



โครงการวิศวกรรมไฟฟ้า การทดสอบแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
The Battery Pack Testing For Electric Vehicles

จัดทำโดย
นายณัฐนันท์ กาญจนประภาส
นายณัฐนันท์ อุบลวัจ

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.วสันต์ ตันเจริญ

ภาควิชกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2565

โครงการวิศวกรรมไฟฟ้า
การทดสอบแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
The Battery Pack Testing For Electric Vehicles

จัดทำโดย
นายณัฐนันท์ กาญจนประภาส
นายณัฐนันท์ อุบลวัจ

อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.วสันต์ ตันเจริญ

ภาควิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2565

ใบรับรองโครงการวิศวกรรม
ภาควิศวกรรมไฟฟ้า การทดสอบแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
The Battery Pack Testing For Electric Vehicles

นาย ณัฐนันท์ กานุจันประภาส 6230304287

นาย ณัฐนันท์ อุบลวัจ 6230304295

ได้พิจารณาเห็นชอบ

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ_____

(อาจารย์ ดร.วสันต์ ตันเจริญ)

กรรมการ_____

(อาจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ จักรพัฒนกิจ)

กรรมการ_____

(ผศ.ดร.อุเทน สุปัตรี)

อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ._____

(1)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบแบบเตอร์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
โดย	นายณัฐนันท์ กาญจนประภาส
	นายณัฐนันท์ อุบลวัจ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วสันต์ ตันเจริญ
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

เนื้อหาบทคัดย่อ

คำสำคัญ: พิมพ์คำสำคัญ, พิมพ์คำสำคัญ, พิมพ์คำสำคัญ

(2)

กิตติกรรมประกาศ

เนื้อหา กิตติกรรมประกาศ

ชื่อผู้เขียน ชื่อสกุล

(3)

สารบัญ

หน้า	
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
กิตติกรรมประกาศ	(2)
สารบัญตาราง	(5)
สารบัญภาพ	(6)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการทำงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แบบเตอร์ลิเรียมไออกอน	4
2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ	4
2.1.2 หลักการทำงานของแบบเตอร์ลิเรียมไออกอน	6
2.1.3 ลักษณะของแบบเตอร์ลิเรียมไออกอน	7
2.1.4 คุณลักษณะของแบบเตอร์ลิเรียมไออกอน	7
2.1.5 แบบเตอร์ลิเรียมไออกอนชนิดต่างๆ	9
2.2 ประสิทธิภาพอัตราการดิสชาร์จของแบบเตอร์ลิเรียมไออกอน	13
2.2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความจุของแบบเตอร์	14
2.3 วงจรสมมูลของแบบเตอร์	16
2.4 ระบบการจัดการแบบเตอร์(BMS)	19
2.4.1 การทำงานของระบบการจัดการแบบเตอร์	19

บพที่ 3 ขั้นตอนวิธีการทดสอบแบตเตอรี่ตามมาตรฐาน	22
3.0.1 การทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่	22
3.0.2 การทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่	23
3.1 อุปกรณ์สำหรับทดสอบแบตเตอรี่	24
3.1.1 แบตเตอรี่สำหรับทำการทดสอบ	26
3.1.2 การใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่	27
3.1.3 การใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่	28
บพที่ 4 การทดสอบแบตเตอรี่ตามมาตรฐาน UN ECE R136	30
4.1 ผลการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกิน	30
4.1.1 ผลการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกิน	33
บพที่ 5 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	36
รายการอ้างอิง	37
ภาคผนวก ก	38
ภาคผนวก ข	39
	40

(5)

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบทรงกระบอก	5
2.2 ส่วนประกอบและการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	6
2.3 เป็นการสรุปโดยสังเขปของเซลล์แบตเตอรี่ทั้ง 3 ลักษณะทั้งนี้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละแบบนั้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันแล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้	8
2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	12
2.5 กราฟการทดสอบการดิสชาร์จของโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	13
2.6 กราฟขยายบางส่วนของกราฟการทดสอบการดิสชาร์จของโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	14
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน กับ SOC	14
2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุกับอุณหภูมิของโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	15
2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานข้ามกับ SOC ของโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	15
2.10 วงจรสมมูล Rint (Rint Model)	16
2.11 วงจรสมมูลเทเวนิน (Thevenin model)	17
2.12 วงจรสมมูล RC (RC model)	18
2.13 วงจรสมมูล PNGV (PNGV model)	19
3.1 Charge/Discharge Controller	24
3.2 DC/AC Bi-Direction Converter	25
3.3 Regenerative Charge/Discharge Tester	25
3.4 ON/OFF Controller	25
3.5 แผนภาพระบบการทดสอบแบตเตอรี่	26
3.6 ตารางคุณสมบัติของแบตเตอรี่	26
3.7 แบตเตอรี่สำหรับทำการทดสอบ	27
3.8 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่	28
3.9 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่	29
4.1 กราฟการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah	31

4.2 กราฟการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah	32
4.3 กราฟการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah	33
4.4 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah	34
4.5 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah	35
ข.1 หน้าเข้าสู่ระบบ	40
ข.2 หน้าหลัก	41
ข.3 หน้าต่าง H/W Configuration	42
ข.4 หน้า Instrument	44
ข.5 การเพิ่มเครื่องมือวัด	44
ข.6 การเพิ่ม Charge/Discharge Tester	45
ข.7 เลือกรุ่นของเครื่องมือวัด	45
ข.8 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด	46
ข.9 หน้าต่างการตั้งค่าหมายเลขอุปกรณ์	46
ข.10 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด	47
ข.11 หน้าต่าง UUT Setup	48
ข.12 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor	49
ข.13 หน้าต่างเลือกข้อมูลการตั้งค่าอื่นๆ	50
ข.14 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor	51
ข.15 หน้าต่าง Remote Alarm	51
ข.16 หน้าต่าง Protection	52
ข.17 หน้าต่าง Protection	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันนี้ปัญหาภาวะโลกร้อนนั้นเป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญและพยายามที่จะช่วยกันแก้ไขปัญหานี้ เพราะด้วยปัญหาภาวะโลกร้อนนี้ส่งผลกระทบมากในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นระบบนิเวศที่เปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศระดับน้ำทะเลที่กำลังเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ ทั้งหลายเกิดจากภาวะโลกร้อนขึ้นที่มีมูลเหตุมาจากการปล่อยก๊าซพิษต่างๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม จากควันท่อไอเสียของยานยนต์ การเผาไหม้ ทำให้แสงอาทิตย์ส่องทะลุผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นโลก ได้มากขึ้น ซึ่งนั้นเป็นที่รู้จักกันโดยเรียกว่า สภาวะเรือนกระจก ? ทั้งนี้เราจึงพยายามแก้ปัญหาด้วย การใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดมลภาวะ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงาน จากชีวภาพ และวิธีการนำพลังงานทดแทนเหล่านี้ไปใช้ได้ถูกประยุกต์ให้ใช้ได้ทุกๆ ส่วนของชีวิตเรา มากขึ้น เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในบ้านและยานยนต์ไฟฟ้าเป็นต้น ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าในขณะนี้กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก?? แต่ก็มีปัญหานี้ในด้านประสิทธิภาพที่ต้อง ได้รับการพัฒนาต่อไป และส่วนประกอบที่สำคัญมากสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่ต้องพัฒนาเป็นอันดับ ต้นๆ นั่นก็คือส่วนที่ใช้ในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ยานยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถไฟฟ้าไปใช้ ในการขับเคลื่อนส่วนประกอบต่างๆ ต่อไป ก็คือแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่นั้นมีปัจจัยหลายอย่างมากที่จะ ต้องนำมาพิจารณา เช่น อุณหภูมิ ขนาด น้ำหนัก พลังงานที่กักเก็บได้ การชาร์จ การดิสชาร์จ เป็นต้น และปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบกับยานยนต์ไฟฟ้าโดยตรงซึ่งแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมมากในขณะนี้คือ ลิเธียมไอออน(Lithium-Ion Battery) เนื่องจากให้พลังงานที่สูงและยังสามารถกักเก็บพลังงานได้ มากด้วยเช่นกัน มีอายุการใช้งานที่นาน ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีความเสถียรซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้ สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าอย่างมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์(Li-Po) และแบตเตอรี่ตะกั่วกรด(Lead-Acid) ?? และแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นมีหลายประเภทตามส่วน ประกอบทางเคมีภysis ในตัวแบตเตอรี่ยกตัวอย่างเช่น Lithium Cobalt Oxide ($LiCoO_2$), Lithium Nickel Oxide($LiNiO_2$), Lithium Iron Phosphate($LiFePO_4$) และ Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide($Li(Ni_xMn_yCo_{1-x})O_2$) ซึ่งในส่วนประกอบเหล่านี้จะทำให้ได้ข้อดีและข้อเสียที่ต่างกัน??

แบตเตอรี่ที่นำໄไปใช้สำหรับยานยนต์ นั้นจำเป็นจะต้องได้รับมาตรฐานที่เข้มถือได้เพื่อความปลอดภัย ของทั้งผู้ขับขี่และผู้โดยสาร ดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นจะต้องทำการทดสอบแบตเตอรี่ก่อนที่จะนำมาใช้ กับยานยนต์ ไฟฟ้าตามมาตรฐานสากลที่ได้รับการยอมรับยกตัวอย่างเช่น IEC, ISO, UN ECE R100 เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานนั้นก็จะมีวิธีการทดสอบและเกณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น การทดสอบ

ความทนต่ออุณหภูมิมาตรฐาน UN 38.3:2015 นั้นจะทดสอบแบบเตอรี่จะเก็บแบบเตอรี่ที่อุณหภูมิ $75 \pm 2^{\circ}\text{C}$ อย่างน้อย 6 ชั่วโมง(12 ชั่วโมงสำหรับแบบเตอรี่ขนาดใหญ่) และจากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ $-40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ โดยให้เวลาพักแบบเตอรี่มากสุด 30 นาทีและทำซ้ำจนครบ 10 cycle ส่วน IEC 62133-2:2017 นั้นนำแบบเตอรี่อยู่ในอุณหภูมิ $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 7 ชั่วโมงโดยที่ตัวถังของแบบเตอรี่ต้องไม่รับการผลของการป้องกันภายในของส่วนประกอบต่างๆของแบบเตอรี่?? ซึ่งจะเห็นได้ชัดถึงความแตกต่างของวิธีการทดสอบและความยากง่ายของการทดสอบ ในประเทศไทยเองก็จะมีมาตรฐานในการทดสอบแบบเตอรี่ เช่น กันคือ มอก. ซึ่งมอก.เป็นคำย่อมาจาก "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม" หมายถึงกำหนดทางวิชาการที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ.)ได้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นแนวทางแก้ผู้ผลิตในการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุดโดยจัดทำออกมาเป็นเอกสารและจัดพิมพ์เป็นหนังสือ ภาย ในมอก.แต่ละเล่มประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น เกณฑ์ทางเทคนิค คุณสมบัติที่สำคัญ ประสิทธิภาพของกร่านนำไปใช้งาน คุณภาพของวัสดุที่นำมาผลิตและวิธีการทดสอบเป็นต้น โครงการนิเวศวารมณ์ไฟฟ้านี้ได้นำเสนอการทดสอบแบบเตอรี่โดยอ้างอิงมาตรฐานสากลและมาตรฐานในประเทศไทยเพื่อสำหรับนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป โดยโครงงานนี้จะเลือกใช้แบบเตอรี่ชนิด Lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC) และเครื่องทดสอบแบบเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- เพื่อศึกษาแนวทางในการทดสอบแบบเตอรี่
- เพื่อทดสอบแบบเตอรี่ชนิด Lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC)
- เพื่อนำแนวทางในการทดสอบแบบเตอรี่นี้ไปประยุกต์ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตการทำงาน

ทดสอบการชำรุดเสียหายของแบบเตอรี่ NMC โดยใช้เครื่องทดสอบแบบเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบแบบเตอรี่

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้รับความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของแบบเตอร์เรชันิด NMC
- ได้ทักษะการใช้งานเครื่องทดสอบแบบเตอร์เรชามาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ
- ได้นำความรู้เกี่ยวกับการทดสอบแบบเตอร์เรชามาตรฐานที่ได้นำไปประยุกต์ใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า

บทที่ 2

ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการแบตเตอรี่นั้นมีองค์ประกอบและปัจจัยต่างๆ ที่ต้องทำการพิจารณาเพื่อนำไปพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการเข้าใจส่วนประกอบ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อแบตเตอรี่ คุณสมบัติของแบตเตอรี่ มีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อที่จะเข้าใจสิ่งเหล่านี้ จึงมีการค้นคว้าวิจัยหาข้อมูลมากมาย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงสำหรับโครงการนี้แล้วคือ

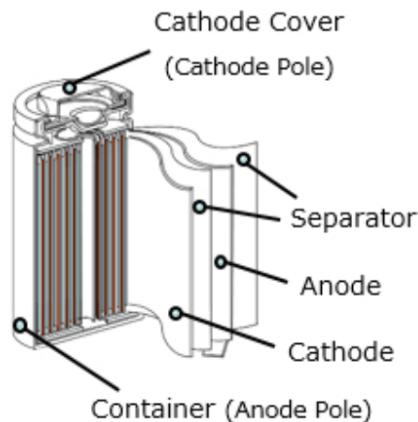
2.1 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

คำนิยามของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นไม่ได้มีการบัญญัติขึ้นอย่างเป็นทางการแต่โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสามารถนิยามได้ว่าเป็นระบบกักเก็บพลังงานซึ่งอาศัยปฏิกิริยาในจากขั้วทางไฟฟ้าทั้งสองโดยที่มีลิเธียมไอออน (Li^+) ทำหน้าที่เป็นตัวนำประจุ ซึ่งจากนิยามของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนข้างต้นนี้ไม่ได้หมายถึงแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียวยกตัวอย่าง เช่น แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หรือแบตเตอรี่นิเกิลแคนเดเมียมที่หมายถึงแบตเตอรี่ชนิดนั้นโดยสรุปจากคุณสมบัติทางเคมีของเซลล์แบตเตอรี่ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นมีหลายคุณสมบัติทางเคมีโดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุส่วนประกอบของเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งความแตกต่างของส่วนประกอบทำให้ได้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนหลากหลายชนิดและแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นยังมี หลายรูปแบบหรือรูปร่างในขณะที่หลักการทำงานนั้นยังคงตามนิยามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งหลักการทำงานความแตกต่างทางรูปร่างและชนิดนี้จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

หัวข้อนี้จะอธิบายถึงโครงสร้าง ส่วนประกอบหลัก และวัสดุที่นำมาเป็นส่วนประกอบหลักอย่างคร่าวๆ ของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน จากรูปที่ 1 เซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบทรงกระบอกนั้นจะประกอบไปด้วย ขั้วบวก(แคโทด) ขั้วลบ(แอนโอด) ตัวรับกระแสขั้วลบ ตัวรับกระแสขั้วบวก อิเล็กโทรไลต์ และชั้นวนระหัส ขั้วทั้งสองโดยทั่วไปแล้วขั้วนี้ทำจากสารประกอบลิเธียมไอออนเช่น LiCoO_2 , LiNiO_2 , LiMn_2O_4 , LiFePO_4 และ $\text{LiNixCo}_{1-2x}\text{MnxO}_2$ ส่วนขั้วลบโดยทั่วไปทำจาก $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, LixC_6 , TiS_2 และ V_2O_5 อิเล็กโทรไลต์ใช้เกลือลิเธียมเช่น LiPF_6 , LiBF_4 , LiClO_4 , และ LiAsF_6 ซึ่งละลายในสารละลายอินทรีย์เช่น ethylene carbonate (EC), propylene carbonate (PC), dimethyl carbonate (DMC) และ chlorine methyl carbonate (CMC) สุดท้ายชั้นวนระหว่างขั้วทั้งสองเช่น polyethylene (PE) และ polypropylene (PP) จะเห็นได้ว่ามีวัสดุหลายอย่าง

มากที่สามารถนำมาใช้เป็น ข้าวบากของแบตเตอรี่ ข้าวบากของแบตเตอรี่ อิเล็กโทรไลต์ และอัตราที่กันระหว่างข้าวทั้งสองซึ่งข้อจำกัดทางเทคโนโลยีของวัสดุต่างๆนั้นคือจะต้องสามารถทำงานตามแนวทางดังนี้



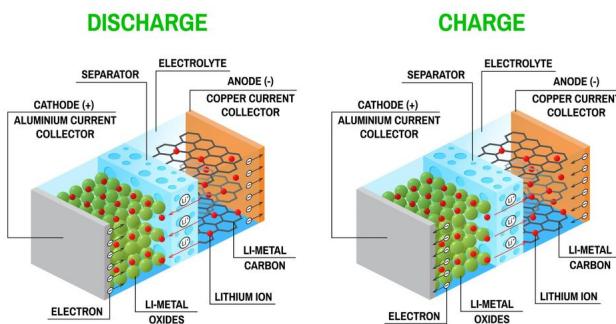
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบทรงกระบอก

- อิเล็กโทรไลต์นั้นจะต้องสามารถส่งผ่านลิเธียมไอออนได้มากที่สุดเท่าที่สามารถส่งผ่านได้ภายใต้เงื่อนไขคือแบตเตอรี่นั้นจะต้องสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่ว้าวไปได้ เช่นสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -30°C เพื่อที่ยานยนต์นั้นสามารถจอดได้ในกรณีที่จอดในช่วงเวลาที่อุณหภูมนั้นเย็นจัดจนถึงอุณหภูมิ $+60^{\circ}\text{C}$ ในกรณีที่อุณหภูมิของแบตเตอรี่นั้นสูงขึ้นเนื่องจากเป็นผลมาจากการร้อนของสภาพแวดล้อมภายนอกและเป็นผลมาจากการชาร์จ
- ในทำนองเดียวกันอัตราที่กันระหว่างข้าวทั้งสองนั้นจะต้องสามารถส่งผ่านลิเธียมไอออนได้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับอิเล็กโทรไลต์และจะต้องมีความสามารถทนความร้อนสูงแบบฉบับพลัน
- ความเข้ากันได้ของวัสดุของข้าวของแบตเตอรี่นั้นจะต้องสามารถทำให้แบตเตอรี่มีความจุมากที่สุดเท่าที่จะสามารถเป็นไปได้โดยข้อสรุปของวัสดุต่างๆและปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้านั้นเป็นไปดังรูปที่ 2 และแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่นั้นขึ้นอยู่ความแตกต่างระหว่างค่าความจุที่ใช้นำมาทำเป็นข้าวของแบตเตอรี่ซึ่งแรงดันนั้นอาจจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสูญเสียภายในเซลล์แบตเตอรี่อย่างเช่น การสูญเสีย IR losses เนื่องจากความสามารถในการส่งผ่านลิเธียมไอออนที่ไม่ดีในอิเล็กโทรไลต์ยกตัวอย่างเช่นถ้า LiFePO₄ นั้นถูกใช้นำมาเป็นข้าวบากและ Li₄Ti₅O₁₂ เป็นข้าวบากของแบตเตอรี่จะทำให้ได้แรงดันเปิดวงจรปกตินั้นคือ $V_{oc} = V^+ - V^- = 1.95 \text{ V}$

โดย V^+ นั้นแทนศักย์ไฟฟ้าทางขั้วบวกของแบตเตอรี่ส่วน V^- แทนศักย์ไฟฟ้าทางขั้วลบของแบตเตอรี่

2.1.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

LITHIUM-ION BATTERY



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบและการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

จากรูปที่ 2 เป็นการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในสภาวะการทำงานทั้งสองสภาวะดังนี้

- เมื่อเซลล์แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะดิสชาร์จหรือการทำงานเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนย้ายจากขั้วแอนโโนดผ่านตัวรับกระแสทั้งสองด้านและโหลดไปยังขั้วแค็โพดในขณะเดียวกัน Li^+ เคลื่อนย้ายจากขั้วแอนโโนดผ่านอิเล็กโทรไลต์และวนวันไปยังขั้วแค็โพด
- ในทางกลับกันเมื่อเซลล์แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะการชาร์จ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนย้ายจากขั้วแค็โพดผ่านแหล่งจ่ายและตัวรับกระแสไปยังขั้วแอนโโนดในขณะเดียวกัน Li^+ เคลื่อนย้ายจากขั้วแค็โพดผ่านอิเล็กโทรไลต์และวนวันไปยังขั้วแอนโโนด

ซึ่งเพื่อคงความเป็นกลางทางไฟฟ้าการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอนและ Li^+ นั้นจึงเกิดขึ้นพร้อมกันและเนื่องจากการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอนก็มีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

ยกตัวอย่างเช่น พิจารณาแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide, LMO) เมื่อแบตเตอรี่อยู่ในสภาวะการชาร์จ Li^+ เคลื่อนย้ายออกจาก LiMn_2O_4 ที่เป็นสารประกอบของขั้วแค็โพดผ่านอิเล็กโทรไลต์และวนวันไป溯สมอยู่ที่ชั้นคาร์บอนของกราไฟท์ที่เป็นขั้วแอนโโนดในทางตรงกันข้ามเมื่ออยู่ในสภาวะการดิสชาร์จ Li^+ ที่溯สมอยู่ที่ชั้นคาร์บอนของกราไฟท์จากการชาร์จเคลื่อน

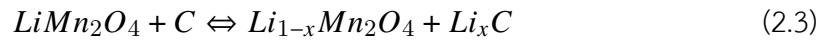
ข่ายผ่านอิเล็กโทรไลต์และอวนวนไปยัง LiMn_2O_4 ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เป็นดังนี้
ปฏิกิริยาทางชั่วแอนด์



ปฏิกิริยาทางชั่วแคนโด



ปฏิกิริยาทั้งระบบ



2.1.3 ลักษณะของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

เซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีรูปลักษณ์ภายนอกที่นิยมในห้องทดลองอยู่ 3 ลักษณะดังนี้ ทรงกระบอก ทรงกล่อง และแบบแผ่น ซึ่งภายในจะมีลักษณะเป็นแบบพันรอบหรือแบบชั้นนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะภายนอก

ตัวถังภายนอกของเซลล์แบตเตอรี่นั้นทำจากโลหะเช่น สแตนเลสหรืออลูมิเนียมสำหรับเซลล์แบบทรงกระบอกและทรงกล่อง อลูมิเนียมแผ่นสำหรับเซลล์แบบแผ่น ตัวถังของเซลล์แบตเตอรี่มีหน้าที่สำคัญมากกว่าเป็นเพียงแค่ภาชนะบรรจุส่วนประกอบภายใน ซึ่งหน้าที่ที่สำคัญมากอย่างแรกนั้นคือป้องกันส่วนประกอบภายนอกจากความชื้นและแก๊สออกซิเจนจากภายนอกซึ่งกัดกร่อนหรือทำให้ข้าวของเซลล์นั้นเป็นสนิมและทำหน้าที่เป็นชั้นระหว่างข้าวบวกและข้าวลบระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ หน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของตัวถังนั้นคือลดความดันจากภายในของเซลล์แบตเตอรี่ในขณะที่เซลล์ทำงานผิดปกติจนอาจทำให้พิธีรูปร่างทั้งนี้เพื่อให้ยังคงพื้นที่สำหรับเซลล์แบตเตอรี่ในโโนดูลแบตเตอรี่แต่สำหรับตัวถังแบบแผ่นนั้นไม่สามารถทำได้

ดังตารางที่ 1 เป็นการสรุปโดยสังเขปของเซลล์แบตเตอรี่ทั้ง 3 ลักษณะทั้งนี้เซลล์แบตเตอรี่แต่ละแบบนั้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันแล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้

2.1.4 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ในหัวข้อนี้จะสรุปคำศัพท์หรือคุณลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในการระบุ เปรียบเทียบ และจำแนกแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญดังนี้

- C rate และ E rate กระแสดิสชาร์จบ่อยครั้งจะแสดงอยู่ใน C-rate ซึ่ง C-rate คืออัตราการดิสชาร์จต่อความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ เช่น 1C หมายถึงกระแสดิสชาร์จนี้จะดิสชาร์จแบตเตอรี่

Table 1. Cell designs and Relative Strengths and Weaknesses. Figures adapted from [84] with permission.

Shape	Cylindrical	Prismatic	Pouch
Diagram			
Electrode Arrangement	Wound	Wound	Stacked
Mechanical Strength	++	+	
Heat Management	-	+	+
Specific Energy	+	+	++
Energy Density	+	++	+

ภาพที่ 2.3 เป็นการสรุปโดยสังเขปของเซลล์แบตเตอรี่ทั้ง 3 ลักษณะทั้งนี้ เซลล์แบตเตอรี่แต่ละแบบนั้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันแล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้

หมวดภายใน 1 ชั่วโมงสำหรับแบตเตอรี่ 100Ah กระแสเดิมจะเท่ากับ 100A ที่ 5C นั่นกระ แสงเดิมจะอยู่ที่ 500A และที่ C/2 กระแสเดิมจะอยู่ที่ 50A ในทำนองเดียวกัน E-rate คืออัตราพลังงานไฟฟ้าดิสชาร์จ 1E หมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการดิสชาร์จหมวดภายใน 1 ชั่วโมง

- State of Charge (SOC) หมายถึงการแสดงสถานะความจุของแบตเตอรี่เทียบกับความจุสูงสุด ของแบตเตอรี่เป็นเปอร์เซ็นต์
- Depth of Discharge (DOD) หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกดิสชาร์จไปเทียบ กับความจุสูงสุดของแบตเตอรี่
- แรงดันที่ขั้ว (Terminal Voltage) หมายถึงแรงดันระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ในขณะต่อโหลดซึ่ง แรงดันนี้ขึ้นอยู่กับ SOC และกระแสเดิมหรือดิสชาร์จ
- แรงดันเปิดวงจร (Open-circuit Voltage, OCV) หมายถึงแรงดันระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ใน ขณะที่ไม่มีโหลดซึ่งขึ้นอยู่กับ SOC เช่นกัน
- แรงดันปกติ (Nominal Voltage) หมายถึงการรายงานแรงดันของแบตเตอรี่หรือแรงดันอ้างอิง ของแบตเตอรี่
- แรงดันตัด (Cut-off Voltage) หมายถึงแรงดันต่ำที่สุดที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้หรือหมายถึง แรงดันที่แสดงถึงสถานะของแบตเตอรี่ที่หมดแล้ว State of Charge (SOC) หมายถึงการแสดง สถานะความจุของแบตเตอรี่เทียบกับความจุสูงสุดของแบตเตอรี่เป็นเปอร์เซ็นต์
- ความจุหรือความจุปกติ (Capacity or Nominal Capacity, Ah) หมายถึงความจุคูลอมบิก เมตริกหรือกิโลแอม珀ชั่วโมงทั้งหมดที่แบตเตอรี่สามารถดิสชาร์จได้จาก 100% SOC จนถึง แรงดันตัด

- พลังงานหรือพลังงานปกติ (Energy or Nominal Energy, Wh) หมายถึงความจุพลังงานของแบตเตอรี่หรือกึ่งอวัตต์ทั้งหมดที่แบตเตอรี่สามารถดิสชาร์จได้จาก 100%SOC จนถึงแรงดันตัด
- ไลฟ์ไซเคิล (Cycle Life) หมายถึงจำนวนรอบในการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ที่สามารถดิสชาร์จได้ก่อนที่จะเสื่อมสภาพตามเกณฑ์อย่างไรก็ตามสภาพการทำงานของแบตเตอรี่นั้นมีปัจจัยหลายอย่างนอกจากจำนวนรอบการดิสชาร์จ เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ
- พลังงานจำเพาะ (Specific Energy, Wh/kg) หมายถึงพลังงานปกติต่อมวลของแบตเตอรี่บางครั้งอาจจะหมายถึงความหนาแน่นพลังงานโดยน้ำหนักของแบตเตอรี่
- กำลังไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Power, W/kg) หมายถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อมวลของแบตเตอรี่
- ความหนาแน่นพลังงาน (Energy Density, Wh/L) หมายถึงพลังงานปกติต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรบางครั้งอาจจะหมายถึงความหนาแน่นพลังงานโดยปริมาตร
- ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power Density, W/L) หมายถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่
- กระแสดิสชาร์จต่อเนื่องสูงสุด (Maximum Continuous Discharge Current) หมายถึงกระแสดิสชาร์จสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถดิสชาร์จได้อย่างต่อเนื่องข้อจำกัดนี้จะถูกกำหนดโดยโรงงานแบตเตอรี่เพื่อป้องกันอัตราการดิสชาร์จที่มากเกินไปซึ่งอาจจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือลดความจุลงได้
- กระแสพัลลสูงสุดใน 30 วินาที (Maximum 30-sec Discharge Pulse Current) หมายถึงกระแสดิสชาร์จสูงสุดฉับพลันโดยดิสชาร์จเป็นเวลา 30 วินาที
- แรงดันชาร์จ (Charge Voltage) หมายถึงแรงดันของแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ชาร์จเต็มแล้ว
- แรงดันลอยตัว (Float Voltage) หมายถึงแรงดันคงที่ที่แบตเตอรี่ชาร์จจนเต็มแล้วก่อนที่จะเกินการดิสชาร์จอย่าง平安

2.1.5 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง สรุปข้อแตกต่าง ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละชนิดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในปัจจุบันนั้นเป็นที่นิยมกันอยู่ในตลาดทั้งสิ้น 6 ชนิดซึ่งแต่ละชนิดนั้นโดยทั่วไปแล้วจะจำแนกตามวัสดุที่นำมาใช้เป็นขั้วบวกของแบตเตอรี่ยกเว้นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนชนิดเรียบไทเทเนต(Lithium Titanate, LTO) ที่ใช้วัสดุที่ใช้นำมาเป็นขั้วลบคือ Li₄Ti₅O₁₂ มาทำการจำแนก ซึ่งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทั้ง 6 ชนิดที่ได้ข้างต้นมีด้วยกันดังนี้

แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์

(Lithium Cobalt Oxide Battery)

แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยบริษัท Sony ในปี 1991 แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ถูกใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนตัวเป็นส่วนใหญ่ เช่น แล็ปท็อป กล้องถ่ายรูป ฯลฯ เป็นต้นเนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูง อายุการใช้งานนาน และผลิตง่าย แต่แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์นั้นมีปฏิกิริยาสูงดังนั้นจึงทำให้ไม่เสียรทางความร้อนและต้องการการวัด ตรวจจับ แสดงผลตลอดช่วงเวลาทำงานเพื่อความปลอดภัยและเนื่องจากโคบอลต์นั้นเป็นวัสดุที่หาได้ยากทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์มีราคาแพงและด้วยปัญหาด้านความร้อน แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์จึงไม่ค่อยเหมาะสมกับการนำไปใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าอย่าง Tesla Roadster และ Smart Fortwo Electric drive(ED)

แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์

(Lithium Manganese Oxide Battery, LMO)

แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ได้ถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในช่วงต้นทศวรรษ 1980 และใช้เวลากว่า 15 ปีกว่าจะนำมาจำหน่ายในท้องตลาด ด้วยสถาปัตยกรรมโครงสร้างทางด้านเคมีซึ่งเพิ่มการเคลื่อนย้ายของไอออน(Li⁺)ในอิเล็กโทรดเป็นผลทำให้ลดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ และช่วยให้หันกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นนั่นหมายความว่าสามารถเพิ่มความเร็วในการชาร์จหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการชาร์จและสามารถใช้กระแสเดินทางจากจุดที่สูงได้ ซึ่งข้อดีทางเคมีนี้ทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์นั้นมีเสถียรภาพทางด้านความร้อนมากกว่าแบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์แต่มีข้อเสียนั่นคือมีความจุน้อยและอายุการใช้งานสั้นกว่าโดยประมาณ 33% ส่วนมากแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์นั้นถูกผสมเข้ากับแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์เพื่อเพิ่มพลังงานจำเพาะ และอายุการใช้งานซึ่งแบตเตอรี่โดยการผสมนี้ในอดีตเคยถูกใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าหลายรุ่นเช่น Nissan Leaf, Chevy volt, BMW i3

แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต

(Lithium Iron Phosphate, LFP)

ในปี 1996 กลุ่มนักวิจัยในมหาวิทยาลัยเทกซัสอัลเบრต(The University of Texas at Austin) ค้นพบว่าฟอสเฟตนั้นสามารถนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนได้ ฟอสเฟตนั้นช่วยให้มีความเสถียรต่อการชาร์จเกิน(Over charge) และช่วยเพิ่มความทนทานต่อความร้อน แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟตมีความสามารถทางเคมีไฟฟ้าที่ดี เช่น มีความต้านทานต่ำ เป็นต้น มีช่วงอุณหภูมิการทำงานที่กว้างคือ +60°C ถึง -30°C และเกิดปฏิกิริยาความร้อนสูง(Thermal runaway)ได้ยากแต่มีการดิสชาร์จเองสูงมากกว่าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิดอื่นๆ ทำให้มีปัญหาทางด้านสมดุลของอายุแบตเตอรี่ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาช่วยควบคุมปัญหานี้ได้ เช่น BMS แต่ก็ทำให้ราคาของ

แบตเตอรี่นั้นสูงขึ้น

ด้วยประสิทธิภาพอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักและความปลอดภัยสูงนั้นทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟตชนิดไข่มากในรถบ้าน มีการร่วมมือกันระหว่างบริษัทในประเทศเยอรมันได้แก่ ElektroFahrzeuge Stuttgart และ WOF ได้ทำการบ้านที่ใช้ระบบไฟฟ้าทั้งหมดเจ้าแรกส่งออกสู่ตลาดซึ่งในระบบไฟฟ้านี้ก็นำแบตเตอรี่ลิเธียมมาใช้ด้วยเช่นกัน

แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

(Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide Battery, NMC)

แบตเตอรี่นิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์สามารถออกแบบให้มีพลังงานจำเพาะสูงหรือกำลังไฟฟ้าได้ซึ่งเป็นผลดีมาจากการผสมกันระหว่างโลหะ 2 ชนิดคือนิกเกิลและแมงกานีส นิกเกิลนั้นทำให้พลังงานจำเพาะสูงแต่มีความเสถียรต่ำส่วนแมงกานีสนั้นทำให้ความต้านทานภายในต่ำแต่มีข้อเสื่อคือทำให้พลังงานจำเพาะต่ำซึ่งอัตราส่วนของผสมโลหะต่างๆของแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์นั้นขึ้นอยู่กับแต่ละโรงงานผลิตซึ่งมีดังนี้ NMC111(ความจุ 154 Ahkg-1 ที่ 0.1C) NMC442 NMC622 และในปัจจุบัน NMC811(ความจุ >185 Ahkg-1 ที่ 0.1C)

การผสมกันระหว่างแมงกานีสและนิกเกิลช่วยเสริมข้อดีของกันและกันทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์เป็นแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ประสบความสำเร็จมากที่สุดและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งปัจจุบันแบตเตอรี่นิคไนด์นี้เป็นที่ต้องการอย่างมากเนื่องจากพลังงานจำเพาะสูงและคุณลักษณะทางความร้อนที่ดีจากที่กล่าวมาแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ ถูกนำมาใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าหลายรุ่นด้วยกันเช่น Nissan Leaf, Chevy Volt, BMW i3

แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมินัมออกไซด์

(Nickel Cobalt Aluminum Oxide Battery, NCA)

แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมินัมออกไซด์เกิดขึ้นช่วงปี 1999 แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์อลูมินัมออกไซด์มีความคล้ายคลึงกับแบตเตอรี่นิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์โดยให้พลังงานจำเพาะและกำลังไฟฟ้าจำเพาะที่สูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานแต่ไม่ค่อยมีความปลอดภัยเท่ากับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิดอื่นๆ สำหรับการประยุกต์ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้านั้นต้องการการตรวจสอบและแสดงผลอยู่ตลอดเพื่อความปลอดภัย มีต้นทุนการผลิตสูงและไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้กับงานประเภทอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม Tesla เป็นบริษัทเดียวที่ใช้แบตเตอรี่นิคไนด์และอ้างว่าแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมินัมออกไซด์ของ Tesla นั้นใช้โคบอลต์ในการผลิตน้อยกว่า NMC811 ซึ่งใช้โคบอลต์เพียง 15% ซึ่งแบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมินัมออกไซด์ถูกนำมาใช้ใน Tesla Model 3 และ Model S ช่วงแรกๆ ในปี 2012

แบตเตอรี่ลิเทียมไทดานาต

(Lithium Titanate, LTO)

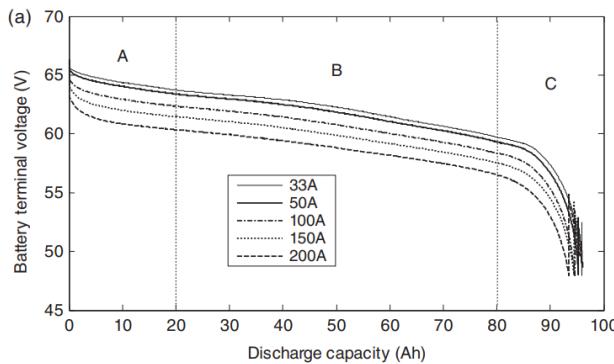
การใช้ลิเทียมไทดานาตในแบตเตอรี่นั้นเกิดขึ้นในปี 1980 ลิเทียมไทดานาตถูกแทนที่กราไฟฟ์ในการนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและทำให้อยู่ในโครงสร้างเฉพาะทางเคมีโดยอิเล็กโทรดขั้วตรงข้ามอาจจะใช้ลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ก็ได้ ลิเทียมไทดานาตที่ถูกทำให้อยู่ในโครงสร้างเฉพาะทางเคมีนี้ได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุที่มีประโยชน์มากเนื่องจากระหว่างการเกิดปฏิกิริยาลิเทียชัน(Lithiation)หรือการส่งผ่านไอออน Li^+ ลิเทียมไทดานาตนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเป็นผลทำให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นมากคู่กับความปลอดภัยจากการดิสชาร์จและชาร์จที่เสีย率มากกว่า 1.55V vs Li/Li^+ ลิเทียมไทดานาตนั้นนำไปฟื้นได้ไม่ค่อยดีและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอออน Li^+ น้อยทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้งานที่กำลังไฟฟ้าสูงแต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันนี้สามารถช่วยได้โดยลดระยะเวลาการเคลื่อนย้ายของไอออน Li^+ ในโครงสร้างของแบตเตอรี่เพื่อส่งผ่านไอออนได้ดีขึ้นเพิ่มการนำไปฟื้นได้โดยการโดป(Doping) เคลือบผิว(Surface Coating) ผสม(Forming)กับวัสดุที่นำไปฟื้นได้ดีอย่างคาร์บอน

แบตเตอรี่ลิเทียมไทดานาตถูกใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นอย่าง Mitsubishi i-MiEV, Honda และระบบรถบัสไฟฟ้าสาราระ(Tosa) และเนื่องจากมีความปลอดภัยสูงแบตเตอรี่ลิเทียมไทดานาตจึงถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์การแพทย์ด้วย

ตารางที่ 2: เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่แต่ละประเภท (ตัดแปลงจากเอกสารอ้างอิง [4, 5, 6])

วัสดุขั้นbase	หน่วย	LCO หรือ NCA	NMC	LMO		LFP
		แกรไฟต์	แกรไฟต์	แกรไฟต์	LTO	แกรไฟต์
		ความจุพลังงาน หรือกำลังไฟฟ้า	ความจุพลังงาน หรือกำลังไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	จำนวนรอบ ในการใช้งาน	กำลังไฟฟ้า
ช่วงแรงดันในการใช้งาน (Operating voltage range)	V	2.5-4.2	2.5-4.2	2.5-4.2	1.5-2.8	2.0-3.6
แรงดันเฉียบ (Nominal cell voltage)	V	3.6-3.7	3.6-3.7	3.7-3.8	2.3	3.3
ความจุพลังงานต่อวัตต์ชั่วโมง	Wh/kg	175-240 (cylindrical) 130-450 (pouch)	100-240	100-150	70	60-110
ความจุพลังงานต่อบริเวณชาร์จ	Wh/L	400-640 (cylindrical) 250-450 (pouch)	250-640	250-350	120	125-250
อัตราการปล่อยชาร์จต่อ เมื่อ (Continuous discharge rate)	C ²	2-3	2-3 สำหรับ แบตเตอรี่ความจุ พัฒนาสูง >30 สำหรับ แบตเตอรี่กำลัง ไฟฟ้าสูง	>30	10	10-125
อายุการใช้งาน ³	รอบ	500+	500+	500+	4000+	1000+
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถดัก ประจุได้	°C	0-45	0-45	0-45	-20-45	0-45
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถดัก ประจุได้	°C	-20-60	-20-60	-30-60	-30-60	-30-60
ความปลอดภัย	1-4 (4 = ปลอดภัยที่สุด)	2	3	3	4	4
ราคา	1-4 (4 = ราคา ต่ำที่สุด)	3 (LCO) 2 (NCA)	3	3	1	3

ภาพที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

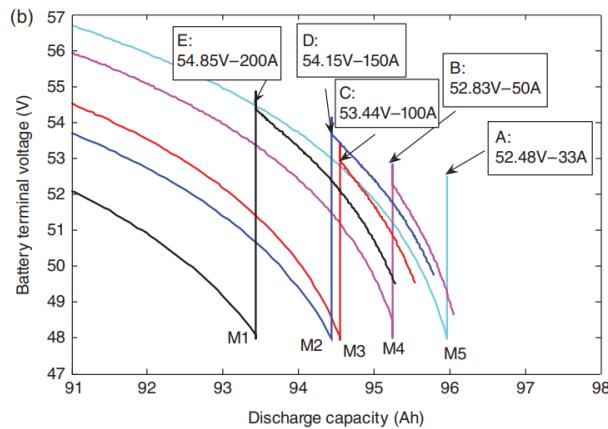


ภาพที่ 2.5 กราฟการทดสอบการดิสชาร์จของไมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

2.2 ประสิทธิภาพอัตราการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

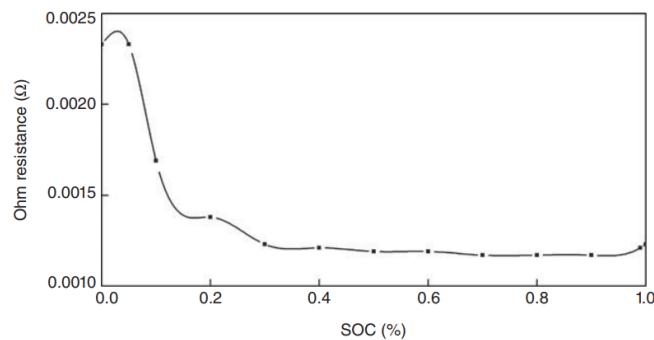
ในหัวข้อนี้และหัวข้อถัดไป 2.3 จะใช้ไมดูลแบตเตอรี่ความจุ 100Ah ที่ประกอบไปด้วยเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ 16 เซลล์ในการทดสอบซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความจุของไมดูลแบตเตอรี่ภายใต้กระแสเดดิชาร์จที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิห้องดังรูปที่ 3 ส่วนรูปที่ 4 คือรูปขยายบางส่วนของรูปที่ 3 ที่จุด M1, M2, M3, M4 และ M5 ไมดูลแบตเตอรี่มีความจุที่ 93.43Ah, 94.43Ah, 94.55Ah, 95.24Ah และ 95.96 Ah ตามลำดับซึ่งดิสชาร์จด้วยกระแสไฟฟ้าขนาด 200A(2C), 150A(1.5C), 100A(1C), 50A(0.5C) และ 33A(1/3C) ตามลำดับและแรงดันเปิดวงจรหลังจากที่ทำพักไมดูลแบตเตอรี่ทั้งไว์เป็นเวลา 1 ชั่วโมงคือ 54.85V, 54.15V, 53.44V, 52.83V และ 52.48V ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันเปิดวงจรของไมดูลแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเดดิชาร์จเพิ่มขึ้นและการดิสชาร์จด้วยกระแส 200A ทำให้ความจุของไมดูลแบตเตอรี่นั้นลดลงเพียง 2.6% เมื่อเทียบกับการดิสชาร์จด้วยกระแส 33A โดยการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดิสชาร์จที่ดีของไมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์เนื่องจากสามารถดิสชาร์จที่กระแสขนาดใหญ่ได้ในขณะที่ความจุและแรงดันเพิ่มขึ้นแต่ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิของไมดูลแบตเตอรี่ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อดิสชาร์จด้วยกระแสขนาดใหญ่จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าแรงดันของไมดูลแบตเตอรี่จะคงที่มากที่สุดเมื่อ SOC อยู่ที่ช่วง 20%-80%(บริเวณ B) เนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเซลล์แบตเตอรี่นั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและเนื่องจากความต้านทานภายในและความต้านทานที่ข้างของเซลล์แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นทำให้



ภาพที่ 2.6 กราฟขยายบางส่วนของกราฟการทดสอบการดิสชาร์จของ โมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ประสิทธิภาพการดิสชาร์จนั้นลดลงมากในช่วง SOC 0% - 20% (บริเวณ A) และช่วง 80% - 100% (บริเวณ C) และแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่ลดลงอย่างมากเมื่อทำการดิสชาร์จจนหมดดังนั้นการดิสชาร์จแบบเตอรี่จันหมดหรือไกล์หมดนั้นทำให้ประสิทธิภาพการดิสชาร์จลดลงและส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ด้วยและเพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุดและเพื่อเพิ่ม อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ซึ่งควรจะใช้งานแบตเตอรี่ช่วงที่มีประสิทธิภาพการดิสชาร์จมากที่สุด

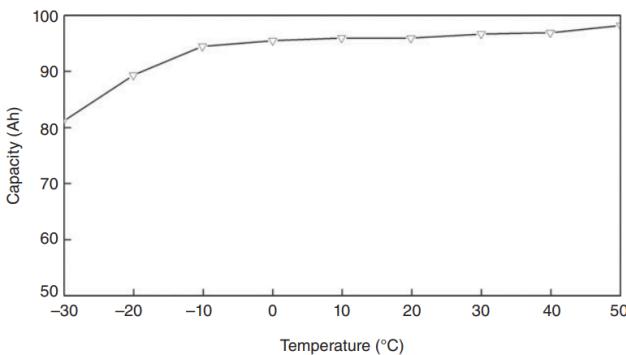


ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของโมดูล แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนกับSOC

2.2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความจุของแบตเตอรี่

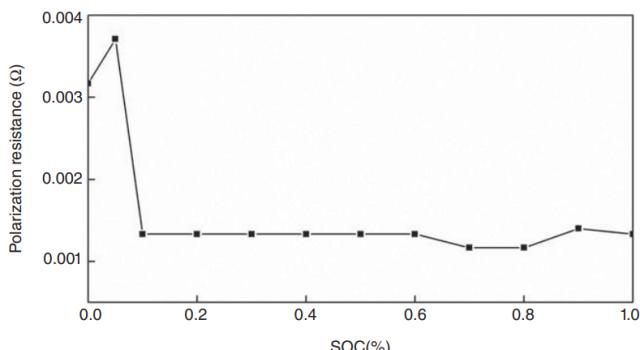
โมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ถูกใช้ทดสอบที่กระแสติดต่อที่ $1/3C$ ณ อุณหภูมิตั้งแต่ $-30^{\circ}C$ ถึง $50^{\circ}C$ โดยเพิ่มขึ้นทีละ $10^{\circ}C$ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความ

จุแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความจุของไมดูลแบตเตอรี่ลดลง 20% ณ อุณหภูมิ -30°C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิทำงานปกติเนื่องจากอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อข้อของเซลล์แบตเตอรี่และลดอัตราการทำปฏิกิริยาภายในเซลล์แบตเตอรี่และจะเห็นได้ว่าความจุของไมดูลแบตเตอรี่ค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งถ้าหาก



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุกับอุณหภูมิของไมดูล
แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

อุณหภูมิสูงมากจนเกินไปจะส่งผลเสียทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะนั่นสั่นลงและจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความจุนั้นไม่เป็นเชิงเส้นดังนั้นเพื่อที่จะเพิ่มความแม่นยำในการประมาณค่า SOC มีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องนำผลกระทบจากอุณหภูมามาทำการพิจารณาด้วย



ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานข้าว กับ SOC
ของไมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

2.3 วงศ์สมมูลของแบตเตอรี่

วงศ์สมมูลสามารถใช้ในการจำลองคุณลักษณะต่างๆ ของแบตเตอรี่ระหว่างเงื่อนไขการทำงานต่างๆ ได้ซึ่งวงศ์สมมูลของแบตเตอรี่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และอื่นๆ วงศ์สมมูลนี้ถูกนำมาใช้ทั่วไปในการจำลองต้นแบบยานยนต์ไฟฟ้าและระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างรูปแบบวงศ์สมมูลที่เคยมีการใช้งานจริงอยู่ 4 วงศ์คือ วงศ์สมมูล Rint (Rint Model) วงศ์สมมูลเทเวนิน (Thevenin model) วงศ์สมมูล RC (RC model) และวงศ์สมมูล PNGV (PNGV model) ซึ่งแต่ละวงศ์สมมูลมีความแตกต่างกันคือวงศ์สมมูลเทเวนินนั้นก็คือวงศ์สมมูล Rint ที่มีวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุขนาดกันต่ออนุกรมเพิ่มเข้าไปเพื่อแทนคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงของแบตเตอรี่ วงศ์สมมูล PNGV นั้นก็คือวงศ์สมมูลเทเวนินที่เพิ่มตัวเก็บประจุ C_{pb} อนุกรมเข้าไปแทนแรงดันเปิดวงจรเทียบกับกระแสโหลดและสุดท้ายวงศ์สมมูล RC นั้นมีความแตกต่างมากที่สุดเนื่องจากไม่มีแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงอยู่ในวงศ์เลย

วงศ์สมมูล Rint (Rint model)

วงศ์สมมูล Rint ถูกออกแบบโดยห้องปฏิบัติการแห่งชาติอิดา荷 (The Idaho National Laboratory) ซึ่งประกอบไปด้วย

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอุดมคติ U_{OCV} แทนแรงดันเปิดวงจรของแบตเตอรี่
- ตัวต้านทาน R แทนความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

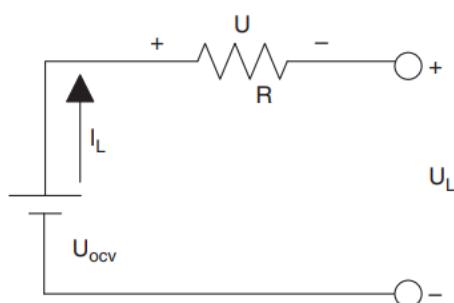


Figure 2.13 Circuit structure of Rint model.

ภาพที่ 2.10 วงศ์สมมูล Rint (Rint Model)

ซึ่งแรงดันเปิดวงจรนั้นเป็นฟังก์ชันของ SOC และอุณหภูมิและค่าความต้านทานภายในนั้นเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการชาร์จภายใน SOC ที่เท่ากัน

วงจรสมมูลเทเวนิน (Thevenin model)

วงจรสมมูลเทเวนินเป็นวงจรสมมูลที่นิยมใช้กันมากที่สุดประกอบไปด้วย

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอุดมคติ U_{OCV} แทนแรงดันเปิดวงจรของแบตเตอรี่
- ความต้านทาน R_{ohm} แทนความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
- R_p และ C_p ที่ขานกันแทน Overpotential ของแบตเตอรี่

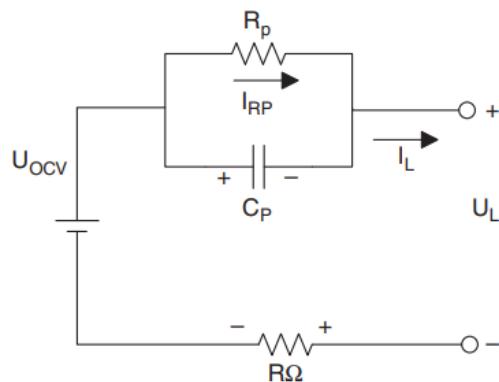


Figure 2.14 Circuit structure of Thevenin model.

ภาพที่ 2.11 วงจรสมมูลเทเวนิน (Thevenin model)

วงจรสมมูล RC (RC model)

วงจรสมมูล RC มีตัวเก็บประจุ 2 ตัวและตัวต้านทาน 3 ตัวซึ่งถูกออกแบบโดยบริษัทผลิตแบตเตอรี่ SAFT ประกอบไปด้วย

- ตัวเก็บประจุ C_b แทนความจุในการเก็บพลังงาน(มีค่าขนาดใหญ่)
- ตัวเก็บประจุ C_c แทนผลกระทบจากพื้นผิวของอิเล็กโทรด
- ตัวต้านทาน R_e แทนความต้านทานคัทออฟ(Cut-off resistance)
- ตัวต้านทาน R_c แทนความต้านทานของตัวเก็บประจุ(Capacitive resistance)

โดยวงจรสมมูลนี้ขึ้วแคโคทดสอบแบตเตอรี่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

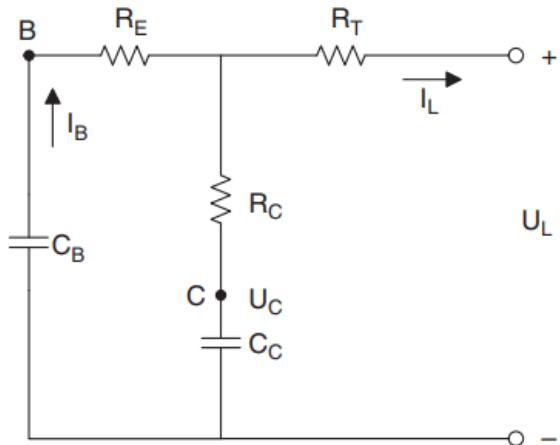


Figure 2.15 Circuit structure of RC model.

ภาพที่ 2.12 วงจรสมมูลRC (RC model)

วงจรสมมูลPNGV (PNGV model)

วงจรสมมูล PNGV เป็นวงจรสมมูลมาตรฐานที่ใช้ใน PNGV Battery Test Manual ในปี 2001 และใช้ใน Freedom CAR Battery Test Manual ในปี 2003 วงจรสมมูลนี้ประกอบไปด้วย

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอุดมคติ แทนแรงดันเปิดวงจรของแบตเตอรี่
- ตัวต้านทาน R_{po} แทนความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
- ตัวต้านทาน R_{pp} แทนความต้านทานที่ขึ้นของแบตเตอรี่
- ตัวเก็บประจุ C_{pp} แทนความจุของขึ้นแบตเตอรี่
- ตัวเก็บประจุ C_{pb} แทนแรงดันเปลี่ยนแปลงสะสมเทียบกับเวลาขณะต่อโหลด

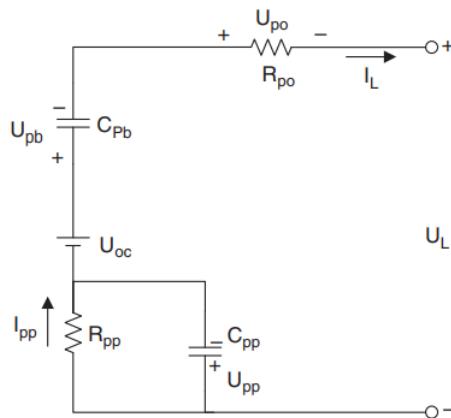


Figure 2.16 Circuit structure of PNGV model.

ภาพที่ 2.13 วงจรสมมูลPNGV (PNGV model)

2.4 ระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)

ระบบการจัดการแบตเตอรี่คือระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจัดการแบตเตอรี่ปัจจุบัน ซึ่งเป็นป้องแบตเตอรี่จากปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้แบตเตอรี่ทำงานในช่วงการทำงานที่ไม่ปลอดภัยหรือการทำงานที่อาจจะเกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ วัดและควบคุมสภาพของแบตเตอรี่ คำนวณข้อมูลทุกตัวแปร ภูมิรายงานข้อมูลนั้นเป็นต้น สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าระบบการจัดการแบตเตอรี่มีความสำคัญอย่างมาก กับความปลอดภัย เพิ่มประสิทธิภาพระบบของยานยนต์ไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมซึ่งระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นต้องสามารถตรวจจับสภาพของแบตเตอรี่และค้นหาสาเหตุของความบกพร่องได้อย่างทันที และส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ(Charger)เพื่อให้หน่วยควบคุมยานยนต์หรืออุปกรณ์ควบคุมการชาร์จจะสามารถเลือกวิธีที่จะต้องตอบสนองและประยุกต์ใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.4.1 การทำงานของระบบการจัดการแบตเตอรี่

การทำงานของระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นสามารถทำได้หลายอย่างมากโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบให้สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการดังนี้ระบบการจัดการแบตเตอรี่แต่ละระบบจะมีการทำงานที่แตกต่างกันไปขึ้น อยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ขนาด ต้นทุนในการผลิต และ อื่นๆ โดยในทวีปนี้จะกล่าวถึงการทำงานที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่ส่วนมากสามารถทำได้ดังนี้

การตรวจจับหรือการวัดของระบบการจัดการแบตเตอรี่
ระบบการจัดการแบตเตอรี่จะตรวจจับหรือทำการวัดค่าต่างๆดังเช่น

- แรงดัน เช่น แรงดันรวมของแบตเตอรี่ แรงดันในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่
- อุณหภูมิ เช่น อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิก่อนระบบฯ ความร้อน อุณหภูมิหลังระบบฯ ความร้อน อุณหภูมิของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่
- กระแสไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าและออกจากแบตเตอรี่

การป้องกันของระบบการจัดการแบตเตอรี่
ระบบการจัดการแบตเตอรี่สามารถหลีกเลี่ยงหรือป้องกันปัจจัยต่างๆที่ทำให้ส่งผลเสียต่อ
แบตเตอรี่ได้ดังเช่น

- กระแสไฟฟ้าเกินจากการชาร์จและดิสชาร์จ
- แรงดันไฟฟ้าเกินระหว่างการชาร์จและดิสชาร์จ
- อุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไป
- กระแสไฟฟ้ารั่วไหล
- การสลับขั้วกรณีที่มีการต่อวงจรผิดและการลัดวงจร
- การปรับสมดุลแบตเตอรี่ของระบบการจัดการแบตเตอรี่

การคำนวณต่างๆของระบบการจัดการแบตเตอรี่
ระบบการจัดการแบตเตอรี่สามารถคำนวณค่าต่างๆได้ดังเช่น

- แรงดัน เช่น แรงดันต่ำสุดและสูงสุดของเซลล์แบตเตอรี่
- State of charge(SOC)
- Depth of discharge(DOD)
- State of health(SOH)
- State of power(SOP)
- อิมพีเดนซ์ภายในเซลล์แบตเตอรี่
- จำนวนครั้งการชาร์จและดิสชาร์จ

การติดต่อสื่อสารของระบบการจัดการแบบเตอร์

ระบบการจัดการแบบเตอร์ขนาดเล็กอาจจะไม่มีการติดต่อส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอกหรืออุปกรณ์ภายนอกในระบบแต่ระบบการจัดการแบบเตอร์หลายระบบที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ระบบการจัดการแบบเตอร์ของยานยนต์ไฟฟ้านั้นหน่วยประมวลผลของระบบการจัดการแบบเตอร์สามารถติดต่อส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอกหรือสามารถส่งข้อมูลภายนในระบบหรืออาจติดต่อส่งข้อมูลได้ทั้งอุปกรณ์ภายนในและภายนอกรอบ

สำหรับการส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอกรอบดังเช่น

- การสื่อสารแบบอนุกรม(Serial communications)
- CAN bus communications โดยส่วนมากการส่งข้อมูลด้วยวิธีนี้ใช้กับยานยนต์
- การสื่อสารแบบไร้สาย(Wireless communications)

สำหรับการส่งข้อมูลกันภายนในระบบดังเช่น

- Isolated serial communications
- Wireless serial communications

บทที่ 3

ขั้นตอนวิธีการทดสอบแบบเตอร์ริตามมาตรฐาน

แบบเตอร์รีเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญมากสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่กักเก็บและให้พลังงานไฟฟ้ากับยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของผู้ที่ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐานต่างๆ จึงถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้กับทุกส่วนประกอบของยานยนต์ไฟฟ้ารวมถึงแบบเตอร์ริตัวยี่ห้อ กันซึ่งการทดสอบแบบเตอร์รีที่ทางคณิผู้จัดทำได้ทำการทดสอบนั้นจะทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 ทั้งหมด 2 หัวข้อดังนี้

3.0.1 การทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอร์รี

สำหรับหัวข้อการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินขีดจำกัดของแบบเตอร์รีเพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการชำรุดเกินขีดจำกัดของแบบเตอร์รี

เงื่อนไขทั่วไปในขั้นตอนการทดสอบ

- ระหว่างการทดสอบแบบเตอร์รีต้องทำงานอยู่ในอุณหภูมิ $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ หรือสูงกว่า
- เมื่อเริ่มทำการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันทุกอย่างที่ส่งผลต่อการทำงานของแบบเตอร์รีซึ่งให้ผลลัพธ์ตามจุดประสงค์ของการทดสอบจะต้องทำงาน

ขั้นตอนการทดสอบการชำรุดเกิน

- ขั้นแรกสวิตซ์ตัวนำต่างๆ ที่ใช้สำหรับการชำรุดเกินต้องปิดวงจร
- อุปกรณ์ควบคุมจำกัดการชำรุดเกินของอุปกรณ์วัดหรืออุปกรณ์ทดสอบแบบเตอร์รีต้องถูกปิดการใช้งาน
- แบบเตอร์รีต้องถูกชาร์จด้วยอัตรากระแสอย่างน้อย $1/3 \text{ C}$ แต่ต้องไม่เกินกระแสสูงสุดในช่วงการทำงานปกติตามที่ผู้ผลิตแบบเตอร์รีได้กำหนดไว้
- การชำรุดจะถูกดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าการชำรุดจะถูกขัดจังหวะจากการทำงานของแบบเตอร์รีหรือการชำรุดจะถูกขีดจำกัด เมื่อการขัดจังหวะโดยการทำลายของแบบเตอร์รีนั้นไม่ทำงานหรือตัวแบบเตอร์รีไม่มีการทำงานในส่วนของการขัดจังหวะนี้การชำรุดจะถูกดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะชำรุดถึง 2 เท่าของความจุพิกัด
- การทดสอบจะยุติลงหลังจากการสังเกตการแบบเตอร์รีที่อุณหภูมิตามเงื่อนไขข้างต้นตามสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ

3.0.2 การทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่

ในการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินโดยวัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่โดยถ้าแบตเตอรี่มีอุปกรณ์ป้องกันการชาร์จเกินอยู่ภายในตัวนั้นอุปกรณ์ป้องกันการชาร์จเกิน นี้ต้องขัดจังหวะหรือจำกัดกระแสการดิสชาร์จเพื่อป้องกันความเสียหายต่างๆเนื่องจากค่า SOC ที่ต่ำเกินกว่าที่ผู้ผลิตแบตเตอรี่ได้กำหนดเอาไว้

เงื่อนไขทั่วไปในขั้นตอนการทดสอบ

- ระหว่างการทดสอบแบตเตอรี่ต้องทำงานอยู่ในอุณหภูมิ $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$ หรือสูงกว่า
- เมื่อเริ่มทำการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันทุกอย่างที่ส่งผลต่อการทำงานของแบตเตอรี่ซึ่งให้ผลลัพธ์ตามจุดประสงค์ของการทดสอบจะต้องทำงาน

ขั้นตอนการทดสอบการดิสชาร์จ

- ขั้นแรกสวิตซ์ตัวนำต่างๆที่ใช้สำหรับการดิสชาร์จต้องปิดวงจร
- อุปกรณ์ควบคุมจำกัดการชาร์จของอุปกรณ์วัดหรืออุปกรณ์ทดสอบแบตเตอรี่ต้องถูกปิดการใช้งาน
- แบตเตอรี่ต้องถูกดิสชาร์จด้วยอัตรากระแสอย่างน้อย $1/3 \text{ C}$ แต่ต้องไม่เกินกระแสสูงสุดในช่วงการทำงานปกติตามที่ผู้ผลิตแบตเตอรี่ได้กำหนดไว้
- การดิสชาร์จจะถูกดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าการดิสชาร์จจะถูกขัดจังหวะจากการทำงานของแบตเตอรี่หรือการดิสชาร์จถึงขีดจำกัด เมื่อการขัดจังหวะโดยการทำงานของแบตเตอรี่นั้นไม่ทำงานหรือตัวแบตเตอรี่ไม่มีการทำงานในส่วนของการขัดจังหวะนี้การดิสชาร์จจะถูกดำเนินต่อไปเรื่อยๆจนกว่าแบตเตอรี่จะถูกดิสชาร์จจนถึง 25% ของระดับแรงดันปกติ
- หลังหยุดการดิสชาร์จแล้วแบตเตอรี่จะต้องนำไปชาร์จใหม่ด้วยอัตรากระแสปกติตามที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ถ้าหากไม่ได้มีการกำหนดจะต้องทำการชาร์จด้วยอัตรากระแส $1/3 \text{ C}$
- การทดสอบจะยุติลงหลังจากการสังเกตการแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิตามเงื่อนไขข้างต้นตามสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดสอบ

โดยทั้ง 2 หัวข้อของการทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 นั้นเงื่อนไขที่จะผ่านการทดสอบแบตเตอรี่มีดังนี้

1. ในระหว่างการทดสอบแบตเตอรี่จะต้องไม่มีอิเล็กทรโ赖ต์ร่วงให้หลอกจากแบตเตอรี่ โดยการสังเกตการร่วงให้เหลื่อยล้ำของอิเล็กทรโ赖ต์ให้สังเกตโดยรอบของแบตเตอรี่เพียงเท่านั้นโดยไม่ต้องแยกชิ้นส่วนใดๆของแบตเตอรี่ออก
2. ในระหว่างการทดสอบแบตเตอรี่จะต้องไม่เกิดการแตกหักหรือฉีกขาด
3. ในระหว่างการทดสอบแบตเตอรี่จะต้องไม่เกิดเพลิงไหม้
4. ในระหว่างการทดสอบแบตเตอรี่จะต้องไม่เกิดการระเบิด

3.1 ขั้นตอนการทดสอบอื่นๆ

สำหรับการทดสอบอื่นที่นอกเหนือจากทดสอบตามมาตรฐานนี้จะทดสอบด้วยกันทั้งหมด 3 หัวข้อคือ

- การทดสอบระยะเวลาในการพัก
- การทดสอบอัตรากระแส
- การทดสอบการวัดค่าความต้านทานภายในของโมดูลแบตเตอรี่

3.1.1 การทดสอบระยะเวลาในการพักของแบตเตอรี่

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อหาระยะเวลาในการพักแบตเตอรี่ที่เหมาะสมที่สุดที่แบตเตอรี่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ทำการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสที่แรงดันคงที่(CC-CV) จนกระทั่งแรงดันถึง 80%SOC
2. เมื่อชาร์จแบตเตอรี่แล้วทำการพักเพื่อสังเกต 3 ชั่วโมง
3. ทำการดิสชาร์จด้วยวิธีกระแสคงที่(CC) จนกระทั่งแรงดันถึง 20%SOC
4. เมื่อดิสชาร์จแบตเตอรี่แล้วทำการพักเพื่อสังเกต 3 ชั่วโมง

3.1.2 การทดสอบอัตรากระแส

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อศึกษาอัตรากระแสเส้นนี้มีผลต่อแรงดันและความจุอย่างไร

1. ทำการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสที่แรงดันคงที่(CC-CV) จนกระทั่งแรงดันถึง 80%SOC

2. เมื่อชาร์จแบตเตอรี่แล้วทำการพัก 30 นาที
 3. ทำการดิสชาร์จด้วยวิธีกระแสคงที่(CC) จนกระทั้งแรงดันถึง 20%SOC
 4. เมื่อดิสชาร์จแบตเตอรี่แล้วทำการพักเพื่อสังเกต 30 นาที
 5. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรก
- โดยจะทดสอบทั้งหมดตามขั้นตอนนี้ 3 ครั้งโดยแต่ละครั้งจะเปลี่ยนอัตรากระแสการดิสชาร์จคือ 0.2C 0.3C และ 0.5C

3.1.3 การทดสอบวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Internal Resistance,DCIR) ตามมาตรฐาน IEC61960 ขั้นตอนการทดสอบคือ

1. ดิสชาร์จด้วยกระแสคงที่ 0.2C เป็นระยะเวลา 10 วินาที
2. ดิสชาร์จด้วยกระแสคงที่ 1C เป็นระยะเวลา 1 วินาที

จากนั้นสังเกตและบันทึกค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่ออัตรากระแสที่เปลี่ยนแปลงจากนั้นนำไว้เคราะห์ดังสมการ $DCIR = \frac{V_2 - V_1}{I_1 - I_2}$

3.2 อุปกรณ์สำหรับทดสอบแบตเตอรี่

ในการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับโครงการนี้อุปกรณ์หลักที่จะใช้ในการทดสอบในหัวข้อต่างๆ คือ เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบของเครื่องนี้ประกอบด้วย

1. 69200-1 Charge/Discharge Controller
ทำหน้าที่เก็บข้อมูลการทดสอบแบตเตอรี่ทุกๆ 1 วินาทีและสามารถควบคุมการทำงานผ่านระบบอีเทอร์เน็ต(Ethernet)ได้
2. A691101 DC/AC Bi-Direction Converter
ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเครื่องทดสอบและสามารถแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นกระแสสลับเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
3. 69225-100-4 Regenerative Charge/Discharge Tester
ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่หรือรับพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

4. ON/OFF Controller

ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่



ภาพที่ 3.1 Charge/Discharge Controller



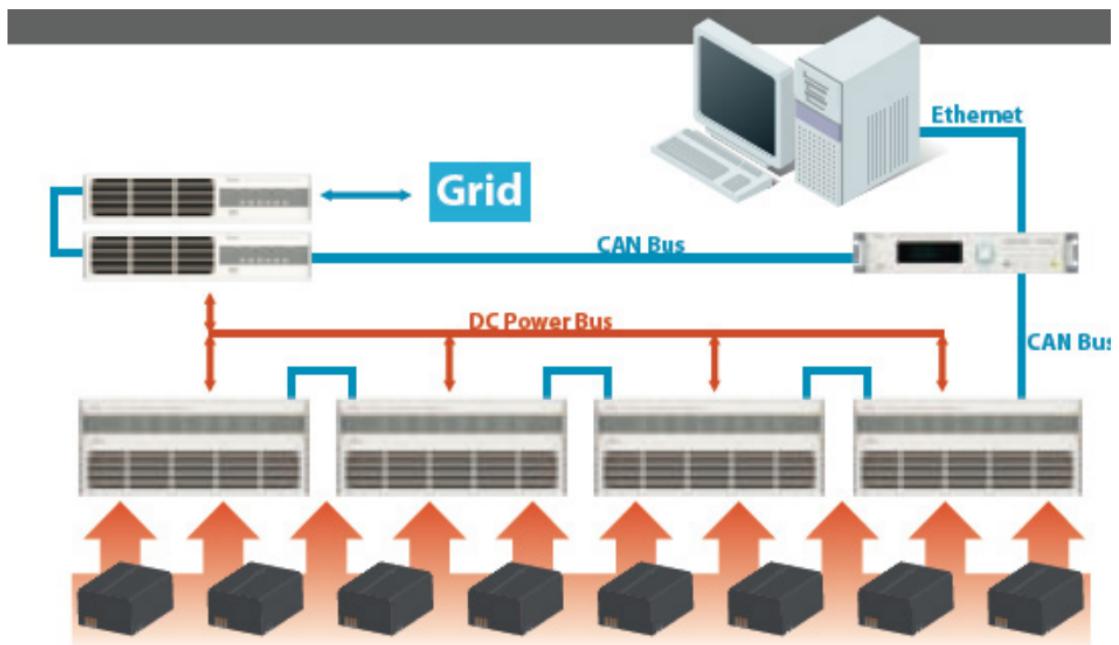
ภาพที่ 3.2 DC/AC Bi-Direction Converter



ภาพที่ 3.3 Regenerative Charge/Discharge Tester



ภาพที่ 3.4 ON/OFF Controller



ภาพที่ 3.5 แผนภาพระบบการทดสอบแบตเตอรี่

3.2.1 แบตเตอรี่สำหรับทำการทดสอบ

แบตเตอรี่ที่ทำการทดสอบเป็นแบตเตอรี่ชั้นนำคุณภาพเยี่ยมและทนทานของโซล่าเซลล์(NMC)พิกัด 72V/30Ah ซึ่งคุณสมบัติแสดงดังตาราง

Product name	ML LF-7222	ML LF-7230
Style name	72V 22Ah	72V 30Ah
Normal Capacity	1.584KWh	2.16KWh
Standard Voltage	76.8V	76.8V
Max charge voltage	87.6V	87.6V
Standard discharge current	22A	30A
Max discharge current	44A	60A
Material of cell	LiFePO4 24S	LiFePO4 24S
Use motor power	300-600W	300-800W
Terminal	Anderson plug or customized	
Material of shell	Black metal shell	
Battery dimension(mm)	220*160*310 mm	225*160*320 mm
Weight	App. 18.5KG	App. 19KG
Application	Motor power system, AGV, Electric vehicle, E-bike, E	
Package	1pcs in a carton about 20kgs/carton	1pcs in a carton about 20kgs/carton
Warranty	12months	12months

ภาพที่ 3.6 ตารางคุณสมบัติของแบตเตอรี่

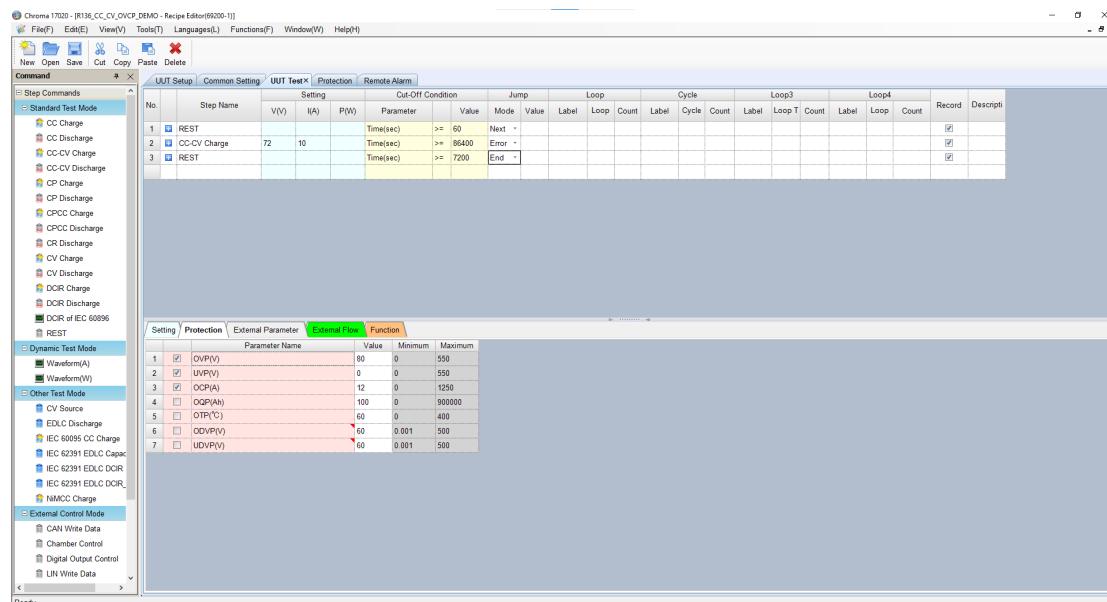


ภาพที่ 3.7 แบตเตอรี่สำหรับทำการทดสอบ

โดยใช้งานเครื่องทดสอบแบบเตอร์ในการทดสอบแบบเตอร์ในแต่ละหัวข้อมีดังนี้

3.2.2 การใช้เครื่องทดสอบแบบเตอร์ Chroma Model 17020 ในการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอร์

สำหรับหัวข้อการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอร์โดยใช้เครื่องทดสอบแบบเตอร์ Chroma Model 17020 ในการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกตั้งค่าให้เหมาะสมสำหรับการทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 โดยให้เครื่องทดสอบแบบเตอร์ทำการชำรุดแบบเตอร์ด้วยโหลดแรงดันและกระแสคงที่(CC-CV)ที่แรงดัน 84V และอัตรากระแส 1/3C หรือสำหรับแบบเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบนี้คือ 10A และจะชาร์จจนกว่าระบบป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอร์โดยขณะที่ระบบป้องกันของเครื่องทดสอบแบบเตอร์จะป้องกันในเรื่องของ ป้องกันกระแสชาร์จเกิน 12A ป้องกันแรงดันสูงเกิน 2เท่าของแรงดันพิกัดแบบเตอร์ที่ใช้ทำการทดสอบในที่นี้คือ 170V และป้องกันแรงดันต่ำเกิน 50% SOC หรือในที่นี้คือ 36V โดยการตั้งค่าต่างๆ จะเป็นไปดังรูป

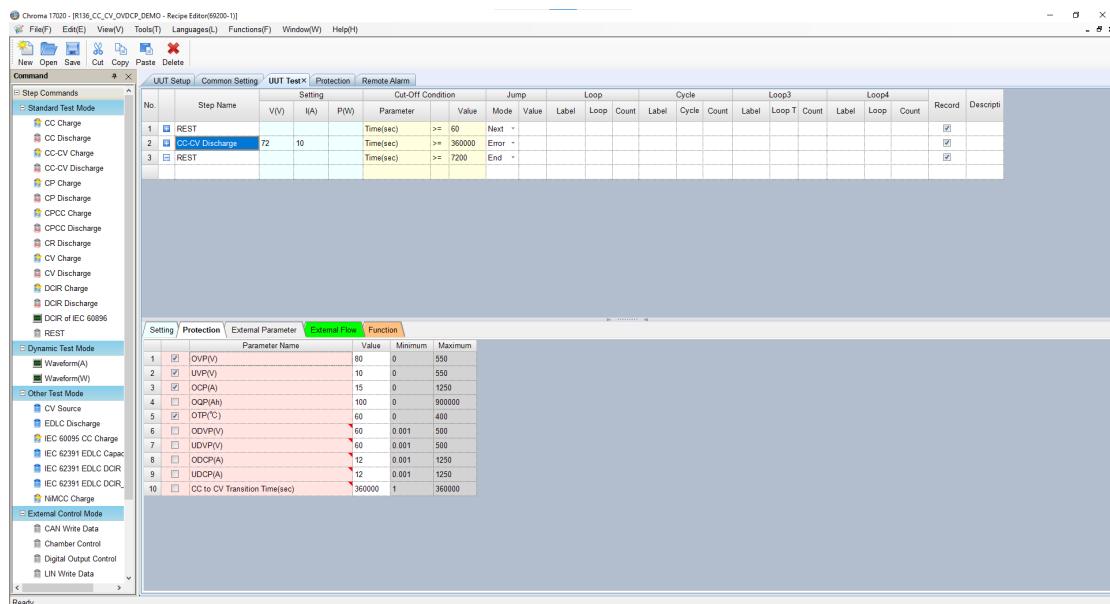


ภาพที่ 3.8 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอร์

3.2.3 การใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020

ในการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่

ในการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่โดยใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ จะถูกตั้งค่าให้เหมาะสมสำหรับการทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 โดยให้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ทำการดิสชาร์จแบตเตอรี่ด้วย荷電循環模式(CC) ด้วยอัตรา 1/3C หรือสำหรับแบตเตอรี่ที่จะทำการทดสอบก็คือกระแสขนาด 10A โดยจะดิสชาร์จต่อเนื่องจนกว่า ระบบป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ในที่นี้คือการจัดการแบตเตอรี่(BMS)จะทำการขัดจังหวะการดิสชาร์จเพื่อป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่โดยขณะที่ระบบป้องกันของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่จะป้องกันในเรื่องของ ป้องกันกระแสดิสชาร์จเกิน 12A ป้องกันแรงดันต่ำเกิน 24% SOC หรือในที่นี้คือ 17.28V และป้องกันแรงดันเกิน 85V โดยการตั้งค่าต่างๆ จะเป็นไปดังรูป



ภาพที่ 3.9 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่

บทที่ 4

การทดสอบแบตเตอรี่ตามมาตรฐาน

ในบทนี้จะแสดงถึงการทดสอบแบตเตอรี่ตามมาตรฐานและทดสอบในหัวข้อต่างๆที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมาซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบในแต่ละหัวข้อจะถูกอธิบายอย่างละเอียด

4.1 การทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE R136

ในหัวข้อการทดสอบนี้จะทดสอบแบตเตอรี่ด้วยกันทั้งสิ้น 3 โมดูลคือ

- แบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V 30Ah
- แบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V 60Ah
- แบตเตอรี่ 72V 72Ah

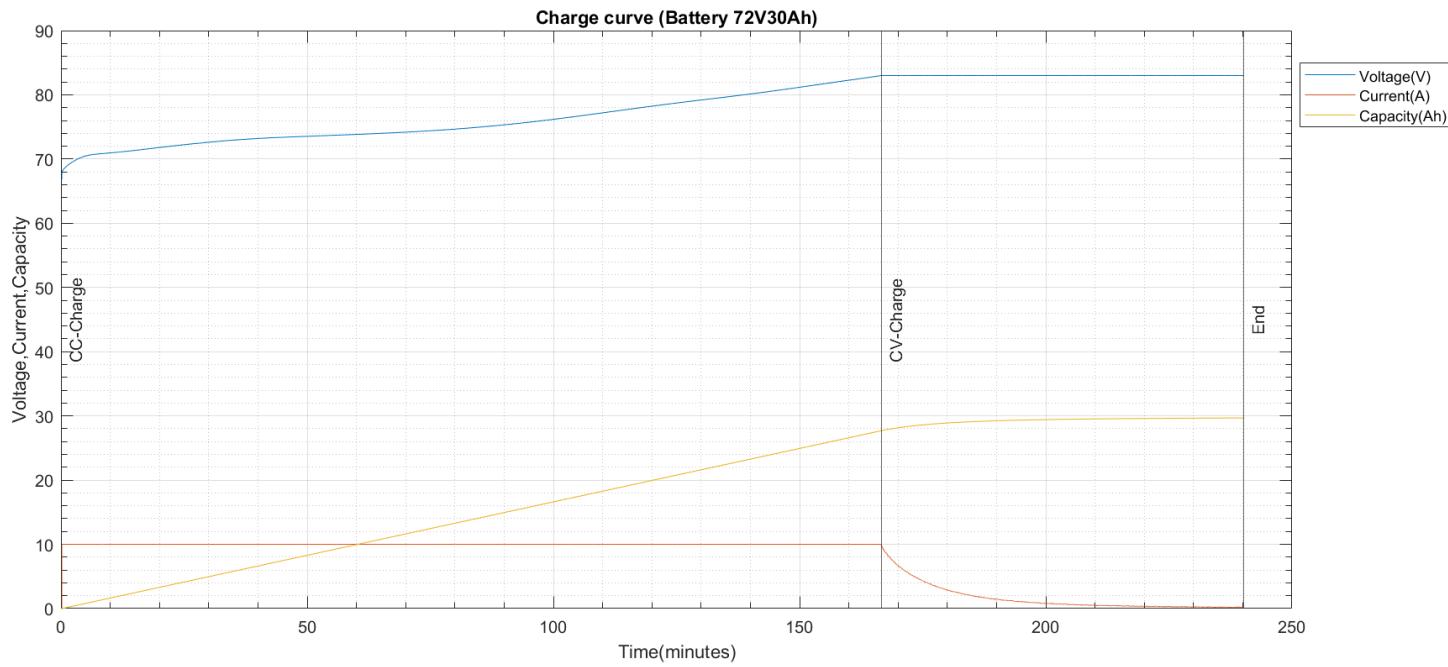
และทดสอบด้วยกันทั้ง 2 หัวข้อจาก 10 หัวข้อจากมาตรฐาน UN ECE R136 คือ

- การทดสอบการป้องกันการชำรุดเสื่อม
- การทดสอบการป้องกันการดีสชาร์จเกิน

ซึ่งผลจากการทดสอบมีดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบการป้องกันการชำรุดเสื่อม

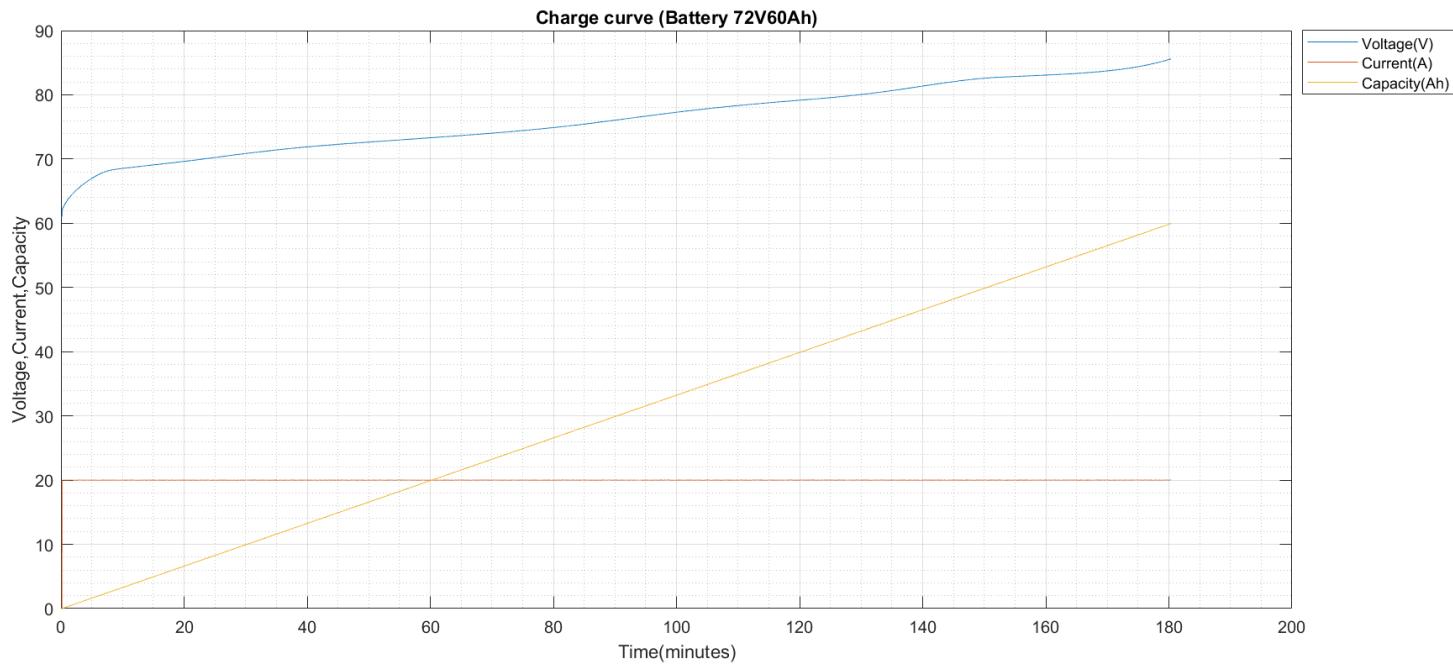
สำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเสื่อมของแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V 30Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.1 กราฟการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah

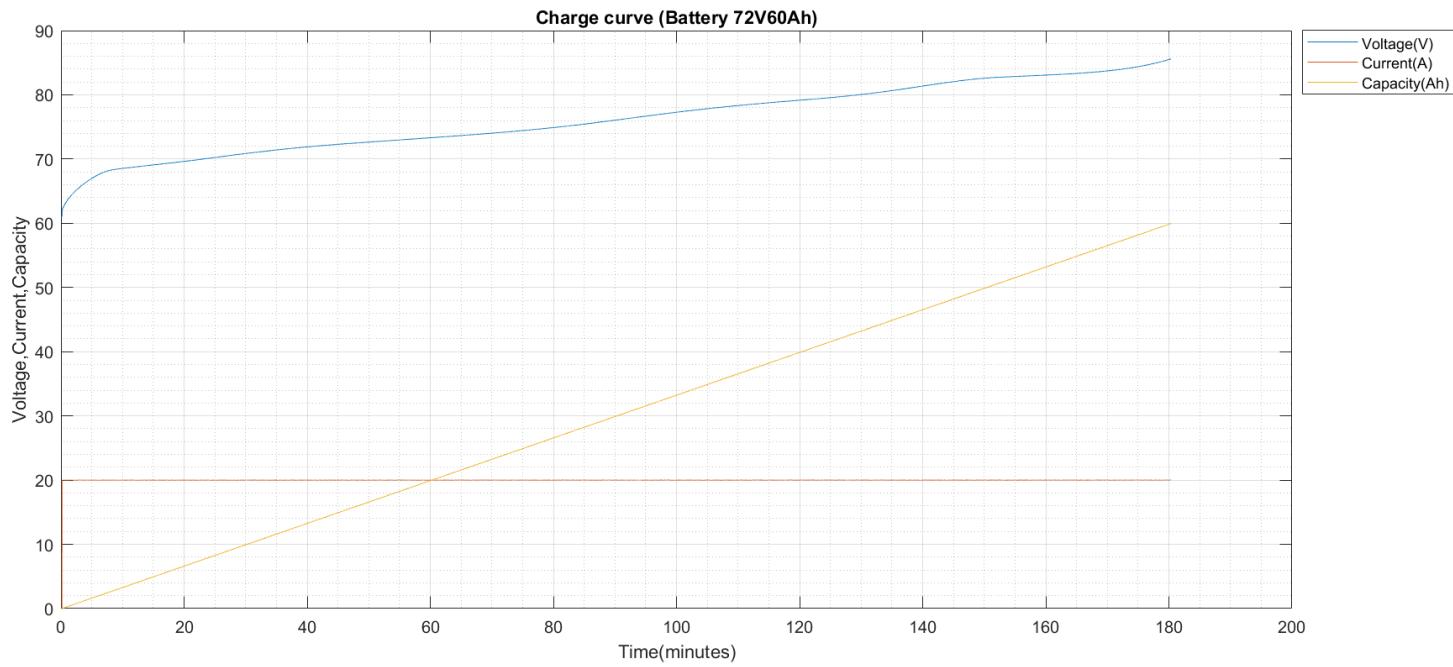
จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโตรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด โดยการทดสอบการชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของโมดูลแบตเตอรี่นี้เองซึ่งเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันเกินกว่าที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่กำหนด หลังจากที่หยุดการชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสั่งเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้

ผลจากการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V 60Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.2 กราฟการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้าระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด แต่การทดสอบนั้นถูกขัดจังหวะโดยผู้ทดสอบเองเนื่องจากหากดำเนินการทดสอบต่อไปอาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์การทดสอบได้ซึ่ง หลังจากที่หยุดการชาร์จผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้ผลจากการทดสอบแบตเตอรี่ 72V 70Ah มีดังนี้

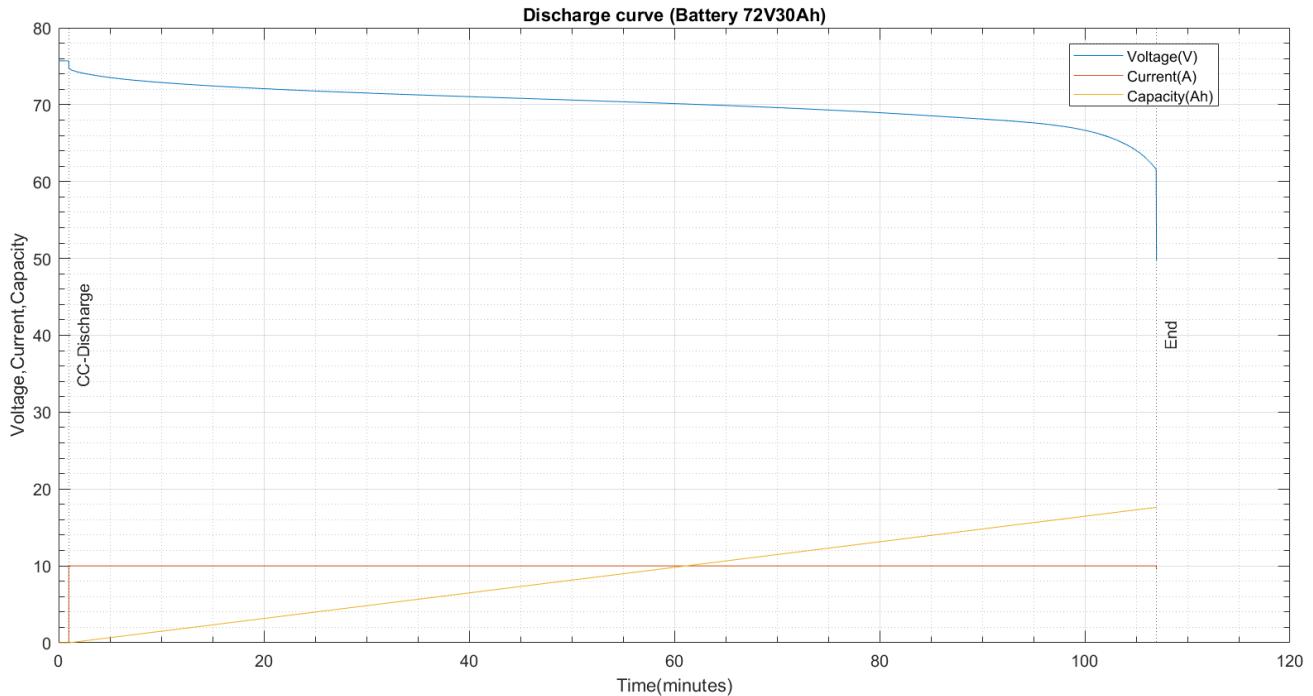


ภาพที่ 4.3 กราฟการทดสอบการป้องกันการชำรุดเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ 72V60Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้าระหว่างการทดสอบไม่มีการร้าวไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด แต่การทดสอบนั้นถูกขัดจังหวะโดยผู้ทดสอบเองเนื่องจากหากดำเนินการทดสอบต่อไปอาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์การทดสอบได้ซึ่ง หลังจากที่หยุดการชาร์จผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้

4.1.2 ผลการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกิน

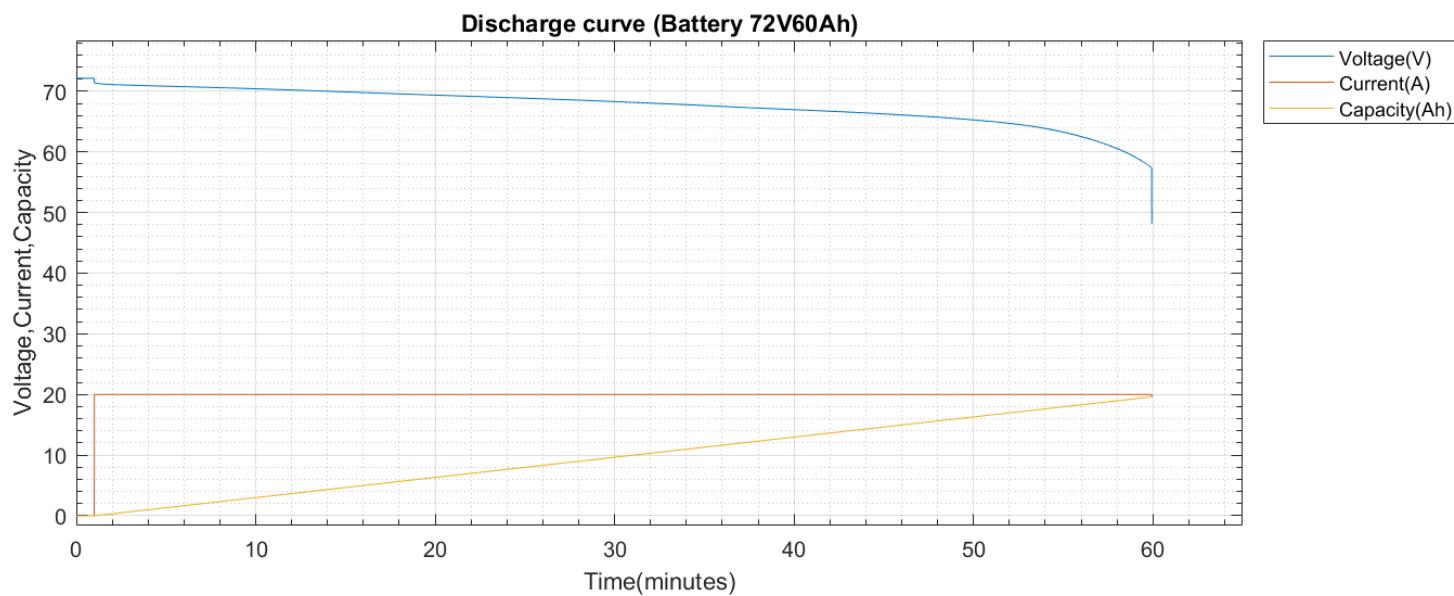
สำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V 30Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.4 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด โดยการทดสอบการดิสชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของโมดูลแบตเตอรี่นี้เองซึ่งเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันต่ำเกินกว่าที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่กำหนด หลังจากที่หยุดการดิสชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสั่งเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้

ผลจากการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V 60Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.5 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้าระหว่างการทดสอบไม่มีการร้าวไฟลอกองอิเล็กทรโอลิต ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด โดยการทดสอบการดิสชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของโมดูลแบตเตอรี่นี้เองซึ่งเมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันต่ำเกินกว่าที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่กำหนด หลังจากที่หยุดการดิสชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสั่งเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้

บทที่ 5

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

First Author, Second Author, and Third Author...

First Author, Second Author, and Third Author...

บทความวารสาร

Jones, Baker, and Williams...

James and Tony...

Jones, Robin, and Smith...

วิทยานิพนธ์

Jones, Baker, and Williams...

Jones, Robin, and Smith...

Jones, Baker, and Williams...

Jones, Robin, and Smith...

Jones, Baker, and Williams...

Jones, Robin, and Smith...

ภาคผนวก

appendix text

ภาคผนวก ก
รูปอุปกรณ์เครื่องมือวัดและทดสอบ

appendix text

ภาคผนวก ข
คู่มือการใช้งานโปรแกรม CHROMA 17020

เมื่อเปิดโปรแกรม Chroma 17020 จะพบกับหน้าเข้าสู่ระบบดังรูป



ภาพที่ ข.1 หน้าเข้าสู่ระบบ

โดยรหัสผ่านค่าเริ่มต้นจากโรงงานคือ User:root, Password:root เมื่อเข้าสู่ระบบได้แล้วจะพบกับหน้าต่างดังรูป



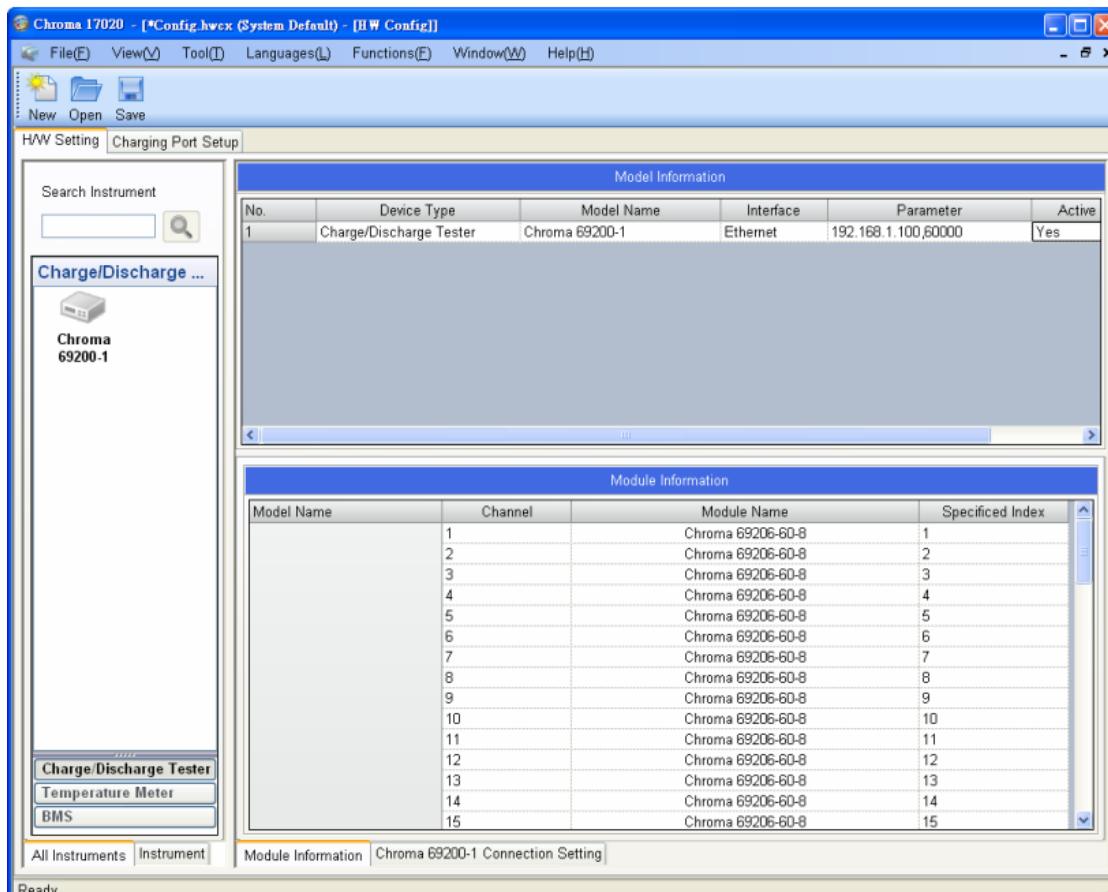
ภาพที่ ข.2 หน้าหลัก

ซึ่งหน้านี้จะหน้าที่ใช้เพื่อเข้าสู่การตั้งค่าและการทำงานต่างๆของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma 17020 โดยจะประกอบไปด้วย 7 ส่วนดังนี้

- H/W Configuration ในส่วนนี้คือส่วนสำหรับการเพิ่มอุปกรณ์วัดและทดสอบและตั้งค่าอุปกรณ์นั้นๆ
- UUT Setup เป็นส่วนที่ใช้กำหนดขอบเขตของตัวแปรต่างๆ
- Recipe Editor เป็นส่วนที่ตั้งค่าการทดสอบหรือใช้เพื่อกำหนดวิธีการทดสอบ
- Recipe Executor เป็นส่วนที่ทำการทดสอบตามขั้นตอนการทดสอบที่ได้จาก Recipe Editor
- Report เป็นส่วนที่ใช้รายงานผลการทดสอบ
- Management เป็นส่วนที่ใช้สำหรับตั้งค่าอื่นๆในระบบเพิ่มเติม
- About เป็นส่วนที่แสดงข้อมูลเบื้องต้นของระบบ เช่น รุ่นของระบบ(Version) ผู้ใช้งาน(User)

ข.1 การตั้งค่าอุปกรณ์ในระบบ(Hardware Configuration)

เมื่อเข้าสู่หน้าต่างในส่วนของ H/W Configuration จะพบกับหน้าต่างดังรูป



ภาพที่ ข.3 หน้าต่าง H/W Configuration

โดยหน้าต่างนี้จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ

- รายการเครื่องมือวัดที่สามารถใช้กับระบบบันได
- รายการเครื่องมือวัดที่เชื่อมต่อและการเชื่อมต่อ
- การเลือกใช้งานเครื่องมือวัดต่อจำนวนอุปกรณ์ที่จะทำการวัด

สำหรับการใช้งานเบื้องต้นถ้าหากต้องการสร้างการตั้งค่าขึ้นใหม่ให้กด file/new ตรงแถบเมนูด้านบน ขวาของหน้าต่างนี้จากนั้นให้กด file/Auto Detect เพื่อให้ระบบค้นหาเครื่องมือวัดที่เชื่อมต้อยู่ใน

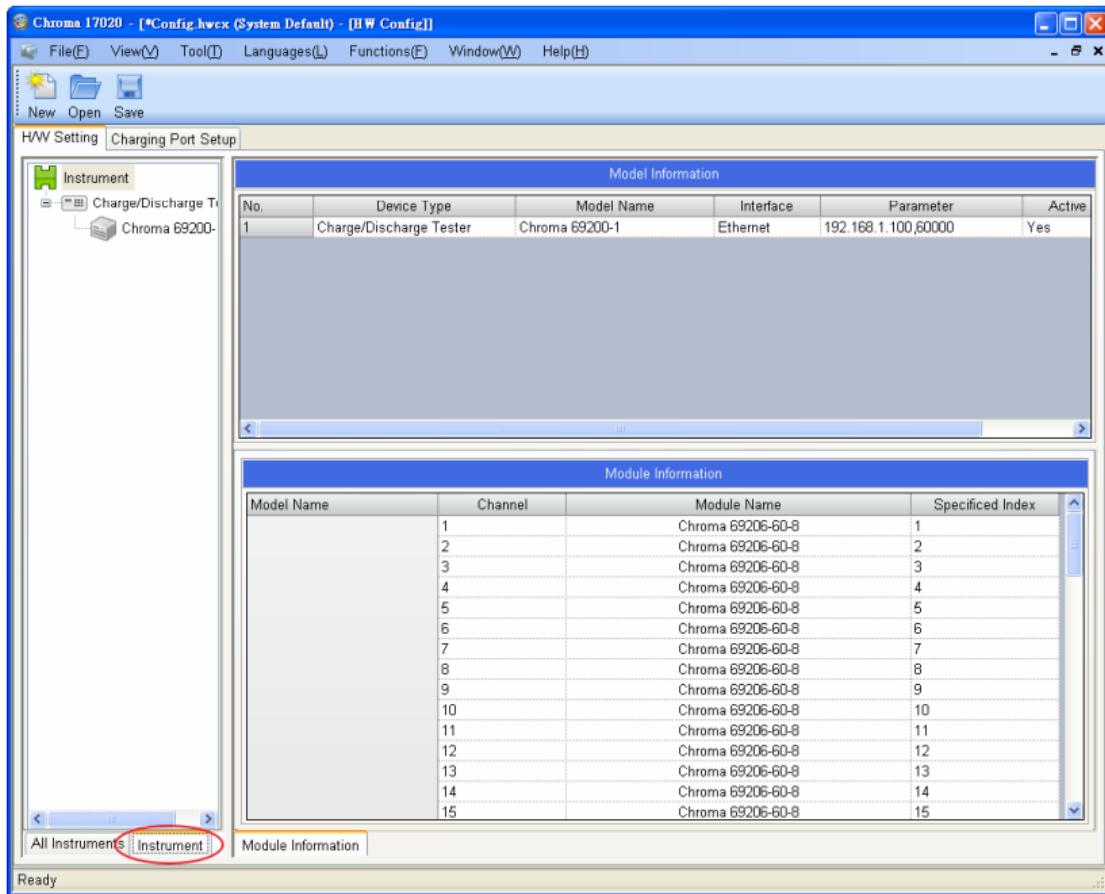
ระบบและตั้งค่าเครื่องมือวัดเบื้องต้นให้เองอัตโนมัติซึ่งถ้าหากตั้งค่าแล้วต้องทำการบันทึกข้อมูลทุกครั้ง และถ้าหากต้องการใช้การตั้งค่านี้ให้กด file/Set As System Default ในกรณีที่มีการบันทึกการตั้งค่า แล้วต้องการเรียกคืนการตั้งค่านั้นให้กด file/open และเลือกดูการตั้งค่าตามที่ได้ตั้งขึ้นไว้

ข.1.1 ตั้งค่าข้อมูลเครื่องมือวัด(Setting Device Information)

จากรูปที่ข.4 จะเป็นหน้าต่าง H/W Setting window ในหน้าจะสามารถตั้งค่าข้อมูล เครื่องมือวัดที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบได้ เช่น การเชื่อมต่อ(communication interface)และหมายเลขที่อยู่ไอพีของเครื่องมือวัด(IP Adress)

การเพิ่มเครื่องมือวัดเข้าสู่ระบบ

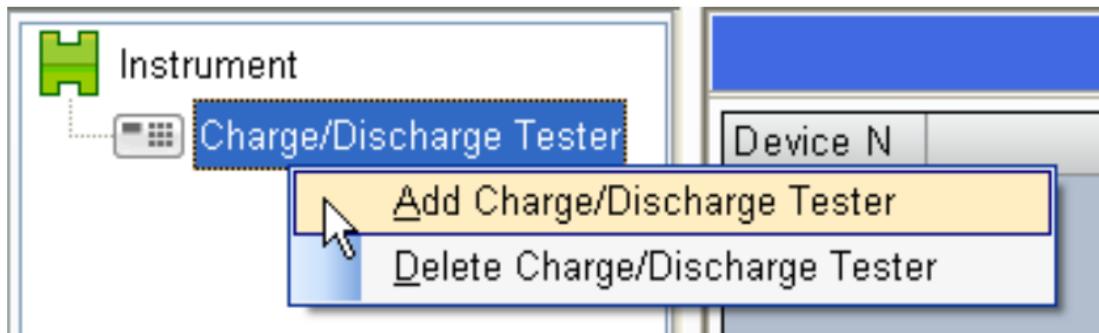
การเพิ่มเครื่องมือวัดเข้าสู่ระบบให้จากรูปที่ข.4 คลิกสองครั้งที่รูปเครื่องมือวัดหรือลากลงไปในหน้า All instuments หรือให้เข้าไปที่หน้า Instument คลิกขวาที่จุดรวมเครื่องมือและเลือก Add Device ดังรูปที่ข.5 จากนั้นให้คลิกขวาที่รูปเครื่องมือวัดแล้วเลือกเครื่องมือวัดที่ต้องการตั้งรูปที่ข.6 ซึ่งในตัวอย่างนี้จะเป็นการเลือกเครื่อง Chroma 69200-1 เข้าสู่ระบบจากนั้นเมื่อเลือกเสร็จหน้าต่าง ดังรูปที่ข.7 จะปรากฏให้กดตกลง



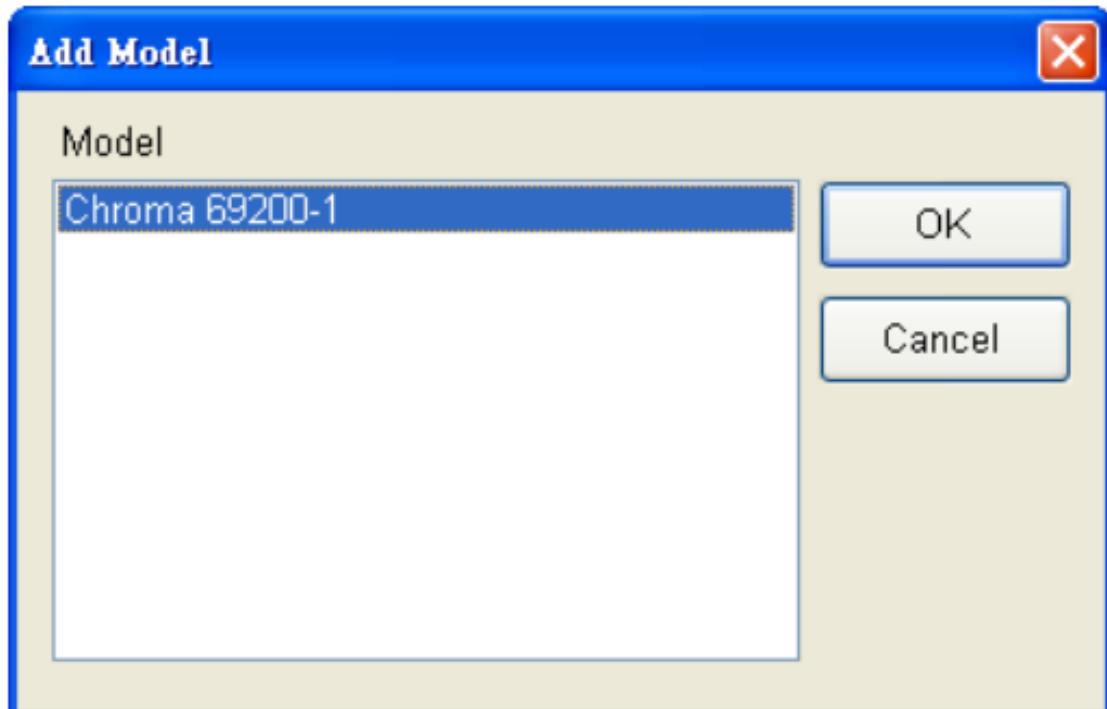
ภาพที่ ข.4 หน้า Instument



ภาพที่ ข.5 การเพิ่มเครื่องมือวัด



ภาพที่ ข.6 การเพิ่ม Charge/Discharge Tester



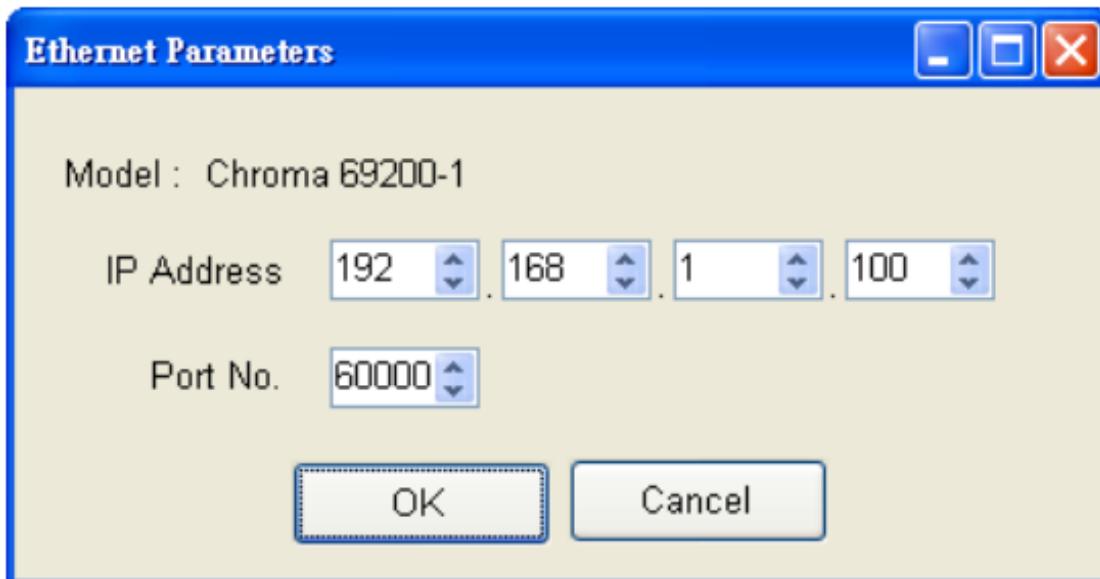
ภาพที่ ข.7 เลือกรุ่นของเครื่องมือวัด

การตั้งค่าหมายเลขที่อยู่ไอพี(IP Adress)

ในรูปที่ข.8 จะเป็นตารางข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัดต่างๆที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ ซึ่งถ้าหากต้องการเปลี่ยนแปลงหมายเลขที่อยู่ไอพี(IP Adress)ให้คลิกสองครั้งที่หมายเลขที่อยู่ไอพีที่ต้องการจะตั้งค่า เมื่อคลิกแล้วจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ข.9 จากนั้นให้ตั้งค่าตามที่ต้องเมื่อตั้งค่าเสร็จให้กดตกลง

Model Information					
No.	Device Type	Model Name	Interface	Parameter	Active
1	Charge/Discharge Tester	Chroma 69200-1	Ethernet	192.168.1.100,60000	Yes

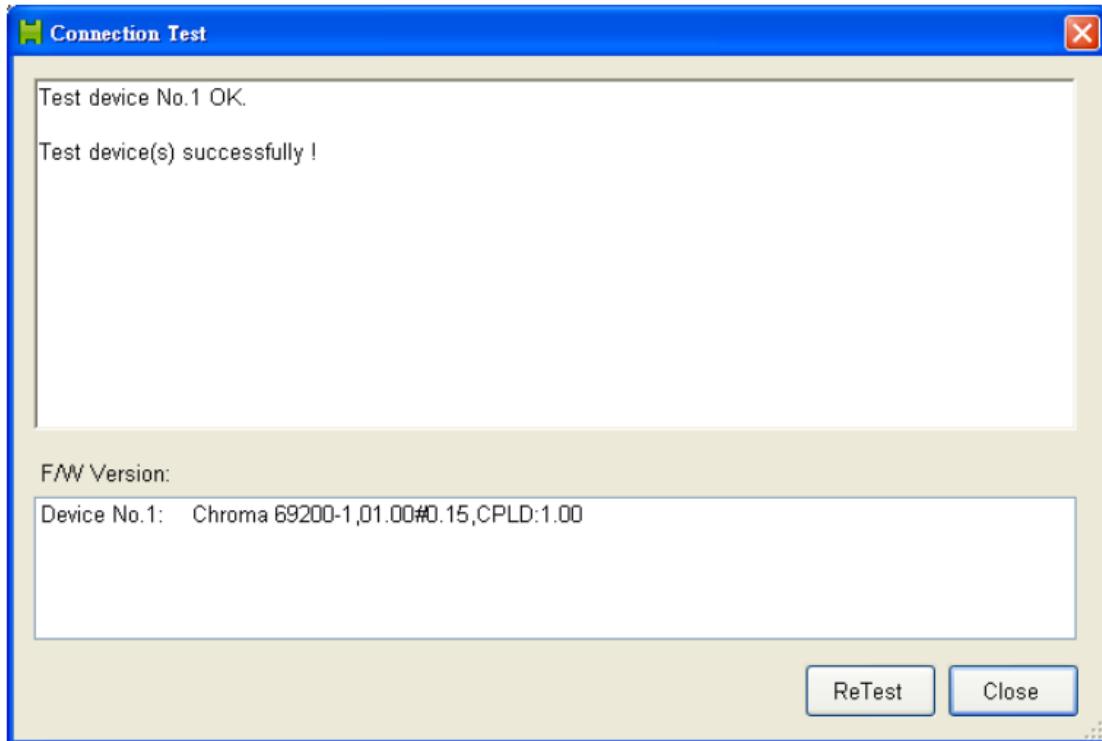
ภาพที่ ข.8 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด



ภาพที่ ข.9 หน้าต่างการตั้งค่าหมายเลขที่อยู่ไอพี

ทดสอบการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด(Connection Test)

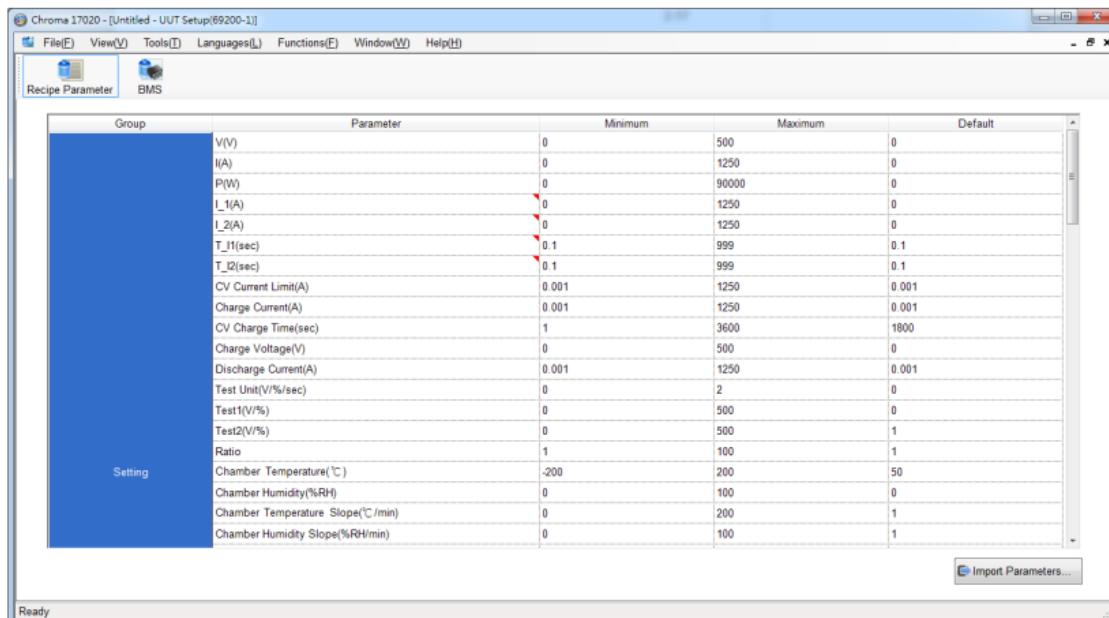
เมื่อทำการตั้งค่าอุปกรณ์แล้วทำการบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้วให้ทำการทดสอบการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัดโดยให้เข้าไปที่ file/Connection Test แล้วหน้าต่างการทดสอบการเชื่อมต่อจะปรากฏดังรูปที่ข.10 ซึ่งในรูปจะเห็นว่าการทดสอบการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัดนั้นเสร็จสิ้นโดยไม่มีข้อผิดพลาด



ภาพที่ ข.10 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด

ข.2 การตั้งค่าขอบเขตตัวแปรต่างๆ(UUT Setup)

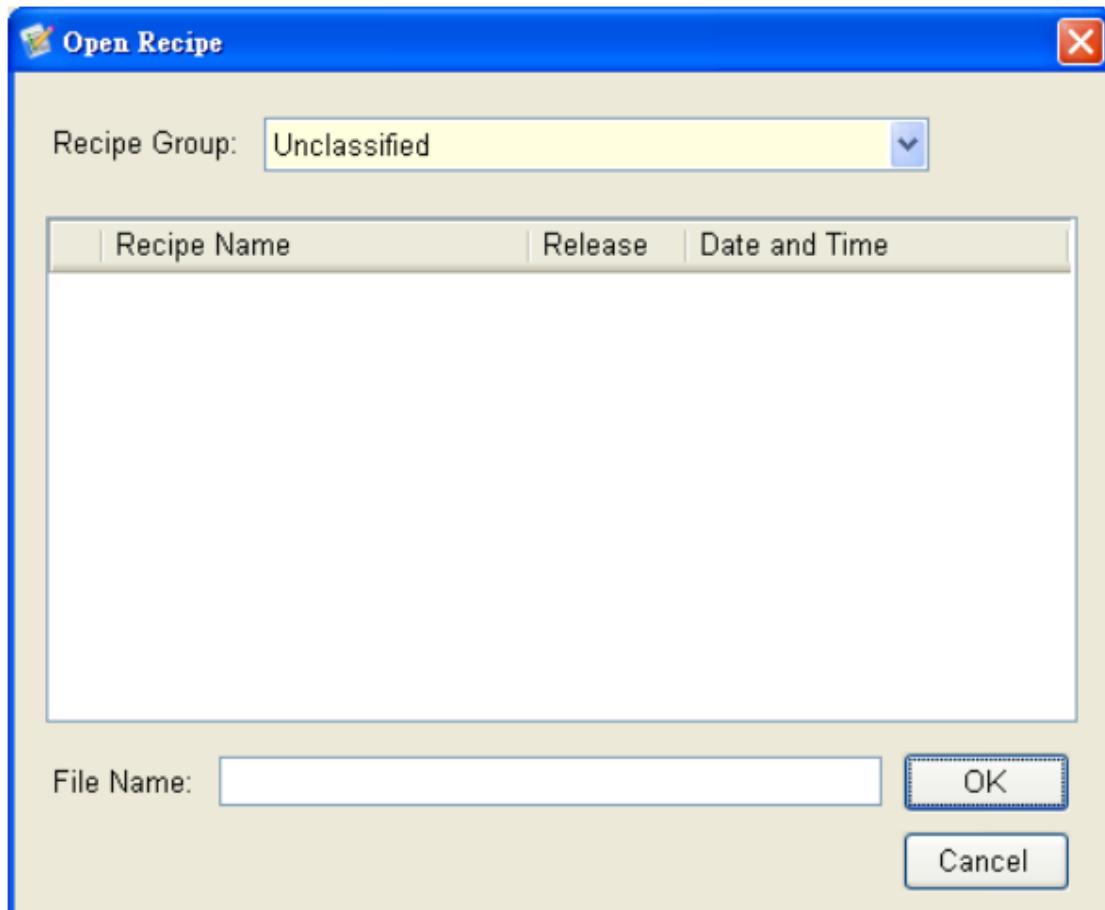
จากหน้าต่างแรกให้คลิกที่ UUT Setup จากนั้นหน้าต่าง UUT Setup จะปรากฏดังรูปที่ข.11 ในหน้านี้เราสามารถตั้งค่าขอบเขตของตัวแปรต่างๆให้เหมาะสมกับการทดสอบแบบเตอร์ได้เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องอัดและคายประจุ นั้นอัดประจุหรือคายประจุเกินกว่าที่ได้กำหนดหรือสำหรับอุปกรณ์อื่นก็จะไม่สามารถทำงานเกินกว่าขอบเขตตามที่ได้ตั้งค่าไว้ในหน้าต่างนี้และเมื่อทำการตั้งค่าเสร็จแล้วให้ทำการบันทึกข้อมูล



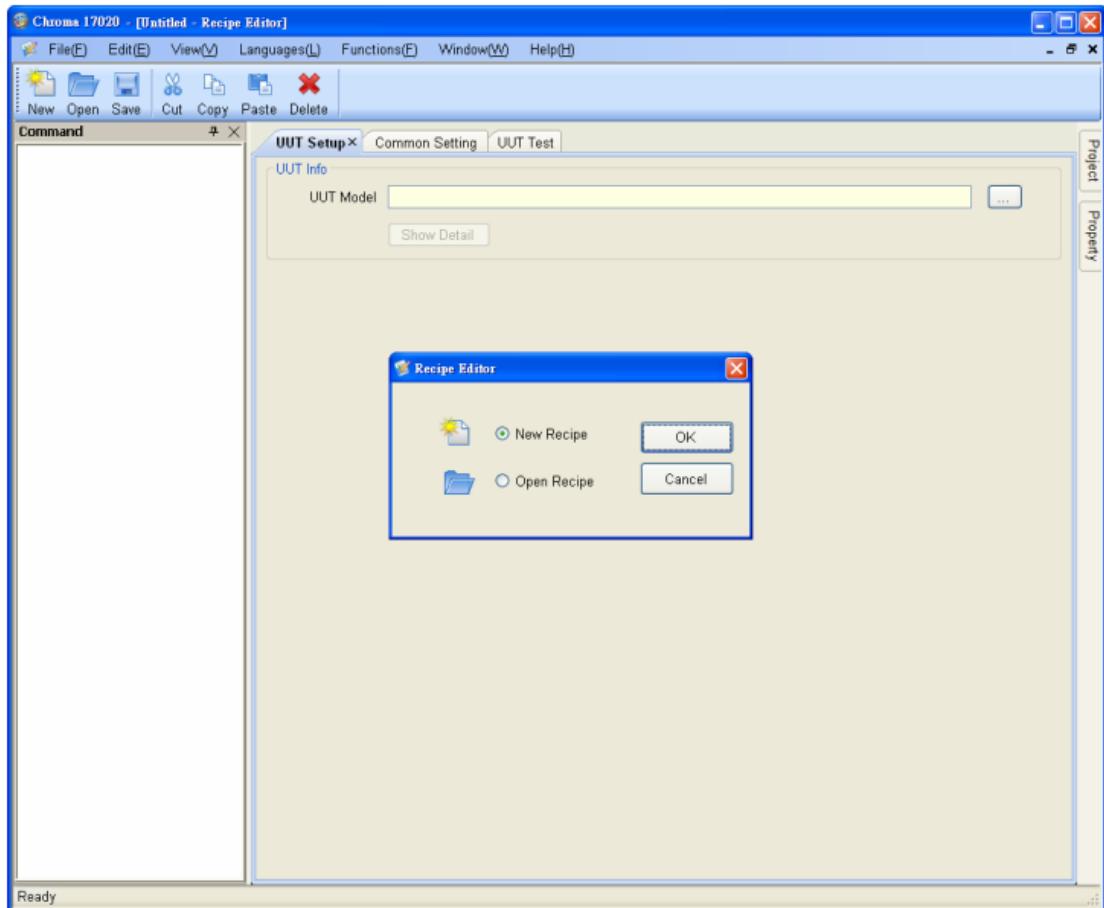
ภาพที่ ข.11 หน้าต่าง UUT Setup

ข.3 การตั้งค่าการทดสอบหรือวิธีขั้นตอนการทดสอบ(Recipe Editor)

จากหน้าต่างแรกให้คลิกที่ Recipe Editor จากนั้นหน้าต่าง Recipe Editor จะปรากฏ ดังรูปที่ข.12 ซึ่งในหน้าต่างนี้จะเป็นหน้าสำคัญที่เอาไว้ใช้กำหนดขั้นตอนการทดสอบและตัวแปรต่างๆ สำหรับการทดสอบ โดยเมื่อได้เข้ามาสู่หน้าต่างนี้ถ้าหากมีข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้ก่อนหน้านี้แล้ว ต้องการจะเรียกข้อมูลให้เลือก Open จากนั้นให้เลือกข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้ก่อนหน้านี้และกดตกลง ดังรูปที่ข.13 ถ้าหากต้องการจะสร้างใหม่ให้เลือก New และกดตกลง

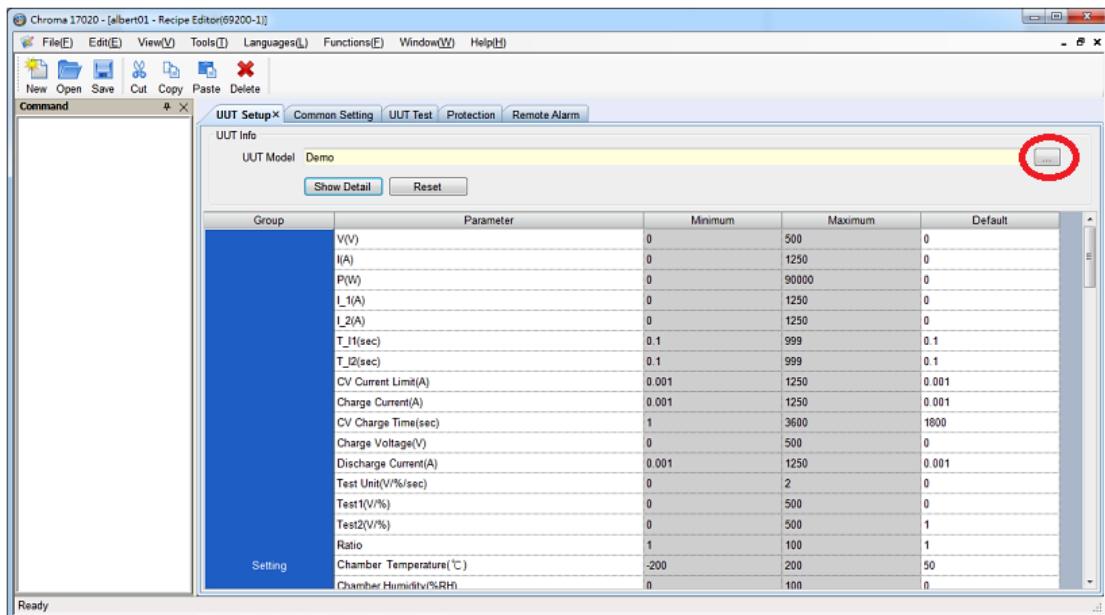


ภาพที่ ข.12 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor



ภาพที่ ข.13 หน้าต่างเลือกข้อมูลการตั้งค่าอื่นๆ

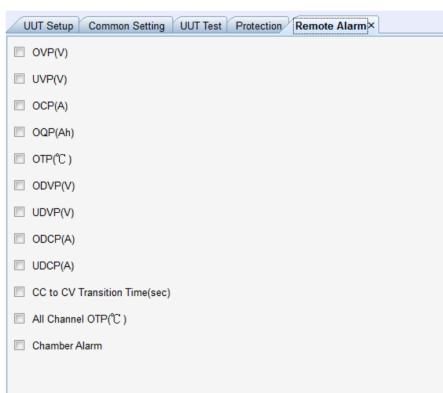
ซึ่งไม่ว่าจะเลือกข้อมูลที่ได้มีการตั้งค่าอยู่แล้วหรือจะสร้างการตั้งค่าใหม่ก็จะเข้าสู่หน้าตัดไปดังรูปข.14 ซึ่งสำหรับการสร้างการตั้งค่าใหม่ให้ทำการเลือกขอบเขตตัวแปรที่ได้จากการตั้งค่าใน UUT Setup ดังกรอบสีแดงดังรูปเมื่อเลือกเสร็จ ให้กดตกลง และจะเห็นได้ว่าหน้าต่างนี้จะมีแถบหน้าต่างอยู่ทั้งสิ้น 5 ส่วนดังนี้คือ UUT Setup, Common Setting, UUT Test, Protection และ Remote Alarm



ภาพที่ ข.14 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor

การตั้งค่าการแจ้งเตือน(Remote Alarm)

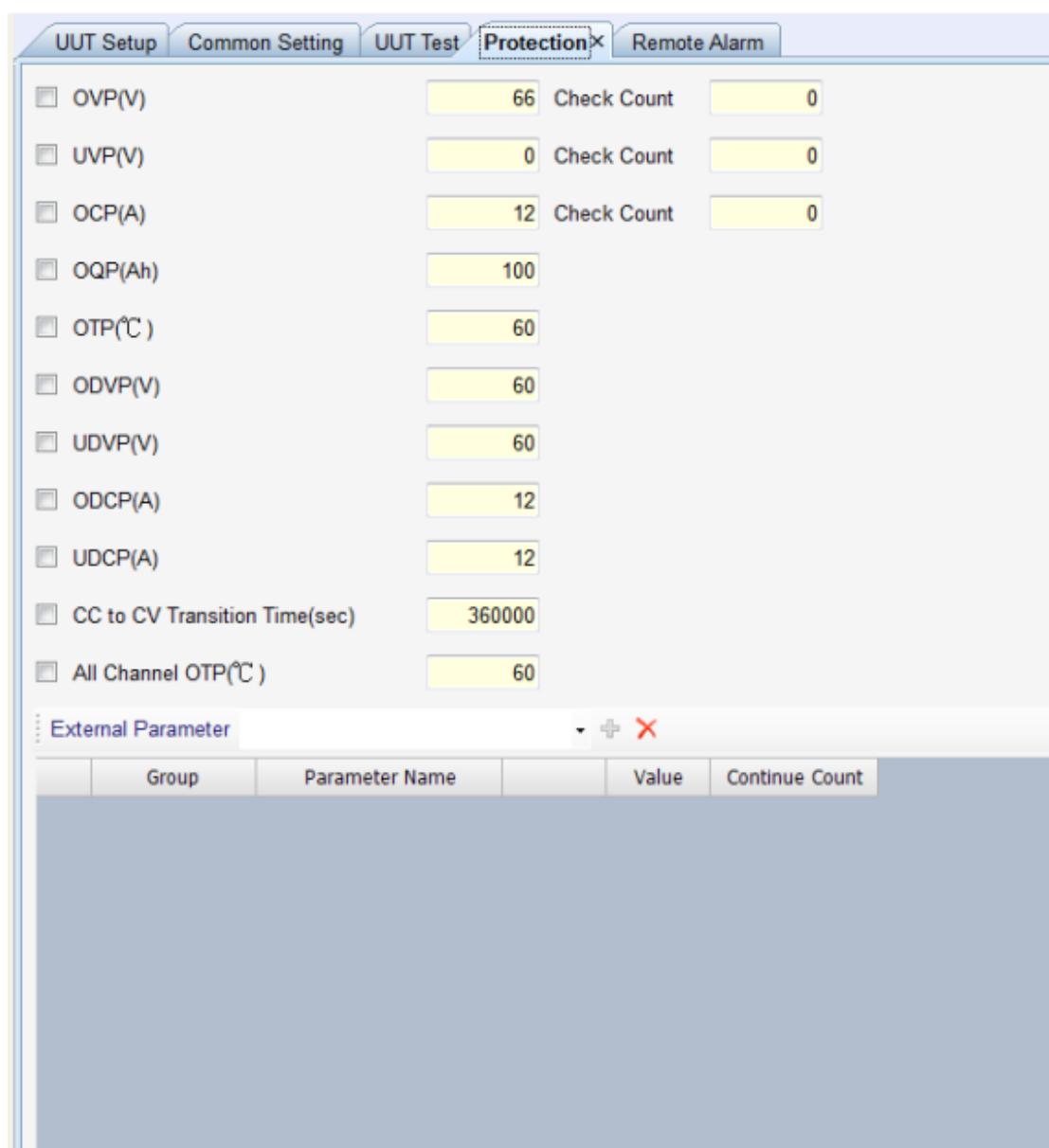
ในหน้าต่างนี้จะสามารถตั้งค่าการแจ้งเตือนต่างๆได้เมื่อเครื่องมือวัดสามารถตรวจสอบความผิดพลาดหรือค่าตัวแปรต่างๆนั้นเกินขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ดังหัวข้อต่างๆถ้าหากต้องการให้มีการแจ้งเตือน ให้คลิกที่กล่องสีเหลืองหน้าหัวข้อที่ต้องการให้มีการแจ้งเตือนดังรูปที่ข.15



ภาพที่ ข.15 หน้าต่าง Remote Alarm

การตั้งค่าการป้องกัน(Protection)

ในหน้าต่างนี้จะสามารถตั้งค่าเงื่อนไขการป้องกันในตัวแปรต่างๆได้คล้ายกับการตั้งค่าขอบเขตในหน้าต่าง UUT Setup ซึ่งความแตกต่างระหว่างการตั้งค่าทั้ง 2 นี้คือสำหรับการตั้งค่าขอบเขตนั้นจะเป็นการกำหนดขอบเขตเพื่อไม่ให้ทำการตั้งค่าอื่นๆในหน้าต่างอื่นๆนั้นจะไม่สามารถตั้งค่าได้เกินขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ได้แต่สำหรับการตั้งค่าการป้องกันนั้นจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขที่จะทำให้ระบบเครื่องมือวัดของเครื่อง Chroma 17020 นั้นทำการหยุดการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่หรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องมือวัดได้โดยการตั้งค่าเงื่อนไขในตัวแปรต่างๆจะสามารถตั้งค่าได้ดังรูปที่ข.16

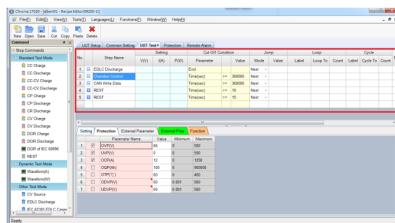


ภาพที่ ข.16 หน้าต่าง Protection

การตั้งค่าขั้นตอนการทดสอบ(UUT Test)

สำหรับหน้าต่างนี้จะเป็นหน้าต่างที่มีความสำคัญลำดับต้นๆเนื่องจากหน้าต่างนี้จะใช้สำหรับในการตั้งค่าการกำหนดขั้นตอนการทดสอบแบบเตอร์เริ่ของระบบ เช่น การอัดประจุ การคายประจุ เป็นต้นโดยหน้าต่างนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ข.17 ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ

- คำสั่งต่างๆที่ใช้สำหรับการทดสอบ
- ลำดับขั้นตอนของคำสั่งในการทดสอบ
- การตั้งค่าเพิ่มเติม



ภาพที่ ข.17 หน้าต่าง Protection

โดยในส่วนลำดับขั้นตอนของคำสั่งซึ่งคำสั่งต่างๆจะถูกจัดลำดับการทำงานเป็นตารางซึ่งในการเพิ่มคำสั่งให้คลิกที่ตารางแล้วจากนั้นให้คลิก 2 ครั้งที่คำสั่งที่ต้องการจะเพิ่มแล้วคำสั่งจะถูกเพิ่มเข้ามาอยู่ในตารางในกรณีที่ต้องการเพิ่มคำสั่งที่ เมื่อนอกบคำสั่งก่อนหน้าให้คลิกที่คำสั่งที่คำสั่งที่ต้องการคัดลอก(Copy)ตรงๆแล้วดึง(drag)คำสั่งที่ต้องการคัดลอกแล้ววางลงในตารางซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่ได้ทำการตั้งค่าไว้แล้วก่อนหน้าเมื่อกดวางแล้วคำสั่งใหม่ที่ถูกเพิ่มเข้ามานั้นจะมีการตั้งค่าที่เหมือนกันทุกประการหากต้องการที่จะลบคำสั่งให้คลิกที่คำสั่งหนึ่งครั้งแล้วกดลบ(Delete)

สำหรับส่วนประกอบต่างๆในตารางลำดับคำสั่งโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาจะมีดังนี้

- (No.) ลำดับคำสั่ง
- (Step Name) ชื่อคำสั่ง
- (Setting) ค่าตัวแปรสำหรับคำสั่งคือ แรงดันไฟฟ้าV(V) กระแสไฟฟ้า(A) กำลังไฟฟ้าP(W) โดยในส่วนนี้สามารถกำหนดค่าได้
- (Cut-Off Condition) เงื่อนไขการสิ้นสุดคำสั่งนั้นๆ
- (Jump) ขั้นตอนการทำงานถัดไปเมื่อสิ้นสุดคำสั่งนั้นๆโดยสามารถเลือกได้ว่าจะค่าใดที่ต้องการให้ดำเนินต่อไปในตาราง(Next), สิ้นสุดการทำงาน(End), ข้ามไปทำคำสั่งที่ได้ตั้งค่าไว้(Jump to Step), พักช่วงระหว่างทำงานที่ได้ตั้งค่าไว้ในหน่วยวินาที(Rest), ทำงานเงื่อนไข(If) และ
- ค่าตัวแปรสำหรับคำสั่งคือ แรงดันไฟฟ้าV(V) กระแสไฟฟ้า(A) กำลังไฟฟ้าP(W) โดยในส่วนนี้สามารถกำหนดค่าได้
 - ลำดับคำสั่ง
 - ชื่อคำสั่ง
 - ค่าตัวแปรสำหรับคำสั่งคือ แรงดันไฟฟ้าV(V) กระแสไฟฟ้า(A) กำลังไฟฟ้าP(W) โดยในส่วนนี้สามารถกำหนดค่าได้