
7	1.33	34.4	3.03	44.688
8	2.23	33.9	5.15	74.928
เฉลี่ย	3.53875	33.9125	7.2375	120.222375

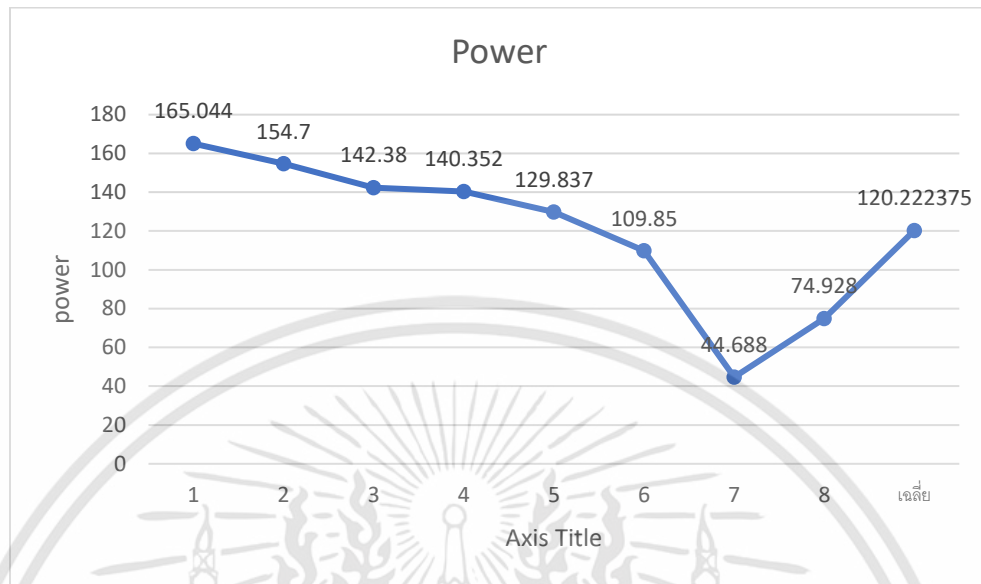
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 3.3 กราฟการทดลองเก็บค่าเฉลี่ยของกระแสจาก Sola Charging



กราฟที่ 3.4 กราฟการทดลองกราฟการทดลองเก็บค่าเฉลี่ยของโวลต์จจาก Sola Charging



กราฟที่ 3.5 กราฟการทดลองกราฟการทดลองเก็บค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจาก Sola Charging

จากตารางและกราฟ จะเห็นได้ว่าการชาร์จโดยใช้โซล่าเซลล์นั้นขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการชาร์จ ความเข้มของแสงในช่วงเวลานั้นๆ ทิศนวิสัยของท้องฟ้า ยิ่งท้องฟ้ามีทัศนวิสัยดี ท้องฟ้าปลอดโปร่ง ความเข้มแสงสูง ยิ่งส่งผลต่อการชาร์จที่สูงขึ้นตามกราฟแสดง

4.4 การทดลองระยะเวลาการ Discharging ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

ในการทดลองได้ทำการทดลอง Discharge แบตเตอรี่โดยการให้รถไถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ให้รถไถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยไม่มีการต่อภาระโหลด ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รถไถไฟฟ้าโดยไม่มีการต่อภาระโหลด

การทดลองที่ 2 ให้รถไถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีภาระโหลด ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รถไถไฟฟ้าโดยมีการต่อภาระโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 การทดลองที่ 1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสโดยให้รถไถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยไม่มีภาระโหลด

ตารางที่ 4. 21 การทดลองโดยให้รถไถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยไม่มีภาระโหลด

ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)	%BT จากमितเตอร์หน้ารถไถไฟฟ้า	ระยะเวลาในการใช้งาน(นาที)
ออกตัว	53.6V	20A	1072.0W	100%	0
5km/hr	52.5V	17A	892.5W	97%	19.38
5km/hr	50.0V	17A	850.0W	74%	27.58
5km/hr	49.7V	17A	844.9W	70%	31.50
5km/hr	49.5V	16A	792.0W	68%	34.18
5km/hr	49.3V	16A	788.8W	66%	35.03
5km/hr	49.0V	16A	784.0W	64%	38.11
5km/hr	48.0V	15A	720.0W	62%	39.08
5km/hr	47.4V	15A	711.0W	49%	41.11
ไม่สามารถวิ่งต่อได้	49.4V	0A	0W	0%	42.10

ระยะทางที่รถไถไฟฟ้าวิ่ง หาได้จากสูตร $v = \frac{S}{t}$

V คือ ความเร็ว

S คือ ระยะทาง

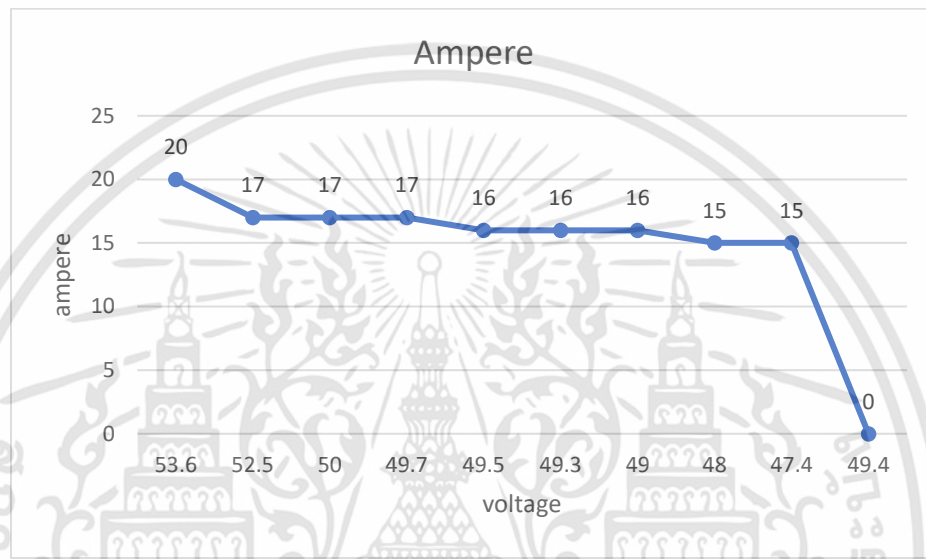
t คือ เวลา

จากสูตร
$$v = \frac{S}{t}$$

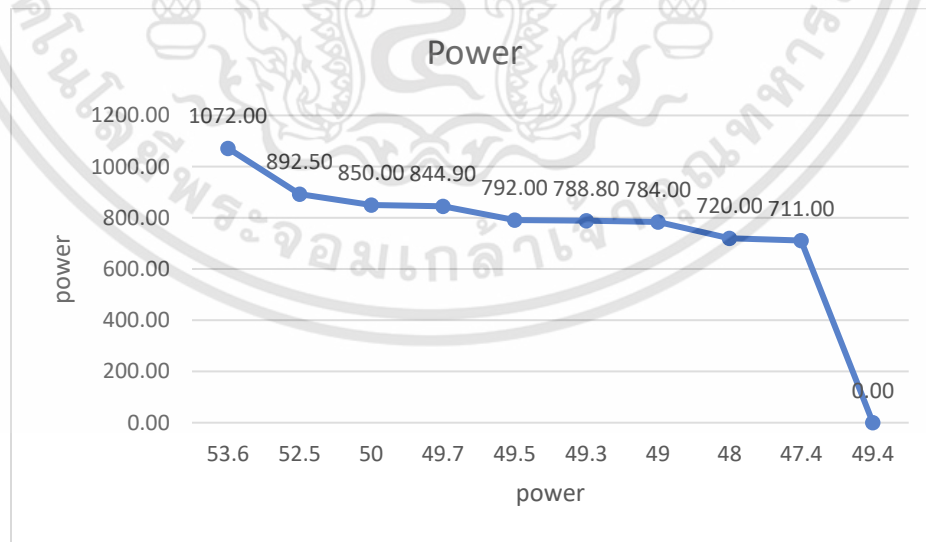
$$S = v \times t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $S = \frac{5km}{1hr.} \times 42.10min \times \frac{1hr.}{60min}$
 $S = 3.50833km$



กราฟที่ 3.6 กราฟการสูญเสียของกระแส



กราฟที่ 3.6 กราฟการสูญเสียของพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางและกราฟ จะเห็นได้ว่าเมื่อขับที่ความเร็วคงที่ที่ 5 km/hr. ในการดึงกระแสไฟฟ้าไปใช้ของมอเตอร์ BLDC ในการขับซึ่งจะอยู่ในช่วง 17-15 A. และพลังงานอยู่ในช่วง 892-711 W จะใช้แรงดันแบตเตอรี่จาก 53.6 V ถึง 49.4 V จะใช้ระยะเวลาทั้งหมด 42.10 นาที ทำให้ได้ระยะทางทั้งหมด 3.5 km

4.4.2 การทดลองที่ 2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสโดยให้รถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีต่อภาระโหลดที่ 160kg และ 330kg ในระยะทาง 100 m มีการแบ่งเป็นทางเรียบ ทางขรุขระ และทุ่งหญ้า

ตารางที่ 4. 22 การทดลองวิ่งทางเรียบในระยะทาง 100ม.

ภาระโหลดที่ 160kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	28A	1500.0W
3km/hr	53.6V	20A	1072.0W
1km/hr	53.6V	8A	428.8W
ภาระโหลดที่ 330kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	48A	2572.8W
3km/hr	53.6V	30A	1608.0W
1km/hr	53.6V	19A	1018.4W



รูปที่ 4.3 หน้าจอแสดงผลขณะใช้งาน

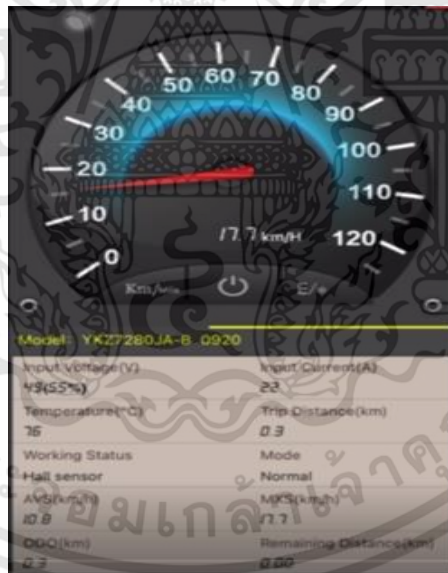


รูปที่ 4.4 การทดลองวิ่งทางเรียบในการทดลองวิ่งทางเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 การทดลองวิ่งทางขรุขระในระยะทาง 100ม.

ภาระโหลดที่ 160kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	28A	1500.0W
3km/hr	53.6V	20A	1072.0W
1km/hr	53.6V	8A	428.8W
ภาระโหลดที่ 330kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	48A	2572.8W
3km/hr	53.6V	30A	1608.0W
1km/hr	53.6V	19A	1018.4W



รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผลขณะใช้งานในการทดลองวิ่งทางขรุขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การทดลองวิ่งทางขรุขระ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 การทดลองวิ่งทางทุ่งหญ้าในระยะทาง 100ม.

ภาระโหลดที่ 160kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	29A	1554.4W
3km/hr	53.6V	21A	1125.6W
1km/hr	53.6V	15A	804.0W
ภาระโหลดที่ 330kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	48A	2572.8W
3km/hr	53.6V	33A	1768.8W
1km/hr	53.6V	22A	1179.2W



รูปที่ 4.7 การทดลองวิ่งทางทุ่งหญ้าในการทดลองวิ่งทางทุ่งหญ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การทดลองวิ่งทางทุ่งหญ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC62196 พบว่าในการออกแบบระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์จากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสที่มีแรงดันต่อเซลล์ที่ 2.5V – 3.65V 6000mAh นำมาประกอบเป็นชุด Module Battery โดยทำการต่ออนุกรม 16S (16S: 16series) และต่อแบบขนาน 5P (5P: 5Parallel) และติดตั้งชุด Battery Management System จึงได้ชุด Module Battery ที่แรงดันไฟฟ้า 51.2V 30Ah 1536Wh สำหรับใช้กักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC62196 ให้แก่รถไฮไฟฟ้าที่มีการชาร์จทั้งหมด 2 ระบบ ประกอบด้วยการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC62196 และ ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้มัลติมิเตอร์ ร่วมกับ Battery capacity Voltage ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของแรงดัน และกระแสไฟฟ้าวรรวมถึงเปอร์เซ็นต์ของแบตเตอรี่เพื่อง่ายต่อการใช้งาน จากผลการทดลองของระบบการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC62196 ในการอัดประจุให้แบตเตอรี่นั้น พบว่าระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสขนาด 51.2V 30Ah โดยผ่านชุด On Board Charger Standard 48V 10A 580W โดย Output ที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ได้ 54.4V 10.73A 580.37W ระยะเวลาในการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟสจากแรงดันที่แบตเตอรี่ 49.17V ที่ 0% ของ Battery capacity Voltage ไปจนถึงแรงดัน 53.75V ที่ 100% ของ Battery capacity Voltage นั้นใช้เวลาทั้งหมด 60 นาที จากแรงดัน 49.17V ถึง 53.75V ในส่วนของผลการทดลองโดยระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิคอนขนาด 38.2V 9.08A 270W จะเห็นได้ว่าแรงดันจากแผงโซลาร์เซลล์นั้นไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้อัดประจุให้กับแบตเตอรี่รถไฮไฟฟ้า ดังนั้นจึงนำ Module StepUp มาใช้เพื่อกักแรงดันไฟฟ้าให้แรงดันไฟฟ้านั้นเหมาะสมแก่การนำมาใช้ชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส ขนาด 51.2V 30Ah โดยทำการตั้งค่า Module StepUp ให้ Output ที่ออกจาก Module StepUp ให้มีแรงดันที่ 54.4V 10A ผลการทดลองระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ Module StepUp ในการอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ พบว่าในการชาร์จ

ประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่นั้นมีสภาพอากาศและทัศนวิสัยเป็นตัวแปรร่วม ที่ส่งผลต่อการชาร์จประจุไฟฟ้าเนื่องจากความเข้มของแสงแดดในแต่ละเวลานั้น มีความเข้มของแสงที่ไม่เท่ากัน ซึ่งในการที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซล่าเซลล์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดดในเวลานั้นๆอีกด้วย และพบว่าช่วงเวลาที่แสงเข้มที่สุดและโซล่าเซลล์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีที่สุดคือที่เวลาคือ 12.30น ถึง 15.30น ดังนั้นจะใช้ระยะเวลาในการชาร์จประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ที่แรงดัน 49.17V ไปจนถึงแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ที่ 53.75V ใช้ระยะเวลา 8 ชั่วโมงกับอีก30นาที

การทดลองการ Discharging ของโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟสขนาด 51.2V 30Ah 1536Wh โดยใช้ Motor Brushless DC ขนาด 2.2kW 48V เป็นโหลดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง พบว่ารถไถไฟฟ้าสามารถใช้เวลาในการขับเคลื่อนที่ได้ถึง 42.10นาที โดยใช้ความเร็วคงที่ 5km/hr ในระยะทาง 3.5 กิโลเมตร และรถไถไฟฟ้าไม่สามารถขับเคลื่อนได้ต่อได้ที่แรงดันแบตเตอรี่ 49.4V

5.1.2 ปัญหาที่พบ

1. ไม่สามารถต่อโซล่าเซลล์ให้แก่แบตเตอรี่โดยตรงได้เนื่องจากแรงดันจากโซล่าเซลล์ไม่เท่ากัน
2. On Board shot circuit เนื่องจากการ Wiring ทำให้ลายแผ่นเปลี่ยนขาดทำให้ไม่สามารถชาร์จประจุแก่ Module Battery

5.1.3 แนวทางการแก้ปัญหา

1. เพิ่มแรงดันให้แก่โซล่าเซลล์โดยทำการติดตั้งชุด Module Step Up เพื่อเพิ่มแรงดันให้เท่ากัน
2. ทำการแก้ไข On Board shot circuit โดยใช้สายไฟเชื่อมต่อระหว่างสายปลั๊ก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้แบตเตอรี่ใหม่ทั้งชุด หรือแก้ไขโดยการทำแรงดันในแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ให้มีขนาดแรงดันเท่ากัน ก่อนนำมาใช้ควรทำการ balance cell battery โดยการนำเซลล์แบตเตอรี่มาชาร์จ เพื่อให้เซลล์แบตเตอรี่ไม่เสียหายทั้งโมดูล
2. การชาร์จแบตเตอรี่ควรชาร์จที่ 10 % ของพลังงานแบตเตอรี่ทั้งหมด เพื่อให้แบตเตอรี่ไม่เกิดการสูญเสียหรือเกิดการเสื่อมของเซลล์แบตเตอรี่
3. หากต้องการให้รถไถไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้นจะต้องเพิ่มเซลล์แบตเตอรี่ โดยการเพิ่มในส่วนของการขนาน(P: Parallel) อาทิเช่น Module Battery มีขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ 51.2V 30Ah จะสามารถ

ใช้งานได้ในระยะเวลา 30-40 นาที และถ้าต้องการให้รถไถไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้นจะต้องใช้ Module Battery มีขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ 51.2V 54Ah โดยทำการติดตั้งเซลล์แบตเตอรี่ให้ต่อเซลล์ แบตเตอรี่อนุกรมกันทั้ง 16S (16S: 16series) และต่อเซลล์แบตเตอรี่แบบขนาน 9P (9P: 9Parallel) รถไถไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ 1 ชั่วโมง

4. หากต้องการอัปเดตชุด Module Battery จำเป็นจะต้องเปลี่ยนเซลล์แบตเตอรี่ในชุด Module Battery ทั้งหมดเพื่อที่จะดึงประสิทธิภาพของ Module Battery ให้ออกมามากที่สุดและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นตามที่ควรจะเป็น และควรเลือกใช้ Battery Management System ที่เหมาะสมแก่ชุด Module Battery ชุดใหม่ด้วย โดยที่ Battery Management System จะขึ้นอยู่กับแรงดันและความจุทางไฟฟ้าของชุด Module Battery



บรรณานุกรม

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559-2560). การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า. หน้า 40- 59. คำนวณวันที่ 8 พฤศจิกายน 2563.

จาก <https://www.thaiauto.or.th/2012/th/services/ev/pdf/research/2017/การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า.pdf>.

[2] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2560). การศึกษาเทคโนโลยีและนวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้า. หน้า 2-1 - 3-25. คำนวณวันที่ 8 พฤศจิกายน 2563.

จาก <https://www.thaiauto.or.th/2012/th/services/ev/pdf/research/2017/การศึกษาเทคโนโลยีและการศึกษาเทคโนโลยีและ.pdf>.

[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. (2563). ระบบชาร์จประจุยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 62196 Type II และแสดงผลไร้สายแบบเวลาจริงบนโปรแกรม Lab VIEW
คำนวณวันที่ 8 พฤศจิกายน 2563.

[4] ความแตกต่างของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ คำนวณวันที่ 8 พฤศจิกายน 2563.

จาก <https://www.gump.in.th/article/535>

[5] คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. (2564). เอกสารการเรียนรู้การสอนวิชา Adv Energy Storage เรื่อง EV & Battery Safety Requirement คำนวณวันที่ 4 ตุลาคม 2564.

โดย รศ.ร.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน

[6] โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) คืออะไร ? คำนวณวันที่ 8 พฤศจิกายน 2563. จาก

<http://ccsolarthai.com/ReadArticle.aspx?subheadid=H000000004&subheadmenu=true&id=M000000004&fullpage=readarticle2&idarticle2=A000000010>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการใช้งานและการบำรุงรักษา

ขั้นตอนการใช้งานของระบบการอัดประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ของรถไถไฟฟ้าจะสามารถใช้งาน 2 ระบบ คือ

1. ระบบอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ในการใช้งานการชาร์จพลังงานจำเป็นที่จะต้องนำรถไถไฟฟ้าไปอยู่กลางแจ้งแดดตั้งรูป



รูปที่ ก1. การชาร์จพลังงานโดยใช้โซล่าเซลล์

จากนั้นทำการ On Circuit Breaker ของโซล่าเซลล์ โดยจะต้อง Off Circuit Breaker ในส่วนของเบรกเกอร์ Brushless motor controller และเบรกเกอร์สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่จาก Station Charger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก2.ชุด On Circuit Breaker Solar charger

เมื่อใช้งานเสร็จจึงสั้นควร Off Circuit Breaker ลงทุกครั้งหลังการใช้งาน เพื่อป้องกันการเสียหายต่อระบบ
ดังรูป



รูปที่ ก3.Off Circuit Breaker

2.การอัดประจุไฟฟ้าให้แก่รถไถไฟฟ้าโดยการใช้ระบบการชาร์จพลังงานจาก Station Charger นั้นทำได้
โดยการนำมาชาร์จที่จุดชาร์จสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก4. การชาร์จที่ Station Charger

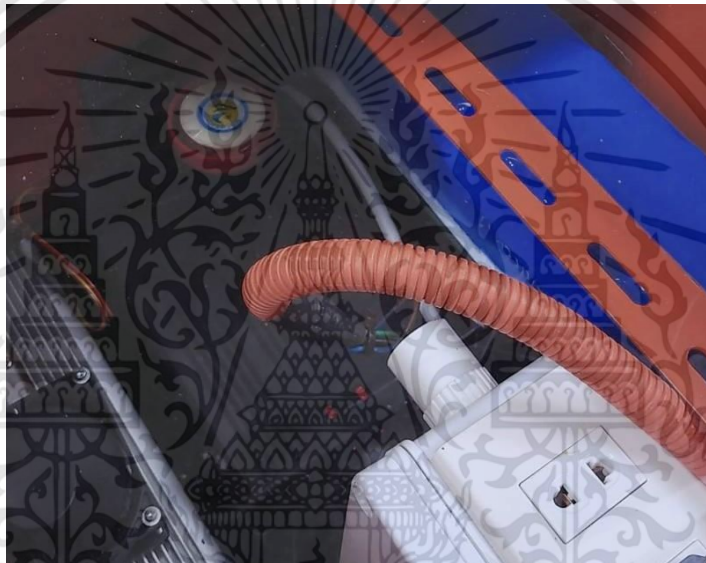
ทำการ connect Plug Type II กันตัวรถไฟฟ้าจากนั้นทำการ On Circuit Breaker ของการชาร์จเจอร์แล้วจึงทำการสแกนบัตรที่หน้า Station Charger เพื่อให้ Station Charger ปลดปล่อยพลังงานให้แก่รถไฟฟ้าให้ดังรูป



รูปที่ ก5. On Circuit Breaker Station charger

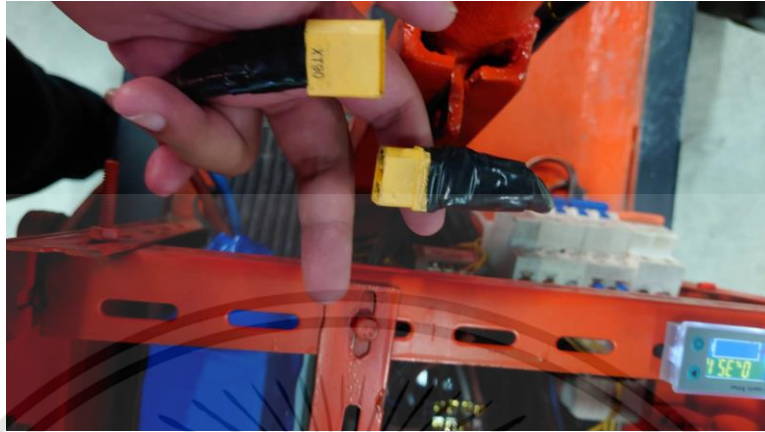
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการ On Circuit Breaker Station charger แล้วให้ค่อยเช็คสถานะการทำงานของ On Board Charger โดยที่ On Board Charger จะมี LED แสดงสถานะการทำงานอยู่ 2 สี ได้แก่ สีแดงและสีเขียว หลอด LED สีแดงจะแสดงถึง On Board Charger กำลังทำงาน และสีเขียว หลอด LED สีเขียวจะแสดงถึง On Board Charger ไม่ได้มีการอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่หรือ บ่งบอกถึงพลังงานของแบตเตอรี่นั้นเต็มแล้ว



รูปที่ ก6. LED ของ On Board Charger แสดงถึงสถานะกำลังอัดประจุไฟฟ้า

เมื่อ On Board Charger โช่วสถานะ LED สีเขียวแล้วให้ทำการถอดปลั๊กชาร์จ ออกพร้อม Off Circuit Breaker ดังรูป ก3 แล้วจึงนำรถไถไฟฟ้าไปใช้งานได้ และทุกครั้งหลังเลิกใช้งานควรถอดปลั๊กไฟ แห่ลงจ่าย ทุกครั้งเพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าในวงจรและถนอมชิ้นงาน ดังรูป ก7



รูปที่ ก7. ปลั๊กไฟแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ภาคผนวกตาราง

ข1. ตารางเปรียบเทียบสมบัติด้านต่าง 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 ¹ (mΩ)	<100 12V pack	100–200 6V pack	200–300 6V pack	150–300 7.2V	25–75 ² per cell	25–50 ² per cell
Cycle life ⁴ (80% discharge)	200–300	1000 ³	300–500 ³	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Fast-charge time	8–16h	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% ⁵	30% ⁵	<10% ⁶		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁷	1.2V ⁷	3.6V ⁸	3.8V ⁸	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 ⁹ 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 ¹⁰		
Discharge temperature	–20 to 50°C	–20 to 65°C		–20 to 60°C		
Maintenance requirement	3–6 months ¹¹ (topping chg.)	30–60 days (discharge)	60–90 days (discharge)	Not required		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory ¹²		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข2. ตารางมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย

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







ข3. 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

ข4. ตารางค่า Amp และ 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%

ข5. ตารางการทดลองการปล่อยพลังงานของสถานีชาร์จ

On/Off Circuit	Station Charger(V)	On board Charger	
		แรงดัน(V)	กระแส(A)
เปิด			
ปิด			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข6. ตารางการทดลองจับเวลาการชาร์จโดยใช้มิเตอร์ไฟฟ้าในการวัดแรงดัน




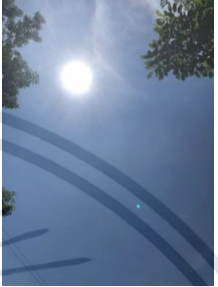
ระยะเวลาในการชาร์จ	แรงดันของแบตเตอรี่	เปอร์เซ็นต์
0 นาที	49.17 V.	0%
20 นาที	52.74 V.	78%
40 นาที	53.29 V.	90%
60 นาที	53.75 V.	100%

ข7. ตารางการทดลองวัดแรงดันโดยใช้ Battery capacity voltage





เปอร์เซ็นต์	Battery capacity voltage (V)
0%	49.17
10%	49.63
20%	50.09
30%	50.54
40%	51.00
50%	51.46
60%	51.92
70%	52.38
80%	52.83
90%	53.29
100%	53.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข8. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 12.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
34.1	4.84	9.37	ปลอดโปร่ง	165.044
				

ข9. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 13.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
34	4.55	8.96	ปลอดโปร่ง	154.7
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข10. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 13.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.9	4.2	8.37	ปลอดโปร่ง	142.38
				

ข11. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 14.00 น.




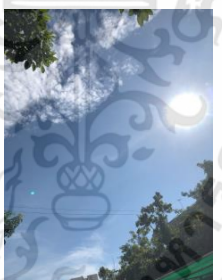
V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
34.4	4.08	8.24	ปลอดโปร่ง	140.352
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข12. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 14.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.9	3.83	7.85	ปลอดโปร่ง	129.837
				

ข13. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 15.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.8	3.25	6.93	ปลอดโปร่ง	109.85
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข14. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 15.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	1.33	3.03	มีเมฆมาก	44.688
				

ข15. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่1 เวลา 16.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	2.23	5.15	ปลอดโปร่ง	74.928
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข16. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 12.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
35.5	4.26	8.56	ปลอดโปร่ง	151.23
				

ข17. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 13.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.7	4.4	8.57	ปลอดโปร่ง	148.28
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข18. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 13.30 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.4	4.21	8.54	ปลอดโปร่ง	140.614
				

ข19. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 14.00 น.





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.4	4.06	8.18	ปลอดโปร่ง	135.604
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข20. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 14.30 น





V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	1.16	4.23	มีเมฆ	38.976
				

ข21. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์วันที่2 เวลา 15.00 น.


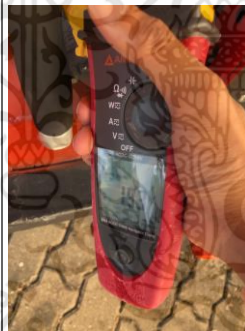


V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.8	3.42	6.86	ปลอดโปร่ง	115.596
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข22. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 15.30 น.

V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	2.67	5.77	ปลอดโปร่ง	89.712
				

ข23. ตารางการทดลองเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์วันที่2 เวลา 16.00 น.

V. from Solar cell (V)	A. In the Battery (A)	A. From Solar cell (A)	สภาพอากาศ	Power Battery
33.6	1.93	4.4	ปลอดโปร่ง	64.848
				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข24. ตารางค่าเฉลี่ยของระบบกักเก็บพลังงานที่ได้จากระบบโซลาร์เซลล์

ครั้งที่	A. In the Battery (A)	V. from Solar cell (V)	A. From Solar cell (A)	Power Battery
1	4.84	34.1	9.37	165.044
2	4.55	33.8	8.96	154.700
3	4.20	34.0	8.37	142.380
4	4.08	33.6	8.24	140.352
5	3.83	33.9	7.85	129.837
6	3.25	33.6	6.93	109.85
7	1.33	34.4	3.03	44.688
8	2.23	33.9	5.15	74.928
เฉลี่ย	3.53875	33.9125	7.2375	120.222375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข25. ตารางการทดลองโดยให้รถไถไฟฟ้าวิ่งด้วยโดยกำหนดความเร็วเฉลี่ยที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยไม่มีภาระโหลด

ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)	%BT จากมิเตอร์หน้ารถไถไฟฟ้า	ระยะเวลาในการใช้งาน(นาทื)
ออกตัว	53.6V	20A	1072.0W	100%	0
5km/hr	52.5V	17A	892.5W	97%	19.38
5km/hr	50.0V	17A	850.0W	74%	27.58
5km/hr	49.7V	17A	844.9W	70%	31.50
5km/hr	49.5V	16A	792.0W	68%	34.18
5km/hr	49.3V	16A	788.8W	66%	35.03
5km/hr	49.0V	16A	784.0W	64%	38.11
5km/hr	48.0V	15A	720.0W	62%	39.08
5km/hr	47.4V	15A	711.0W	49%	41.11
ไม่สามารถวิ่งต่อได้	49.4V	0A	0W	0%	42.10

ข26. ตารางการทดลองวิ่งทางเรียบในระยะทาง 100ม.

ภาระโหลดที่ 160kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	28A	1500.0W
3km/hr	53.6V	20A	1072.0W
1km/hr	53.6V	8A	428.8W
ภาระโหลดที่ 330kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	48A	2572.8W
3km/hr	53.6V	30A	1608.0W
1km/hr	53.6V	19A	1018.4W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข26. ตารางการทดลองวิ่งทางเรียบในระยะทาง 100ม.

ภาระโหลดที่ 160kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	28A	1500.0W
3km/hr	53.6V	20A	1072.0W
1km/hr	53.6V	8A	428.8W
ภาระโหลดที่ 330kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	48A	2572.8W
3km/hr	53.6V	30A	1608.0W
1km/hr	53.6V	19A	1018.4W

ข27. ตารางการทดลองวิ่งทางขรุขระในระยะทาง 100ม.

ภาระโหลดที่ 160kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	29A	1554.4W
3km/hr	53.6V	21A	1125.6W
1km/hr	53.6V	15A	804.0W
ภาระโหลดที่ 330kg			
ความเร็ว Km/hr	แรงดัน BT (V)	กระแส (A)	พลังงาน (W)
5km/hr	53.6V	48A	2572.8W
3km/hr	53.6V	33A	1768.8W
1km/hr	53.6V	22A	1179.2W

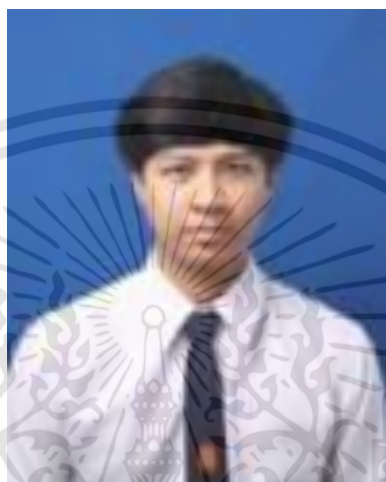
ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล	ชัยวัฒน์ แก้วพลอย
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 31/2 หมู่ที่ 4 ถนน เลียบคลองพระองค์เจ้าไชยานุชิต อำเภอ บางบ่อ ตำบล บางบ่อ จังหวัด สมุทรปราการ 10560
เบอร์โทรศัพท์	097-032-4858
E-mail	Chaiwat.kpg@gmail.com 62015030@KMITL.AC.TH
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช) วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคตะวันออก (อี.เทค) สาขา วิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส) วิทยาลัยเทคโนโลยีภาค ตะวันออก(อี.เทค) สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม
ประวัติการทำงาน	บริษัท TATUNG (THAILAND) CO.,LTD แผนก EMB (Electric Moto Bike) ตำแหน่งช่างเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน(ต่อ)



ชื่อ-นามสกุล	พชรดนัย พุดเกลี้ยง
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 114/30 หมู่ที่ 1 ตำบล บ้านฉาง อำเภอบ้านฉาง จังหวัด ระยอง 21130
เบอร์โทรศัพท์	061-234-2553
E-mail	phatcharadanai8535@gmail.com 62015079@kmitl.ac.th
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนระยองวิทยาคม จบเมื่อ ปีการศึกษา 2556 วุฒิที่ได้รับ มัธยมศึกษาปีที่ 3 หลักฐาน ประกาศนียบัตร, รบ.1-ต ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนระยองวิทยาคม จบเมื่อ ปี การศึกษา 2559 วุฒิที่ได้รับ มัธยมศึกษาศึกษาปีที่ 6 หลักฐาน รบ.1-ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เข้าเรียน
เมื่อปี 2559-2560 หลักฐาน Transcript



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน(ต่อ)



ชื่อ-นามสกุล	พลทัย จูเภา
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 147/8 ซอย.ช่างสกรณ5 ถนน.ตากสินมหาราช ตำบล.ท่าประดู่ อำเภอ.เมืองระยอง จังหวัด.ระยอง 21000
เบอร์โทรศัพท์	0854374364
E-mail	62015083@KMITL.AC.TH
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช) จบจาก วิทยาลัยเทคนิคระยอง สาขาวิชา ช่างไฟฟ้า สาขางาน ไฟฟ้ากำลัง
ระยอง	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส) จบจาก วิทยาลัยเทคนิค สาขาวิชา เครื่องมือวัดและควบคุม สาขางาน เทคโนโลยีการ
วัดและ	ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติการทำงาน

บริษัท บริษัท ไทยเพ็ท เรซิน จำกัด แผนก ซ่อมบำรุง ตำแหน่ง
ช่างซ่อมบำรุงเครื่องมือวัด(instrument technician)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้