



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)

หัวข้อปริญญา呢พนธ์	การทดสอบแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
โดย	นายณัฐนันท์ กานจนประภาส
	นายณัฐนันท์ อุบลวัจ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์)
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วสันต์ ตันเจริญ
ปีการศึกษา	2565

## บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้นำเสนอวิธีการใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma 17020 ในการทดสอบแบตเตอรี่ตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการดิสchar์จเกิน และ การทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินและใช้ทดสอบอื่นๆ เช่น การทดสอบการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่สำหรับทดสอบในหัวข้อต่างๆ มีด้วยกัน 2 ชนิดคือแบตเตอรี่ลิเธียม NMC และแบตเตอรี่ lifepo4 สำหรับแบตเตอรี่ลิเธียม NMC ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ แบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah และแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah สำหรับแบตเตอรี่ lifepo4 ที่ใช้ทดสอบได้แก่ แบตเตอรี่ 72V72Ah โดยการทดสอบนี้เป็นแนวทางการทดสอบตามมาตรฐานเบื้องต้นเพื่อนำไปใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

**คำสำคัญ:** การทดสอบแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า, การทดสอบการป้องกันการชาร์จเกิน, การทดสอบการป้องกันการดิสchar์จเกิน

Title	THE BATTERY PACK TESTING FOR ELECTRIC VEHICLES
Author	Mr.Nuntanon Kanjanaprapas
	Mr.Nuthanan Ubonwat
Degree	Bachelor of Engineering
	(Electrical and Electronics Engineering)
Dissertation Advisor	Dr.Wason Tanjareon
Academic Year	2022

## ABSTRACT

This project presents a method of testing a battery packs with the Chroma Model 17020 Regenerative Battery Pack Test System. The tests are based on UN ECE Regulation 136 in section the Overcharge protection test and the Overdischarge protection test. The other testing are relaxation time of a battery pack and a c-rate test that how it is affect a battery pack. The testing is conducted on a severral battery packs which is the Li-ion NMC 72V30Ah battery pack for e-motorcycle, the Li-ion NMC 72V60Ah battery pack for e-tricycle lastly The LiFePO4 72V72Ah battery pack.

**Keywords:** Lithium-ion battery pack, Battery pack testing,LiFePO4 battery pack

## กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมการทดสอบแบบเตอร์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า สามารถดำเนินงานและจัดโครงงานสำเร็จได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ ดร.วสันต์ ตันเจริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน โดยท่านได้ให้แนวคิดและข้อมูลบางส่วนของโครงงานนี้อีกทั้งยังเคยให้คำปรึกษาแนะนำในการดำเนินงานตลอดจนให้คำตักเตือนเกี่ยวกับข้อผิดพลาดโดยคณะผู้จัดทำสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ จนสำเร็จตามเป้าหมาย

ขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชากทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้เพื่อให้นำความรู้ที่ได้เรียนมาใช้ในการทำโครงงานนี้ ขอบพระคุณ ช่างเทคนิคนาย วสันต์ สินธุ ยศ ช่างเทคนิคชำนาญงานนาย คมสัน สุนันท์รุ่งอังคณา ที่เคยให้คำแนะนำและข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานนี้ทำให้โครงงานสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ที่ให้กำเนิด และอบรมสั่งสอนจนเติบใหญ่ รวมถึงเพื่อน พี่น้อง ที่เคยช่วยเหลือในการหาข้อมูลสนับสนุนต่างๆ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการทำโครงงานนี้ย่อมเป็นผลมาจากการความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้จัดทำโครงงานรู้สึกซาบซึ้งอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายณัฐนนท์ กานุจันประภัส

นายณัฐนนท์ อุบลวัจ

(4)

## สารบัญ

หน้า  
บทคัดย่อภาษาไทย (1)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (2)

กิตติกรรมประกาศ (3)

สารบัญตาราง (7)

สารบัญภาพ (8)

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	8
2.1.5 แบบเตอร์ลิเรียมไออกอนชนิดต่างๆ	10
2.2 ประสิทธิภาพอัตราการดิสชาร์จของแบบเตอร์ลิเรียมไออกอน	14
2.2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความจุของแบบเตอร์	15
2.3 วงจรสมมูลของแบบเตอร์	16

2.4 ระบบการจัดการแบบเตอรี่(BMS)	20
2.4.1 การทำงานของระบบการจัดการแบบเตอรี่	20
 บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีการทดสอบแบบเตอรี่ตามมาตรฐาน	23
3.0.1 การทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอรี่	23
3.0.2 การทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบบเตอรี่	24
3.1 ขั้นตอนการทดสอบอื่นๆ	25
3.1.1 การทดสอบระยะเวลาในการพักของแบบเตอรี่	25
3.1.2 การทดสอบอัตรากระแส	25
3.1.3 การทดสอบวัดค่าความต้านทานภายในของแบบเตอรี่	26
3.2 อุปกรณ์สำหรับทดสอบแบบเตอรี่	26
3.2.1 แบบเตอรี่สำหรับทำการทดสอบ	30
3.3 การใช้งานเครื่องทดสอบแบบเตอรี่ Chroma Model 17020	32
3.3.1 การใช้เครื่องทดสอบแบบเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอรี่	39
3.3.2 การใช้เครื่องทดสอบแบบเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบบเตอรี่	40
3.3.3 การใช้เครื่องทดสอบแบบเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบอื่นๆ	42
 บทที่ 4 ผลการทดสอบแบบเตอรี่ตามมาตรฐานและผลการทดสอบอื่นๆ	43
4.1 การทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE R136	43
4.2 การทดสอบอื่นๆ	44
4.2.1 ผลการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกิน	46
4.2.2 ผลการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกิน	49
4.3 ผลการทดสอบอื่นๆ	52
4.3.1 ผลการทดสอบการวัดความต้านทานภายในของแบบเตอรี่	52
4.3.2 ผลการทดสอบระยะเวลาในการพักของแบบเตอรี่	53
4.3.3 ผลการทดสอบอัตรากระแส	54

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดสอบแบบเตอร์	55
5.2 แนวทางการแก้ปัญหา	56
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	64
ประวัติผู้เขียน	87

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางเปรียบเทียบรูปร่างเซลล์แบตเตอรี่อิ่มย่างง่าย [1]	8
3.1 ตารางคุณสมบัติของแบตเตอรี่ 1 เซลล์ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V72Ah [2]	32
3.2 แนวทางการกำหนดช่องทางการทดสอบ	34
3.3 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah	40
3.4 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah	40
3.5 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah	40
3.6 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสcharจเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah	41
3.7 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสcharจเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah	41
3.8 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสcharจเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah	42
3.9 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบวัดค่าความด้านทานภายในของแบตเตอรี่ 72V72Ah	42
3.10 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการดิสcharจที่ 0.3C สำหรับแบตเตอรี่ 72V72Ah	42

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 รูปตารางกำหนดการดำเนินงาน	3
2.1 โครงสร้างของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอโอนแบบทรงกระบอก	5
2.2 ส่วนประกอบและการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอโอน	6
2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่ลิเธียมไอโอน	13
2.4 กราฟการทดสอบการดิสชาร์จ(ก)	14
2.5 กราฟการทดสอบการดิสชาร์จ(ข)	14
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับSOC	15
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุกับอุณหภูมิ	16
2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานขึ้นกับSOC	16
2.9 วงจรสมมูลRint (Rint Model)	17
2.10 วงจรสมมูลเทวินิ (Thevenin model)	18
2.11 วงจรสมมูลRC (RC model)	19
2.12 วงจรสมมูลPNGV (PNGV model)	20
3.1 Charge/Discharge Controller	27
3.2 DC/AC Bi-Direction Converter	27
3.3 Regenerative Charge/Discharge Tester	27
3.4 ON/OFF Controller	28
3.5 แผนภาพระบบการทดสอบแบตเตอรี่	28
3.6 แบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah	30
3.7 แบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah	31
3.8 แบตเตอรี่ 72V72Ah	31
3.9 ด้านหลังของเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จ	33
3.10 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma 17020	34
3.11 ไฟแสดงสถานะขณะมีกระแสไฟฟ้าภายในเครื่องทดสอบ	35
3.12 สวิตซ์หยุดฉุกเฉินและไฟแสดงสถานะหยุดฉุกเฉิน	36
3.13 สวิตซ์ดำเนินเครื่องทดสอบและไฟสถานะแสดงความพร้อมการใช้งาน	36
3.14 การกำหนดขอบเขตตัวแปรต่างๆใน UUT Setup (ก)	37
3.15 การกำหนดขอบเขตตัวแปรต่างๆใน UUT Setup (ข)	37

3.16 การกำหนดขอบเขตตัวแปรต่างๆใน UUT Setup (ค)	38
3.17 แผนผังสรุปขั้นตอนการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่	39
3.18 แผนผังสรุปขั้นตอนการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่	41
4.1 รูปวงจรการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกิน	44
4.2 รูปวงจรการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกิน	44
4.3 รูปวงจรการทดสอบระยะเวลาพักของแบตเตอรี่	45
4.4 กราฟการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah	46
4.5 กราฟการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah	47
4.6 กราฟการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah	48
4.7 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah	49
4.8 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah	50
4.9 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah	51
4.10 กราฟการทดสอบการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ 72V72Ah	52
4.11 กราฟการทดสอบระยะเวลาพักแบตเตอรี่ 72V72Ah	53
4.12 กราฟการทดสอบอัตรากระแสดิสชาร์จ 72V72Ah	54
ก.1 แบตเตอรี่สำหรับจักษณ์ไฟฟ้า 72V30Ah	60
ก.2 แบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah	61
ก.3 แบตเตอรี่ 72V72Ah	61
ก.4 เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma model 17020	62
ก.5 ตารางการตั้งค่าตัวแปรของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V30Ah	
62	
ก.6 ตารางการตั้งค่าตัวแปรของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V72Ah	
63	
ข.1 หน้าเข้าสู่ระบบ	64
ข.2 หน้าหลัก	65
ข.3 หน้าต่าง H/W Configuration	66
ข.4 หน้า Instrument	68
ข.5 การเพิ่มเครื่องมือวัด	68
ข.6 การเพิ่ม Charge/Discharge Tester	69
ข.7 เลือกรุ่นของเครื่องมือวัด	69
ข.8 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด	70
ข.9 หน้าต่างการตั้งค่าหมายเลขที่อยู่ไอพี	70

ข.10 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด	71
ข.11 หน้าต่าง UUT Setup	72
ข.12 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor	73
ข.13 หน้าต่างเลือกข้อมูลการตั้งค่าอื่นๆ	74
ข.14 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor	75
ข.15 หน้าต่าง Remote Alarm	76
ข.16 หน้าต่าง Protection	77
ข.17 หน้าต่าง Protection	78
ข.18 หน้าต่างหลัก Recipe Executor	79
ข.19 เลือกช่องทางการทดสอบ	80
ข.20 เลือกขั้นตอนการทดสอบ (ก.)	80
ข.21 เลือกขั้นตอนการทดสอบ (ข.)	81
ข.22 กราฟข้อมูลระหว่างการทดสอบ	82
ข.23 หน้าต่างหลักของเมนู Report	83
ข.24 หน้าต่างหลักของเมนู Report	83
ข.25 หน้าต่างเมนู Data Analysis	84
ข.26 กราฟข้อมูลการทดสอบโดยเมนู Data Analysis	85
ข.27 หน้าต่างบันทึกข้อมูลจากเมนู Data Analysis	86

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันนี้ปัญหาภาวะโลกร้อนนั้นเป็นปัญหาใหญ่ที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญและพยายามที่จะช่วยกันแก้ไขปัญหานี้ เพราะด้วยปัญหาภาวะโลกร้อนนี้ส่งผลกระทบมากในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นระบบนิเวศที่เปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศระดับน้ำทะเลที่กำลังเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งหลายเกิดจากภาวะโลกร้อนขึ้นที่มีมูลเหตุมาจาก การปล่อยก๊าซพิษต่างๆ จากโรงงานอุตสาหกรรม จากควันท่อไอเสียของยานยนต์ การเผาไหม้ ทำให้แสงอาทิตย์ส่องทะลุผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้นโลกได้มากขึ้น ซึ่งนั่นเป็นที่รู้จักกันโดยเรียกว่า สภาวะเรือนกระจก [3] ทั้งนี้เราจึงพยายามแก้ปัญหาด้วยการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดภาระเช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากชีวภาพ และวิธีการนำพลังงานทดแทนเหล่านี้ไปใช้ได้ถูกประยุกต์ให้ใช้ได้ทุกๆ ส่วนของชีวิตเรามากขึ้น เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในบ้านและยานยนต์ไฟฟ้าเป็นต้น ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้า ในขณะนี้กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก [4], [5] แต่ก็มีปัญหาในด้านประสิทธิภาพที่ต้องได้รับการพัฒนาต่อไปและส่วนประกอบที่สำคัญมากสำหรับยานยนต์ ไฟฟ้าที่ต้องพัฒนาเป็นอันดับต้นๆ นั่นก็คือ ส่วนที่ใช้ในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ยานยนต์ ไฟฟ้านั้นเอพลังงานไฟฟ้าไปใช้ในการขับเคลื่อน ส่วนประกอบต่างๆ ต่อไปก็คือแบตเตอรี่ ซึ่งแบตเตอรี่นั้นมีปัจจัยหลายอย่างมากที่จะต้องนำมาพิจารณา เช่น อุณหภูมิ ขนาด น้ำหนัก พลังงานที่กักเก็บได้ การชาร์จ การดิสชาร์จ เป็นต้นและปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบกับยานยนต์ไฟฟ้าโดยตรงซึ่งแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมมากในขณะนี้คือลิเธียมไอออน (Lithium-Ion Battery) เนื่องจากให้พลังงานที่สูงและยังสามารถเก็บพลังงานได้มากด้วยเช่นกัน มีอยู่ การใช้งานที่นาน ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีความเสถียรซึ่งหมายความว่าการนำไปใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า อย่างมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์(Li-Po) และแบตเตอรี่ตะกั่วกรด(Lead-Acid) [1], [6] และแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นมีหลายประเภทตามส่วนประกอบทางเคมี ภายในตัวแบตเตอรี่ยกตัวอย่างเช่น 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 [1]

แบตเตอรี่ที่นำไปใช้สำหรับยานยนต์ นั้นจำเป็นจะต้องได้รับมาตรฐานที่เข้มถือได้เพื่อ ความปลอดภัยของทั้งผู้ขับขี่และผู้โดยสารตั้งนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นจะต้องทำการทดสอบแบตเตอรี่ก่อน ที่จะนำมาใช้กับยานยนต์ ไฟฟ้าตามมาตรฐานสากลที่ได้รับการยอมรับยกตัวอย่างเช่น IEC, ISO, UN ECE R100 เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานนั้นก็จะมีวิธีการทดสอบและเกณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น

การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิมาตรฐาน UN 38.3:2015 นั้นจะทดสอบแบตเตอรี่จะเก็บแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ  $75 \pm 2^{\circ}\text{C}$  อย่างน้อย 6 ชั่วโมง(12 ชั่วโมงสำหรับแบตเตอรี่ขนาดใหญ่) และจากนั้นก็นำไปเก็บที่อุณหภูมิ  $-40 \pm 2^{\circ}\text{C}$  โดยให้เวลาพักแบตเตอรี่มากสุด 30 นาทีและทำซ้ำจนครบ 10 cycle ส่วน IEC 62133-2:2017 นั้นนำแบตเตอรี่อยู่ในอุณหภูมิ  $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 7 ชั่วโมงโดยที่ตัวถังของแบตเตอรี่ต้องไม่รับความร้อนจากการป้องกันภายในของส่วนประกอบต่างๆของแบตเตอรี่ [7] ซึ่งจะเห็นได้ชัดถึงความแตกต่างของวิธีการทดสอบและความยากง่ายของการทดสอบ ในประเทศไทยเองก็จะมีมาตรฐานในการทดสอบแบตเตอรี่ เช่น กันคือ มอก. ซึ่งมอก. เป็นคำย่อมาจาก "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม" หมายถึงกำหนดทางวิชาการที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(สมอ.)ได้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ผลิตในการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด โดยจัดทำออกมาเป็นเอกสารและจัดพิมพ์เป็นหนังสือภายใต้มอก. แต่ละเล่มประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น เกณฑ์ทางเทคนิค คุณสมบัติที่สำคัญ ประสิทธิภาพของการนำไปใช้งาน คุณภาพของวัสดุที่นำมาผลิตและวิธีการทดสอบเป็นต้น

โครงงานวิศวกรรมไฟฟ้านี้ได้นำเสนอการทดสอบแบตเตอรี่โดยอ้างอิงมาตรฐานสากล และมาตรฐานในประเทศไทยเพื่อสำหรับนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาيانยนต์ไฟฟ้าต่อไป โดยโครงงานนี้จะเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิด Lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC) และเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- เพื่อศึกษาแนวทางในการทดสอบแบตเตอรี่
- เพื่อทดสอบแบตเตอรี่ชนิด Lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC)
- เพื่อนำแนวทางในการทดสอบแบตเตอรี่นี้ไปประยุกต์ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

## 1.3 ขอบเขตการทำงาน

ทดสอบการชำรุดเสียหายของแบตเตอรี่ NMC โดยใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบแบตเตอรี่

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ภาพที่ 1.1 รูปตารางกำหนดการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ส.ค. 65	ก.ย. 65	ต.ค. 65	พ.ย. 65	ธ.ค. 65	ม.ค. 66	ก.พ. 66	มี.ค. 66	เม.ย. 66	พ.ค. 66
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแบบเตอร์ NMC และ มาตรฐานต่างๆในการทดสอบแบบเตอร์										
ศึกษาทฤษฎีในวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆ ของแบบเตอร์ NMC และวิธีการทดสอบแบบเตอร์ตามมาตรฐานต่างๆ										
ฝึกใช้เครื่องทดสอบแบบเตอร์ Chroma Model 17020 และ ทำการทดสอบแบบเตอร์ NMC ตามมาตรฐานสากล										
บันทึกผลการทดสอบแบบเตอร์ NMC										
สรุปผลการทดสอบ										

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้รับความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของแบบเตอร์ชนิด NMC
- ได้ทักษะการใช้งานเครื่องทดสอบแบบเตอร์ Chroma Model 17020
- ได้ความรู้เกี่ยวกับการทดสอบแบบเตอร์ตามมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ
- ได้นำความข้อมูลจากการทดสอบที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้กับงานยนต์ไฟฟ้า

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการแบตเตอรี่นั้นมีองค์ประกอบและปัจจัยต่างๆ ที่ต้องทำการพิจารณาเพื่อนำไปพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการเข้าใจส่วนประกอบ ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อแบตเตอรี่ คุณสมบัติของแบตเตอรี่ มีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อที่จะเข้าใจสิ่งเหล่านี้ จึงมีการค้นคว้าวิจัยหาข้อมูลมากมาย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้ทำการรวบรวมข้อมูล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้อ้างอิงสำหรับโครงการนี้แล้วคือ

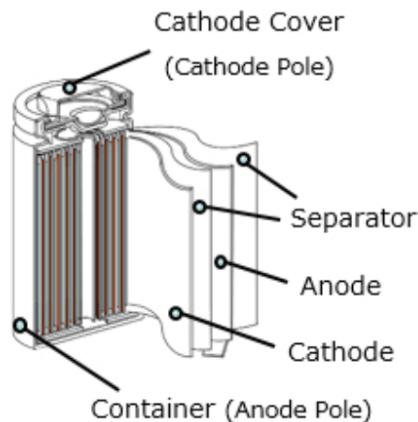
#### 2.1 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

คำนิยามของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นไม่ได้มีการบัญญัติขึ้นอย่างเป็นทางการแต่โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสามารถนิยามได้ว่าเป็นระบบกักเก็บพลังงานซึ่งอาศัยปฏิกิริยาจากขั้วทางไฟฟ้าทั้งสองโดยที่มีลิเธียมไอออน ( $\text{Li}^+$ ) ทำหน้าที่เป็นตัวนำประจุ ซึ่งจากนิยามของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนข้างต้นนี้ไม่ได้หมายถึงแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียวยกตัวอย่าง เช่น แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หรือแบตเตอรี่นิเกิลแคนเดเมียมที่หมายถึงแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆ โดยสรุปจากคุณสมบัติทางเคมีของเซลล์แบตเตอรี่ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นมีหลายคุณสมบัติทางเคมีโดยความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุส่วนประกอบของเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งความแตกต่างของส่วนประกอบทำให้ได้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนหลายชนิดและแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนั้นยังมี หลายรูปแบบหรือรูปร่างในขณะที่หลักการทำงานนั้นยังคงตามนิยามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งหลักการทำงานความแตกต่างทางรูปร่างและชนิดนี้จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

##### 2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบ

หัวข้อนี้จะอธิบายถึงโครงสร้าง ส่วนประกอบหลัก และวัสดุที่นำมาเป็นส่วนประกอบหลักอย่างคร่าวๆ ของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนจากรูปที่ 2.1 เซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบทรงกระบอกนั้นจะประกอบไปด้วย ขั้วบวก(แคโทด) ขั้วลบ(แอนโอด) ตัวรับกระแส ขั้วลบ ตัวรับกระแส ขั้วบวก อิเล็กโทรไลต์ และฉนวนระหว่างขั้วทั้งสองโดยทั่วไปแล้วขั้วนั้นทำจากสารประกอบลิเธียมไอออนเช่น  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$  และ  $\text{LiNixCo}_{1-2x}\text{MnxO}_2$  ส่วนขั้วลบโดยทั่วไปทำจาก  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ,  $\text{LixC}_6$ ,  $\text{TiS}_2$  และ  $\text{V}_2\text{O}_5$  อิเล็กโทรไลต์ใช้เกลือลิเธียมเช่น  $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiBF}_4$ ,  $\text{LiClO}_4$ , และ  $\text{LiAsF}_6$  ซึ่งละลายในสารละลายอินทรีย์เช่น ethylene carbonate (EC), propylene carbonate (PC), dimethyl carbonate (DMC) และ chlorine methyl carbonate (CMC) สุดท้ายฉนวนระหว่างขั้วทั้งสองเช่น polyethylene (PE) และ polypropylene (PP) จะเห็นได้ว่ามีวัสดุหลายอย่าง

มากที่สามารถนำมาใช้เป็น ขั้วบวกของแบตเตอรี่ ขั้วลบของแบตเตอรี่ อิเล็กโทรไลต์ และอัตราที่กันระหว่างขั้วทั้งสองซึ่งข้อจำกัดทางเทคโนโลยีของวัสดุต่างๆนั้นคือจะต้องสามารถทำงานตามแนวทางดังนี้

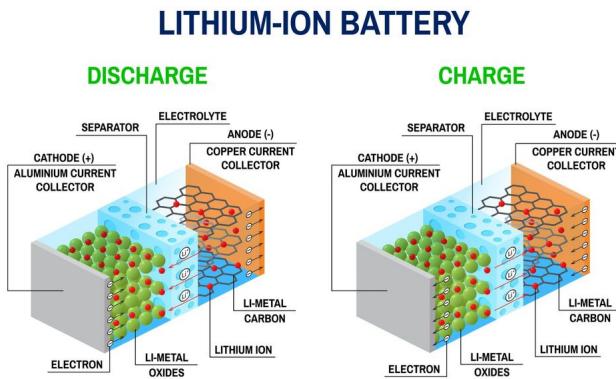


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบทรงกระบอก  
[8]

- อิเล็กโทรไลต์นั้นจะต้องสามารถส่งผ่านลิเธียมไอออนได้มากที่สุดเท่าที่สามารถส่งผ่านได้ภายใต้เงื่อนไขคือแบตเตอรี่นั้นจะต้องสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่ว่าໄไปได้เช่นสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ  $-30^{\circ}C$  เพื่อที่ยานยนต์นั้นสามารถจอดได้ในกรณีที่จอดในช่วงเวลาที่อุณหภูมนั้นเป็นจุดจนถึงอุณหภูมิ  $+60^{\circ}C$  ในกรณีที่อุณหภูมิของแบตเตอรี่นั้นสูงขึ้นเนื่องจากเป็นผลมาจากการร้าวจากสภาพแวดล้อมภายนอกและเป็นผลมาจากการชาร์จ
- ในทำนองเดียวกันอัตราที่กันระหว่างขั้วทั้งสองนั้นจะต้องสามารถส่งผ่านลิเธียมไอออนได้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับอิเล็กโทรไลต์และจะต้องมีความสามารถทนความร้อนสูงแบบฉบับพลัน
- ความเข้ากันได้ของวัสดุของขั้วของแบตเตอรี่นั้นจะต้องสามารถทำให้แบตเตอรี่มีความจุมากที่สุดเท่าที่จะสามารถเป็นไปได้โดยข้อสรุปของวัสดุต่างๆและปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้านั้นเป็นไปดังรูปที่ 2 และแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่นั้นขึ้นอยู่ความแตกต่างระหว่างคุณภาพที่ใช้นำมาทำเป็นขั้วของแบตเตอรี่ซึ่งแรงดันนั้นอาจจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการสูญเสียภายในเซลล์แบตเตอรี่อย่างเช่น การสูญเสีย IR losses เนื่องจากความสามารถในการส่งผ่านลิเธียมไอออนที่ไม่ดีในอิเล็กโทรไลต์ยกตัวอย่างเช่นถ้า LiFePO<sub>4</sub> นั้นถูกใช้นำมาเป็นขั้วบวกและ Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> เป็นขั้วลบของแบตเตอรี่จะทำให้ได้แรงดันเปิดวงจรปกตินั้นคือ  $V_{oc} = V^+ - V^- = 1.95 V$

โดย  $V^+$  นั้นแทนศักย์ไฟฟ้าทางขั้วบวกของแบตเตอรี่ส่วน  $V^-$  แทนศักย์ไฟฟ้าทางขั้วลบของแบตเตอรี่

### 2.1.2 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบและการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน  
[9]

จากรูปที่ 2.2 เป็นการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในสภาวะการทำงานทั้งสองสภาวะดังนี้

- เมื่อเซลล์แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะดิสชาร์จหรือทำงานเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนย้ายจากขั้วแอนโโนดผ่านตัวรับกระแสทั้งสองด้านและโหลดไปยังขั้วแค็โพดในขณะเดียวกัน  $\text{Li}^+$  เคลื่อนย้ายจากขั้วแอนโโนดผ่านอิเล็กโทรไลต์และวนวนไปยังขั้วแค็โพด
- ในทางกลับกันเมื่อเซลล์แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะการชาร์จ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนย้ายจากขั้วแค็โพดผ่านแหล่งจ่ายและตัวรับกระแสไปยังขั้วแอนโโนดในขณะเดียวกัน  $\text{Li}^+$  เคลื่อนย้ายจากขั้วแค็โพดผ่านอิเล็กโทรไลต์และวนวนไปยังขั้วแอนโโนด

ซึ่งเพื่อคงความเป็นกลางทางไฟฟ้าการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอนและ  $\text{Li}^+$  นั้นจึงเกิดขึ้นพร้อมกันและเนื่องจากการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอนก็มีผลทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

ยกตัวอย่างเช่น พิจารณาแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide, LMO) เมื่อแบตเตอรี่อยู่ในสภาวะการชาร์จ  $\text{Li}^+$  เคลื่อนย้ายออกจาก  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  ที่เป็นสารประกอบของขั้วแค็โพดผ่านอิเล็กโทรไลต์และวนวนไปสะสมอยู่ที่ชั้นคาร์บอนของกราไฟท์ที่เป็นขั้วแอนโโนดในทางตรงกันข้ามเมื่ออยู่ในสภาวะการดิสชาร์จ  $\text{Li}^+$  ที่สะสมอยู่ที่ชั้นคาร์บอนของกราไฟท์จากการชาร์จเคลื่อน

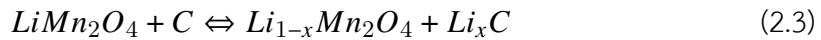
ย้ายผ่านอิเล็กโโทรไลต์และอวนวนไปยัง  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เป็นดังนี้  
ปฏิกิริยาทางข้าวแอลูมิโนด



ปฏิกิริยาทางข้าวแคลโคໂಥດ



ปฏิกิริยาทั้งระบบ



### 2.1.3 ลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

เซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีรูปลักษณะภายนอกที่นิยมในท้องตลาดอยู่ 3 ลักษณะดังนี้ ทรงกระบอก ทรงกล่อง และแบบแผ่น ซึ่งภายในจะมีลักษณะเป็นแบบพันรอบหรือแบบชั้นนั้นจะขึ้นอยู่ กับลักษณะภายนอก ตัวถังภายนอกของเซลล์แบตเตอรี่นั้นทำจากโลหะ เช่น สแตนเลสหรืออลูมิเนียม สำหรับเซลล์แบบทรงกระบอกและทรงกล่อง อลูมิเนียมแผ่นสำหรับเซลล์แบบแผ่น ตัวถังของเซลล์ แบตเตอรี่มีหน้าที่ที่สำคัญมากกว่าเป็นเพียงแค่ภาชนะบรรจุส่วนประกอบภายในซึ่งหน้าที่ที่สำคัญมาก อย่างแรกนั่นคือป้องกันส่วนประกอบภายในจากความชื้นและแก๊สออกซิเจนจากภายนอกซึ่งกัดกร่อน หรือทำให้ข้าวของเซลล์นั้นเป็นสนิม และหน้าที่เป็นอันวนระห่วงข้าบ梧และข้าลบระหว่างเซลล์ แบตเตอรี่หน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของตัวถังนั่นคือลดความดันจากภายในของเซลล์แบตเตอรี่ในขณะที่เซลล์ทำงานผิดปกติจนอาจทำให้ผิดรูปร่างทั้งนี้เพื่อให้ยังคงพื้นที่สำหรับเซลล์แบตเตอรี่ ในโมดูล แบตเตอรี่แต่สำหรับตัวถังแบบแผ่นนั้นไม่สามารถทำได้

ดังตารางที่ 2.1 เป็นการสรุปโดยสังเขปของเซลล์แบตเตอรี่ทั้ง 3 ลักษณะทั้งนี้เซลล์แบตเตอรี่ แต่ละแบบนั้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันแล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบรูปร่างเซลล์แบตเตอรี่อย่างง่าย [1]

รูปร่าง	แบบทรงกระบอก	แบบทรงสี่เหลี่ยม	แบบซอง
			
การจัดวางขั้วของแบตเตอรี่	พันรอบ	พันรอบ	วางซ้อน
ความแข็งแรงทางกล	++	+	-
การระบายความร้อน	-	+	+
พลังงานจำเพาะ	+	+	++
ความหนาแน่นพลังงาน	+	++	+

#### 2.1.4 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ในหัวข้อนี้จะสรุปคำศัพท์หรือคุณลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในการระบุ เปรียบเทียบ และจำแนก แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญดังนี้

- C rate และ E rate กระแส迪沙าร์จบอยครั้งจะแสดงอยู่ใน C-rate ซึ่ง C-rate คืออัตราการดิสชาร์จต่อความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ เช่น 1C หมายถึงกระแส迪沙าร์จนี้จะดิสชาร์จแบตเตอรี่หมดภายใน 1 ชั่วโมงสำหรับแบตเตอรี่ 100Ah กระแส迪沙าร์จะเท่ากับ 100A ที่ 5C นั้นกระแส迪沙าร์จะอยู่ที่ 500A และที่ C/2 กระแส迪沙าร์จะอยู่ที่ 50A ในทำนองเดียวกัน E-rate คืออัตราพลังงานไฟฟ้าดิสชาร์จ 1E หมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการดิสชาร์จหมดภายใน 1 ชั่วโมง
- State of Charge (SOC) หมายถึงการแสดงสถานะความจุของแบตเตอรี่เทียบกับความจุสูงสุดของแบตเตอรี่เป็นเปอร์เซ็นต์
- Depth of Discharge (DOD) หมายถึงเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกดิสชาร์จไปเทียบกับความจุสูงสุดของแบตเตอรี่
- แรงดันที่ข้า (Terminal Voltage) หมายถึงแรงดันระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ในขณะท่อโหลดซึ่งแรงดันนั้นขึ้นอยู่กับ SOC และกระแส迪沙าร์จหรือดิสชาร์จ
- แรงดันเปิดวงจร (Open-circuit Voltage, OCV) หมายถึงแรงดันระหว่างขั้วของแบตเตอรี่ในขณะที่ไม่มีโหลดซึ่งขึ้นอยู่กับ SOC เช่นกัน

- แรงดันปกติ (Nominal Voltage) หมายถึงการรายงานแรงดันของแบตเตอรี่หรือแรงดันอ้างอิงของแบตเตอรี่
- แรงดันตัด (Cut-off Voltage) หมายถึงแรงดันต่ำที่สุดที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้หรือหมายถึงแรงดันที่แสดงถึงสถานะของแบตเตอรี่ที่หมดแล้ว
- ความจุหรือความจุปกติ (Capacity or Nominal Capacity, Ah) หมายถึงความจุคูลอมบิก เมตริกหรือกิลโตรัมแปร์ชั่วโมงทั้งหมดที่แบตเตอรี่สามารถดิสชาร์จได้จาก 100%SOC จนถึงแรงดันตัด
- พลังงานหรือพลังงานปกติ (Energy or Nominal Energy, Wh) หมายถึงความจุพลังงานของแบตเตอรี่หรือกิโลวัตต์ทั้งหมดที่แบตเตอรี่สามารถดิสชาร์จได้จาก 100%SOC จนถึงแรงดันตัด
- ไลฟ์ไซเคิล (Cycle Life) หมายถึงจำนวนรอบในการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ที่สามารถดิสชาร์จได้ ก่อนที่จะเสื่อมสภาพตามเกณฑ์อย่างไรก็ตามสภาพการทำงานของแบตเตอรี่นั้นมีปัจจัยหลายอย่างนอกจากรายการจำนวนรอบการดิสชาร์จ เช่น ความชื้นและอุณหภูมิ
- พลังงานจำเพาะ (Specific Energy, Wh/kg) หมายถึงพลังงานปกติต่อมวลของแบตเตอรี่บางครั้งอาจจะหมายถึงความหนาแน่นพลังงานโดยน้ำหนักของแบตเตอรี่
- กำลังไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Power, W/kg) หมายถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อมวลของแบตเตอรี่
- ความหนาแน่นพลังงาน (Energy Density, Wh/L) หมายถึงพลังงานปกติต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร บางครั้งอาจจะหมายถึงความหนาแน่นพลังงานโดยปริมาตร
- ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (Power Density, W/L) หมายถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่
- กระแสดิสชาร์จต่อเนื่องสูงสุด (Maximum Continuous Discharge Current) หมายถึงกระแสดิสชาร์จสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถดิสชาร์จได้อย่างต่อเนื่องข้อจำกัดนี้จะถูกกำหนดโดยโรงงานแบตเตอรี่เพื่อป้องกันอัตราการดิสชาร์จที่มากเกินไปซึ่งอาจจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือลดความจุลงได้
- กระแสพัลส์สูงสุดใน 30 วินาที (Maximum 30-sec Discharge Pulse Current) หมายถึงกระแสดิสชาร์จสูงสุดฉับพลันโดยดิสชาร์จเป็นเวลา 30 วินาที
- แรงดันชาาร์จ (Charge Voltage) หมายถึงแรงดันของแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ชาาร์จเต็มแล้ว
- แรงดันลอยตัว (Float Voltage) หมายถึงแรงดันคงที่ที่แบตเตอรี่ชาาร์จจนเต็มแล้วก่อนที่จะเกิดการดิสชาร์จอย่างภายใน

### 2.1.5 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิดต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง สรุปข้อแตกต่าง ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแต่ละชนิดแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในปัจจุบันนั้นเป็นที่นิยมกันอยู่ในตลาดทั่วโลก 6 ชนิดซึ่งแต่ละชนิดนั้นโดยทั่วไปแล้ว จะจำแนกตามวัสดุที่นำมาใช้เป็นขั้นบวกของแบตเตอรี่กัน เว้นแต่แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิดเดียว即 Lithium Titanate, LTO) ที่ใช้วัสดุที่ใช้นำมาเป็นขั้นบวกคือ Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> มาทำการจำแนก ซึ่ง แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนทั้ง 6 ชนิดที่ได้อ้างถึงมีด้วยกันดังนี้

#### แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์

##### (Lithium Cobalt Oxide Battery)

แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยบริษัท Sony ในปี 1991 แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ถูกใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนตัวเป็นส่วนใหญ่ เช่น แล็ปท็อป กล้องถ่ายรูป ฯลฯ เป็นต้นเนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูง อายุการใช้งานนาน และผลิตง่าย แต่แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์นั้นมีปฏิกิริยาสูงดังนั้นจึงทำให้มีเสถียรทางความร้อนและต้องการการวัด ตรวจสอบ แสดงผลตลอดช่วงเวลาทำงานเพื่อความปลอดภัยและเนื่องจากโคบอลต์นั้น เป็นวัสดุที่หาได้ยากทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์มีราคาแพงและด้วยปัญหาด้านความร้อน แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์จึงไม่ค่อยเหมาะสมกับการนำไปใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์นั้นได้ถูกนำไปใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าอย่าง Tesla Roadster และ Smart Fortwo Electric drive(ED)

#### แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์

##### (Lithium Manganese Oxide Battery, LMO)

แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ได้ถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในช่วงต้นทศวรรษ 1980 และใช้เวลากว่า 15 ปีกว่าจะนำมาจำหน่ายในท้องตลาด ด้วยสถาปัตยกรรมโครงสร้างทางด้านเคมีซึ่งเพิ่มการเคลื่อนย้ายของไอออน(Li<sup>+</sup>)ในอิเล็กโทรดเป็นผลทำให้ลดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ และช่วยให้ทนกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นนั้นหมายความว่าสามารถเพิ่มความเร็วในการชาร์จหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการชาร์จและสามารถใช้กระแสสิบชาร์จที่สูงได้ ซึ่งข้อดีทางเคมีนี้ทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์นั้นมีเสถียรภาพทางด้านความร้อนมากกว่าแบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ แต่มีข้อเสียนั่นคือมีความจุน้อยและอายุการใช้งานสั้นกว่าโดยประมาณ 33%

ส่วนมากแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์นั้นถูกผสมเข้ากับแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีส โคบอลต์ออกไซด์เพื่อเพิ่มพลังงานจำเพาะและอายุการใช้งานซึ่งแบตเตอรี่โดยการผสมนี้ในอดีตเคยถูกใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าหลายรุ่นเช่น Nissan Leaf, Chevy volt, BMW i3

## แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate, LFP)

ในปี 1996 กลุ่มนักวิจัยในมหาวิทยาลัยเทกซัสอสติน(The University of Texas at Austin) ค้นพบว่าฟอสเฟตนั้นสามารถนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนได้ ฟอสเฟต นั้นช่วยให้มีความสตีร์ต่อการชาร์จเกิน(Over charge)และช่วยเพิ่มความทนทานต่อความร้อน แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟตมีความสามารถทางเคมีไฟฟ้าที่ดี เช่น มีความต้านทานต่ำ เป็นต้น มีช่วงอุณหภูมิการทำงานที่กว้างคือ  $+60^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-30^{\circ}\text{C}$  และเกิดปฏิกิริยาความร้อนสูง(Thermal runaway)ได้ยาก แต่มีการดิสชาร์จเองสูงมากกว่าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิดอื่นๆทำให้มีปัญหาทางด้านสมดุลของอายุ แบตเตอรี่ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาช่วยควบคุมปัญหานี้ได้ เช่น BMS แต่ก็ทำให้ราคาของ แบตเตอรี่นั้นสูงขึ้น

ด้วยประสิทธิภาพอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าต่อน้ำหนักและความปลอดภัยสูงนั้นทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟตนิยมใช้มากในรถบ้าน มีการร่วมมือกันระหว่างบริษัทในประเทศเยอรมันได้แก่ ElektroFahrzeuge Stuttgart และ WOF ได้ทำการบ้านที่ใช้ระบบไฟฟ้าห้องหมุดเจ้าแรกส่งออกสู่ตลาดซึ่งในระบบไฟฟ้านี้ก็นำแบตเตอรี่ลิเธียมมาใช้ด้วยเช่นกัน

## แบตเตอรี่ลิเธียมnickel cobalt oxide Battery, NMC

แบตเตอรี่นิกเกิลแมกนีสโคบอลต์ออกไซด์สามารถออกแบบให้มีพลังงานจำเพาะสูงหรือ กำลังไฟฟ้าได้ซึ่งเป็นผลตีจากการผสมกันระหว่างโลหะ 2 ชนิดคือnickel cobalt และแมกนีส นิกเกิลนั้น ทำให้พลังงานจำเพาะสูงแต่มีความสตีร์ต่อส่วนแมกนีสินนั้นทำให้ความต้านทานภายในต่ำแต่มี ข้อเสียคือทำให้พลังงานจำเพาะต่ำซึ่งอัตราส่วนของผสมโลหะต่างๆของแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมกนีส โคบอลต์ออกไซด์นั้นขึ้นอยู่กับแต่ละโรงงานผลิตซึ่งมีดังนี้ NMC111(ความจุ  $154 \text{ Ah} \cdot \text{kg}^{-1}$  ที่ 0.1C) NMC442 NMC622 และในปัจจุบัน NMC811(ความจุ  $> 185 \text{ Ah} \cdot \text{kg}^{-1}$  ที่ 0.1C)

การผสมกันระหว่างแมกนีสและนิกเกิลช่วยเสริมข้อดีของกันและกันทำให้แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมกนีสโคบอลต์ออกไซด์เป็นแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ประสบความสำเร็จมากที่สุด และเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่ต้องการอย่างมาก เนื่องจากพลังงานจำเพาะสูงและคุณลักษณะทางความร้อนที่ดีจากที่กล่าวมาแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมกนีสโคบอลต์ออกไซด์ ถูกนำไปใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าหลายรุ่นด้วยกันเช่น Nissan Leaf, Chevy Volt, BMW i3

## แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์

### (Nickel Cobalt Aluminum Oxide Battery, NCA)

แบตเตอรี่นิกเกิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์เกิดขึ้นช่วงปี 1999 แบตเตอรี่ลิเธียมโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์ มีความคล้ายคลึงกับแบตเตอรี่นิกเกิลแมกนีสโคบอลต์ออกไซด์โดยให้พลังงาน

จำเพาะและกำลังไฟฟ้าจำเพาะที่สูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานแต่ไม่ค่อยมี ความปลอดภัยเท่ากับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนชนิดอื่นๆ สำหรับการประยุกต์ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้านั้นต้องการการตรวจสอบและแสดงผลอยู่ตลอดเพื่อความปลอดภัย มีต้นทุนการผลิตสูงและไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้กับงานประเภทอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม Tesla เป็นบริษัทเดียวที่ใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้และอ้างว่าแบตเตอรี่นิกเกิลโคบล็อกลูมินัมออกไซด์ของ Tesla นั้นใช้โคบล็อกในการผลิตน้อยกว่า NMC811 ซึ่งใช้โคบล็อกเพียง 15% ซึ่งแบตเตอรี่นิกเกิลโคบล็อกลูมินัมออกไซด์ถูกนำไปใช้ใน Tesla Model 3 และ Model S ช่วงแรกๆ ในปี 2012

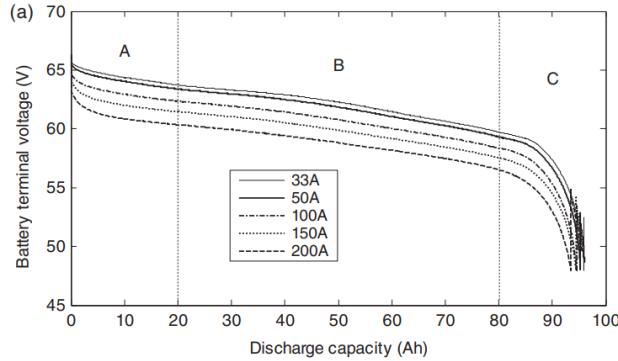
### แบตเตอรี่ลิเธียมไททาเนต (Lithium Titanate, LTO)

การใช้ลิเธียมไททาเนตในแบตเตอรี่นั้นเกิดขึ้นในปี 1980 ลิเธียมไททาเนตถูกแทนที่กราไฟท์ในการนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนและทำให้อยู่ในโครงสร้างเฉพาะทางเคมีโดยอิเล็กโทรดขั้วตรงข้ามอาจจะใช้ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ก็ได้ ลิเธียมไททาเนตที่ถูกทำให้อยู่ในโครงสร้างเฉพาะทางเคมีนี้ได้รับการยอมรับว่าเป็นวัสดุที่มีประโยชน์มากเนื่องจากระหว่างการเกิดปฏิกิริยาลิเธียชัน(Lithiation)หรือการส่งผ่านไอออน Li<sup>+</sup> ลิเธียมไททาเนตนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเป็นผลทำให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นมากกับความปลอดภัยจากการดิสชาร์จและชาร์จที่สูงมากกว่า 1.55V vs Li/Li<sup>+</sup> ลิเธียมไททาเนตนั้นนำไปฟื้นได้ไม่ค่อยดีและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของไอออน Li<sup>+</sup> น้อยทำให้ไม่เหมาะสมกับการใช้งานที่กำลังไฟฟ้าสูงแต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันสามารถช่วยได้โดยลดระยะเวลาการเคลื่อนย้ายของไอออน Li<sup>+</sup> ในโครงสร้างของแบตเตอรี่เพื่อส่งผ่านไอออนได้ดีขึ้นเพิ่มการนำไฟฟ้าได้โดยการโดป(Doping) เคลือบผิว(Surface Coating) ผสม(Forming) กับวัสดุที่นำไปฟื้นได้ดีอย่างคาร์บอน

แบตเตอรี่ลิเธียมไททาเนตถูกใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นอย่าง Mitsubishi i-MiEV, Honda และระบบรถบัสไฟฟ้าสาระณะ(Tosa) และเนื่องจากมีความปลอดภัยสูงแบตเตอรี่ลิเธียมไททาเนตจึงถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์การแพทย์ด้วย

วัสดุขั้นบวก	หน่วย	LCO หรือ NCA	NMC	LMO		LFP
		แกรไฟต์	แกรไฟต์	แกรไฟต์	LTO	แกรไฟต์
		ความจุพลังงาน	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
แรงดันเฉลี่ย (Nominal cell voltage)	V	3.6-3.7	3.6-3.7	3.7-3.8	2.3	3.3
ความจุพลังงานต่อน้ำหนัก	Wh/kg	175-240 (cylindrical) 130-450 (pouch)	100-240	100-150	70	60-110
ความจุพลังงานต่อบริมิตร	Wh/L	400-640 (cylindrical) 250-450 (pouch)	250-640	250-350	120	125-250
อัตราการคายประจุอย่างต่อเนื่อง (Continuous discharge rate)	C <sup>2</sup>	2-3	2-3 สำหรับ แบตเตอรี่ความจุ พลังงานสูง  >30 สำหรับ แบตเตอรี่กำลัง <sup>ไฟฟ้า</sup> สูง	>30	10	10-125
อายุการใช้งาน <sup>3</sup>	รอบ	500+	500+	500+	4000+	1000+
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถอัดประจุได้	°C	0-45	0-45	0-45	-20-45	0-45
ช่วงอุณหภูมิที่สามารถดึงประจุได้	°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

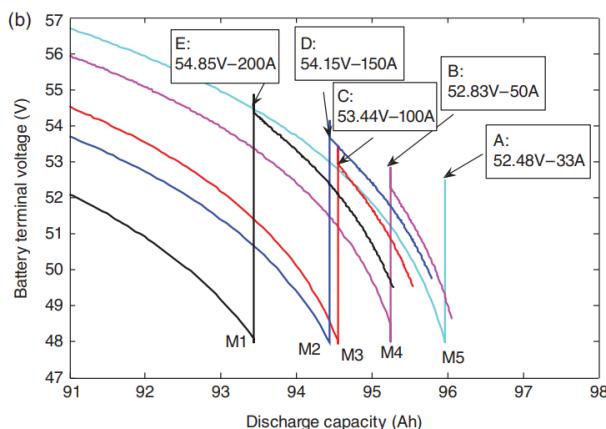
ภาพที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน  
[10]



ภาพที่ 2.4 กราฟการทดสอบการดิสชาร์จ(ก)  
[11]

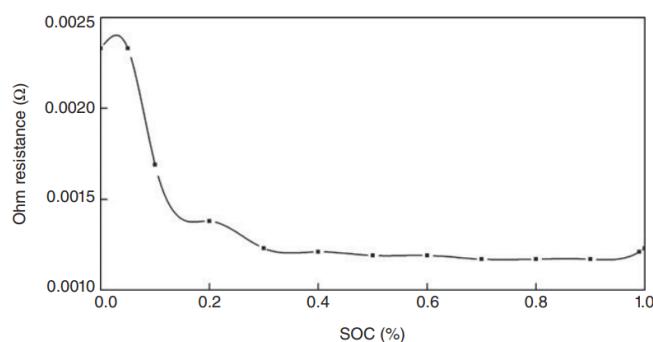
## 2.2 ประสิทธิภาพอัตราการดิสชาร์จของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ในหัวข้อนี้และหัวข้อถัดไป 2.3 จะใช้โมดูลแบตเตอรี่ความจุ 100Ah ที่ประกอบไปด้วยเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ 16 เซลล์ในการทดสอบซึ่งความสมมพนธ์ระหว่างแรงดันกับความจุของโมดูลแบตเตอรี่ภายใต้กระแสเดดิสชาร์จที่ต่างกัน ณ อุณหภูมิห้องดังรูปที่ 3 ส่วนรูปที่ 4 คือรูปขยายบางส่วนของรูปที่ 3 ที่จุด M1, M2, M3, M4 และ M5 โมดูลแบตเตอรี่มีความจุที่ 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) ตามลำดับและแรงดันเปิดวงจรหลังจากที่ทำพกโมดูลแบตเตอรี่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมงคือ 54.85V, 54.15V, 53.44V, 52.83V และ 52.48V ตามลำดับ



ภาพที่ 2.5 กราฟการทดสอบการดิสชาร์จ(ข)  
[11]

ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันเปิดวงจรของโมดูลแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเมื่อกระแส迪สชาร์จเพิ่มขึ้นและการ迪สชาร์จด้วยกระแส 200A ทำให้ความจุของโมดูลแบตเตอรี่นั้นลดลงเพียง 2.6% เมื่อเทียบกับการดิสชาร์จด้วยกระแส 33A โดยการทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดิสชาร์จที่ดีของโมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์เนื่องจากสามารถดิสชาร์จที่กระแสขนาดใหญ่ได้ในขณะที่ความจุและแรงดันเพิ่มขึ้นแต่ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิของโมดูลแบตเตอรี่ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อดิสชาร์จด้วยกระแสขนาดใหญ่จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่จะคงที่มากที่สุดเมื่อ SOC อยู่ที่ช่วง 20%-80%(บริเวณ B) เนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในเซลล์แบตเตอรี่นั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและเนื่องจากความต้านทานภายในและความต้านทานที่ขั้วของเซลล์แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการดิสชาร์จนั้นลดลงมากในช่วง SOC 0% - 20% (บริเวณ A) และช่วง 80% - 100% (บริเวณ C) และแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่ลดลงอย่างมากเมื่อทำการดิสชาร์จหมดตั้งแต่การดิสชาร์จแบตเตอรี่จนหมดหรือใกล้หมดนั้นทำให้ประสิทธิภาพการดิสชาร์จลดลงและส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ด้วยและเพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุดและเพื่อเพิ่ม อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จึงควรจะใช้งานแบตเตอรี่ช่วงที่มีประสิทธิภาพการดิสชาร์จมากที่สุด

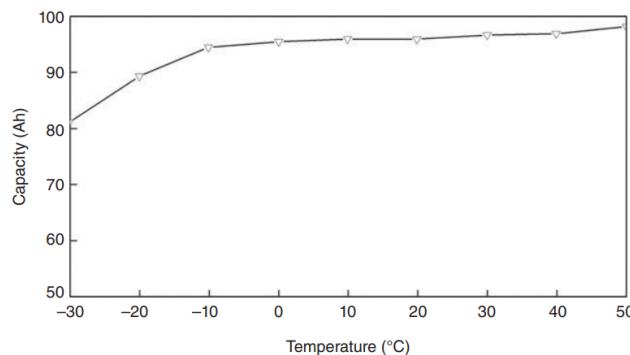


ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับSOC  
[11]

### 2.2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อความจุของแบตเตอรี่

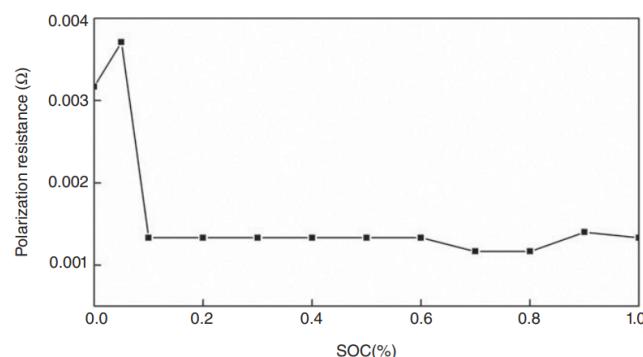
โมดูลแบตเตอรี่ลิเธียมแมงกานีสออกไซด์ถูกใช้ทดสอบที่กระแส迪สชาร์จคงที่ 1/3C ณ อุณหภูมิตั้งแต่  $-30^{\circ}\text{C}$  ถึง  $50^{\circ}\text{C}$  โดยเพิ่มขึ้นทีละ  $10^{\circ}\text{C}$  กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความจุแสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความจุของโมดูลแบตเตอรี่ลดลง 20% ณ อุณหภูมิ  $-30^{\circ}\text{C}$  เมื่อเทียบกับอุณหภูมิทำงานปกติเนื่องจากอุณหภูมิต่ำส่งผลต่อขั้วของเซลล์แบตเตอรี่และลดอัตราการทำ

ปฏิกิริยาภายในเซลล์แบตเตอรี่และจะเห็นได้ว่าความจุของโมดูลแบตเตอรี่ค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งถ้าหาก



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความจุกับอุณหภูมิ [11]

อุณหภูมิสูงมากจนเกินไปก็จะส่งผลเสียทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นสั้นลงและจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความจุนั้นไม่เป็นเส้นตรงนั้นเพื่อที่จะเพิ่มความแม่นยำในการประมาณค่า SOC มีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องนำผลกระทบจากอุณหภูมิมาทำการพิจารณาด้วย



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานข้าวกับSOC [11]

### 2.3 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่

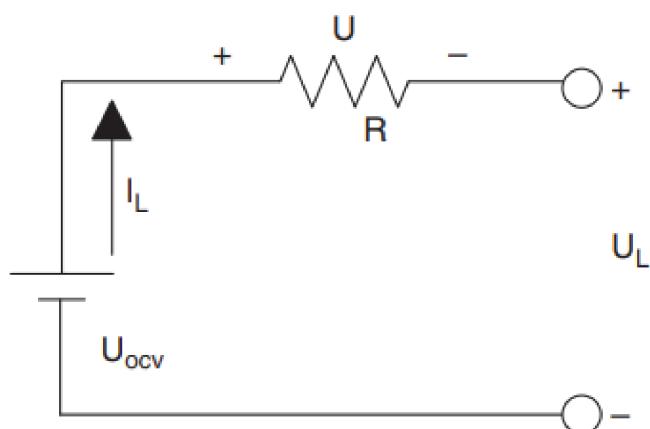
วงจรสมมูลสามารถใช้ในการจำลองคุณลักษณะต่างๆของแบตเตอรี่ระหว่างเงื่อนไขการทำงานต่างๆได้ซึ่งวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น ตัวต้านทาน ตัว

เก็บประจุ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และอื่นๆ วงจรสมมูลนี้ถูกนำมาใช้ทั่วไปในการจำลองต้นแบบยานยนต์ไฟฟ้าและระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างรูปแบบวงจรสมมูลที่เคยมีการใช้งานจริงอยู่ 4 วงจรคือ วงจรสมมูล Rint(Rint Model) วงจรสมมูลเทเวนิน(Thevenin model) วงจรสมมูลRC(RC model) และวงจรสมมูลPNGV(PNGV model)ซึ่งแต่ละวงจรสมมูลมีความแตกต่างกันคือวงจรสมมูลเทเวนินนั้นก็คือวงจรสมมูลRint ที่มีวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุขนาดกันต่ออนุกรมเพิ่มเข้าไปเพื่อแทนคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงของแบตเตอรี่ วงจรสมมูลPNGVนั้นก็คือวงจรสมมูลเทเวนินที่เพิ่มตัวเก็บประจุ  $C_{pb}$  อนุกรมเข้าไปแทนแรงดันเปิดวงจรเทียบกับกระแสโหลดและสุดท้ายวงจรสมมูลRC นั้นมีความแตกต่างมากที่สุดเนื่องจากไม่มีแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงอยู่ในวงจรเลย

#### วงจรสมมูลRint (Rint model)

วงจรสมมูล Rint ถูกออกแบบโดยห้องปฏิบัติการแห่งชาติอิดา荷(The Idaho National Laboratory) ซึ่งประกอบไปด้วย

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอุดมคติ  $U_{OCV}$  แทนแรงดันเปิดวงจรของแบตเตอรี่
- ตัวต้านทาน  $R$  แทนความต้านทานภายในของแบตเตอรี่



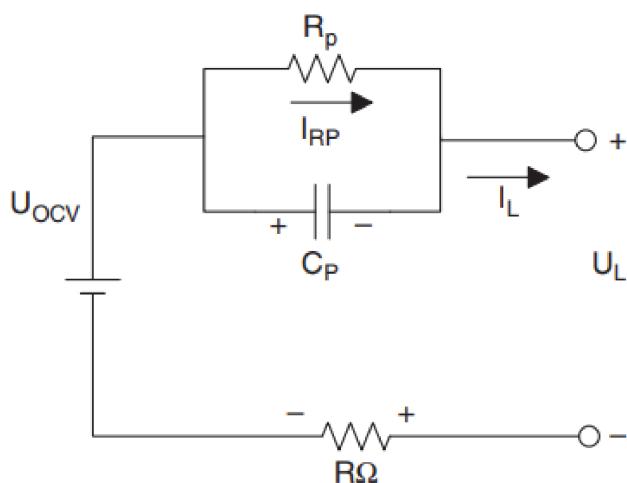
ภาพที่ 2.9 วงจรสมมูลRint (Rint Model)  
[11]

ซึ่งแรงดันเปิดวงจรนั้นเป็นพังก์ชันของ SOC และอุณหภูมิและค่าความต้านทานภายในนั้นเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการชาร์จภายในตัว SOC ที่เท่ากัน

### วงจรสมมูลเทวินนิ (Thevenin model)

วงจรสมมูลเทวินนิเป็นวงจรสมมูลที่นิยมใช้กันมากที่สุดประกอบไปด้วย

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอุดมคติ  $U_{OCV}$  แทนแรงดันเปิดของแบตเตอรี่
- ความต้านทาน  $R_{\Omega}$  แทนความต้านทานภายในของแบตเตอรี่
- $R_p$  และ  $C_p$  ที่ขานกันแทน Overpotential ของแบตเตอรี่



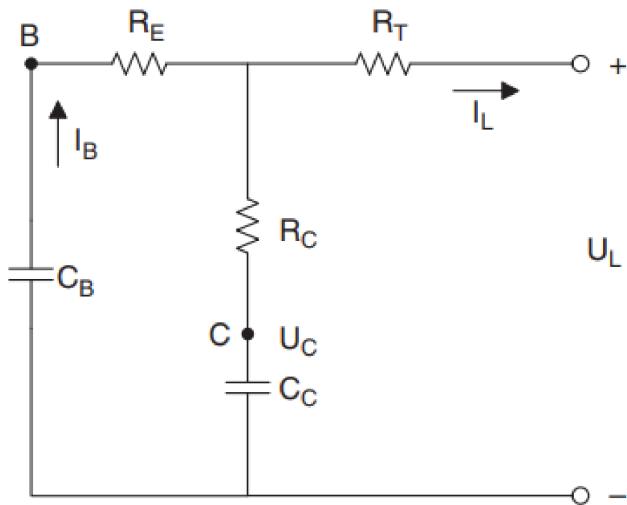
ภาพที่ 2.10 วงจรสมมูลเทวินนิ (Thevenin model)  
[11]

### วงจรสมมูล RC (RC model)

วงจรสมมูล RC มีตัวเก็บประจุ 2 ตัวและตัวต้านทาน 3 ตัวซึ่งถูกออกแบบโดยบริษัทผลิตแบตเตอรี่ SAFT ประกอบไปด้วย

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

โดยวงจรสมมูลนี้ข้าวแครโ托ดของแบตเตอรี่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์

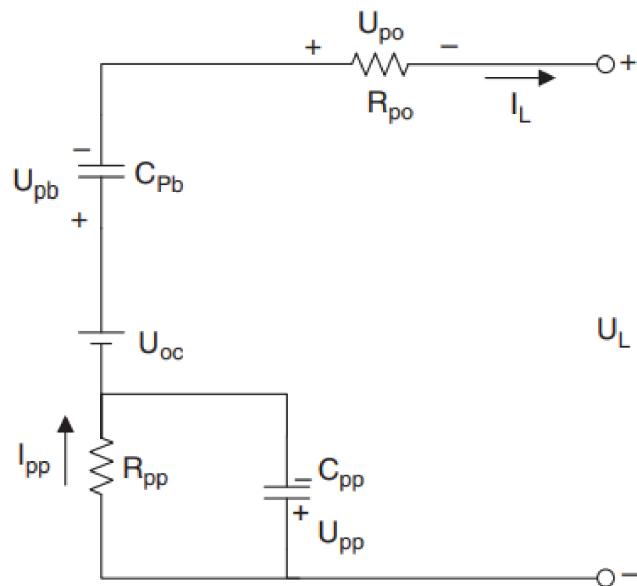


ກາພທີ 2.11 ວັຈຣສມມູລRC (RC model)  
[11]

#### ວັຈຣສມມູລPNGV (PNGV model)

ວັຈຣສມມູລ PNGV ເປັນວັຈຣສມມູລມາຕຽບຮູ້ນທີ່ໃຊ້ໃນ PNGV Battery Test Manual ໃນປີ 2001 ແລະ ໃໃໝ່ໃນ Freedom CAR Battery Test Manual ໃນປີ 2003 ວັຈຣສມມູລນີ້ປະກອບໄປດ້ວຍ

- ແຫລ່ງຈ່າຍແຮງດັນໄຟຟ້າກະແສຕຽງອຸດົມຄົດ ແທນແຮງດັນເປີດວັຈຣຂອງແບຕເຕອຣີ
- ຕັວຕ້ານທານ  $R_{po}$  ແທນຄວາມຕ້ານທານກາຍໃນຂອງແບຕເຕອຣີ
- ຕັວຕ້ານທານ  $R_{pp}$  ແທນຄວາມຕ້ານທານທີ່ຂໍ້ວຂອງແບຕເຕອຣີ
  - ຕັວເກີບປະຈຸ  $C_{pp}$  ແທນຄວາມຈຸຂອງຂໍ້ວແບຕເຕອຣີ
- ຕັວເກີບປະຈຸ  $C_{pb}$  ແທນແຮງດັນເປີ່ຍນແປ່ລົງສະສົມເທິຍບກັບເວລາຂັນະຕ່ວໂລດ



ภาพที่ 2.12 วงจรสมมูลPNGV (PNGV model)  
[11]

## 2.4 ระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)

ระบบการจัดการแบตเตอรี่คือระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการจัดการแบตเตอรี่ปัจจุบัน เช่น ปกป้องแบตเตอรี่จากปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้แบตเตอรี่ทำงานในช่วงการทำงานที่ไม่ปลอดภัยหรือการทำงานที่อาจเจิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ วัดและควบคุมสภาพของแบตเตอรี่ คำนวณข้อมูลทุกตัวแปร รายงานข้อมูลนั้นเป็นต้น สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าระบบการจัดการแบตเตอรี่มีความสำคัญอย่างมาก กับความปลอดภัย เพิ่มประสิทธิภาพระบบของยานยนต์ไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมซึ่งระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นต้องสามารถตรวจจับสภาพของแบตเตอรี่และค้นหาสาเหตุของความบกพร่องได้อย่างทันทีและส่งข้อไปยังหน่วยควบคุมยานยนต์(Vehicle Control Unit, VCU)หรือส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ(Charger)เพื่อให้หน่วยควบคุมยานยนต์หรืออุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ จะสามารถเลือกวิธีที่จะต้องตอบสนองและประยุกต์ใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

### 2.4.1 การทำงานของระบบการจัดการแบตเตอรี่

การทำงานของระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นสามารถทำได้หลายอย่างมากโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบให้สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการดังนี้ระบบการ

จัดการแบตเตอรี่แต่ละระบบจะมีการทำงานที่แตกต่างกันไปขึ้น อยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ขนาด ต้นทุนในการผลิต และ อื่นๆ โดยในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการทำงานที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่ส่วนมากสามารถทำได้ดังนี้

#### **การตรวจจับหรือการวัดของระบบการจัดการแบตเตอรี่**

ระบบการจัดการแบตเตอรี่จะตรวจจับหรือทำการวัดค่าต่างๆ ดังเช่น

- แรงดัน เช่น แรงดันรวมของแบตเตอรี่ แรงดันในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่
- อุณหภูมิ เช่น อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิก่อนระยะความร้อน อุณหภูมิหลังระยะความร้อน อุณหภูมิของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่
- กระแสไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าและออกจากแบตเตอรี่

#### **การป้องกันของระบบการจัดการแบตเตอรี่**

ระบบการจัดการแบตเตอรี่สามารถหลีกเลี่ยงหรือป้องกันปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ส่งผลเสียต่อแบตเตอรี่ได้ดังเช่น

- กระแสไฟฟ้าเกินจากการชาร์จและดิสชาร์จ
- แรงดันไฟฟ้าเกินระหว่างการชาร์จและดิสชาร์จ
- อุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไป
- กระแสไฟฟ้าร้อนไหล
- การสลับขั้วกรณีที่มีการต่อวงจรผิดและการลัดวงจร
- การปรับสมดุลแบตเตอรี่ของระบบการจัดการแบตเตอรี่

#### **การคำนวณต่างๆ ของระบบการจัดการแบตเตอรี่**

ระบบการจัดการแบตเตอรี่สามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังเช่น

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

- อิมพีเดนซ์ภายนอกชั้ล์เบตเตอร์
- จำนวนครั้งการชำระและดิสชาร์จ

#### **การติดต่อสื่อสารของระบบการจัดการแบตเตอรี่**

ระบบการจัดการแบตเตอรี่ขนาดเล็กอาจจะไม่มีการติดต่อส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอกหรืออุปกรณ์ภายนอกในระบบแต่ระบบการจัดการแบตเตอรี่หลายระบบที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ระบบการจัดการแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้านั้นหน่วยประมวลผลของระบบการจัดการแบตเตอรี่สามารถติดต่อส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอกหรือสามารถส่งข้อมูลภายนอกในระบบหรืออาจติดต่อส่งข้อมูลได้ทั้งอุปกรณ์ภายนอกและภายนอกระบบ

สำหรับการส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์ภายนอกของระบบดังนี้

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

สำหรับการส่งข้อมูลกันภายนอกในระบบดังนี้

- Isolated serial communications
- Wireless serial communications

## บทที่ 3

### ขั้นตอนวิธีการทดสอบแบบเตอร์ริตามมาตรฐาน

แบบเตอร์รีเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญมากสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่กักเก็บและให้พลังงานไฟฟ้ากับยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของผู้ที่ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้ามาตรฐานต่างๆ จึงถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้กับทุกส่วนประกอบของยานยนต์ไฟฟ้ารวมถึงแบบเตอร์ริตัวเดียว เช่น กันซึ่งการทดสอบแบบเตอร์รีที่ทางคณะกรรมการผู้จัดทำได้ทำการทดสอบนั้นจะทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 หัวข้อดังนี้

#### 3.0.1 การทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบบเตอร์รี

สำหรับหัวข้อการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินขีดจำกัดของแบบเตอร์รีเพื่อเป็นการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการชำรุดเกินขีดจำกัดของแบบเตอร์รี

#### เงื่อนไขทั่วไปในขั้นตอนการทดสอบ

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

#### ขั้นตอนการทดสอบการชำรุด

- ขั้นแรกสวิตซ์ตัวนำต่างๆ ที่ใช้สำหรับการชำรุดต้องปิดวงจร
- อุปกรณ์ควบคุมจำกัดการชำรุดของอุปกรณ์วัดหรืออุปกรณ์ทดสอบแบบเตอร์รีต้องถูกปิดการใช้งาน
- แบบเตอร์รีต้องถูกชำรุดด้วยอัตรากระแสอย่างน้อย  $1/3 \text{ C}$  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. ในระหว่างการทดสอบแบบเตอรี่จะต้องไม่มีอิเล็กทรโ赖ต์ร่วงให้หลอกจากแบบเตอรี่ โดยการสังเกตการร่วงให้เหลื่อยของอิเล็กทรโ赖ต์ให้สังเกตโดยรอบของแบบเตอรี่เพียงเท่านั้นโดยไม่ต้องแยกชิ้นส่วนใดๆของแบบเตอรี่ออก
2. ในระหว่างการทดสอบแบบเตอรี่จะต้องไม่เกิดการแตกหักหรือฉีกขาด
3. ในระหว่างการทดสอบแบบเตอรี่จะต้องไม่เกิดเพลิงไหม้
4. ในระหว่างการทดสอบแบบเตอรี่จะต้องไม่เกิดการระเบิด

### **3.1 ขั้นตอนการทดสอบอื่นๆ**

สำหรับการทดสอบอื่นที่นอกเหนือจากทดสอบตามมาตรฐานนี้จะทดสอบด้วยกันทั้งหมด 3 หัวข้อคือ

- การทดสอบระยะเวลาในการพัก
- การทดสอบอัตรากระแส
- การทดสอบการวัดค่าความต้านทานภายในของโมดูลแบบเตอรี่

#### **3.1.1 การทดสอบระยะเวลาในการพักของแบบเตอรี่**

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อหาระยะเวลาในการพักแบบเตอรี่ที่เหมาะสมที่สุดที่แบบเตอรี่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ทำการชาร์จแบบเตอรี่ด้วยวิธีกระแสที่แรงดันคงที่(CC-CV) จนกระทั่งแรงดันถึง 80%SOC
2. เมื่อชาร์จแบบเตอรี่แล้วทำการพักเพื่อสังเกต 1 ชั่วโมง
3. ทำการดิสชาร์จด้วยวิธีกระแสคงที่(CC) จนกระทั่งแรงดันถึง 20%SOC
4. เมื่อดิสชาร์จแบบเตอรี่แล้วทำการพักเพื่อสังเกต 1 ชั่วโมง

#### **3.1.2 การทดสอบอัตรากระแส**

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อศึกษาอัตรากระแสแส้นน้มีผลต่อแรงดันและความจุอย่างไร

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

2. เมื่อชาร์จแบตเตอรี่แล้วทำการพัก 1 ชั่วโมง
3. ทำการดิสชาร์จด้วยวิธีกระแสคงที่(CC) จนกระหั่งแรงดันถึง 20%SOC
4. เมื่อดิสชาร์จแบตเตอรี่แล้วทำการพักเพื่อสังเกต 1 ชั่วโมง
5. ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรก

โดยจะทดสอบหั่งหมุดตามขั้นตอนนี้ 2 ครั้งโดยแต่ละครั้งจะเปลี่ยนอัตรากระแสการดิสชาร์จคือ 0.3C และ 0.5C

### 3.1.3 การทดสอบวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Internal Resistance,DCIR) ขั้นตอนการทดสอบคือ

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

จากนั้นสังเกตและบันทึกค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงต่ออัตรากระแสที่เปลี่ยนแปลงจากนั้นนำไว้เคราะห์ดังสมการที่ 3.1

$$DCIR = \frac{V_2 - V_1}{I_1 - I_2} \quad (3.1)$$

## 3.2 อุปกรณ์สำหรับทดสอบแบตเตอรี่

ในการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับโครงงานนี้อุปกรณ์หลักที่จะใช้ในการทดสอบในหัวข้อต่างๆคือเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบของเครื่องนี้ประกอบด้วย

1. 69200-1 Charge/Discharge Controller  
ทำหน้าที่เก็บข้อมูลการทดสอบแบตเตอรี่ทุกๆ 1 วินาที และสามารถควบคุมการทำงานผ่านระบบอีเทอร์เน็ต(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



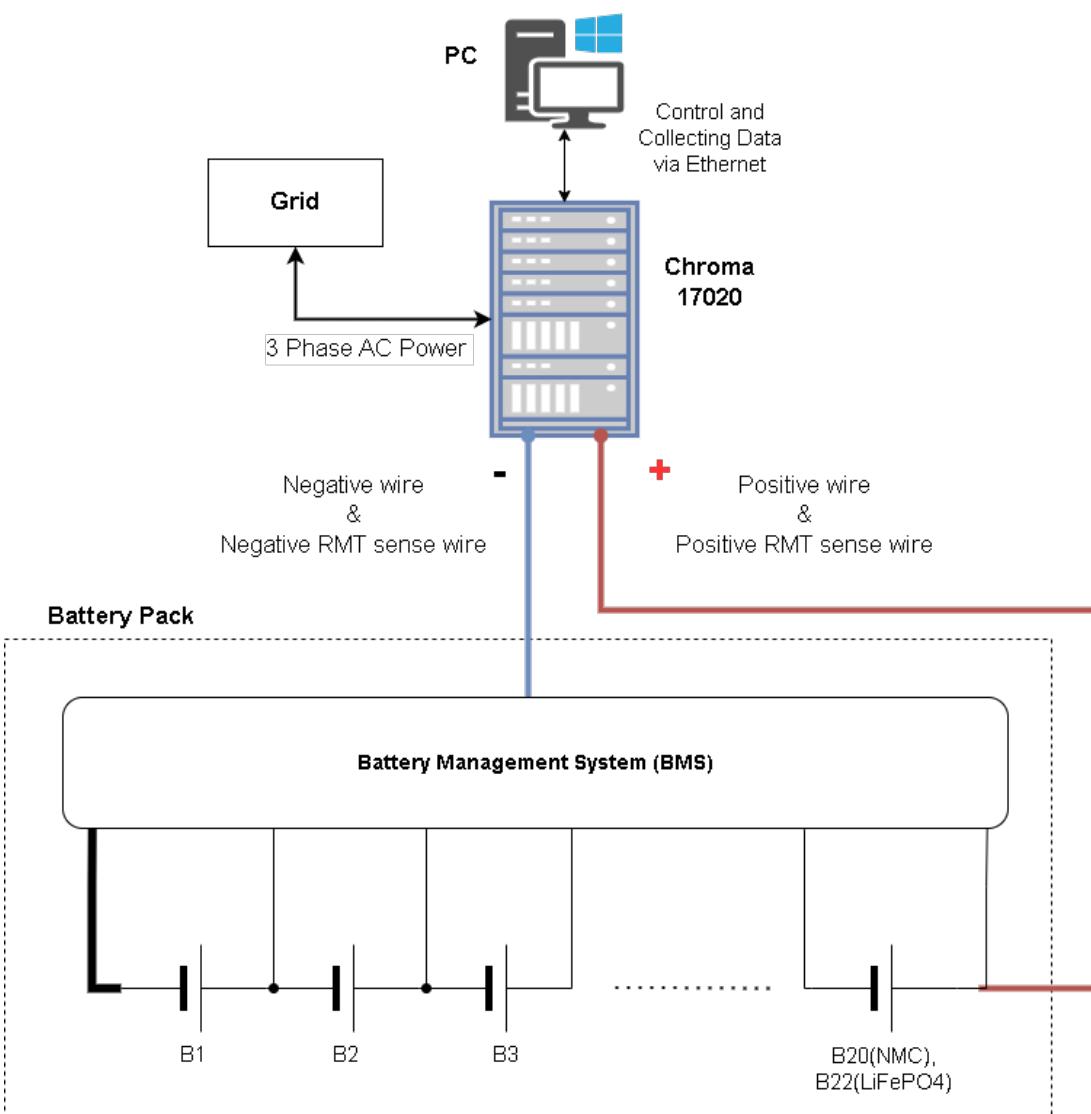
ภาพที่ 3.2 DC/AC Bi-Direction Converter



ภาพที่ 3.3 Regenerative Charge/Discharge Tester



ภาพที่ 3.4 ON/OFF Controller



ภาพที่ 3.5 แผนภาพระบบการทดสอบแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.5 ระบบการทดสอบนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุมการ

ชาร์จและดิสชาร์จ 69200-1 Charge/Discharge Controller โดย เครื่องควบคุมการชาร์จและดิสชาร์จนี้จะควบคุมการชาร์จและดิสชาร์จของเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จ 69225-100-4 Regenerative Charge/Discharge Tester ซึ่งเครื่องทดสอบนี้ จะรับพลังงานไฟฟ้ามาจากเครื่องแปลงผันกำลังไฟฟ้า A691101 DC/AC Bi-Direction Converter เพื่อนำมาทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จแบบเตอร์ซึ่งผลการทดสอบจะถูกบันทึกโดยเครื่องควบคุมการชาร์จ และดิสชาร์จและจะส่งข้อมูลผ่านระบบอีเทอร์เน็ต(Ethernet)ไปยังคอมพิวเตอร์

### 3.2.1 แบตเตอรี่สำหรับทำการทดสอบ

สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ทำการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ทั้งหมด 3 โมดูลด้วยกันคือ

- แบตเตอรี่สำหรับจัดภาระยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah
- แบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah
- แบตเตอรี่ 72V72Ah

โดยแบตเตอรี่สำหรับจัดภาระยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ทำการทดสอบเป็นโมดูลแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมแมงกานีส โคลบล็อกซ์(NMC)พิกัด 72V 30Ah ภายใต้โมดูลมีเซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมด 20 เซลล์ ซึ่งแบตเตอรี่โมดูลนี้ไม่ได้มีการระบุตารางคุณสมบัติที่ชัดเจนจากผู้จำหน่ายมีเฉพาะเพียงตารางคุณสมบัติที่อยู่บนโมดูลแบตเตอรี่เท่านั้น สำหรับแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้าพิกัด 72V 60Ah แบตเตอรี่โมดูลนี้เป็นโมดูลแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมแมงกานีสโคลบล็อกซ์(NMC)ซึ่งแบตเตอรี่โมดูลนี้ไม่ได้มีการระบุตารางคุณสมบัติที่ชัดเจนจากผู้จำหน่ายโดยทราบข้อมูลเพียงพิกัดของแบตเตอรี่เท่านั้นสุดท้าย โมดูลแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมฟอสเฟต(LiFePo4s)พิกัด 72V 72Ah ภายใต้โมดูลประกอบด้วยแบตเตอรี่จำนวน 22 เซลล์โดยตารางคุณสมบัติแสดงดังรูป3.1



ภาพที่ 3.6 แบตเตอรี่สำหรับจัดภาระยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah



ภาพที่ 3.7 แบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah



ภาพที่ 3.8 แบตเตอรี่ 72V72Ah

ตารางที่ 3.1 ตารางคุณสมบัติของแบตเตอรี่ 1 เซลล์ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V72Ah [2]

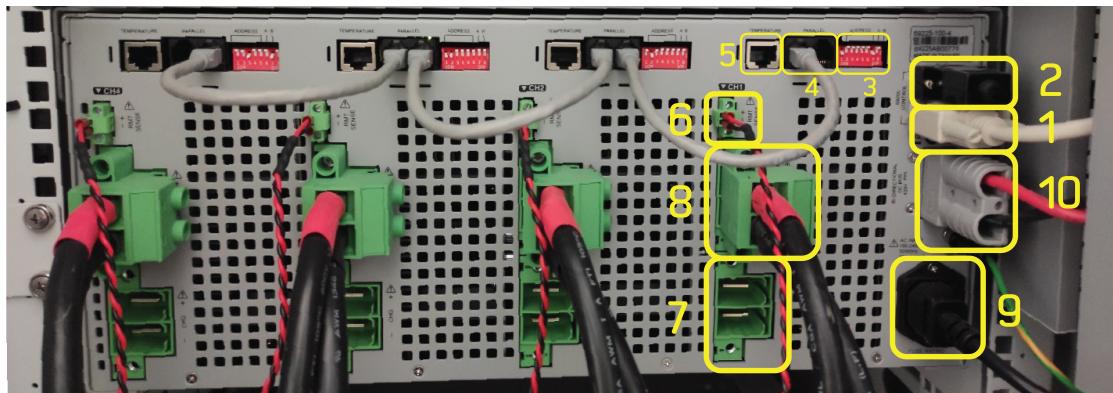
Items	Parameter	Remarks
Nominal Capacity	72Ah	Standard Discharge
Nominal Voltage	3.2V	
Working Voltage	2.5-3.65V	
Absolute Charging Voltage	3.8V	
Internal Resistance(Ac 1 kHz)	$\leq 1m\Omega$	Fresh Cell, 30%SOC
Maximum charging current	1C	
Maximum discharging current	2C	
Charging Time (Standard)	$\sim 4h$	
Charging Time (Fast Charge)	1h	
SOC Window	10%-90%	
Weight	$1.9 \pm 0.1 \text{kg}$	

### 3.3 การใช้งานเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020

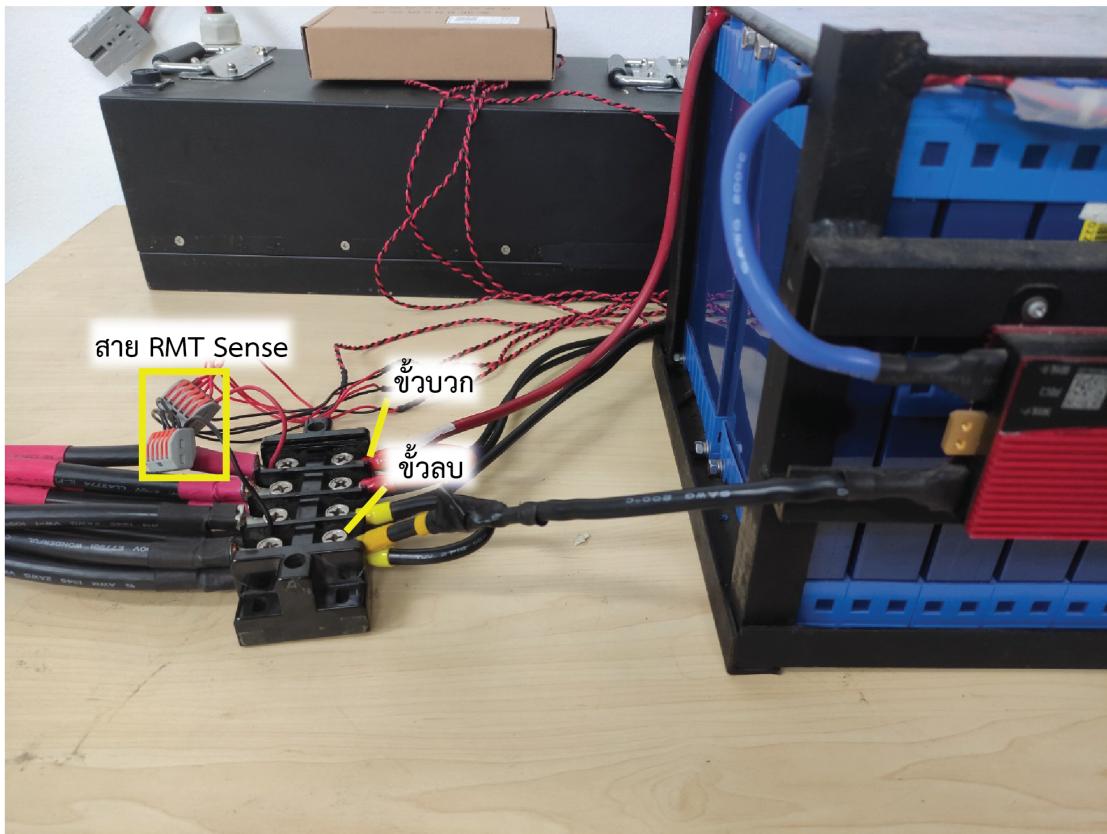
ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงการใช้งานเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ขั้นตอนการใช้งานก่อนการทดสอบ เริ่มการทดสอบ และหลังจากการทดสอบโดยจะอธิบายในส่วนของเครื่องมือ(Hardware) เป็นหลักในส่วนของโปรแกรม(Software)จะถูกอธิบายไว้ในภาคผนวก ข. โดยก่อนทำการทดสอบให้ทำการกำหนดช่องทางสำหรับการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จ(Regenerative Charge/Discharge Tester)จากรูปที่3.9 จะเป็นส่วนด้านหลังของเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จโดยแต่ละส่วนของรูปมีดังนี้

- ช่องรับสัญญาณจากเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จเครื่องอื่นผ่านสายไฟ D-Sub
- ช่องส่งสัญญาณจากเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จนี้ไปยังเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จอื่นผ่านสายไฟ D-Sub
- สวิตซ์ชนิดมาตรฐานอินไลน์คู่(DIP Switch)สำหรับกำหนดช่องทางการทดสอบ
- ช่องทางการเชื่อมต่อสาย LAN กรณีกำหนดช่องทางการทดสอบแบบขนาด
- ช่องทางการเชื่อมต่อสายวัดอุณหภูมิ

6. ช่องทางการเชื่อมต่อสายสัญญาณชดเชยความต้านทานของสายไฟจากช่องทางการทดสอบแบบเตอร์เรล
7. ช่องทางการเชื่อมต่อสายไฟชาร์จและดิสชาร์จเพื่อทดสอบแบบเตอร์เรลที่กำหนดให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบ 2 เอาร์พุตซ่องทางนี้จะใช้สำหรับเชื่อมต่อสายไฟดิสชาร์จ
8. ช่องทางการต่อสายไฟชาร์จเพื่อทดสอบแบบเตอร์เรลที่กำหนดให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบ 2 เอาร์พุต
9. ช่องทางการต่อสายไฟกระแสสลับสำหรับการให้พลังงานเครื่องทดสอบนี้
10. ช่องทางการต่อสายไฟกระแสตรงที่ออกจากเครื่อง A691101 DC/AC Bi-Direction Converter



ภาพที่ 3.9 ด้านหลังของเครื่องทดสอบการชาร์จและดิสชาร์จ



ภาพที่ 3.10 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับเครื่องทดสอบแบบเตอร์ชีรีฟ Chroma 17020

### ตารางที่ 3.2 แนวทางการกำหนดช่องทางการทดสอบ

ตารางการกำหนดช่องทางการทดสอบ			
เลือกช่องทาง	NC(8)	Parallel(7)	Adress(6,5,4,3,2,1)
ช่องทางที่1แบบไม่ขาน	0	0	00001
ช่องทางที่2แบบไม่ขาน	0	0	00010
ช่องทางที่3แบบไม่ขาน	0	0	00011
ช่องทางที่4แบบไม่ขาน	0	0	00100
ช่องทางที่1แบบขาน	0	1	00001
ช่องทางที่2แบบขาน	0	1	00010
ช่องทางที่3แบบขาน	0	1	00011
ช่องทางที่4แบบขาน	0	1	00100

สำหรับส่วนที่ 3 ซึ่งจะเป็นส่วนที่ต้องทำการกำหนดช่องทางการทดสอบโดยใช้ปุ่มอยู่กับการเปิด ปิดของสวิตซ์ชนิดมาตราฐานอินไลน์คู่(DIP Switch) โดยแนวทางการกำหนดช่องทางการทดสอบ

จะเป็นไปดังตารางที่ 3.2 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการกำหนดช่องทางการทดสอบนั้นจะใช้การระบุ เป็นเลข-ฐาน 2 สำหรับกรณีที่เป็นการกำหนดช่องทางแบบบานานจะต้องทำการเขื่อมต่อสาย LAN ระหว่างช่องทางดังรูปที่ 3.9 เมื่อกำหนดช่องทางการทดสอบได้แล้วให้ทำการเขื่อมต่อแบบเตอร์สำหรับการทดสอบ กับช่องทางการทดสอบที่ได้กำหนดไว้ดังรูป 3.10 และเขื่อมต่อสายสัญญาณชุดเซย์ความต้านทานของสายไฟจากช่องทางการทดสอบแบบเตอร์เข้ากับแบบเตอร์โดยสายสีแดงให้เขื่อมต่อกับขัวบวกของแบบเตอร์ส่วนสายสีดำให้เขื่อมต่อกับขัวลบ ของแบบเตอร์ซึ่งในกรณีที่มีการกำหนดช่องทางการทดสอบแบบเตอร์เป็นแบบบานานให้เขื่อมต่อสายชุดเซย์นี้แบบบานานด้วยเช่นกันดังรูปที่ 3.10 จากนั้นให้ทำการดำเนินเครื่องทดสอบโดยตรวจสอบในส่วนของเครื่องควบคุมการจ่ายไฟฟ้า(ON/OFF Controller) ถ้าหากเครื่องควบคุมมีการแสดงผลไฟสถานะสีแดงดังรูป 3.12 นั้นหมายความว่าเครื่องควบคุมยังอยู่ในสถานะหยุดการทำงานฉุกเฉินให้ทำการหมุนสวิตช์สีแดงไปทางขวาเพื่อให้เครื่องควบคุมออกจากสถานะดังกล่าวจากนั้นเครื่องควบคุมจะแสดงเพียงสถานะไฟสีเหลืองดังเดิม จากนั้นให้ทำการกดสวิตช์สีเขียวเพื่อให้เครื่องควบคุมทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าในกับส่วนอื่นๆ ของระบบเมื่อกดสวิตช์แล้วเครื่องควบคุมจะแสดงไฟสถานะสีเขียวดังรูปที่ 3.13 จากนั้นให้ทำการสังเกตไฟสถานะที่ส่วนอื่นๆ ของระบบถ้าหากไม่มีการแสดงไฟสถานะให้ทำการดำเนินเครื่องมืออื่นๆ ในระบบต่อไปโดยการกดสวิตช์ดำเนินเครื่อง

ข้างต้นเป็นขั้นตอนก่อนการเริ่มการทดสอบซึ่งในส่วนของโปรแกรมจะใช้การตั้งค่า UUT Setup ดังรูปที่ 3.15 - 3.16 ทุกส่วนของโปรแกรมการทดสอบในโครงงานนี้ซึ่งสำหรับการตั้งค่าอื่นๆ จะกล่าวในหัวข้อถัดๆ ไป



ภาพที่ 3.11 ไฟแสดงสถานะขณะมีกระแสไฟฟ้าภายในเครื่องทดสอบ



ภาพที่ 3.12 สวิตซ์หยุดฉุกเฉินและไฟแสดงสถานะหยุดฉุกเฉิน



ภาพที่ 3.13 สวิตซ์ดำเนินเครื่องหดสูบและไฟสถานะแสดงความพร้อมการใช้งาน

Group	Parameter	Minimum	Maximum	Default
V(V)	0	500	0	0
I(A)	0	1250	0	0
P(W)	0	90000	0	0
T_1I(sec)	0.1	999	0.1	0.1
I_1A	0	1250	0	0
I_2A	0	1250	0	0
T_1I(sec)	0.1	999	0.1	0.1
T_2I(sec)	0.1	999	0.1	0.1
CV Current Limit(A)	0.001	1250	0.001	0.001
Charge Current(A)	0.001	1250	0.001	0.001
CV Charge Time(sec)	1	3600	1800	
Charge Voltage(V)	0	500	0	0
Discharge Current(A)	0.001	1250	0.001	0.001
Test Unit(V/sec)	0	2	0	0
Test1(V%)	0	500	0	0
Test2(V%)	0	500	1	1
Ratio	1	100	1	1
Chamber Temperature(°C)	-200	200	50	
Chamber Humidity(%RH)	0	100	0	0
Chamber Temperature Slope(°C/min)	0	200	1	
Chamber Humidity Slope(%RH/min)	0	100	1	
DCR Test1(V%)	0	500	0	0
DCR Test2(V%)	0	500	1	
R(Ohm)	0.0005	6000	10	
Sample No.	2	10	2	
ESR(ohm)	0.000165	1	0.01	
Cut Off Current Checking Count(count/10ms)	0	60000	0	
ESR Rest Time(sec)	0.001	360000	0.001	
Vrate(V)	0	500	0	
Discharge Current Rise Time(ms)	10	50	10	
Charge Sampling Time(sec)	0.01	7200	3	
Discharge Sampling Time(sec)	0.01	7200	3	
Test E' Time(sec)	0.01	7200	3	
SOC_Step	1	500	1	
V-Point	1	3	3	
V-meas. Time(min)	1	99	15	
Time(sec)	1	3600000	360000	
Q(Ah)	0	900000	0	
V(V)	0	500	60	
I(A)	0	1250	12	
T(1)(°C)	0	400	100	
T(2)(°C)	0	400	100	
T(3)(°C)	0	400	100	
T(4)(°C)	0	400	100	
T(5)(°C)	0	400	100	
T(6)(°C)	0	400	100	
T(7)(°C)	0	400	100	
T(8)(°C)	0	400	100	
T1(sec)	0.1	999	0.1	
T2(sec)	0.1	999	0.1	
Waveform Voltage Upper(V)	0	500	60	
Waveform Voltage Lower(V)	0	500	60	
Waveform Current Upper(A)	0	1250	12	
Waveform Current Lower(A)	0	1250	12	
Waveform Capacity Upper(Ah)	0	900000	0	
Waveform Capacity Lower(Ah)	0	900000	0	
Repeat Count	1	65535	1	
W(Wh)	0	900000	0	
Waveform Wh Upper(Wh)	0	900000	0	
Waveform Wh Lower(Wh)	0	900000	0	
ΔV(V)	0	1020	60	

ภาพที่ 3.14 การกำหนดขอบเขตตัวแปรต่างๆใน UUT Setup (ก)

Group	Parameter	Minimum	Maximum	Default
Discharge Current Rise Time(ms)	10	50	10	
Charge Sampling Time(sec)	0.01	7200	3	
Discharge Sampling Time(sec)	0.01	7200	3	
Test E' Time(sec)	0.01	7200	3	
SOC_Step	1	500	1	
V-Point	1	3	3	
V-meas. Time(min)	1	99	15	
Time(sec)	1	3600000	360000	
Q(Ah)	0	900000	0	
V(V)	0	500	60	
I(A)	0	1250	12	
T(1)(°C)	0	400	100	
T(2)(°C)	0	400	100	
T(3)(°C)	0	400	100	
T(4)(°C)	0	400	100	
T(5)(°C)	0	400	100	
T(6)(°C)	0	400	100	
T(7)(°C)	0	400	100	
T(8)(°C)	0	400	100	
T1(sec)	0.1	999	0.1	
T2(sec)	0.1	999	0.1	
Waveform Voltage Upper(V)	0	500	60	
Waveform Voltage Lower(V)	0	500	60	
Waveform Current Upper(A)	0	1250	12	
Waveform Current Lower(A)	0	1250	12	
Waveform Capacity Upper(Ah)	0	900000	0	
Waveform Capacity Lower(Ah)	0	900000	0	
Repeat Count	1	65535	1	
W(Wh)	0	900000	0	
Waveform Wh Upper(Wh)	0	900000	0	
Waveform Wh Lower(Wh)	0	900000	0	
ΔV(V)	0	1020	60	

ภาพที่ 3.15 การกำหนดขอบเขตตัวแปรต่างๆใน UUT Setup (ข)

Chrome 17020 - [Untitled - UUT Setup(69200-1)]

File(F) View(V) Tools(T) Languages(L) Functions(F) Window(W) Help(H)

Recipe Parameter BMS

Group	Parameter	Minimum	Maximum	Default
	Waveform Capacity Lower(Ah)	0	900000	0
	Repeat Count	1	65535	1
	W(Wh)	0	900000	0
	Waveform Wh Upper(Wh)	0	900000	0
	Waveform Wh Lower(Wh)	0	900000	0
	$\Delta V(V)$	0	1020	60
	$\Delta I(A)$	0	750	12
	$\Delta V(V)$ Sampling Time(Sec)	0.01	10	0.01
	$\Delta I(A)$ Sampling Time(Sec)	0.01	10	0.01
	Power Upper(W)	0	90000	0
	Power Lower(W)	0	90000	0
	SOC(%)	0	100	80
	Total Cap Upper(Ah)	0	900000	0
	Total Cap Lower(Wh)	-900000	0	0
	Charge Cap Upper(Ah)	0	900000	0
	Discharge Cap Lower(Wh)	0	900000	0
	$\Delta V$ Drop(V)	0	1020	60
Protection	OVP(V)	0	550	66
	UVVP(V)	0	550	0
	OCP(A)	0	1250	12
	ODCP(Ah)	0	900000	100
	OTP(°C)	0	400	60
	ODVP(V)	0.001	500	60
	UDVP(V)	0.001	500	60
	ODCP(A)	0.001	1250	12
	UDCP(A)	0.001	1250	12
	CC to CV Transition Time(sec)	1	360000	360000
Sampling	Sampling Time(sec)	0.01	7200	3
	$\Delta V(V)$	0	6	0
	$\Delta I(A)$	0	240	0
	$\Delta Q(Ah)$	0	800	0
	$\Delta Wh(Wh)$	0	1000	0

Import Parameters...

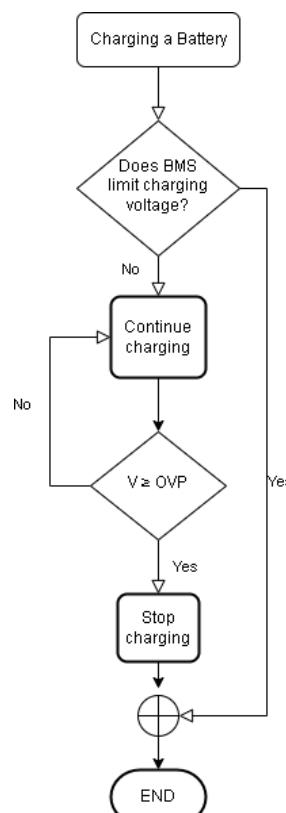
Ready

ภาพที่ 3.16 การกำหนดขอบเขตตัวแปรต่างๆ ใน UUT Setup (ค)

### 3.3.1 การใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020

#### ในการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่

สำหรับหัวข้อการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่โดยใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ใน การทดสอบตัวแปรต่างๆ จะถูกตั้งค่าให้เหมาะสมสำหรับการทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 โดยให้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ทำการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยอัตรากระแสคงที่ 1/3C ซึ่งเครื่องทดสอบแบตเตอรี่นั้นจะสามารถกำหนดเงื่อนไขเพื่อยุดทำการทดสอบได้จากขั้นตอนการทดสอบแบตเตอรี่จากมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่และทรัพย์สินอื่นๆ ในมหาวิทยาลัยได้ดังนั้นการทดสอบจะไม่ดำเนินไปขั้นตอนบางอย่างจากมาตรฐานโดยจะกำหนดเงื่อนไขการทดสอบให้ การทดสอบมีความปลอดภัยมากที่สุดโดยยังคงทดสอบการชาร์จด้วยอัตรากระแสคงที่ 1/3C แต่สำหรับขอบเขตแรงดันที่จะทำให้หยุดการทดสอบนั้นจะกำหนดที่ 86V สำหรับแบตเตอรี่พิกัด 72V 30Ah และแบตเตอรี่พิกัด 72V 60Ah และสุดท้าย 81V สำหรับแบตเตอรี่พิกัด 72V 72Ah โดยค่าตัวแปรต่างๆ จะกำหนดค่าดังตารางที่ 3.3-3.5



ภาพที่ 3.17 แผนผังสรุปขั้นตอนการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่

### ตารางที่ 3.3 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	OVP(V) = 86 UVP(V) = 62 OCP(A) = 11
2	CC Charge		10		Time(sec) >= 11880	Next	
3	REST				Time(sec) >= 1800	END	

### ตารางที่ 3.4 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	OVP(V) = 86 UVP(V) = 62 OCP(A) = 21
2	CC Charge		20		Time(sec) >= 11880	Next	
3	REST				Time(sec) >= 1800	END	

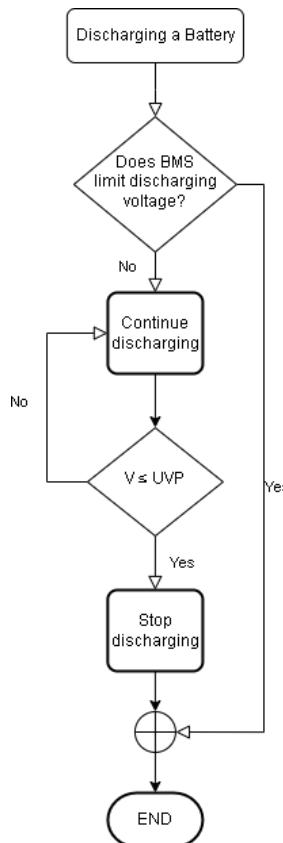
### ตารางที่ 3.5 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	OVP(V) = 81 UVP(V) = 62 OCP(A) = 23
2	CC Charge		21.6		Time(sec) >= 11880	Next	
3	REST				Time(sec) >= 1800	END	

### 3.3.2 การใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020

#### ในการทดสอบการป้องกันการดีสชาร์จเกินของแบตเตอรี่

เพื่อเดิยวกับหัวข้อที่ผ่านมาสำหรับหัวข้อการทดสอบการป้องกันการดีสชาร์จเกินของแบตเตอรี่โดยใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบตัวแปรต่างๆ จะถูกตั้งค่าให้เหมาะสมสำหรับ การทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE Regulation 136 โดยให้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ทำการดีสชาร์จแบตเตอรี่ด้วยอัตรากระแสคงที่ 1/3C แต่สำหรับแบตเตอรี่ 72V 72Ah จะใช้อัตรากระแส 0.5C ซึ่งเครื่องทดสอบแบตเตอรี่นั้นจะสามารถกำหนดเงื่อนไขเพื่อยุดทำการทดสอบได้ เช่นกันโดยการทดสอบนี้จะไม่ทำการเงื่อนไขขั้นตอนบางอย่างจากมาตรฐานโดยจะกำหนดเงื่อนไขการทดสอบให้ การทดสอบมีความปลอดภัยมากที่สุดโดยยังคงทดสอบการดีสชาร์จด้วยอัตรากระแสคงที่ 1/3C (0.5C สำหรับแบตเตอรี่ 72V 72Ah) แต่สำหรับขอบเขตแรงดันที่จะทำให้หยุดการทดสอบนั้นจะกำหนดที่ 56V สำหรับแบตเตอรี่พิกัด 72V 30Ah และแบตเตอรี่พิกัด 72V 60Ah และสุดท้าย 57V สำหรับแบตเตอรี่พิกัด 72V 72Ah โดยค่าตัวแปรต่างๆ จะกำหนดค่าดังตารางที่ 3.6-3.8



ภาพที่ 3.18 แผนผังสรุปขั้นตอนการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.6 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	OVP(V) = 86 UVP(V) = 53 OCP(A) = 11
2	CC Discharge		10		Time(sec) >= 11880 V(V) < 56	Next Next	
3	REST				Time(sec) >= 1800	END	

ตารางที่ 3.7 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	OVP(V) = 86 UVP(V) = 53 OCP(A) = 21
2	CC Discharge		20		Time(sec) >= 11880 V(V) < 56	Next Next	
3	REST				Time(sec) >= 1800	END	

ตารางที่ 3.8 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	OVP(V) = 81 UVP(V) = 53 OCP(A) = 37
2	CC Discharge	36			Time(sec) >= 11880 V(V) <56	Next Next	
3	REST				Time(sec) >= 1800	END	

### 3.3.3 การใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma Model 17020 ในการทดสอบอื่นๆ

สำหรับการทดสอบการวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะทดสอบเฉพาะแบตเตอรี่พิกัด 72V 72Ah โดยจะดิสชาร์จด้วยกระแสคงที่ 0.2C เป็นระยะเวลา 10 วินาทีจากนั้นจะดิสชาร์จด้วยกระแสคงที่ 1C เป็นระยะเวลา 1 วินาทีโดยการกำหนดตัวแปรต่างๆ จะเป็นไปดังรูปที่ 3.9 และสำหรับการทดสอบระยะเวลาการพักและทดสอบอัตรากระแสจลุ่งจากการทดสอบก่อนหน้านี้จากการตั้งค่าดังตารางที่ 3.8 และทดสอบโดยเปรียบเทียบการทดสอบโดยการตั้งค่าดังตารางที่ 3.10 เพื่อทดสอบอัตรากระแสที่มีผลต่อกำลังจุลทรรศน์ท้ายสำหรับการทดสอบระยะเวลาในการพัก จะตั้งค่าดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.9 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ 72V72Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 10	Next	OVP(V) = 86 UVP(V) = 53
2	DCIR				Time(sec) >= 21	Next	
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	

ตารางที่ 3.10 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบการดิสชาร์จที่ 0.3C สำหรับแบตเตอรี่ 72V72Ah

Step No.	Step Information	V(V)	I(A)	P(W)	Cut-Off Condition	Jump Information	Protection
1	REST				Time(sec) >= 60	Next	OVP(V) = 81 UVP(V) = 53 OCP(A) = 37
2	CC Discharge	21.6			Time(sec) >= 11880 V(V) <56	Next Next	
3	REST				Time(sec) >= 1800	END	

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบแบตเตอรี่ตามมาตรฐานและผลการทดสอบอื่นๆ

ในบทนี้จะแสดงถึงผลการทดสอบแบตเตอรี่ตามมาตรฐาน UN ECE R136 ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินและในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกิน สำหรับการทดสอบอื่นๆคือ การทดสอบอัตรากระแสที่มีผลต่อความจุของแบตเตอรี่ การทดสอบการวัดความต้านทานภายใน และสุดท้ายการทดสอบระยะเวลาการพักของแบตเตอรี่ซึ่งการทดสอบทั้งหมดนี้จะถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma model 17020 ดังรูปที่ก.4

#### 4.1 การทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE R136

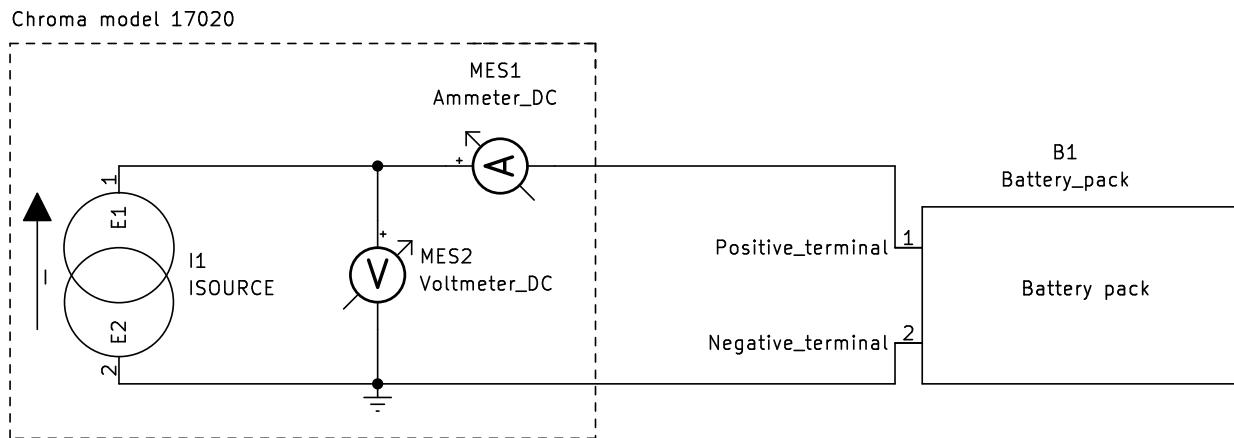
ในหัวข้อการทดสอบนี้จะทดสอบแบตเตอรี่ด้วยกันทั้งสิ้น 3 โมดูลคือ

- แบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V 30Ah ดังรูปที่3.6
- แบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V 60Ah ดังรูปที่3.7
- แบตเตอรี่ 72V 72Ah ดังรูปที่3.8 ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่3.1

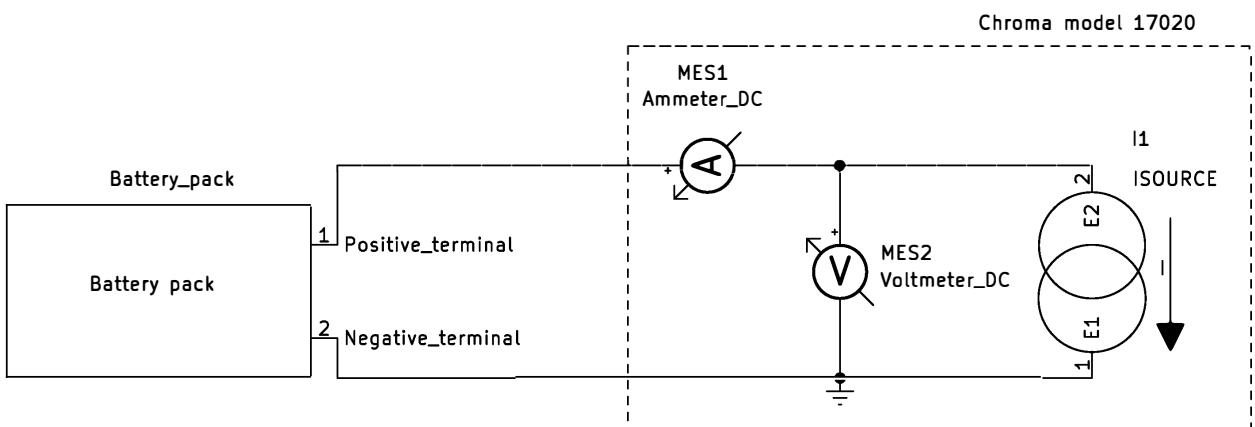
และทดสอบด้วยกันทั้ง 2 หัวข้อจาก 10 หัวข้อจากมาตรฐาน UN ECE R136 คือ

- การทดสอบการป้องกันการชาร์จเกิน โดยการทดสอบนี้จะดำเนินขั้นตอนการทดสอบตามบทที่3 หัวข้อที่3.3.1
- การทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกิน โดยการทดสอบนี้จะดำเนินขั้นตอนการทดสอบตามบทที่3 หัวข้อที่3.3.2

สำหรับวงจรการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินจะเป็นดังรูปที่4.1 และวงจรการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินจะเป็นดังรูปที่4.2 ซึ่งจากขั้นตอนการทดสอบจะต้องชาร์จหรือดิสชาร์จด้วยอัตรากระแสที่คงที่และวัดค่ากระแสและแรงดันตลอดการทดสอบซึ่งการชาร์จหรือดิสชาร์จ การวัดค่ากระแสและแรงดัน และการบันทึกค่า้นทั้งหมด จะทำได้ด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma model 17020



ภาพที่ 4.1 รูปวงจรการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกิน



ภาพที่ 4.2 รูปวงจรการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกิน

## 4.2 การทดสอบอื่นๆ

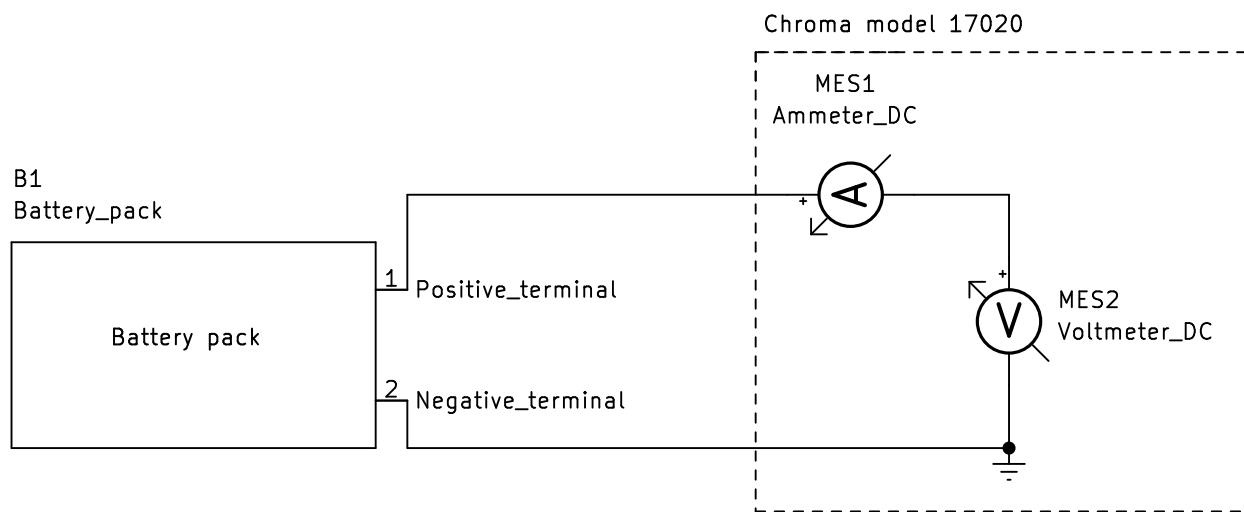
ในหัวข้อการทดสอบนี้จะทดสอบแบบเตอรีด้วยกันทั้งสิ้น 3 โมดูลคือ

- แบตเตอรีสำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V 30Ah ดังรูปที่ 3.6
- แบตเตอรีสำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V 60Ah ดังรูปที่ 3.7
- แบตเตอรี 72V 72Ah ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3.1

และทดสอบด้วยกันทั้งหมด 3 หัวซึ่งโดยการทดสอบนี้จะดำเนินตามขั้นตอนการทดสอบในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3.3 คือ

- การทดสอบอัตรากระแสที่มีผลต่อความจุของแบตเตอรี่
- การทดสอบระยะเวลาการพักของแบตเตอรี่
- การทดสอบการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

สำหรับวิธีการทดสอบอัตรากระแสที่มีผลต่อความจุของแบตเตอรี่และวัดความต้านทานภายในจะใช้วงจรดังรูปที่ 4.2 และสำหรับวิธีการทดสอบการวัดความต้านทานภายในจะใช้วงจรดังรูปที่ 4.3

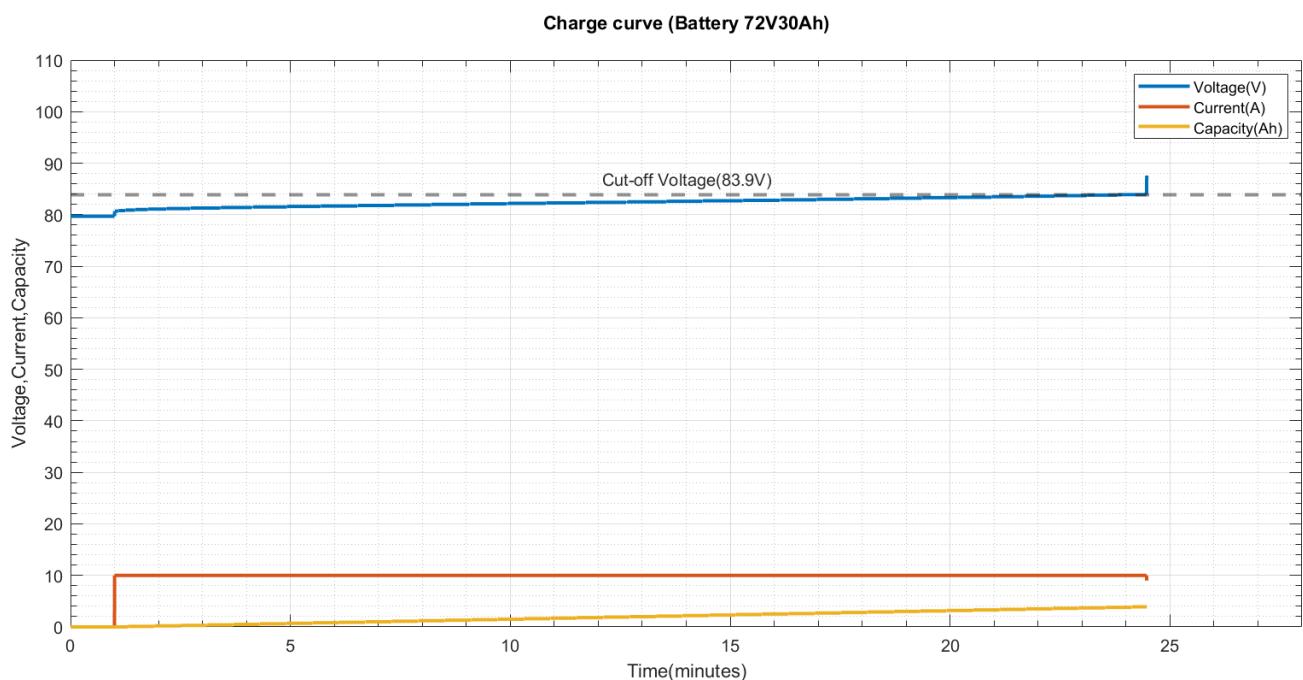


ภาพที่ 4.3 รูปวงจรการทดสอบระยะเวลาพักของแบตเตอรี่

ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดจะมีดังนี้

#### 4.2.1 ผลการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกิน

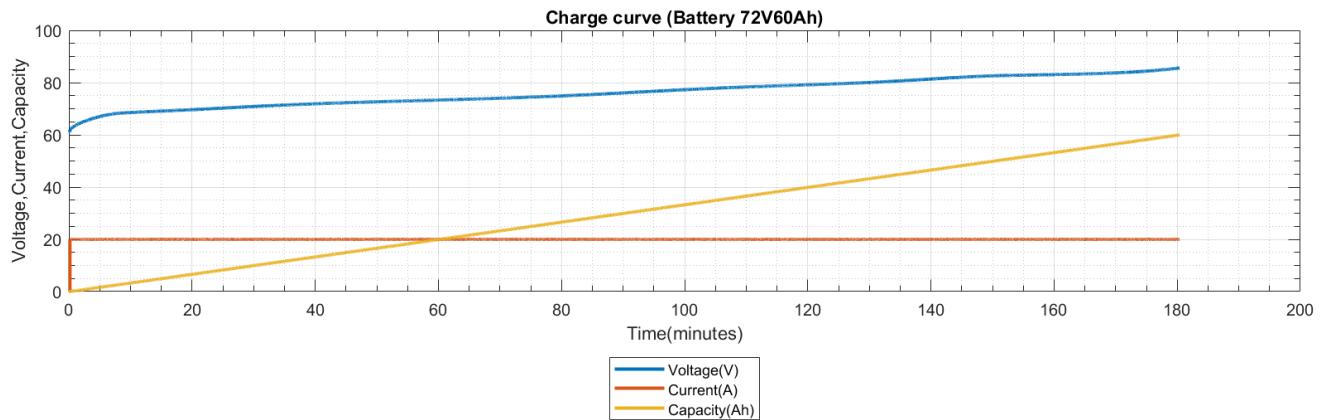
สำหรับการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V 30Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.4 ภาพการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วเหลือของอิเล็กโตรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด โดยการทดสอบการชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของโมดูลแบตเตอรี่นี้เองโดยขัดจังหวะเมื่อแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่อยู่ที่ 83.9V ซึ่งจากการตั้งค่าการป้องกันการชาร์จเกินของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V30Ah ซึ่งเป็นไปดังรูปที่ก.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่นั้นได้ขัดจังหวะการชาร์จมีความใกล้เคียงกับที่ได้ตั้งค่าไว้มากที่ 4.2V ต่อเซลล์โดยแบตเตอรี่โมดูลนี้มี 20 เซลล์)หรือก็คือ 84V สำหรับแบตเตอรี่โมดูลนี้ โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.1V หรือคิดเป็น 0.119% ของแรงดันที่ได้ตั้งค่าไว้หลังจากที่หยุดการชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าโมดูลแบตเตอรี่นี้หลังจากการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินตามมาตรฐาน UN ECE R136 พบว่าผ่านการทดสอบโดยที่แบตเตอรี่ยังสามารถใช้งานได้อย่างปกติ

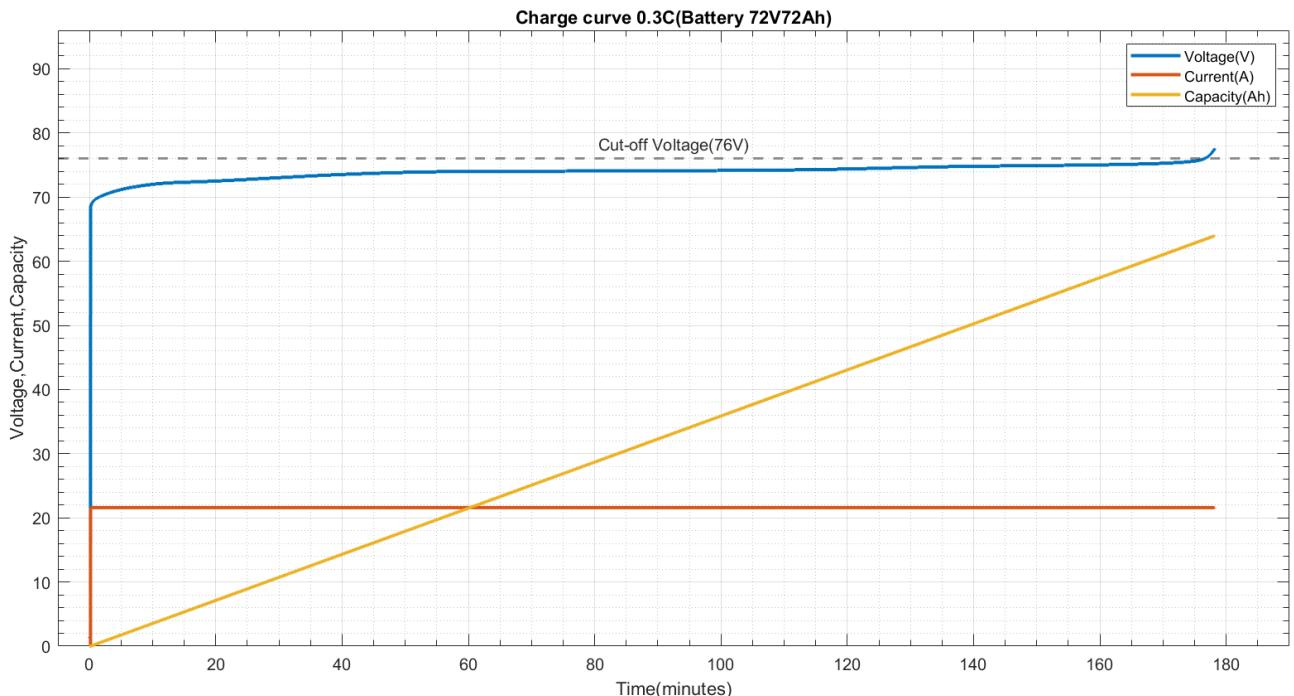
ผลจากการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V 60Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.5 กราฟการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้าระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด แต่การทดสอบนั้นถูกขัดจังหวะโดยผู้ทดสอบโดยขัดจังหวะที่แรงดันของโมดูลแบตเตอรี่อยู่ที่ 85.6V เนื่องจากหากดำเนินการทดสอบต่อไปอาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์การทดสอบได้ซึ่ง หลังจากที่หยุดการชาร์จผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้ซึ่งหลังจากที่ได้ทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินโมดูลแบตเตอรี่นี้ ตามมาตรฐาน UN ECE R136 จากการที่การทดสอบนี้มีปัญหาเนื่องจากไนโตรบารบูมูลคุณสมบัติของแบตเตอรี่อย่างครบถ้วนจึงทำให้ไม่สามารถทราบถึงขีดจำกัดของโมดูลแบตเตอรี่นี้ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าโมดูลแบตเตอรี่นี้ ผ่านการทดสอบหรือไม่

ผลจากการทดสอบแบตเตอรี่ 72V 72Ah มีดังนี้



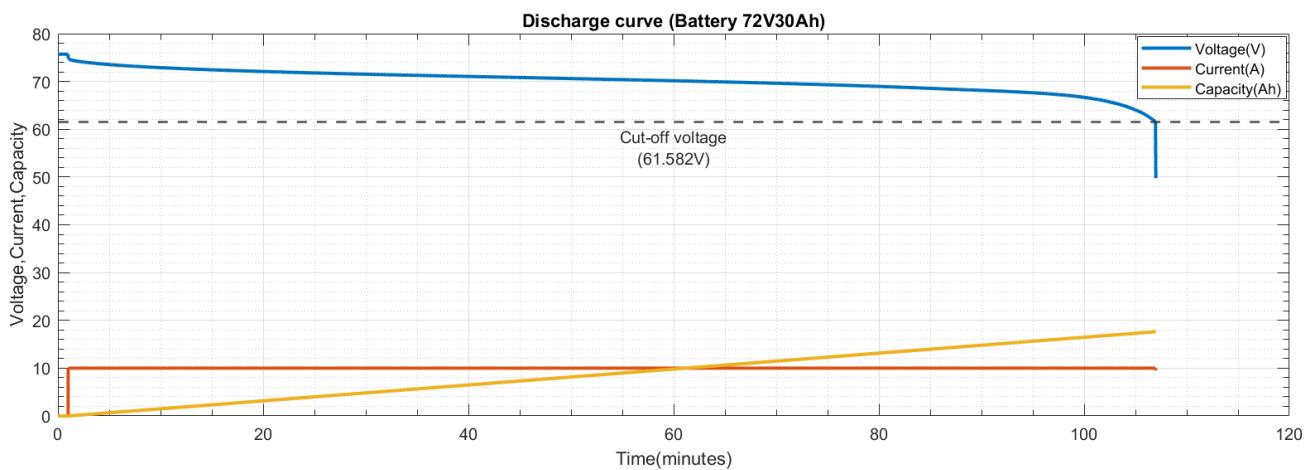
ภาพที่ 4.6 กราฟการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้าระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด โดยการทดสอบการชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของโมดูลแบตเตอรี่นี้เองโดยขัดจังหวะเมื่อแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่อยู่ที่ 77.6V หลังจากที่หยุดการชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้ หลังจากที่ได้ทดสอบแบตเตอรี่โมดูลนี้ตามมาตรฐาน UN ECE R136 ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการชาร์จเกินพบว่าโมดูลแบตเตอรี่นี้ผ่านการทดสอบโดยการที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่ ของแบตเตอรี่โมดูลนี้ทำการขัดจังหวะการชาร์จโดยจากตารางคุณสมบัติของระบบการจัดการแบตเตอรี่นี้ดังรูปที่ก.6 จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่นี้ จะทำการขัดจังหวะการชาร์จจะอยู่ที่  $3.55 \pm 0.05V$  ต่อเซลล์(โดยแบตเตอรี่โมดูลนี้มี 22 เซลล์)หรือคือ  $78.1 \pm 1.1V$  สำหรับโมดูลแบตเตอรี่นี้ ซึ่งจากการทดสอบแล้วจะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่โมดูลนี้ถูกขัดจังหวะการชาร์จที่ 77.6V ซึ่งจะสังเกตได้ว่าระบบการจัดการแบตเตอรี่ทำงานได้อย่างปกติโดยหลังจากการทดสอบนี้พบว่าแบตเตอรี่โมดูลนี้ผ่านการ

ทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE R136 ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการชำรุดเกินซึ่งไม่ดูแลแบตเตอรี่ นี้ยังสามารถใช้งานได้อย่างปกติ

#### 4.2.2 ผลการทดสอบการป้องกันการดีสชาร์จเกิน

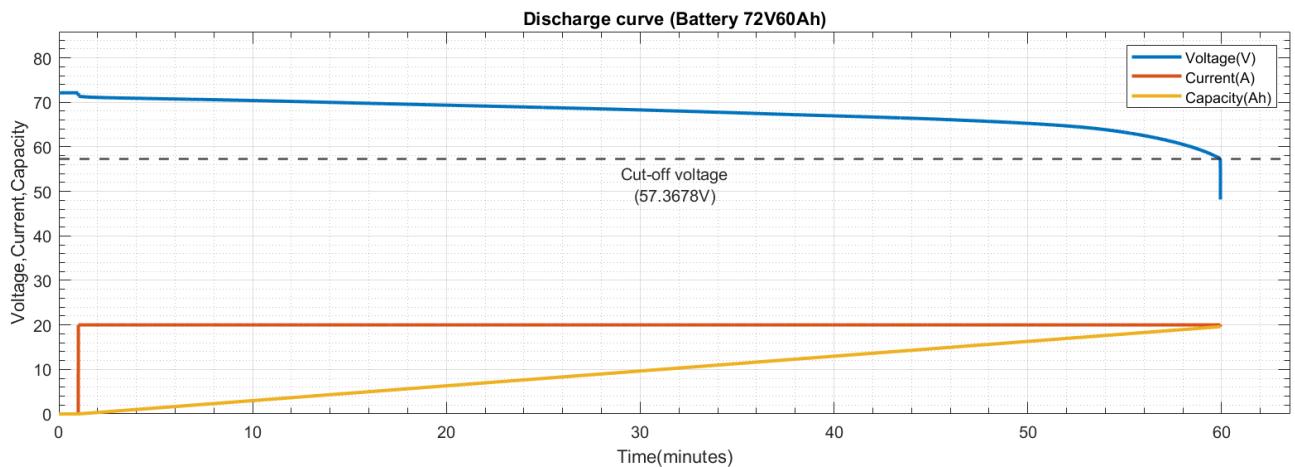
สำหรับการทดสอบการป้องกันการดีสชาร์จเกินของแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V 30Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.7 กราฟการทดสอบการป้องกันการดีสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V30Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้าในระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่มีกิจกรรมระเบิด โดยการทดสอบการดีสชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของไม่ดูแลแบตเตอรี่นี้เองโดยขัดจังหวะ เมื่อแรงดันของไม่ดูแลแบตเตอรี่อยู่ที่ 61.582V หลังจากที่หยุดการดีสชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้ ซึ่งแบตเตอรี่ไม่ดูแลนี้ถูกขัดจังหวะการดีสชาร์จโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งจากการตั้งค่ารูปที่ 5 ซึ่งระบบการจัดการแบตเตอรี่นี้ควรจะขัดจังหวะการดีสชาร์จที่ 2.9V ต่อเซลล์โดยแบตเตอรี่ไม่ดูแลนี้มี 20 เซลล์) หรือคือที่ 58V สำหรับไม่ดูแลนี้โดยแรงดันที่ขัดจังหวะการดีสชาร์จที่พบรากการทดสอบอยู่ที่ 61.582V ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าดูดเคลื่อนไป 3.582V หรือคิดเป็น 6.18% ของแรงดันที่ได้ตั้งค่าไว้และหลังจากการทดสอบแบตเตอรี่ไม่ดูแลนี้ตามมาตรฐาน UN ECE R136 ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการดีสชาร์จเกินแล้วพบว่า ผ่านการทดสอบโดยที่ไม่ดูแลแบตเตอรี่นี้ยังสามารถใช้งานได้อย่างปกติ

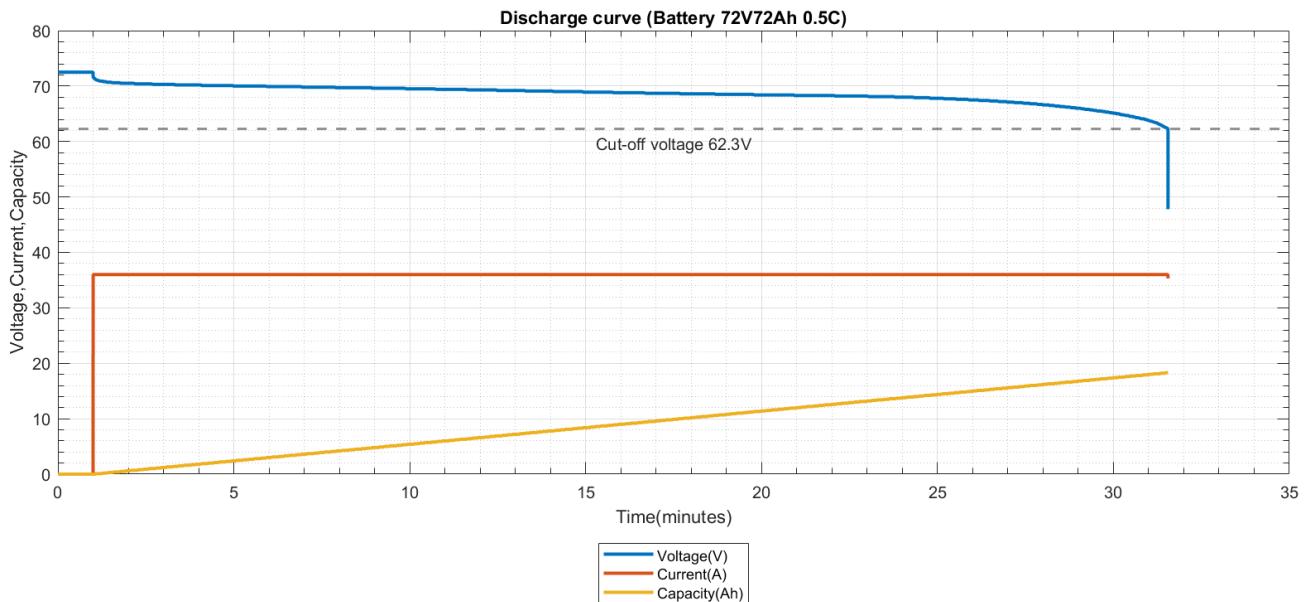
ผลจากการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้า 72V 60Ah มีดังนี้



ภาพที่ 4.8 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V60Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้าระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด โดยการทดสอบการดิสชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของโมดูลแบตเตอรี่นี้เองโดยขัดจังหวะเมื่อแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่อยู่ที่ 57.3678V หลังจากที่หยุดการชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้ซึ่งโมดูลแบตเตอรี่นี้ไม่ทราบข้อมูลคุณสมบัติอย่างชัดเจนทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าความถูกต้องของแรงดันที่ระบบการจัดการแบตเตอรี่ต้องขัดจังหวะการดิสชาร์จซึ่งโดยหลังจากการทดสอบโมดูลแบตเตอรี่นี้ตามมาตรฐาน UN ECE R136 ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกิน พบว่าโมดูลแบตเตอรี่นี้ผ่านการทดสอบโดยที่โมดูลแบตเตอรี่นี้ยังสามารถใช้งานได้อย่างปกติ

ผลจากการทดสอบแบตเตอรี่ 72V 72Ah มีดังนี้



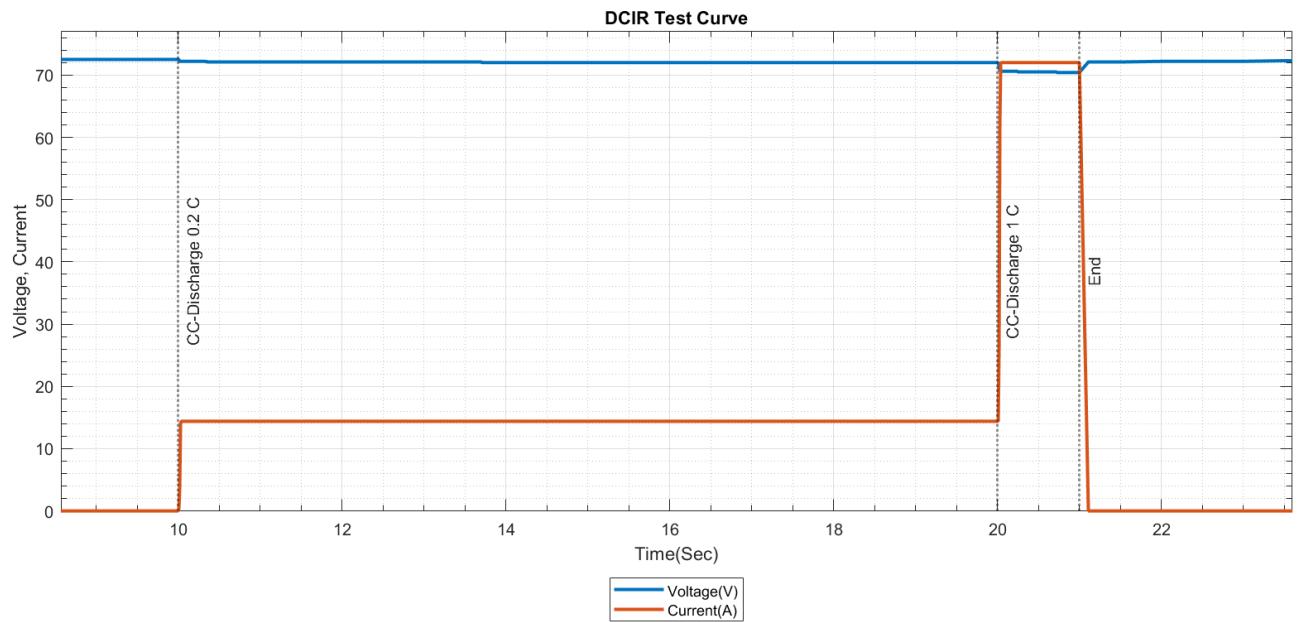
ภาพที่ 4.9 กราฟการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินของแบตเตอรี่ 72V72Ah

จากการทดสอบพบว่าแบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้าระหว่างการทดสอบไม่มีการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ ไม่มีการแตกหักหรือฉีกขาด ไม่เกิดเพลิงไหม้ และไม่เกิดการระเบิด โดยการทดสอบการดิสชาร์จนี้ถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ของโมดูลแบตเตอรี่นี้เองโดยขัดจังหวะเมื่อแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่อยู่ที่ 62.3V หลังจากที่หยุดการชาร์จจากนั้นผู้ทดสอบได้ทำการสังเกตแบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงพบว่าแบตเตอรี่ยังคงสภาพปกติและยังคงสามารถใช้งานได้ซึ่งระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลนี้จะต้องขัดจังหวะการดิสชาร์จที่  $2.3 \pm 0.05V$  ต่อเซลล์(โดยแบตเตอรี่โมดูลนี้มี 22 เซลล์)หรือคือ  $50.6 \pm 1.1V$  สำหรับโมดูลแบตเตอรี่นี้ตามตารางคุณสมบัติดังรูปที่ก.6 จะเห็นได้ว่าค่าดีไซน์คือ  $11.7 \pm 1.1V$  ซึ่งถือว่าค่าดีไซน์อยู่ในประมาณมากซึ่งส่งผลให้ช่วงความจุการใช้งานของโมดูลแบตเตอรี่นี้ลดลงแต่สำหรับการทดสอบตามมาตรฐาน UN ECE R136 ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จเกินจะสังเกตุได้ว่าโมดูลแบตเตอรี่นี้ผ่านการทดสอบโดยที่ยังสามารถใช้งานได้อย่างปกติ

### 4.3 ผลการทดสอบอื่นๆ

#### 4.3.1 ผลการทดสอบการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

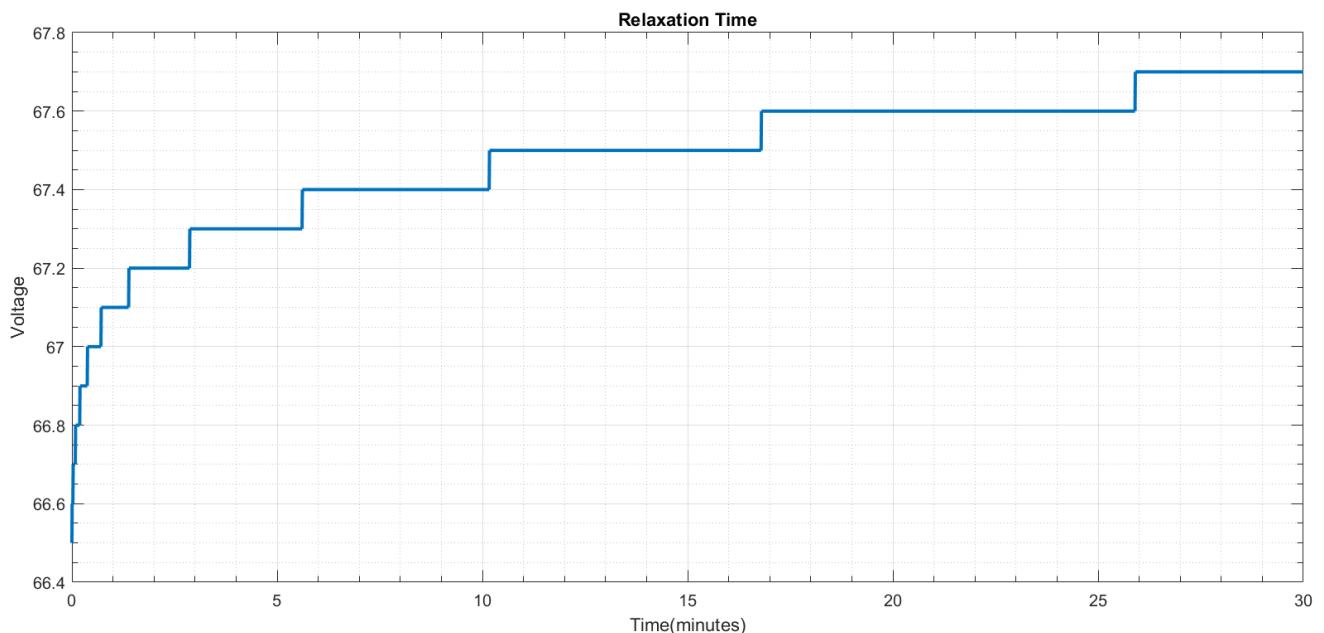
จากรูป 4.10 ซึ่งเป็นกราฟการทดสอบการวัดความต้านทานภายในของไมดูล แบตเตอรี่ 72V72Ah ซึ่งทดสอบบนมิ่งคูลแบตเตอรี่รีเมร์เรดตันขณะสภาวะไม่มีโหลดที่ 72V และเริ่มทดสอบด้วยการติดิสชาร์จที่อัตรากระแส 0.2C เป็นระยะเวลา 10 วินาทีและจากนั้นจึงติดิสชาร์จด้วยอัตรากระแส 1C เป็นระยะเวลา 1 วินาทีโดยผลการทดสอบนี้ทำให้ได้ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มิ่งคูลน้อยที่  $26.8m\Omega$



ภาพที่ 4.10 กราฟการทดสอบการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ 72V72Ah

#### 4.3.2 ผลการทดสอบระยะเวลาในการพักของแบตเตอรี่

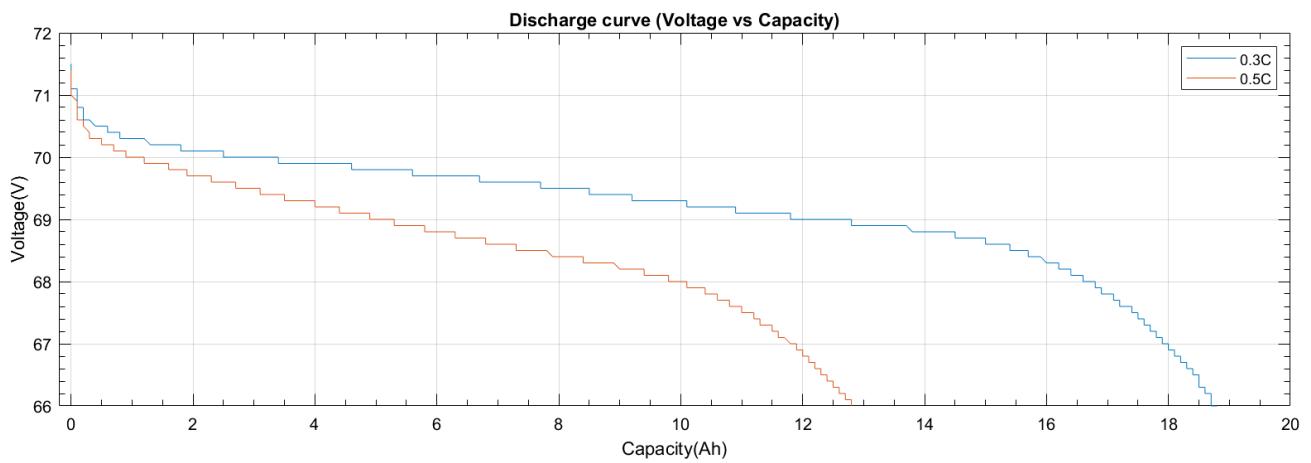
จากรูป 4.11 การทดสอบนี้หลังจากการดิสชาร์จที่กระแส 0.5C โดยหลังจากการดิสชาร์จแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่อยู่ที่ 66.5V และเมื่อทำการวัดแรงดันของโมดูลแบตเตอรี่พบว่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นทีละน้อยเมื่อระยะเวลาผ่านไปโดยประมาณ 30 นาทีแรงดันจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งแนวโน้มผลการทดสอบนี้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับงานวิจัย [12]



ภาพที่ 4.11 กราฟการทดสอบระยะเวลาพักแบตเตอรี่ 72V72Ah

### 4.3.3 ผลการทดสอบอัตรากระแส放電

จากรูป 4.12 การทดสอบอัตรากระแส放電ที่ได้จากการทดสอบดิสชาร์จแบบเตอรี่ 72V72Ah ด้วยอัตรากระแส放電 0.3C เทียบกับอัตรากระแส放電 0.5C ซึ่งจะเห็นได้ว่าและความจาก การที่ดิสชาร์จ ด้วย อัตรากระแส放電ที่มากกว่าทำให้แรงดันน้ำลดลงรวดเร็วมากกว่าการดิสชาร์จด้วยอัตรากระแส放電ที่น้อยกว่า เช่นเดียวกับความจุที่ลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกันซึ่งขณะที่ทดสอบแบบเตอรี่มีแรงดันอยู่ที่ 72V



ภาพที่ 4.12 กราฟการทดสอบอัตรากระแส放電ดิสชาร์จ 72V72Ah

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบแบตเตอรี่

จากการทดสอบแบตเตอรี่ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการชำรุดเสื่อมสภาพตามมาตรฐาน UN ECE R136 จะเห็นได้ว่า สำหรับแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah โดยที่ไม่เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่โมดูลนี้ เนื่องจากแบตเตอรี่โมดูลนี้มีระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS)ที่ทำหน้าที่ป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้มีการชำรุดเสื่อมสภาพแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่ และขัดจังหวะการชำรุดระหว่างการทดสอบ จึงทำให้ผ่านการทดสอบด้วยดี สำหรับแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah จากการทดสอบการป้องกันการชำรุดเสื่อมสภาพนี้ เนื่องจากไม่ได้ทำการทดสอบที่ถูกต้องซึ่งเกิดจากการที่ทำการชำรุดโดยไม่ได้ชาร์จ ตามที่ผู้ผลิตกำหนดโดยใช้ช่องทางการชำรุดเดียว กับช่องทางการดิสชาร์จซึ่งทางผู้ผลิตได้กำหนดให้ทำการชำรุดตรงช่องทางการชำรุดเช่นเดียวกับการดิสชาร์จผู้ผลิตกำหนดให้ดิสชาร์จตรงช่องทางการดิสชาร์จโดยผลการทดลองพบว่า ข้อมูล ไม่เพียงพอ ต่อการสรุปว่า ผ่านการทดสอบหรือไม่ เนื่องจากเหตุผลข้างต้น สำหรับแบตเตอรี่ 72V72Ah หลังจากการทดสอบการป้องกันการชำรุดเสื่อมสภาพ พบว่า ผ่านการทดสอบ เช่นเดียวกับแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยที่มีระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS) ขัดจังหวะการทดสอบเพื่อป้องกันแรงดันของแบตเตอรี่เกินกว่าที่กำหนด และการทำงานของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V30Ah พบว่า ทำการขัดจังหวะการชำรุดที่แรงดัน ตามที่ได้ตั้งค่าไว้โดยที่ขัดจังหวะที่แรงดัน 83.9V ซึ่งจากการที่ได้ตั้งค่าไว้ควรจะขัดจังหวะที่ 84V และสำหรับระบบการจัดการแบตเตอรี่สำหรับโมดูลแบตเตอรี่ 72V72Ah พบว่า ทำการขัดจังหวะการชำรุดที่แรงดัน 77.6V ซึ่งจากตารางคุณสมบัติของระบบการจัดการแบตเตอรี่นี้ ควรจะขัดจังหวะการชำรุดที่  $78.1 \pm 1.1V$

และจากการทดสอบแบตเตอรี่ในหัวข้อการทดสอบการป้องกันการดิสชาร์จ เกินจากมาตรฐาน UN ECE R136 จะเห็นได้ว่า สำหรับแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah โดยที่ไม่เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่โมดูลนี้ เนื่องจากแบตเตอรี่โมดูลนี้ มีระบบการจัดการแบตเตอรี่(BMS) ป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่แรงดันต่ำเกินกว่าที่กำหนดซึ่ง การทดสอบถูกขัดจังหวะโดยระบบการจัดการแบตเตอรี่สำหรับ แบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah เช่นเดียวกับแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่โมดูลนี้ ผ่านการทดสอบโดยมีระบบการจัดการแบตเตอรี่ขัดจังหวะ การทดสอบทำให้ผ่านการทดสอบโดยไม่เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่ เช่นกัน โดยการขัดจังหวะการดิสชาร์จของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V30Ah พบว่า ขัดจังหวะการดิสชาร์จที่

61.582V ซึ่งจากการตั้งค่าคระจะดังข้อที่ 58V จากการขัดจังหวะของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V60Ah ขัดจังหวะการดิสชาร์จที่แรงดัน 57.3678V โดยจากการที่ไม่ทราบคุณสมบัติของโมดูลแบตเตอรี่และระบบการจัดการแบตเตอรี่นี้อย่างละเอียดและขัดเจนจึงไม่สามารถทำการสรุปได้และจากการขัดจังหวะของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V72Ah พบร่วมขัดจังหวะการดิสชาร์จที่ 62.3V ซึ่งจากตารางคุณสมบัติแล้วคระจะดังจังหวะการดิสชาร์จที่  $50.6 \pm 1.1V$  โดยจะเห็นได้ว่าทั้งระบบการจัดการแบตเตอรี่ของโมดูลแบตเตอรี่ 72V30Ah และ 72V72Ah ทำการขัดจังหวะการดิสชาร์จก่อนถึงแรงดันที่คระจะดังหวะไวซึ่งอาจจะส่งผลให้ช่วงแรงดันหรือช่วงความจุที่ใช้โมดูลแบตเตอรีนั้นลดลงไปกว่าที่ควร

จากการทดสอบการวัดความต้านทานภายในในการทดสอบสามารถทดสอบจะทดสอบเฉพาะโมดูลแบตเตอรี่ 72V72Ah เนื่องจากทราบคุณสมบัติขัดเจนทำให้มีความปลอดภัยต่อการทดสอบซึ่งจากการทดสอบพบว่าขณะที่แบตเตอรี่ แรงดันขณะดิสชาร์จที่อัตรากระแส  $0.2C$  โมดูลแบตเตอรี่นี้มีแรงดัน 72V และขณะที่ดิสชาร์จที่อัตรากระแส  $1C$  แรงดันลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งอยู่ที่ 70.4V จากข้อมูลนี้จึงทำให้ได้ค่าความต้านทานภายในอยู่ที่  $26.8m\Omega$  ทั้งนี้ความต้านทานภายในเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดัน ณ ขณะที่ทดสอบซึ่งการทดสอบนี้ทดสอบที่แรงดันหนึ่งเท่านั้นนั่นก็คือ 72V

จากการทดสอบเพื่อหาระยะเวลาพักแบตเตอรี่ที่แบตเตอรีนั้นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันเริ่มที่จะหยุดเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการพักมาแล้วเป็นระยะเวลาประมาณ 30 นาทีซึ่งสรุปได้ว่าระยะเวลานี้เป็นระยะเวลาพักที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการทดสอบอย่างอื่นต่อไปเพื่อความแม่นยำในการทดสอบต่างๆ และสุดท้ายจากการทดสอบอัตรากระแสเมื่อผลต่ออัตรากระแสนี้ จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตรากระแสเปลี่ยนแปลงไปทำให้แรงดันต่อช่วงความจุนั้นเปลี่ยนแปลงซึ่งถ้าหากใช้อัตรากระแสที่มากจะทำให้แรงดันมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วกว่าการใช้อัตรากระแสที่น้อยกว่า

## 5.2 แนวทางการแก้ปัญหา

เนื่องจากโมดูลแบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้านั้นไม่ทราบคุณสมบัติโดยละเอียดซึ่งทราบเพียงพิกัดและชนิดของแบตเตอรี่เพียงเท่านั้นและการที่ซ่องทางการชาร์จของโมดูลแบตเตอรี่นี้มีระบบการจัดการหรือระบบป้องกันที่ทางผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ซึ่งสามารถใช้ได้เฉพาะเครื่องขาร์จที่ผู้ผลิตได้กำหนดเอาไว้ซึ่งทางคณะผู้จัดทำไม่ทราบถึงการทำงานของระบบป้องกันหรือระบบการจัดการดังกล่าวทำให้ไม่สามารถทดสอบการชาร์จได้อย่างถูกต้องได้ เช่นเดียวกับโมดูลแบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah ซึ่งไม่ทราบคุณลักษณะโดยละเอียดทำให้มีข้อจำกัดในการทดสอบโดยแนวทางการแก้ปัญหาทั้งสองนี้มีแนวทางการแก้ปัญหาดัง

- ติดต่อสอบถามบริษัทผู้ผลิตหรือจำหน่ายสินค้าเพื่อขอรายละเอียดและคุณลักษณะโมดูลแบตเตอรี่เพิ่มเติม

- ศึกษาเครื่อง查์จไม่ดูแลแบบเตอร์สำหรับสามล้อไฟฟ้าและระบบป้องกันหรือระบบการจัดการของแบตเตอร์ไม่ดูแลนี้เพิ่มเติม

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอุปกรณ์ในการทดสอบนั้นไม่มีความพร้อมต่อการทดสอบมากเท่าที่ควรดังนั้น ก่อนเริ่มการทดสอบควรศึกษาขั้นตอนการทดสอบอย่างละเอียดและตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ และเครื่องมืออื่นๆ ที่ใช้สำหรับการทดสอบ ก่อนเริ่มทำการทดสอบ และควรกำหนดแผนการทดสอบ ก่อนการทดสอบอย่างชัดเจนทั้งนี้เพื่อความประหยัดเวลาและอาจจะลดขั้นตอนการทำงานบางอย่างที่ไม่จำเป็นได้

## บรรณานุกรม

- [1] Y. Miao, P. Hynan, A. Von Jouanne, and A. Yokochi, “Current li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements,” *Energies*, vol. 12, no. 6, p. 1074, 2019.
- [2] W. Tanjaroen and U. Supatti, “A local battery pack for a low speed electric vehicle,” in *2021 24th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, 2021, pp. 689–693.
- [3] J. F. Mitchell, “The “greenhouse” effect and climate change,” *Reviews of Geophysics*, vol. 27, no. 1, pp. 115–139, 1989.
- [4] P. Cazzola, M. Gorner, R. Schuitmaker, and E. Maroney, “Global ev outlook 2016,” *International Energy Agency, France*, 2016.
- [5] S. Ding, H. Zhang, Z. Tao, and R. Li, “Integrating data decomposition and machine learning methods: An empirical proposition and analysis for renewable energy generation forecasting,” *Expert Systems with Applications*, vol. 204, p. 117635, 2022.
- [6] L. Wang, Y. Sun, X. Wang, Z. Wang, and X. Zhao, “Reliability modeling method for lithium-ion battery packs considering the dependency of cell degradations based on a regression model and copulas,” *Materials*, vol. 12, no. 7, p. 1054, 2019.
- [7] V. Ruiz, A. Pfrang, A. Kriston, N. Omar, P. Van den Bossche, and L. Boon-Brett, “A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1427–1452, 2018.
- [8] “Lithium-ion batteries.” [Online]. Available: <https://industrial.panasonic.com/ww/products/pt/lithium-ion>
- [9] “How does a lithium-ion battery work?” [Online]. Available: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/how-does-a-lithium-ion-battery-work>

- [10] W. Kopsiriphat, “รู้จักแบตเตอรี่ตอนที่ 4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.” [Online]. Available: [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/293\\_65.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/293_65.pdf)
- [11] J. Jiang and C. Zhang, *Fundamentals and applications of lithium-ion batteries in electric drive vehicles.* Wiley, 2015.
- [12] M. Thingvad, L. Calearo, A. Thingvad, R. Viskinde, and M. Marinelli, “Characterization of nmc lithium-ion battery degradation for improved online state estimation,” in *2020 55th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2020, pp. 1–6.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
รูปอุปกรณ์เครื่องมือวัดและทดสอบ



ภาพที่ ก.1 แบตเตอรี่สำหรับจักรยานยนต์ไฟฟ้า 72V30Ah



ภาพที่ ก.2 แบตเตอรี่สำหรับสามล้อไฟฟ้า 72V60Ah



ภาพที่ ก.3 แบตเตอรี่ 72V72Ah



ภาพที่ ก.4 เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ Chroma model 17020

Item	Spec	Li-ion	LiFePO4	LTO	unit
1	Single undervoltage protection	2.9	2.6	1.8	V
2	Single-unit undervoltage protection recovery	3.2	3.0	2.0	V
3	Single overcharge voltage	4.2	3.6	2.7	V
4	individual battery cell overcharge protection recovery	4.1	3.4	2.4	V
5	Trigger equalizing pressure difference	0.01	0.01	0.01	V
6	Automatic shutdown voltage	2.8	2.5	1.7	V
7	Charge overcurrent protection delay	30	30	30	seconds
8	Charge overcurrent protection release time	60	60	60	seconds
9	Discharge overcurrent protection delay	30	30	30	seconds
10	Discharge overcurrent protection release time	60	60	60	seconds
11	Short circuit protection release time	60	60	60	seconds
12	Charging over temperature protection temperature	60	60	60	°C
13	Charging over temperature recovery temperature	55	55	55	°C
14	Discharge over temperature protection temperature	60	60	60	°C
15	Discharge over temperature recovery temperature	55	55	55	°C
16	Charging low temperature protection temperature	-20	-20	-20	°C
17	Charging low temperature recovery temperature	-10	-10	-10	°C
18	MOS over temperature protection temperature	75	75	75	°C
19	MOS over temperature protection recovery temperature	70	70	70	°C

ภาพที่ ก.5 ตารางการตั้งค่าตัวแปรของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของ  
ไมดูลแบตเตอรี่ 72V30Ah

<b>Over charge protection</b>	<b>Balance voltage</b>
Detect voltage : Li-ion: 4.25±0.05V LifePo4: 3.75±0.05V	Detect voltage: Li-ion: 3.8V LifePo4: 3.2V
Protection delay: 1S	Release voltage: Li-ion: 3.8V LifePo4: 3.2V
Release voltage: Li-ion: 4.15±0.05V LifePo4: 3.55±0.05V	Balance current: 30±5mA
<b>Over discharge protection</b>	<b>Over Discharge current protection</b>
Detect voltage : Li-ion: 2.7±0.05V LifePo4: 2.2±0.05V	Protection delay: 1S
Protection delay: 1S	Protection release condition:Off load
Release voltage: Li-ion: 2.8±0.05V LifePo4: 2.3±0.05V	
<b>Short circuit protection</b>	<b>Self Consumption</b>
Protection conditon:Short circuit of external load	Working current: 35mA
Detect delay: 200~500uS (Subject to actual test)	Sleeping current( over-discharge): 800uA
Release condition: Off load	
<b>Working Temp</b> Charge: -40~65°C Discharge: -40~70°C (Customizable)	
<b>Working Temp</b> Temp range: -20~60°C	<b>Storing Temp</b> Temp range: -40~85°C

ภาพที่ ก.6 ตารางการตั้งค่าตัวแปรของระบบการจัดการแบตเตอรี่ของ  
ไมดูลแบตเตอรี่ 72V72Ah

ภาคผนวก ข  
คู่มือการใช้งานโปรแกรม CHROMA 17020

เมื่อเปิดโปรแกรม Chroma 17020 จะพบกับหน้าเข้าสู่ระบบดังรูปที่ข.1



ภาพที่ ข.1 หน้าเข้าสู่ระบบ

โดยรหัสผ่านค่าเริ่มต้นจากโรงงานคือ User:root, Password:root เมื่อเข้าสู่ระบบได้แล้วจะพบกับหน้าต่างดังรูปที่ข.2



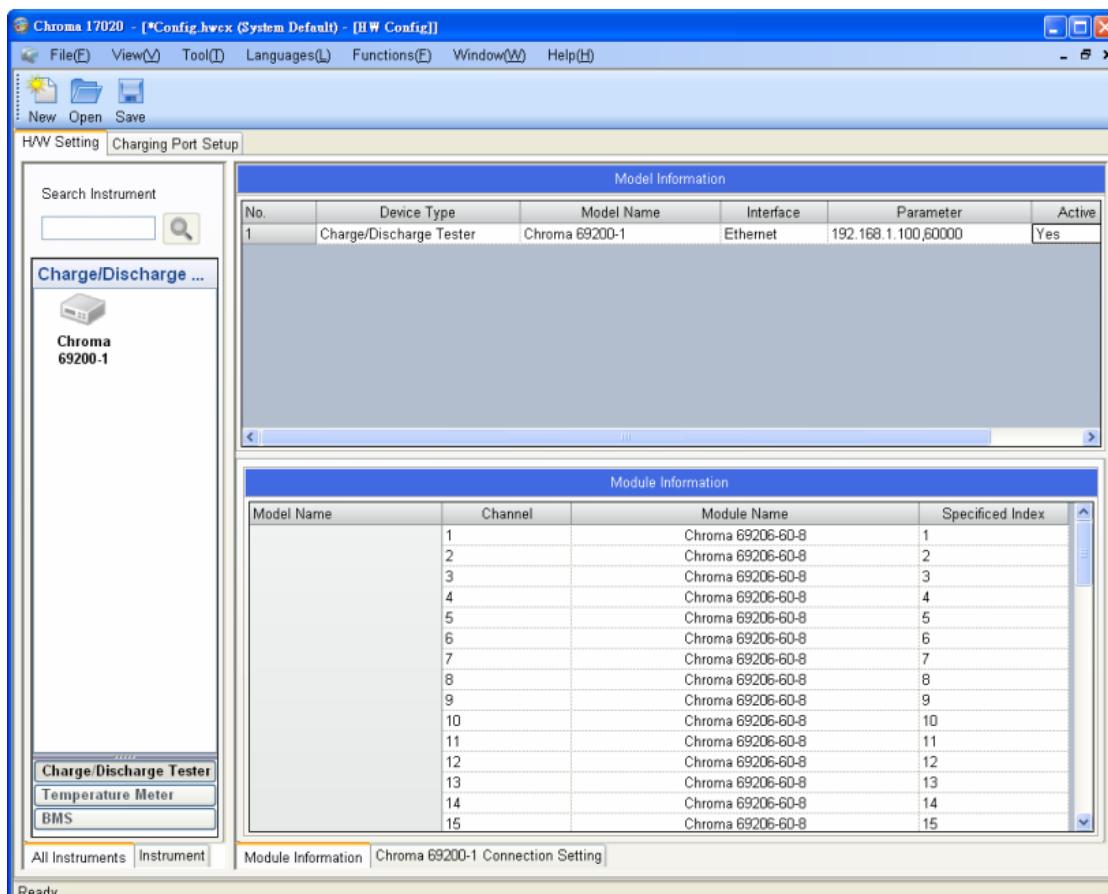
ภาพที่ ข.2 หน้าหลัก

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

- รายการเครื่องมือวัดที่สามารถใช้งานระบบได้
- รายการเครื่องมือวัดที่เข้มต่อและการเข้มต่อ
- การเลือกใช้งานเครื่องมือวัดต่อจำนวนอุปกรณ์ที่จะทำการวัด

สำหรับการใช้งานเบื้องต้นถ้าหากต้องการสร้างการตั้งค่าขึ้นใหม่ให้กด file/new ตรงแถบเมนูด้านบน ขวาของหน้าต่างนี้จากนั้นให้กด file/Auto Detect เพื่อให้ระบบค้นหาเครื่องมือวัดที่เข้มต้อยู่ใน

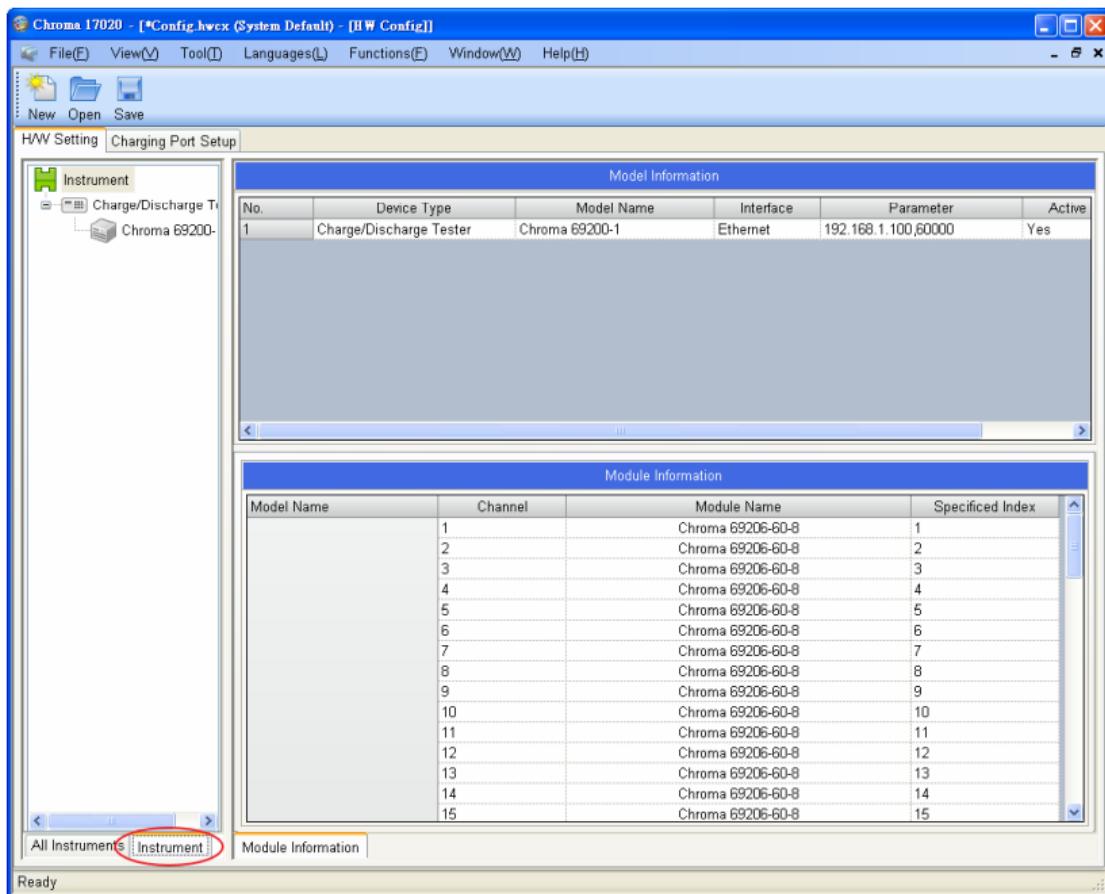
ระบบและตั้งค่าเครื่องมือวัดเบื้องต้นให้เองอัตโนมัติซึ่งถ้าหากตั้งค่าแล้วต้องทำการบันทึกข้อมูลทุกครั้ง และถ้าหากต้องการใช้การตั้งค่านี้ให้กด file/Set As System Default ในกรณีที่มีการบันทึกการตั้งค่าแล้วต้องการเรียกคืนจากการตั้งค่านั้นให้กด file/open และเลือกดูการตั้งค่าตามที่ได้ตั้งขึ้นไว้

#### **ข.1.1 ตั้งค่าข้อมูลเครื่องมือวัด(Setting Device Information)**

จากรูปที่ข.4 จะเป็นหน้าต่าง H/W Setting window ในหน้าจะสามารถตั้งค่าข้อมูลเครื่องมือวัดที่เขื่อมต่อเข้าสู่ระบบได้ เช่น การเชื่อมต่อ(communication interface)และหมายเลขที่อยู่ IP ของเครื่องมือวัด(IP Adress)

#### **การเพิ่มเครื่องมือวัดเข้าสู่ระบบ**

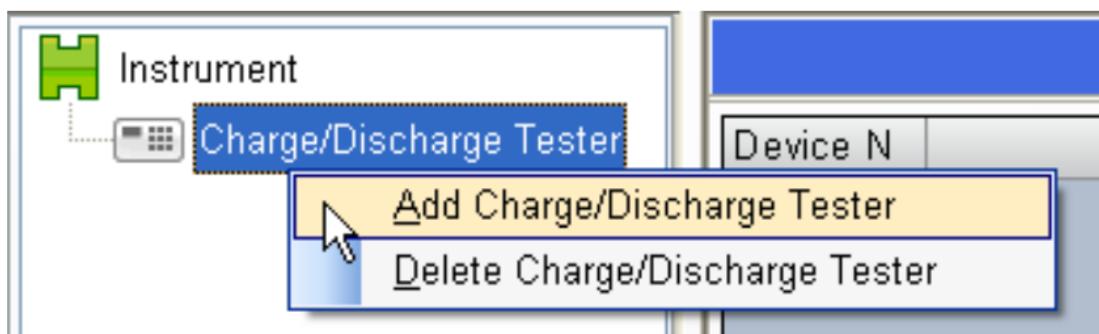
การเพิ่มเครื่องมือวัดเข้าสู่ระบบให้จากรูปที่ข.4 คลิกสองครั้งที่รูปเครื่องมือวัดหรือลากลงไปในหน้า All instuments หรือให้เข้าไปที่หน้า Instument คลิกขวาที่จุดรวมเครื่องมือและเลือก Add Device ดังรูปที่ข.5 จากนั้นให้คลิกขวาที่รูปเครื่องมือวัดแล้วเลือกเครื่องมือวัดที่ต้องการตั้งรูปที่ข.6 ซึ่งในตัวอย่างนี้จะเป็นการเลือกเครื่อง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



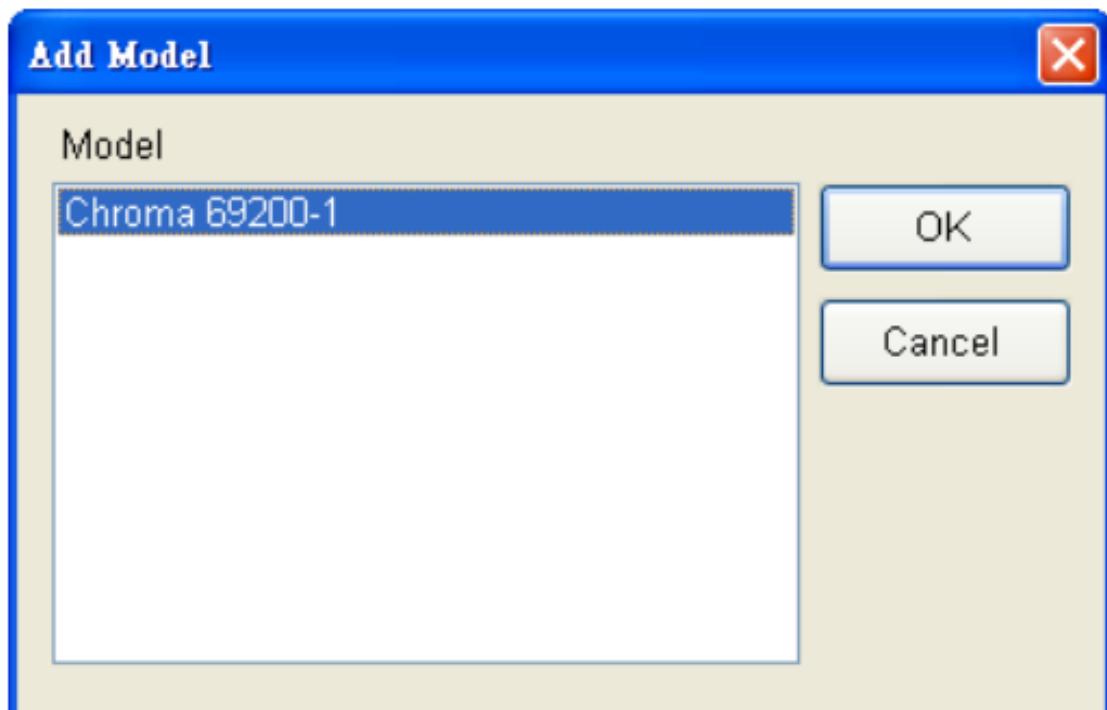
ภาพที่ ข.4 หน้า Instument



ภาพที่ ข.5 การเพิ่มเครื่องมือวัด



ภาพที่ ข.6 การเพิ่ม Charge/Discharge Tester



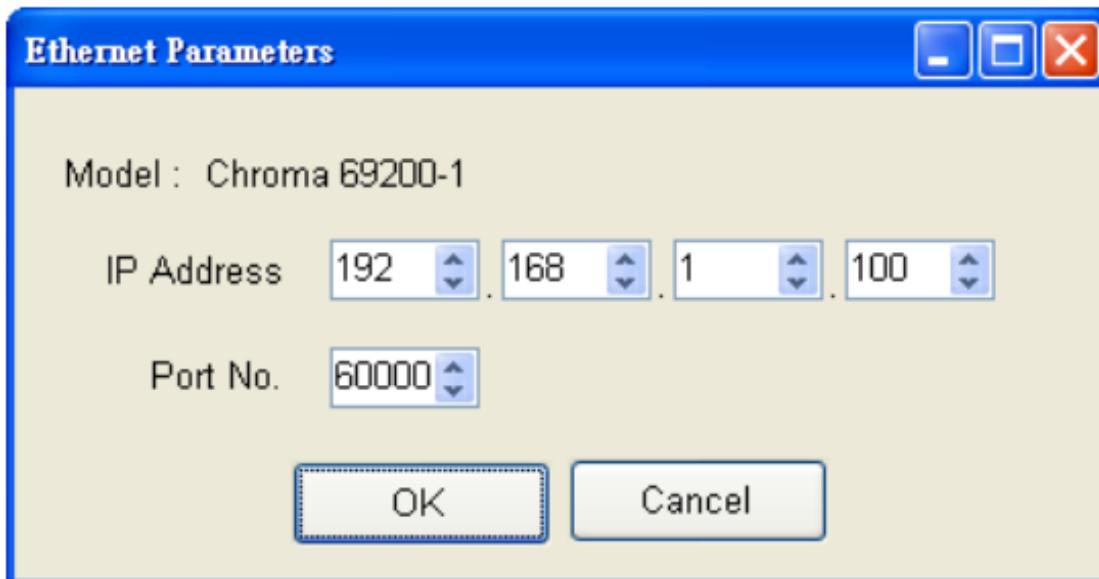
ภาพที่ ข.7 เลือกรุ่นของเครื่องมือวัด

#### 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

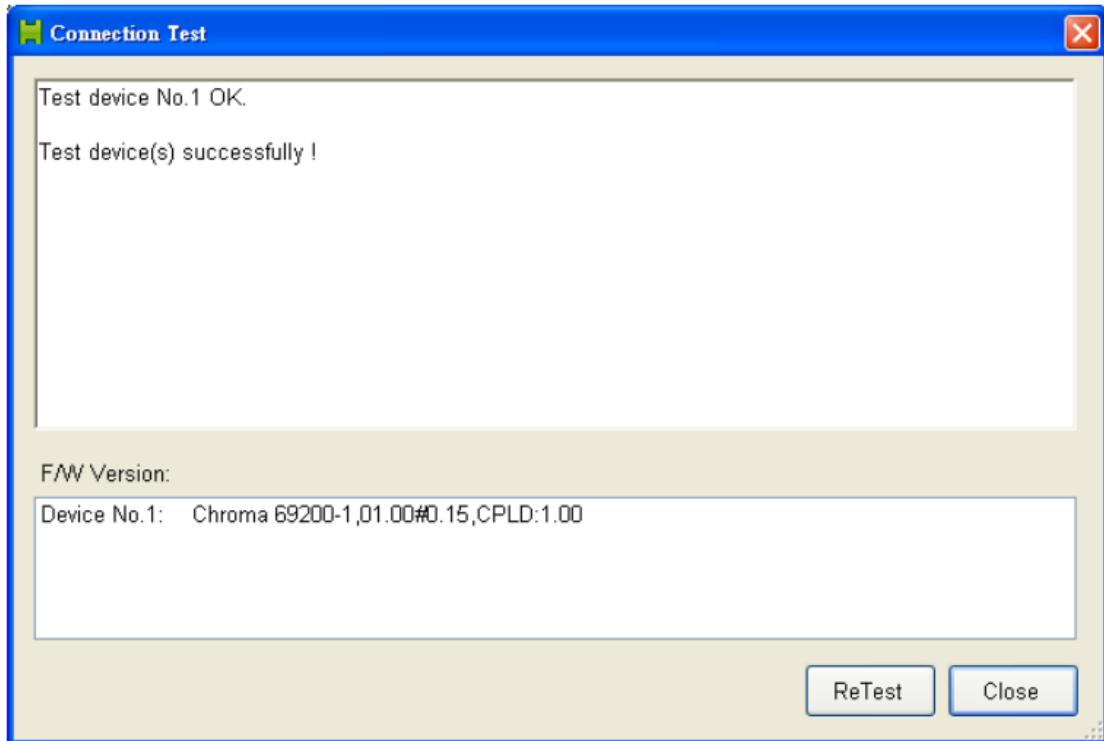
ภาพที่ ข.8 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด



ภาพที่ ข.9 หน้าต่างการตั้งค่าหมายเลขที่อยู่ไอพี

#### ทดสอบการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด(Connection Test)

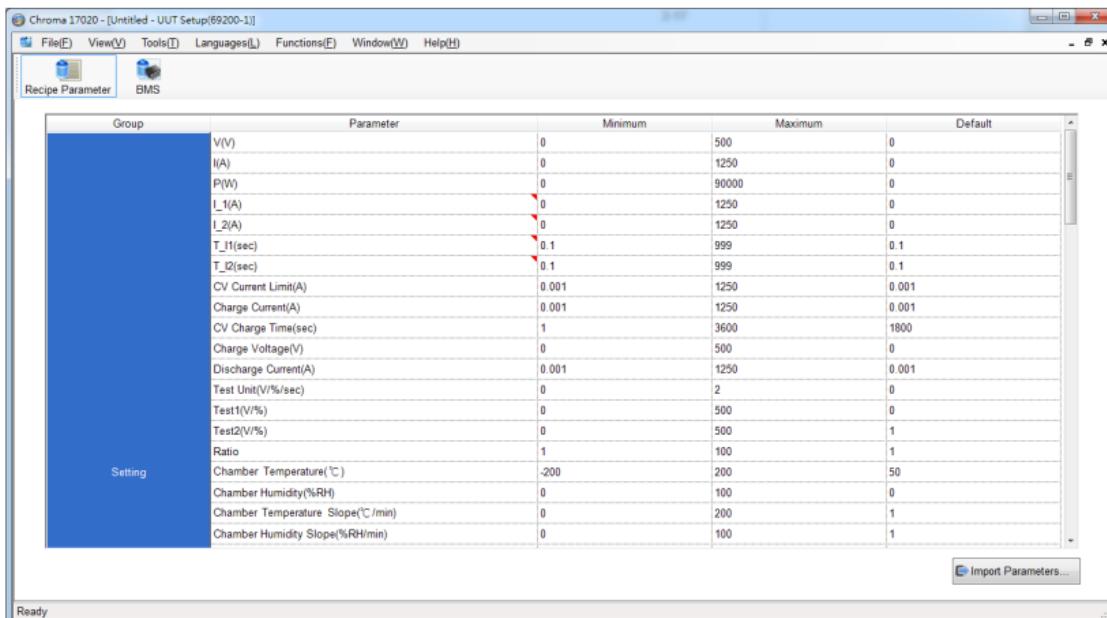
เมื่อทำการตั้งค่าอุปกรณ์แล้วทำการบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้วให้ทำการทดสอบการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัดโดยให้เข้าไปที่ file/Connection Test แล้วหน้าต่างการทดสอบการเชื่อมต่อจะปรากฏดังรูปที่ข.10 ซึ่งในรูปจะเห็นว่าการทดสอบการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัดนั้นเสร็จสิ้นโดยไม่มีข้อผิดพลาด



ภาพที่ ข.10 ข้อมูลการเชื่อมต่อของเครื่องมือวัด

## ข.2 การตั้งค่าขอบเขตตัวแปรต่างๆ(UUT Setup)

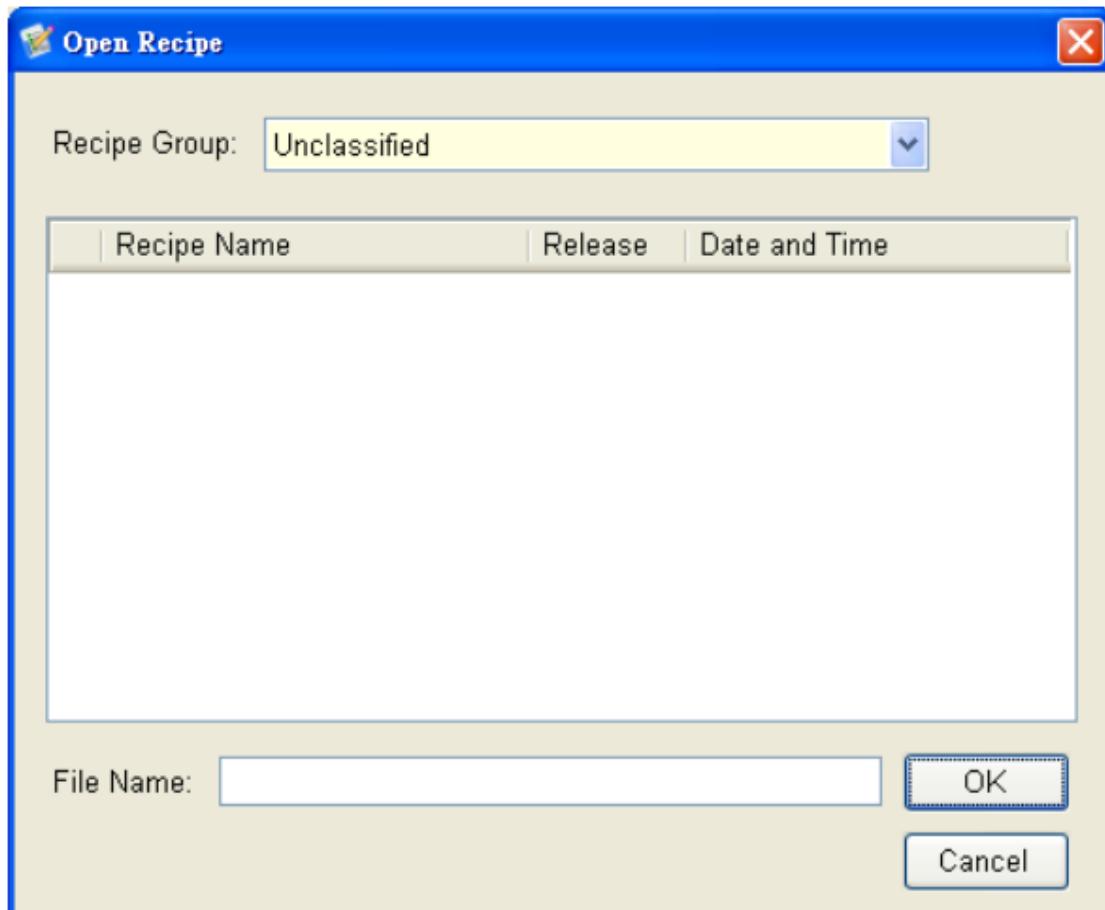
จากหน้าต่างแรกให้คลิกที่ UUT Setup จากนั้นหน้าต่าง UUT Setup จะปรากฏดังรูปที่ข.11 ในหน้านี้เรารสามารถตั้งค่าขอบเขตของตัวแปรต่างๆให้เหมาะสมกับการทดสอบแบบเตอร์ได้เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องอัดและคายประจุ นั้นอัดประจุหรือคายประจุเกินกว่าที่ได้กำหนดหรือสำหรับอุปกรณ์อื่นก็จะไม่สามารถทำงานเกินกว่าขอบเขตตามที่ได้ตั้งค่าไว้ในหน้าต่างนี้และเมื่อทำการตั้งค่าเสร็จแล้วให้ทำการบันทึกข้อมูล



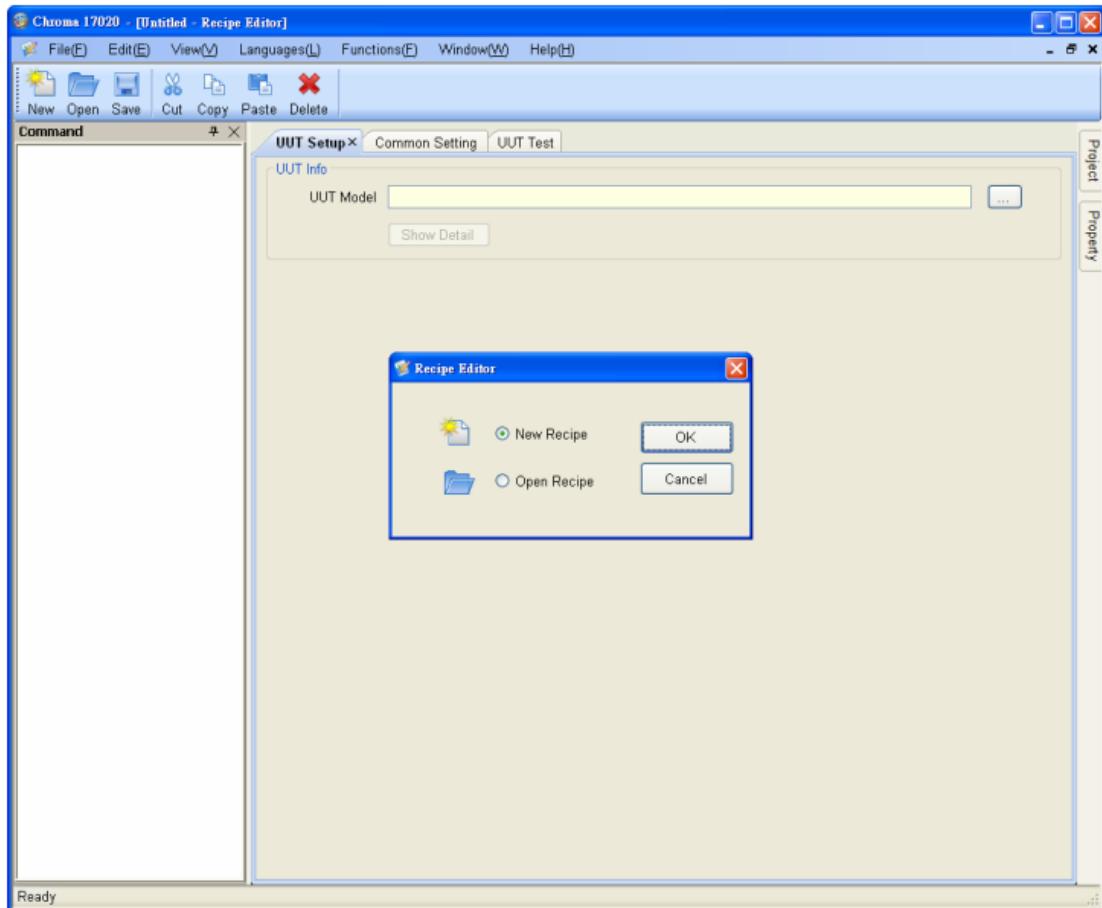
ภาพที่ ข.11 หน้าต่าง UUT Setup

### 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

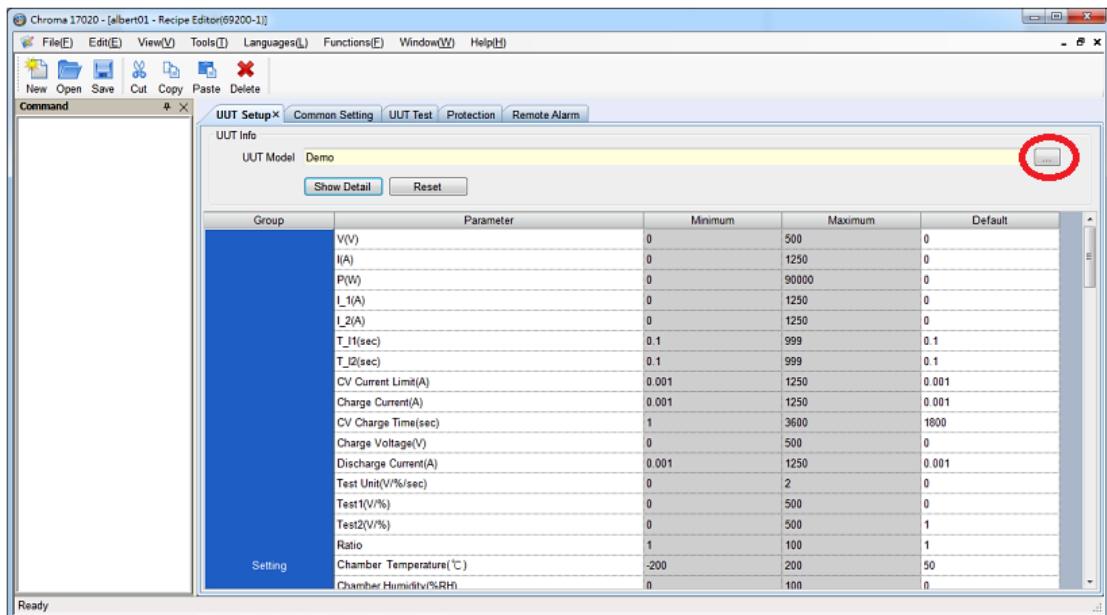


ภาพที่ ข.12 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor



ภาพที่ ข.13 หน้าต่างเลือกข้อมูลการตั้งค่าอื่นๆ

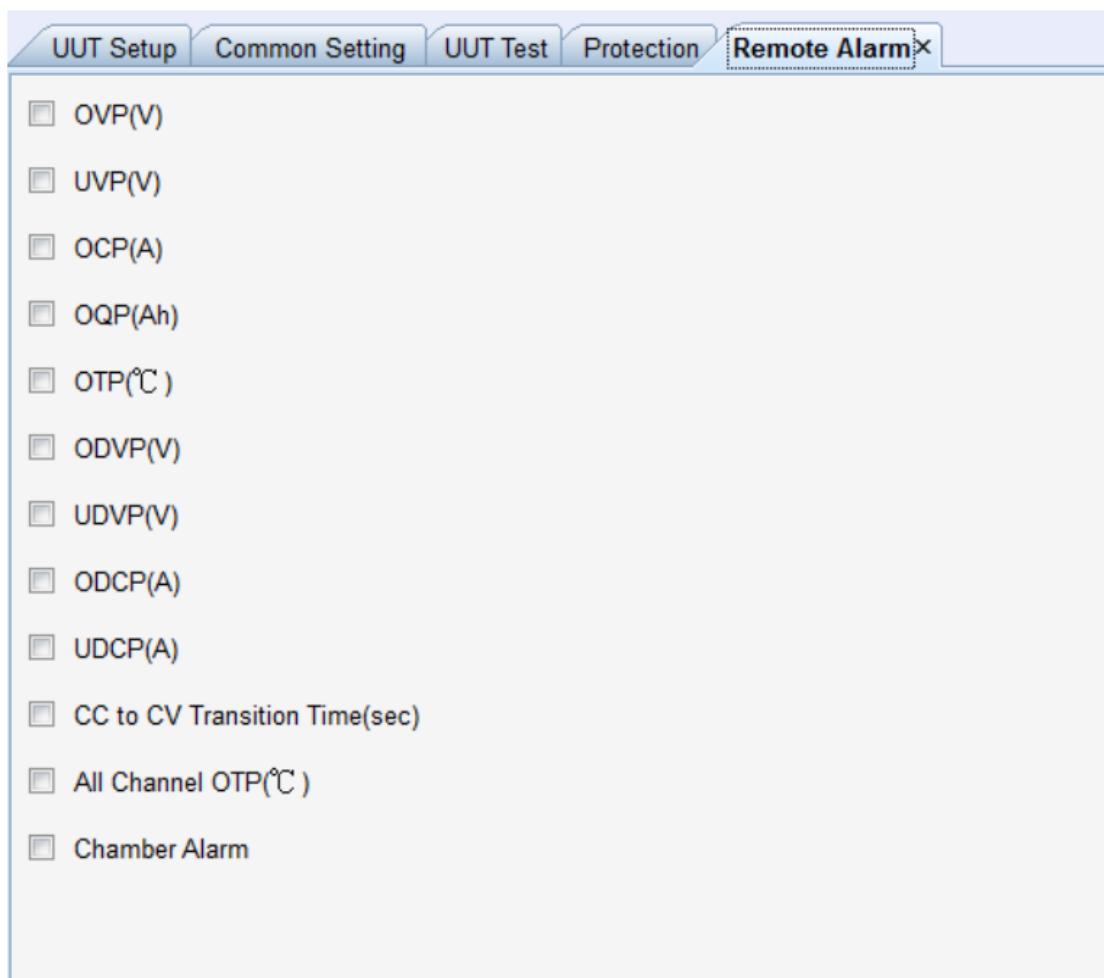
ซึ่งไม่ว่าจะเลือกข้อมูลที่ได้มีการตั้งค่าอยู่แล้วหรือจะสร้างการตั้งค่าใหม่ก็จะเข้าสู่หน้าตัดไปดังรูปข.14 ซึ่งสำหรับการสร้างการตั้งค่าใหม่ให้ทำการเลือกขอบเขตตัวแปรที่ได้จากการตั้งค่าใน UUT Setup ดังกรอบสีแดงดังรูปเมื่อเลือกเสร็จ ให้กดตกลง และจะเห็นได้ว่าหน้าต่างนี้จะมีแถบหน้าต่างอยู่ทั้งสิ้น 5 ส่วนดังนี้คือ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



ภาพที่ ข.14 หน้าต่างแรกเมื่อเข้าสู่ Recipe Editor

### การตั้งค่าการแจ้งเตือน(Remote Alarm)

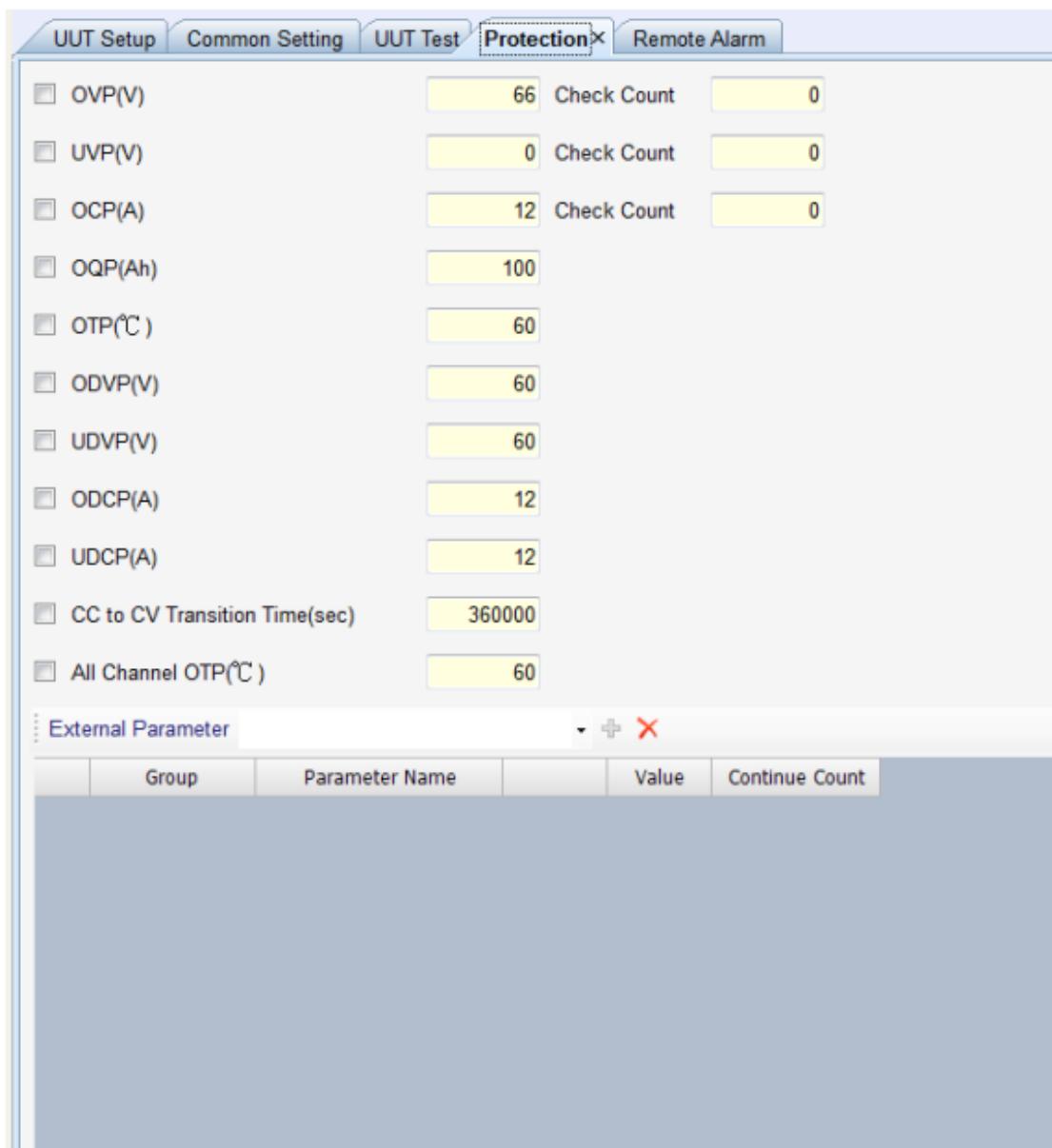
ในหน้าต่างนี้จะสามารถตั้งค่าการแจ้งเตือนต่างๆได้เมื่อเครื่องมือวัดสามารถตรวจสอบความผิดพลาดหรือค่าตัวแปรต่างๆนั้นเกินขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ดังหัวข้อต่างๆถ้าหากต้องการให้มีการแจ้งเตือน ให้คลิกที่กล่องสีเหลืองหน้าหัวข้อที่ต้องการให้มีการแจ้งเตือนดังรูปที่ข.15



ภาพที่ ข.15 หน้าต่าง Remote Alarm

### การตั้งค่าการป้องกัน(Protection)

ในหน้าต่างนี้จะสามารถตั้งค่าเงื่อนไขการป้องกันในตัวแปรต่างๆได้คล้ายกับการตั้งค่าขอบเขตในหน้าต่าง UUT Setup ซึ่งความแตกต่างระหว่างการตั้งค่าทั้ง 2 นี้คือสำหรับการตั้งค่าขอบเขตนั้นจะเป็นการกำหนดขอบเขตเพื่อไม่ให้ทำการตั้งค่าอื่นๆในหน้าต่างอื่นๆนั้นจะไม่สามารถตั้งค่าได้เกินขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ได้แต่สำหรับการตั้งค่าการป้องกันนั้นจะเป็นการกำหนดเงื่อนไขที่จะทำให้ระบบเครื่องมือวัดของเครื่อง Chroma 17020 นั้นทำการหยุดการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับแบบเตอร์หรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องมือวัดได้โดยการตั้งค่าเงื่อนไขในตัวแปรต่างๆจะสามารถตั้งค่าได้ดังรูปที่ข.16



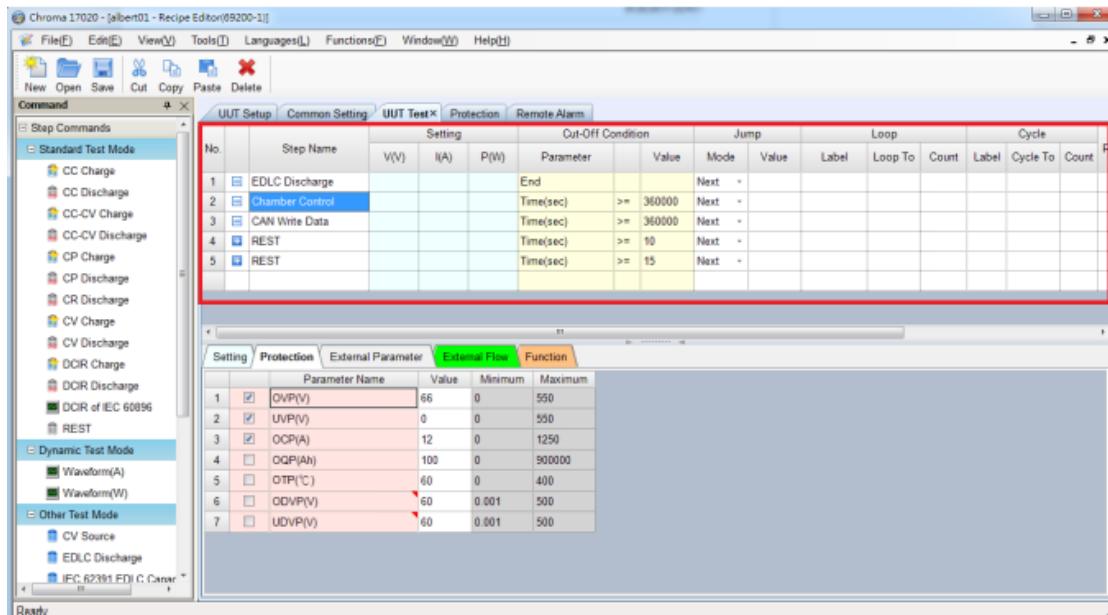
ภาพที่ ข.16 หน้าต่าง Protection

#### การตั้งค่าขั้นตอนการทดสอบ(UUT Test)

สำหรับหน้าต่างนี้จะเป็นหน้าต่างที่มีความสำคัญลำดับต้นๆเนื่องจากหน้าต่างนี้จะใช้สำหรับในการตั้งค่าการกำหนดขั้นตอนการทดสอบแบบเตอร์ของระบบ เช่น การอัดประจุ การคายประจุ เป็นต้นโดยหน้าต่างนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ข.17 ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ

- คำสั่งต่างๆที่ใช้สำหรับการทดสอบ
- ลำดับขั้นตอนของคำสั่งในการทดสอบ

- การตั้งค่าเพิ่มเติม



ภาพที่ ข.17 หน้าต่าง Protection

โดยในส่วนลำดับขั้นตอนของคำสั่งซึ่งคำสั่งต่างๆจะถูกจัดลำดับการทำงานเป็นตารางซึ่งในการเพิ่มคำสั่งให้คลิกที่ตารางแล้วจากนั้นให้คลิก 2 ครั้งที่คำสั่งที่ต้องการเพิ่มแล้วคำสั่งจะถูกเพิ่มเข้ามาอยู่ในตารางในกรณีที่ต้องการเพิ่มคำสั่งที่ เมื่อcion กับคำสั่งก่อนหน้าให้คลิกที่คำสั่งที่ต้องการคัดลอกแล้วกดคัดลอก(Copy)ตรงแลบด้านบนดังรูปที่ข.17 จากนั้นให้กดวาง(Past)ที่ตารางลำดับคำสั่งแล้วคำสั่งที่ได้ทำการคัดลอกจะมาปรากฏอยู่ในตารางซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่ได้ทำการตั้งค่าไว้แล้วก่อนหน้าเมื่อกดวางแล้วคำสั่งใหม่ที่ถูกเพิ่มเข้ามานั้นจะมีการตั้งค่าที่เมื่อion กันทุกประการหากต้องการที่จะลบคำสั่งให้คลิกที่คำสั่งหนึ่งครั้งแล้วกดลบ(Delete)

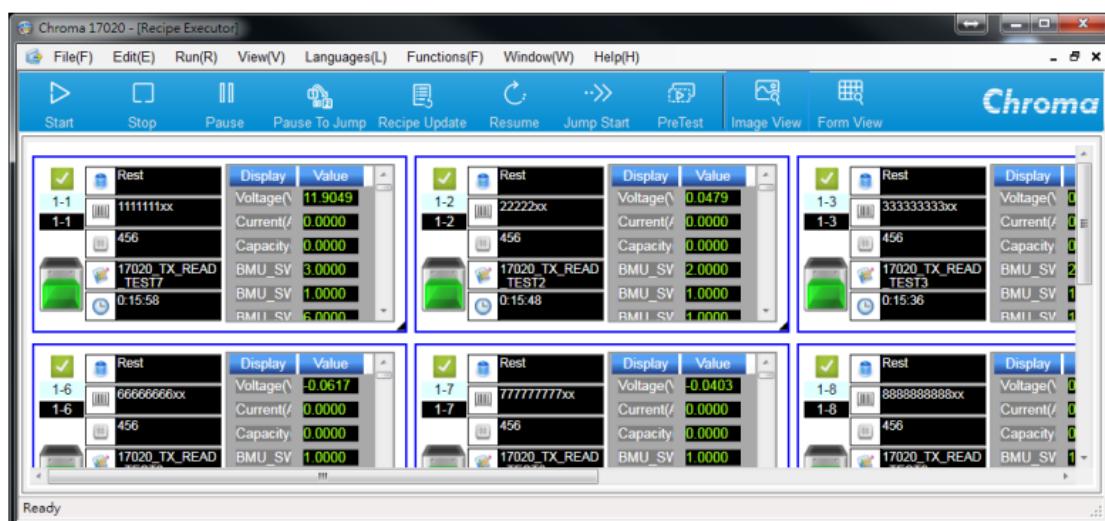
สำหรับส่วนประกอบต่างๆในตารางลำดับคำสั่งโดยเรียงลำดับจากซ้ายไปขวาจะมีดังนี้

- (No.) ลำดับคำสั่ง
- (Step Name) ชื่อคำสั่ง
- (Setting) ค่าตัวแปรสำหรับคำสั่งคือ แรงดันไฟฟ้าV(V) กระแสไฟฟ้า(A) กำลังไฟฟ้าP(W) โดยในส่วนนี้สามารถกำหนดค่าได้
- (Cut-Off Condition) เงื่อนไขการสิ้นสุดคำสั่งนั้นๆ

- (Jump) ขั้นตอนการทำงานถัดไปเมื่อสิ้นสุดคำสั่งนั้นๆโดยสามารถเลือกได้ดังนี้คือ ทำคำสั่งถัดไปในตาราง(Next), สิ้นสุดการทำงาน(End), ข้ามไปทำคำสั่งที่ได้ตั้งค่าไว้(Jump to Step),พักช่วงเวลาตามที่ได้ตั้งค่าไว้ในหน่วยวินาที(Rest), ตามเงื่อนไข(If)และ
- (Loop) กำหนดการทำคำสั่งซ้ำ (Label) เป็นคอลัมน์ที่ใช้เพื่อกำหนดคำสั่งที่ต้องการทำซ้ำ (Loop to) เป็นคอลัมน์ที่ใช้เพื่อกำหนดคำสั่งที่ต้องการทำซ้ำไปถึงคำสั่งที่มีการกำหนด (Count) กำหนดจำนวนครั้งที่ต้องการทำซ้ำ

#### ข.4 การสั่งการทำงานตามขั้นตอนการทดสอบ(Recipe Executor)

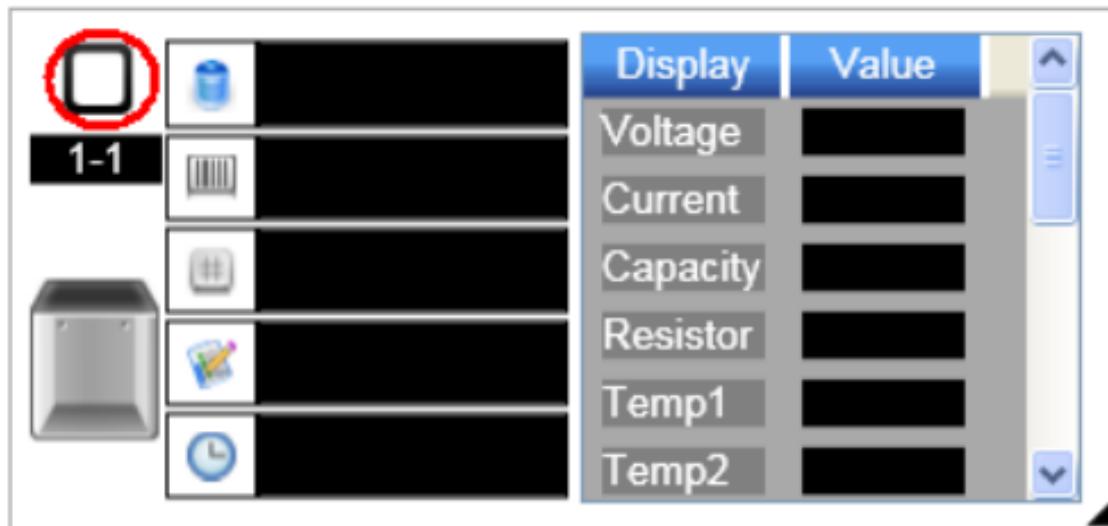
คลิกที่เมนู Recipe Executor จากหน้าต่างหลักเพื่อเข้าสู่หน้าต่างการทำงานนี้ดังในรูปที่.18ซึ่งในรูปจะแสดงช่องทางการทดสอบแบบเตอร์ที่สามารถใช้ในการทดสอบได้ ทั้งหมด



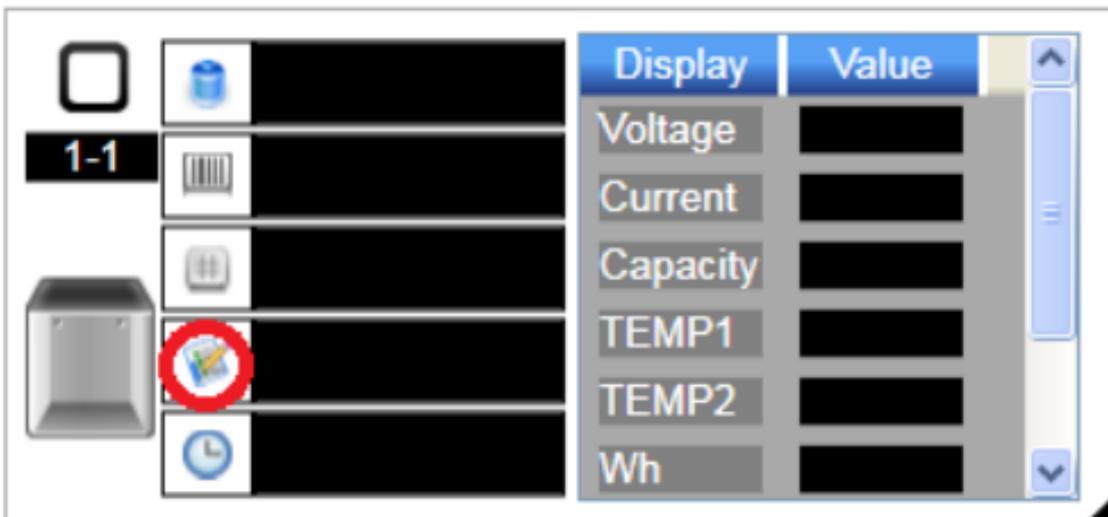
ภาพที่ ข.18 หน้าต่างหลัก Recipe Executor

ในการเลือกช่องทางในการทดสอบแบบเตอร์ที่ต้องการสามารถเลือกช่องสี่เหลี่ยมตรงช่องทางที่ต้องการดังรูปที่ข.19 จากนั้นให้ทำการเลือกขั้นตอนการทดสอบที่ได้ทำการตั้งค่าไว้แล้วดังรูปที่ข.20 ในกรณีที่ไม่มีรูป(Icon)แสดงขึ้นมาดังในวงกลมสีแดงให้ทำการกดที่คำว่า Recipe Name แทนเมื่อคลิกเข้าไปแล้วจะพบกับหน้าต่างดังรูปที่ข.21ให้ทำการเลือกชื่อลำดับขั้นตอนที่ได้ตั้งค่าไว้แล้วจากเมนู Recipe Editor โดยเลือกขั้นตอนที่ต้องการ ให้ตรงกับช่องทางการทดสอบที่ต้องการจากนั้นให้กดตกลงจากนั้นให้กด Start จากเมนูด้านบนในรูปที่ข.18หลังจากที่ได้เริ่มทำการทดสอบแล้วโดยลักษณะ

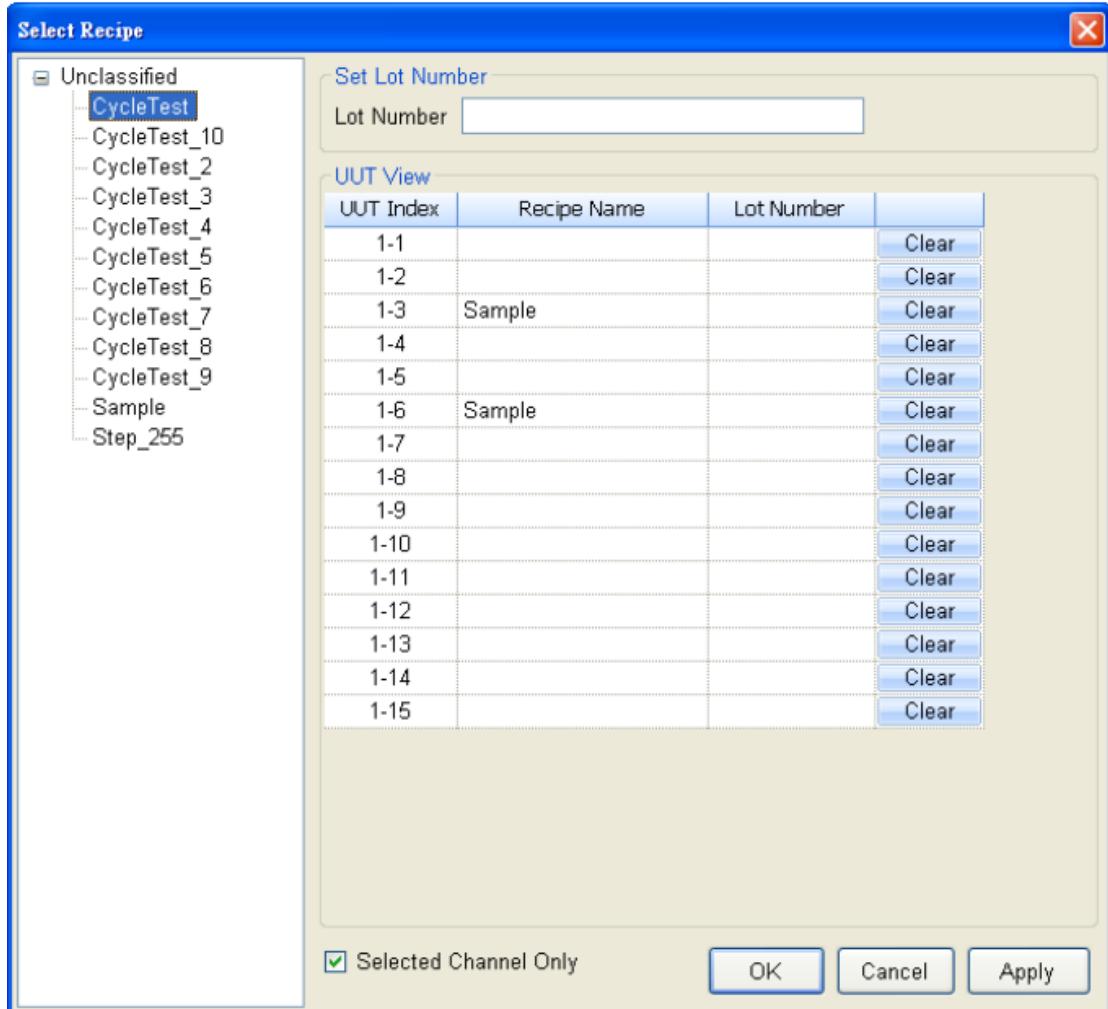
ต้องการดูข้อมูลการทดสอบ ให้กดที่รูปกล่องสีเขียวจากนั้นกราฟข้อมูลการทดสอบจะปรากฏขึ้นดังรูป  
ที่ข.22



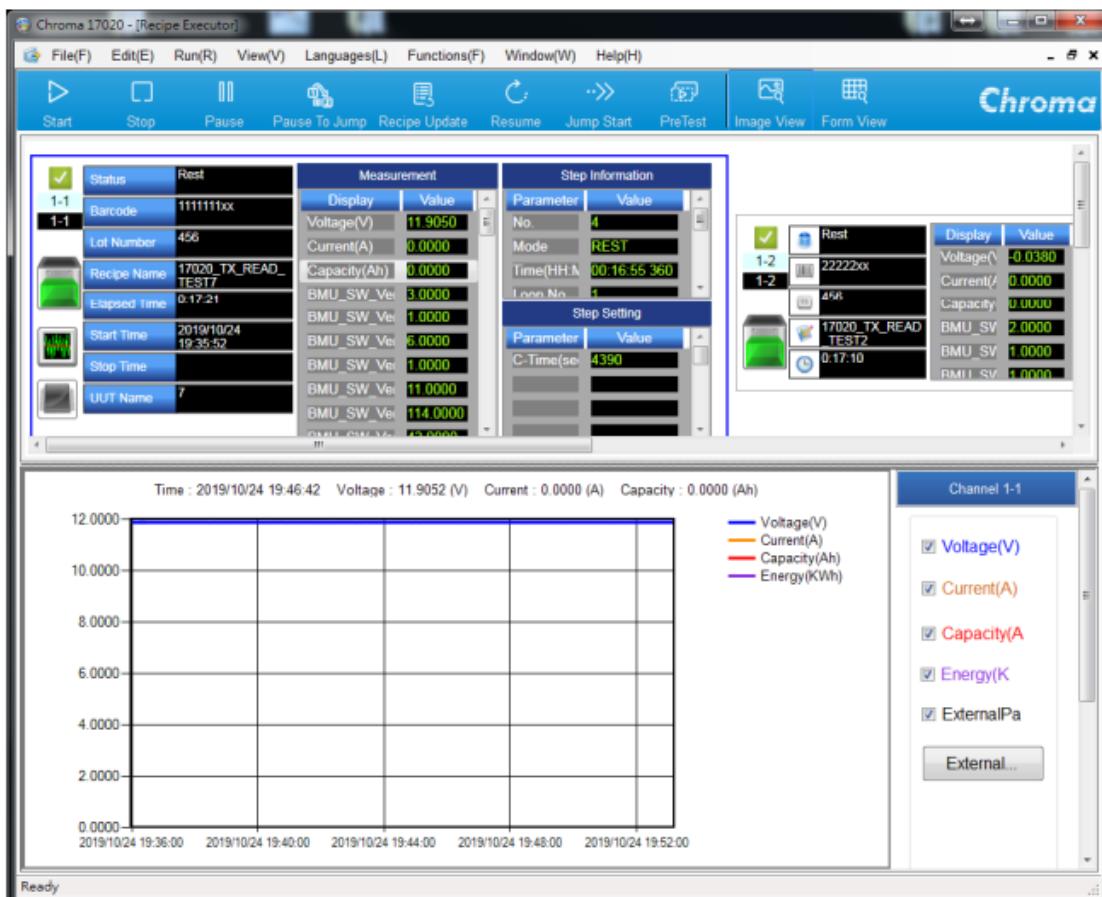
ภาพที่ ข.19 เลือกช่องทางการทดสอบ



ภาพที่ ข.20 เลือกขั้นตอนการทดสอบ (ก.)



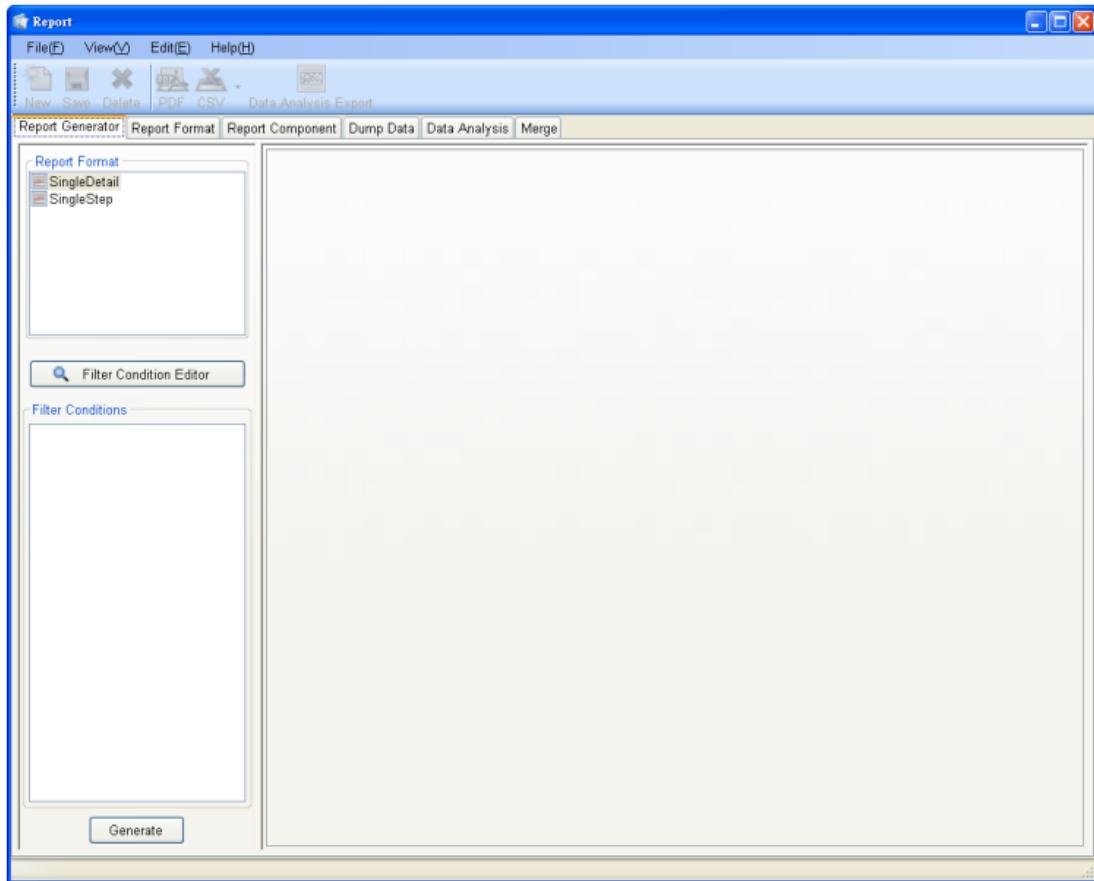
ภาพที่ ข.21 เลือกขั้นตอนการทดสอบ (ข.)



ภาพที่ ข.22 กราฟข้อมูลระหว่างการทดสอบ

### ข.5 การแสดงผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ(Report)

กดเข้าเมนู Report จากในหน้าต่างหลักเพื่อเข้าสู่เมนูนี้แล้วหน้าต่างเมนู Report จะปรากฏดังรูปที่ข.23 จากนั้นให้เลือกข้อมูลที่ต้องการแสดงโดยกดเลือกที่ Generate เมื่อกดเข้าไปแล้ว หน้าต่างเลือกข้อมูลจะปรากฏดังรูปที่ข.24 จากนั้นให้ทำการเลือกข้อมูลเมื่อเลือกข้อมูลที่ต้องการแล้วให้กดตกลงจากนั้นให้กด Export to PDF ตรงแถบเมนูด้านบนซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลอย่างคร่าวๆ



ภาพที่ ข.23 หน้าต่างหลักของเมนู Report

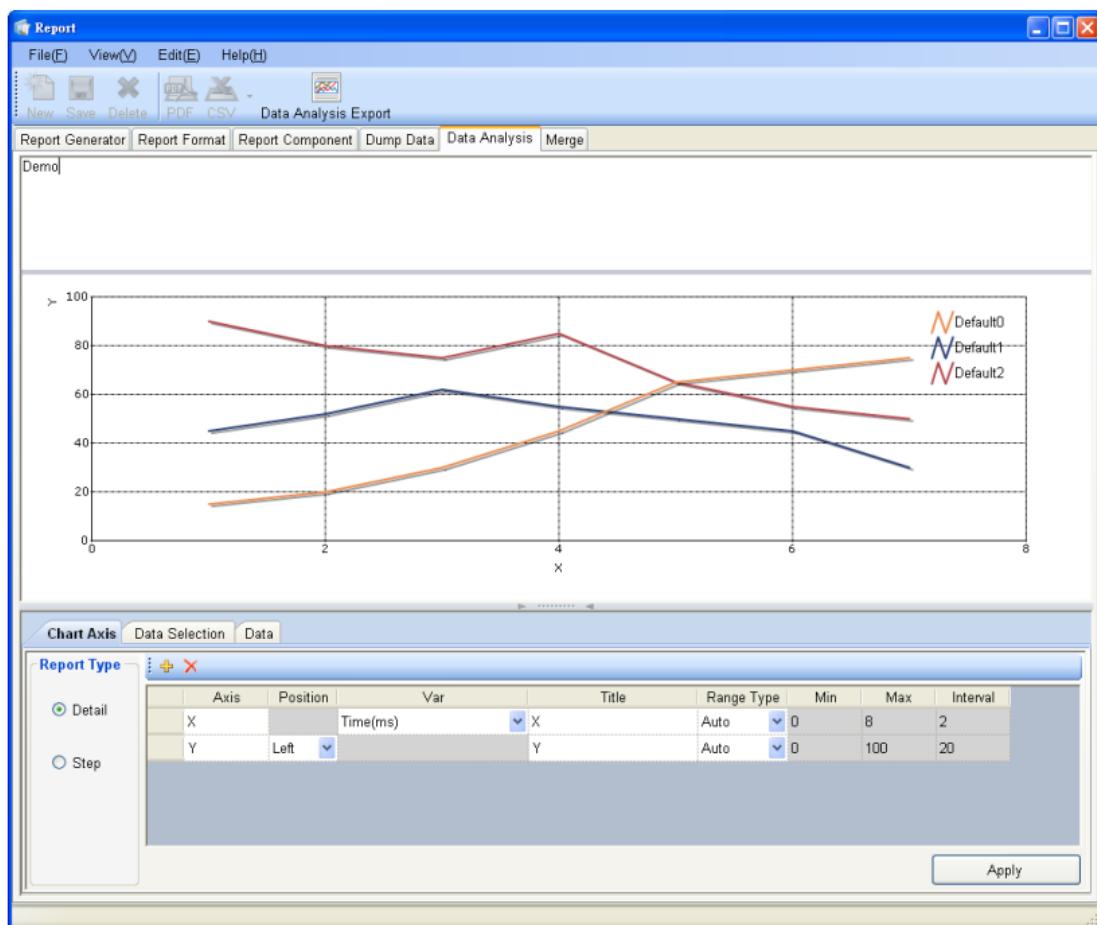
Select Test Info

<input type="checkbox"/>	Recipe Name	DeviceNo.	CH	Lot No.	Serial No.	Test Start Time	Test Time
<input checked="" type="checkbox"/>	Demo	1	1			2016/01/15 10:13:03	2016/01/15 10:16:22
<input type="checkbox"/>	Demo	1	1			2016/01/15 10:10:43	2016/01/15 10:11:21
<input type="checkbox"/>	Demo	1	1			2016/01/15 10:08:14	2016/01/15 10:10:20
<input type="checkbox"/>	Demo	1	1			2016/01/15 10:07:01	2016/01/15 10:08:06
<input type="checkbox"/>	Demo	1	1			2016/01/15 10:05:55	2016/01/15 10:06:39

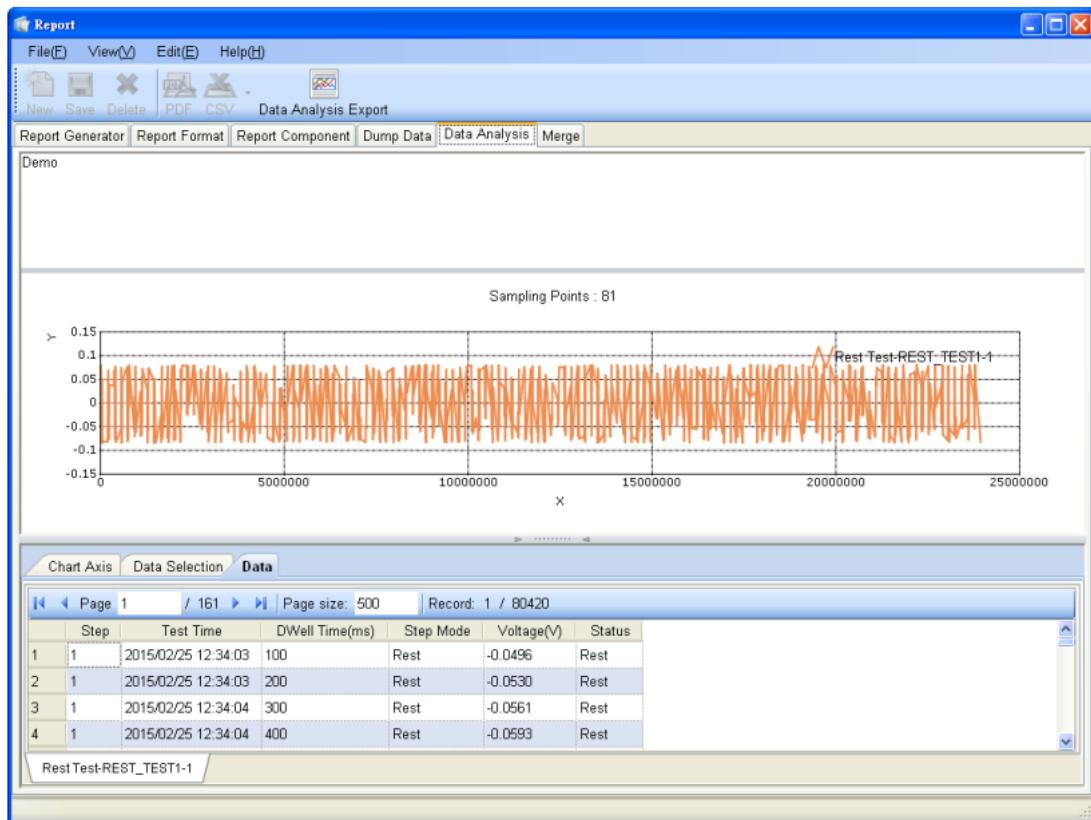
OK Cancel

ภาพที่ ข.24 หน้าต่างหลักของเมนู Report

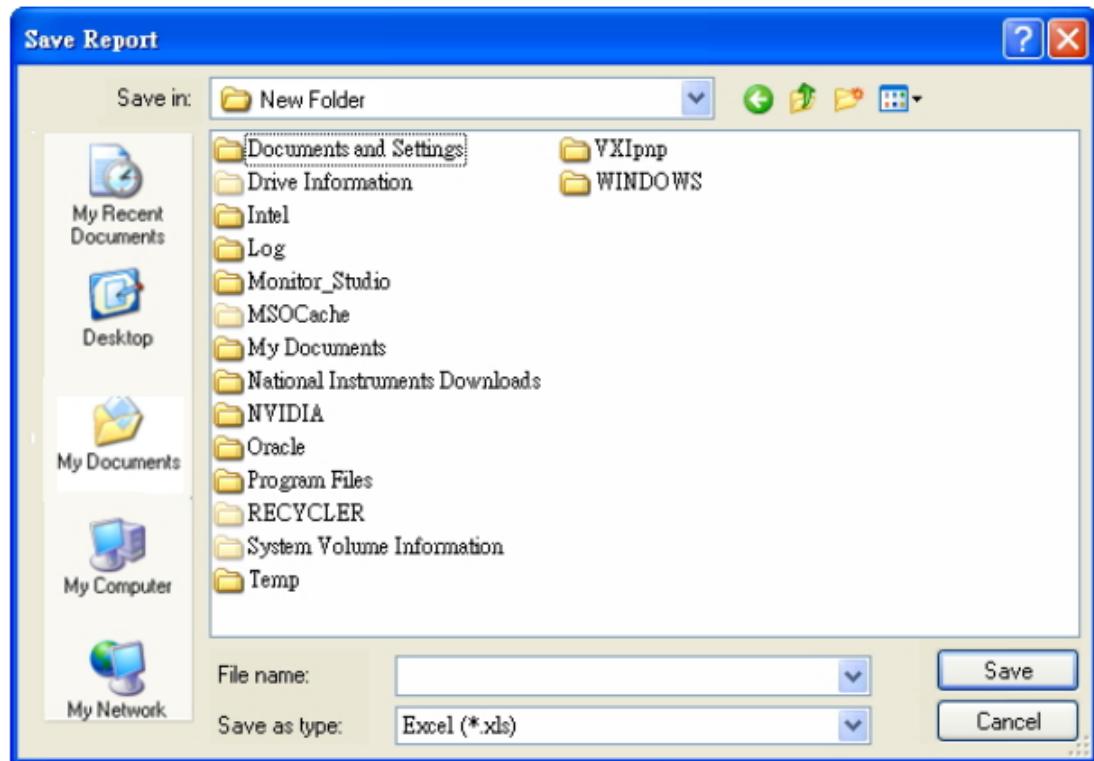
โดยการนำข้อมูลการทดสอบอย่างละเอียดให้กดที่เมนู Data Analysis ที่แถบเมนูด้านบนแล้วหน้าต่างจะปรากฏขึ้นดังรูปที่ข.25 โดยในหน้าต่างนี้จะเห็นได้ว่าด้านล่างของหน้าต่าง จะมีให้กำหนดตัวแปรและแกนที่ต้องการจะวาดกราฟข้อมูลการทดสอบเมื่อกำหนดตัวแปรตามที่ต้องการแล้วให้กดเลือกข้อมูลที่ต้องการที่แถบเมนู Data Selection โดยต้องเลือกให้ตรงกับตัวแปรและแกนที่ได้กำหนดไว้แล้ว จากนั้นเมื่อเลือกข้อมูลที่ต้องการได้แล้วให้ทำการกด Preview โปรแกรมจะทำการวาดกราฟข้อมูลการทดสอบตามข้อมูลที่ได้เลือกไว้จากนั้นให้กดเลือกเมนู Data เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การทดสอบโดยข้อมูลจะถูกแสดงผล ออกมายในรูปแบบตารางดังรูปที่ข.26 เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการทดสอบที่ต้องการจะนำไปวิเคราะห์แล้วให้ทำการกดบันทึกข้อมูลโดยเลือกที่เมนู Data Analysis Export จากนั้นหน้าต่างบันทึกข้อมูลจะปรากฏดังรูปที่ข.27 จากนั้นให้ทำการตั้งชื่อและเลือกที่อยู่ของข้อมูลที่ต้องการบันทึกจากนั้นให้กดตกลง



ภาพที่ ข.25 หน้าต่างเมนู Data Analysis



ภาพที่ ข.26 กราฟข้อมูลการทดสอบโดยเมนู Data Analysis



ภาพที่ ๖.27 หน้าต่างบันทึกข้อมูลจากเมนู Data Analysis

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ	นายณัฐนนท์ กานุจันประภาส
วันเดือนปีเกิด	วันจันทร์ที่ 14 สิงหาคม พ.ศ.2543
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันการศึกษา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา
รหัสนิสิต	6230304287
ที่อยู่ปัจจุบัน	272/131 ม.5 ต.นาเกลือ อ.บางละมุง จ.ชลบุรี 20150
โทรศัพท์เคลื่อนที่	0874295466
E-mail	Nuntanon.k@ku.th

### ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิการศึกษา	สถาบัน	ปีการศึกษาที่จบ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนโพธิสัมพันธ์พิทยาคาร	2559
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนโพธิสัมพันธ์พิทยาคาร	2562

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ	นายณัฐนันท์ อุบลวัจ
วันเดือนปีเกิด	วันจันทร์ที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ.2543
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันการศึกษา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา
รหัสนิสิต	6230304295
ที่อยู่ปัจจุบัน	197 ม.12 ต.หัวไผ่ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี 16000
โทรศัพท์เคลื่อนที่	0931470597
E-mail	Natthanan.o@ku.th

### ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิการศึกษา	สถาบัน	ปีการศึกษาที่จบ
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนสิงห์บุรี	2559
มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนสิงห์บุรี	2562