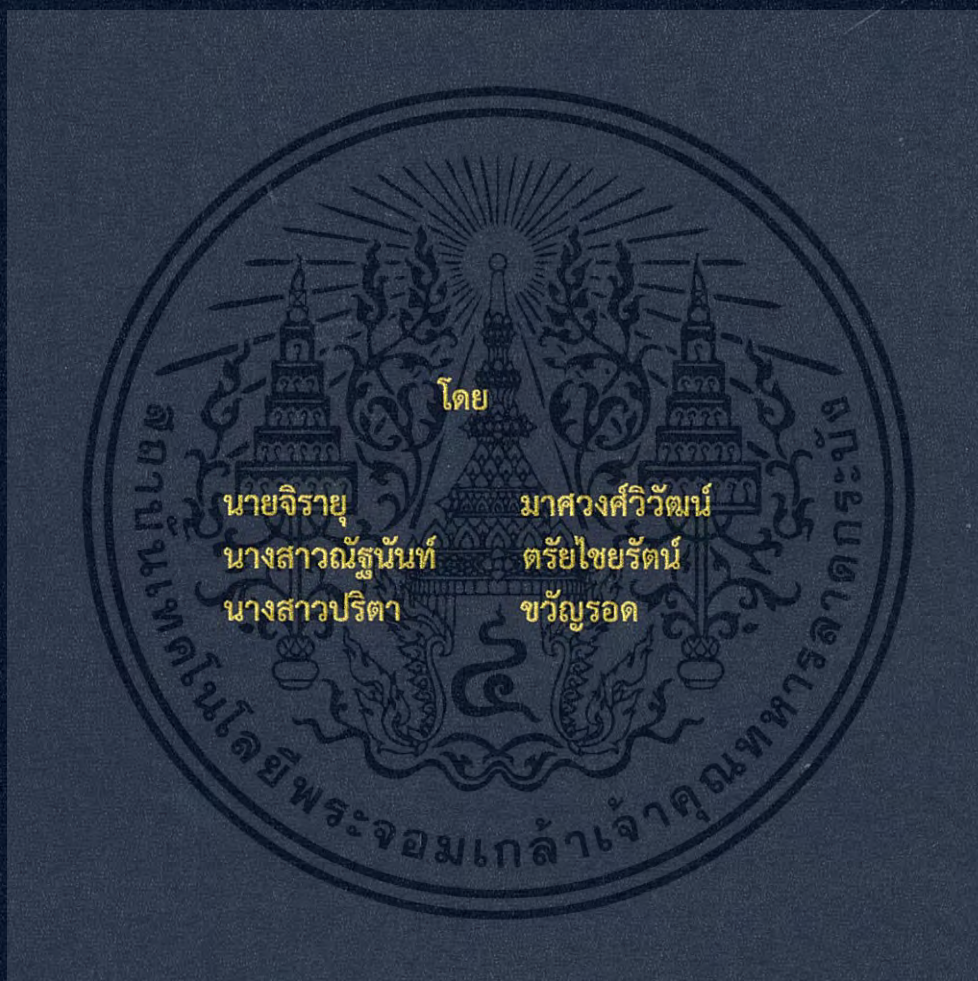


ระบบวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่โดยใช้เทคนิคแบบจำลองความร้อน

BATTERY HEALTH DIAGNOSTIC SYSTEM USING THERMAL MODEL  
TECHNIQUE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

ระบบวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่โดยใช้เทคนิคแบบจำลองความร้อน

BATTERY HEALTH DIAGNOSTIC SYSTEM USING THERMAL MODEL  
TECHNIQUE



โดย

นายจิรายุ

มาศวงศ์วิวัฒน์

นางสาวณัฐนันท์

ตรีชัยรัตน์

นางสาวปรีดา

ขวัญรอด

00266063

TB00240

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BATTERY HEALTH DIAGNOSTIC SYSTEM USING THERMAL MODEL TECHNIQUE



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2017

ปีการศึกษา 2560

ระบบวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่โดยใช้เทคนิคแบบจำลองความร้อน  
BATTERY HEALTH DIAGNOSTIC SYSTEM USING THERMAL MODEL TECHNIQUE



อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย  
อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่โดยใช้เทคนิคแบบจำลองความร้อน

ผู้จัดทำ

1. นายจิรายุ มาตวงศ์วิวัฒน์
2. นางสาวณัฐนันท์ ตริยไชยรัตน์
3. นางสาวปริตตา ขวัญรอด



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รองศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ คำฝอย )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบวิเคราะห์สູขภาพแบตเตอรียโดยใช้เทคนิคแบบจำลองความร้อน

นายจิรายุ มาดวงศ์วิวัฒน์  
นางสาวณัฐนันท์ ตริยไชยรัตน์  
นางสาวปริตา ขวัญรอด  
รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย อาจารย์ที่ปรึกษา  
อาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2560

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการทำนายอุณหภูมิภายในแบตเตอรียลิเทียมไอออน เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็วด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรียสูงและความร้อนส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรียลดลง ดังนั้นจึงมีการศึกษาแบบจำลองของแบตเตอรียโดยใช้วงจรสมมูลทางความร้อนเพื่อตรวจจับสູขภาพของแบตเตอรีย แบบจำลองอุณหภูมิของแบตเตอรียสามารถใช้ในการทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรีย แบบจำลองนั้นสามารถนำไปปรับใช้เป็นฟังก์ชันในเครื่องอัดประจุโดยทำการอัดประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อให้แบตเตอรียมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและอัดประจุได้อย่างรวดเร็ว ผลการจำลองและผลการทดลองได้รับการตรวจสอบโดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถทำนายอุณหภูมิภายในแบตเตอรีย นั้นหมายความว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้งานได้ใ้ในเครื่องอัดประจุสำหรับควบคุมการอัดประจุที่ดีที่สุดเพื่อยืดอายุการใช้งานและลดเวลาในการอัดประจุ

# BATTERY HEALTH DIAGNOSTIC SYSTEM USING THERMAL MODEL TECHNIQUE

Mr.Jirayu                      Maswongwiwat  
Ms.Nuttanun                Trichairat  
Ms.Parita                      Khwanrot  
Assoc. Prof. Dr. Surin Khomfoi    Advisor  
Chaitat                        Maneeinn    Advisor  
Year 2017

## ABSTRACT

A prediction of internal temperature in lithium-ion battery is presented in this thesis. Due to the fast charging with constant current, this causes high heat inside the battery and the heat ruined the battery life. Therefore, a battery diagnostic model using thermal equivalent circuit is studied in this thesis for detecting battery health condition. The proposed battery thermal model can be used to predict an internal temperature which is occurred inside of the battery. The proposed model can be applied to be a function in a charger for optimal charging current to maintain a battery lifetime. The simulation and experimental results of proposed model are also validated. The results show that the proposed model can be predicted a battery inside temperature: this imply that the proposed method can implement in a charger function to control an optimum charging current for better battery lifetime.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ระบบวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่ใช้เทคนิคแบบจำลองความ  
ร้อน สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจาก รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย และอาจารย์ชัยทัต  
มณีอินทร์ ในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำแนวทางการศึกษาวิจัยรวมทั้งตรวจสอบความเรียบร้อย  
ของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาช่วยเหลือและแนะนำแนวทางในการ  
ทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณอาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Real Lab) ที่เอื้อเพื่อสถานที่ อุปกรณ์ และ  
เครื่องมือต่างๆเพื่อทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่ต้น พี่แนน พี่เอก พี่เล็ก พี่น็อต พี่หมู พี่ปิง พี่แจ๊ค พี่คอยให้ความ  
ช่วยเหลือและให้คำปรึกษาให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงทุกคนในครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและ  
ให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้กลุ่มของข้าพเจ้าสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้  
ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดโครงการ	1
1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 บทนำ	5
2.2 ชนิดของแบตเตอรี่	5
2.2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-ion)	5
2.2.2 แบตเตอรี่ชนิดนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal Hydride)	6
2.2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-Acid)	7
2.2.4 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor)	7
2.3 การอัดประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่	8
2.3.1 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ (Constant Current Charging)	8
2.3.2 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage Charging)	9
2.3.3 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)	9
2.3.4 การอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charging)	9
2.4 อุณหพลศาสตร์	9
2.4.1 กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์	9
2.4.2 กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์	10

## สารบัญญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์	10
2.4.4 กฎข้อที่สามของอุณหพลศาสตร์	10
2.5 การถ่ายเทความร้อน	11
2.5.1 การนำความร้อน (Conduction)	11
2.5.2 การพาความร้อน (Convection)	11
2.5.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)	11
2.6 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน	11
2.6.1 One-RC Branch Equivalent	11
2.6.2 Two-RC Branch Equivalent	12
2.6.3 Finite Warburg Impedance Model	13
2.7 พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์	13
2.8 การสื่อสารภายในรถยนต์	16
2.8.1 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบ CAN	16
2.8.2 วิธีการถ่ายโอนข้อมูล	16
2.8.2.1 การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน	16
2.8.2.2 การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม	17
2.9 บทสรุป	18
<b>บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง</b>	19
3.1 บทนำ	19
3.2 แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง	19
3.3 การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ	20
3.3.1 การหาค่าพารามิเตอร์ความต้านทานภายในแบตเตอรี่	20
3.3.2 แบบจำลองอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ	22
3.4 บทสรุป	23
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	24
4.1 บทนำ	24
4.2 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ความต้านทานภายในแบตเตอรี่	24
4.2.1 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าแบบพัลส์	24
4.2.2 การคำนวณความต้านทานภายในแบตเตอรี่ $R_0$	26

## สารบัญ (ต่อ)

4.1 บทนำ	หน้า
4.3 การทดลองการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)	27
4.4 การทำนายอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้า	29
4.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่	30
4.6 บทสรุป	32
<b>บทที่ 5 บทสรุป</b>	<b>33</b>
5.1 บทสรุป	33
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	33
5.3 แนวทางการพัฒนา	33
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>34</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>35</b>
ภาคผนวก ก เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	36
ภาคผนวก ข ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	42
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ	51
ประวัติผู้เขียน	56

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	6
2.3	7
2.4	7
2.5	8
2.6	11
2.7	12
2.8	12
2.9	13
2.10	14
2.11	14
2.12	16
2.13	17
2.14	17
2.15	18
3.1	19
3.2	20
3.3	20
3.4	21
3.5	22
3.6	23
4.1	24
4.2	25
4.3	25
4.4	26
4.5	27
4.6	28
4.7	28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุที่พิกัด 100 แอมแปร์	29
4.9 ความสัมพันธ์ Polarization Voltage และวงจรสมมูล One-RC Branch	30
4.10 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 60 แอมแปร์	30
4.11 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 80 แอมแปร์	31
4.12 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 100 แอมแปร์	31
4.13 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่การอัดประจุไฟฟ้าที่ 60 80 และ 100 แอมแปร์	32



# สารบัญตาราง

ตารางที่

1.1 แผนการดำเนินงาน

หน้า

3



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

แนวโน้มเชื้อเพลิงน้ำมันมีราคาสูงขึ้นและมีปริมาณน้อยลง ในปัจจุบันมีการใส่ใจต่อสภาพสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเนื่องจากการสันดาปภายในรถยนต์ทำให้เกิดมลพิษทางเสียงและมลพิษทางอากาศเพราะการสันดาปไม่สมบูรณ์ จึงมีการคิดค้นพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า (EV) เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น และแนวโน้มการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (EV) ในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า (EV) ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ความเร็วสูงสุด ความเร็วในการชาร์จ ระยะทางต่อการอัดประจุแต่ละครั้งสูงขึ้น และราคาของรถยนต์ไฟฟ้า ราคาแบตเตอรี่ ค่าซ่อมบำรุงมีแนวโน้มถูกลงด้วย

การกักเก็บพลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานไฟฟ้ามีค่าความสูญเสียเล็กน้อย (Low Loss) เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานชนิดอื่น และมีการคืนพลังงานกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น ระบบเบรกของรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ไฮบริด (Regenerative Braking)

การพัฒนาการอัดประจุไฟในปัจจุบันมีความรวดเร็วและสะดวกสบายต่อผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น แต่การอัดประจุไฟที่เร็วขึ้นทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น

ดังนั้นกลุ่มของพวกเราจึงได้หาแนวทางในการทำนายความร้อนที่อาจเกิดขึ้นของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าขณะอัดประจุ เพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาอย่างเหมาะสมโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิ มาสร้างสมการอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่
2. เพื่อศึกษาการเกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่โดยใช้ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์
3. เพื่อศึกษาลักษณะทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่
4. เพื่อออกแบบการแสดงสถานะอุณหภูมิของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนขณะทดสอบด้วยการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ในการศึกษาระบบวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่โดยใช้เทคนิคแบบจำลองความร้อน (Battery Health Diagnostic System Using Thermal Model Technique) ในปริณิญาณิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษา จำลองและทำนายอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้าในยานยนต์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน พิกัด 27.6 โวลต์ 40 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยมีการอัดกระแสไฟฟ้าแบบกระแสคงที่เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาข้อมูล คุณสมบัติ ของแบตเตอรี่แต่ละชนิดที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วยวงจรสมมูลและพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่ประกอบด้วย ทฤษฎีทางอุณหพลศาสตร์ การถ่ายเทความร้อน
3. ศึกษาการสื่อสารภายในยานยนต์กับแบตเตอรี่ซึ่งใช้การสื่อสารแบบ CAN (Control Area Network : CAN Bus)
4. ศึกษาโปรแกรม PLC ในการอ่านอุณหภูมิของแบตเตอรี่
5. สร้างแบบจำลองการเกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่
6. ทดสอบแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน โดยการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่
7. เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างผลการทดสอบกับแบบจำลอง
8. คำนวณหาค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ
9. สรุปโครงการพร้อมนำเสนอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

### ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือนที่									
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ษ.	พ.ค.	
1.ศึกษาข้อมูล คุณสมบัติ ของ แบตเตอรี่แต่ละชนิดที่ใช้ใน ยานยนต์ไฟฟ้า	■									
2.ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการเกิด ความร้อนภายในแบตเตอรี่		■								
3.ศึกษาการสื่อสารภายใน ยานยนต์กับแบตเตอรี่ (CAN Bus)			■							
4.ศึกษาการใช้โปรแกรม PLC			■	■						
5.สร้างแบบจำลองการเกิด ความร้อนภายในแบตเตอรี่				■	■					
6.ทดสอบอัดประจุแบตเตอรี่ โดยการสร้างสถานการณ์ จำลองเสมือนแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า					■	■				
7.เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่าง ผลการทดสอบกับแบบจำลอง						■				
8.คำนวณหาค่าอุณหภูมิของ แบตเตอรี่ขณะอัดประจุ							■			
9.สรุปผลการทดลอง								■		
10.จัดทำรูปเล่ม										■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อให้เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับลักษณะทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนขณะอัดประจุ
2. เพื่อนำองค์ความรู้เกี่ยวกับลักษณะทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนขณะอัดประจุมา ออกแบบสถานะแสดงผลอุณหภูมิของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า
3. เพื่อนำสมการอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไปประยุกต์ใช้ในเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า
4. เพื่อนำไปพัฒนาการออกแบบการป้องกันการเกิดความร้อนเกินขณะอัดประจุไฟฟ้าในแบตเตอรี่
5. เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยไม่ให้อุณหภูมิขณะอัดประจุไฟฟ้าสูงเกินค่าที่กำหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 บทนำ

บทนี้เป็นการศึกษาถึงคุณลักษณะและคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ โดยจะเน้นการศึกษาแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนเป็นหลัก ศึกษาเรื่องการอัดและคายประจุไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ซึ่งแต่ละประเภทจะส่งผลต่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่แตกต่างกันไป ศึกษาเรื่องอุณหพลศาสตร์และการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ ศึกษาวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ที่สำคัญต่อการคำนวณการถ่ายเทความร้อนและการสื่อสารภายในรถยนต์ซึ่งจะเน้นการศึกษาระบบการสื่อสารแบบ CAN (Control Area Network)

### 2.2 ชนิดของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อเอาไว้ใช้งาน โดยแบตเตอรี่จะเก็บรักษาพลังงานในรูปของพลังงานเคมีและจะเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกโดยอาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี แบตเตอรี่สามารถอัดประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง แต่ประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100 % เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุหรือจ่ายประจุนั้นเอง แบตเตอรี่แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วไม่สามารถนำมาอัดประจุกลับเข้าไปใช้งานใหม่ได้ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรในช่วงปล่อยประจ่ออก (Discharge) แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้ ตัวอย่างของแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์ แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่ชนิดคาร์บอนสังกะสี เป็นต้น

2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้หลังจากจ่ายไฟหมดแล้ว เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดประจุกลับเข้าไปใหม่ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดปฐมภูมิ ตัวอย่างของแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน-โพลีเมอร์ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เป็นต้น

แบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้าจะมีทั้งหมด 4 ชนิดดังต่อไปนี้

#### 2.2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Lithium-Ion)

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น โทรศัพท์มือถือและแล็ปท็อป เป็นต้น เนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีน้ำหนักเบา นอกจากนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้มีความปลอดภัยเนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีวงจรป้องกัน (Protection Circuit) ในการจำกัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะที่อัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้า ป้องกันไม่ให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำเกินไปขณะคายประจุไฟฟ้า และมีการตรวจสอบอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่ไม่ให้สูงเกินไป คุณสมบัติของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีอัตราการคายประจุด้วยตนเอง (Self-Discharge) ต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นแบตเตอรี่ที่มีการดูแลรักษาต่ำอีกด้วย



รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

### 2.2.2 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal Hydride)

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ เป็นแบตเตอรี่ที่มีกำลังไฟสูง มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและมีความทนทานต่อการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้อย่างแพร่หลายในรถยนต์ไฟฟ้าและในรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีราคาแพง อัตราการคายประจุด้วยตนเอง (Self-Discharge) สูง ต้องควบคุมการสูญเสียของไฮโดรเจน (Hydrogen Loss) ไม่สามารถอัดประจุไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ ต้องรอไฟหมดถึงจะอัดประจุไฟฟ้าได้เพื่อป้องกัน Memory Effect (กรณีที่แบตเตอรี่ถูกใช้ไฟไม่หมดแล้วนำไปอัดประจุไฟฟ้าใหม่อยู่บ่อย ๆ ทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจำค่าสูงสุดที่เคยเก็บไว้ได้ เป็นสาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่ค่อย ๆ เสื่อมลงอย่างรวดเร็ว)



รูปที่ 2.2 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-Acid)

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูก อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ชนิดนี้มีพลังงานจำเพาะที่ต่ำ ประสิทธิภาพต่ำและอายุการใช้งานที่สั้น



รูปที่ 2.3 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

### 2.2.4 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Ultracapacitor / Supercapacitor / Electric Double Layer Capacitor (EDLC))

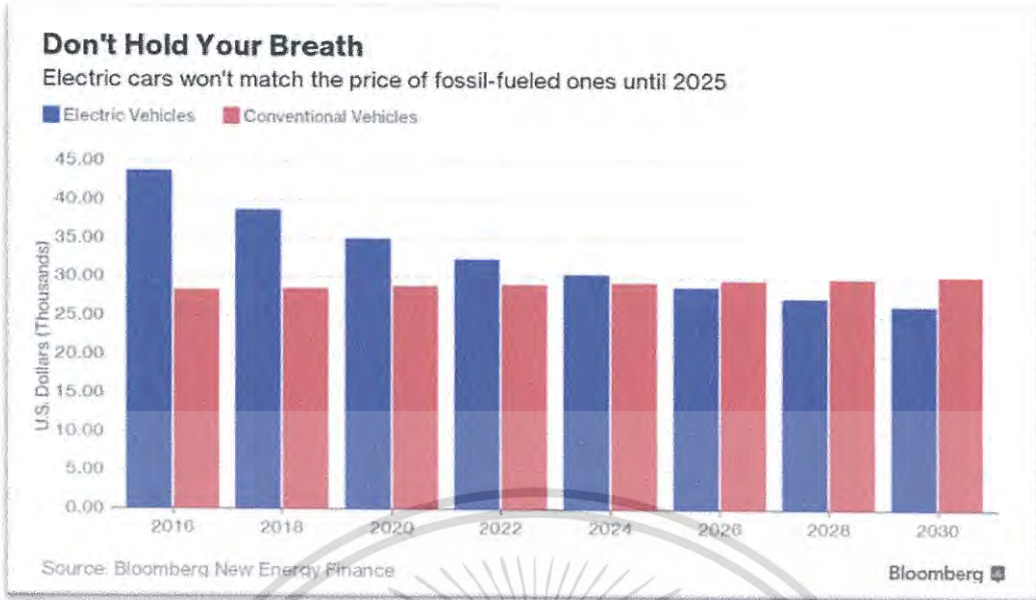


รูปที่ 2.4 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ตัวเก็บประจุยิ่งยวด มีค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) สูงกว่าตัวเก็บประจูนอื่น ๆ สามารถอัดประจุให้เต็มได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แรงกระแทก และการสั่นสะเทือนได้ดี ตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้รับความสนใจเป็นอย่างมากแต่ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา

เนื่องจากงานวิจัยของ Bloomberg เรื่อง New Energy Finance ชี้ว่า ต้นทุนของแบตเตอรี่ไฟฟ้ามี่แนวโน้มลดลงทำให้ราคารถยนต์ไฟฟ้าในสหรัฐอเมริกาและโซนยุโรปจะมีราคาถูกกว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันและแก๊สแบบเดิม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 2.5 แนวโน้มการเติบโตของรถยนต์ไฟฟ้า

แนวโน้มการเติบโตของรถยนต์ไฟฟ้าหรือ EV (Electric Vehicle) จึงจะมีค่าสูงขึ้นจากการที่สามารถลดต้นทุนแบตเตอรี่ไฟฟ้าได้ โดยในปี 2025 คาดการณ์ว่าจะมีราคาที่เท่า ๆ กับรถยนต์แบบเดิม หลังจากนั้นจะมีราคาที่ถูกลงอย่างต่อเนื่อง และแน่นอนว่าเป็นสิ่งที่ดี เพราะรถยนต์ไฟฟ้าคือหนึ่งในทางเลือกของโลกอนาคตที่ต้องการลดมลพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

### 2.3 การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ โดยการอัดประจุไฟฟ้า คือแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid), แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion) และแบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) เป็นต้น เนื่องจากแบตเตอรี่ทุติยภูมิสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้โดยรอบการอัดประจุ (Lifecycle) ของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยการอัดประจุที่มีประสิทธิภาพนั้นต้องไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ และสถานะของแบตเตอรี่ (State of Charge) นั้นใกล้เคียง 100 % มากที่สุด

การอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทุติยภูมินั้นมีหลายวิธี โดยหลักการคือ จ่ายกระแสในทิศทางตรงข้ามกับการคายประจุ

#### 2.3.1 การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ (Constant Current Charging)

การอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่เป็นการอัดประจุที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการชาร์จแบบ แรงดันคงที่ และใช้เวลาน้อยกว่า เพราะการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่จะถูกจำกัดกระแสชาร์จไว้ ถ้ากระแสที่ใช้อัดประจุมีค่าสูง จะทำให้เวลาในการอัดประจุสั้นลง แต่ถ้ากระแสที่ใช้อัดประจุมีค่ามากเกินไป แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ การอัดประจุจะทำอย่างรวดเร็วจนไม่ได้เนื่องจากกระแสที่ใช้ในการอัดประจุ จะถูกจำกัดไว้ตามข้อมูลของแบตเตอรี่ชนิดนั้นกำหนด ข้อดีของการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าตรงคงที่ คือเซลล์ทุก ๆ เซลล์จะได้รับกระแสในสัดส่วนเท่า ๆ กันทุกเซลล์ของชุดแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage Charging)

การอัดประจุแบบเตอรีแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ จะใช้เวลาในการอัดประจุมากกว่าการอัดประจุแบบ กระแสไฟฟ้าตรงคงที่ โดยความเร็วในการอัดประจุขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องอัดประจุ การอัดประจุแบบนี้ทำได้โดยเครื่องอัดประจุเป็นตัวจ่ายแรงดันป้อนเข้าไปในแบตเตอรี่ แต่แรงดันที่จ่ายจะไม่คงที่ จึงต้องมีวงจรควบคุมแรงดันคงที่ จะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

### 2.3.3 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)

การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าตรงคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่คือ การรวมวิธีอัดประจุแบบกระแสคงที่กับ แรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยจะแบบเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรก : อัดประจุด้วยกระแสเต็มพิกัดคงที่แรงดันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนเซลล์ได้รับความต่างศักย์ของ แบตเตอรี่ใกล้เต็ม ช่วงที่สอง : อัดประจุด้วยแรงดันเต็มพิกัดคงที่ กระแสที่อัดประจุเข้าเซลล์ของแบตเตอรี่จะค่อย ๆ ลดลง และจะหยุดอัดประจุเมื่อกระแสน้อยกว่า 3 % ของแบตเตอรี่

### 2.3.4 การอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charging)

วิธีการอัดประจุแบบพัลส์เป็นการอัดประจุโดยใช้พัลส์รูปคลื่นแรงดัน สามารถอัดประจุได้เร็วกว่าแบบแรงดัน คงที่ และใช้เวลาใกล้เคียงกับการอัดประจุแบบกระแสคงที่ แต่มีข้อดีกว่าแบบกระแสคงที่เนื่องจากช่วยระบาย ความร้อนของแบตเตอรี่ได้ ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ยิ่งขึ้น วิธีการอัดประจุที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนาน สิ่งที่สำคัญ คือ ความต้านทานภายใน ต้องมีค่าต่ำ พบว่าการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ ค่าความต้านทานภายในเซลล์มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการอัดประจุ การอัดประจุด้วยกระแสพัลส์โดยมีการคายประจุ ค่าความต้านทานภายในมีค่าลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพการอัดประจุดีขึ้น

## 2.4 อุณหพลศาสตร์

อุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของสสารที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อน ซึ่งเชื่อมโยงกับพลังงานเคมี พลังงานทางกล พลังงานไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยคำว่า Thermodynamics มาจากคำว่า Thermo แปลว่า ความร้อน และคำว่า Dynamic แปลว่า กำลังงาน

กฎของอุณหพลศาสตร์ เป็นกฎที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นไปตามกฎของธรรมชาติ ประกอบด้วย 4 ข้อ ดังนี้

### 2.4.1 กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์ ว่าด้วยภาวะสมดุลทางอุณหพลศาสตร์มีคุณสมบัติถ่ายทอดได้ กล่าวคือ เมื่อวัตถุสองชิ้นอยู่ในสมดุลกับวัตถุชิ้นที่สาม แสดงว่าวัตถุสองชิ้นจะอยู่ในสมดุลความร้อนต่อกันด้วย สรุปได้ว่า วัตถุสองชิ้นอยู่ในสมดุลความร้อนต่อกันได้แม้ว่าวัตถุสองชิ้นนั้นไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง กฎข้อนี้เป็นกฎที่ได้มาจากหลักการในการวัดอุณหภูมิของวัตถุต่าง ๆ ด้วยเทอร์โมมิเตอร์

### 2.4.2 กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ มีพื้นฐานมาจากการอนุรักษ์พลังงาน ว่าด้วยความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในระบบ กล่าวคือ พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปได้แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่และทำลายได้ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในระบบเท่ากับปริมาณความร้อนที่นำเข้าสู่ระบบ ลบด้วยปริมาณความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบ สามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$dU = Q + W \quad (2.1)$$

เมื่อ  $dU$  คือ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานภายในระบบ

$Q$  คือ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ

$W$  คือ ปริมาณงานของระบบ

จากสมการ เมื่อระบบได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ค่า  $Q$  จะมีเครื่องหมายเป็นบวก แต่ถ้าระบบสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ค่า  $Q$  จะมีเครื่องหมายเป็นลบ และถ้าระบบได้รับงานจากสิ่งแวดล้อม ค่า  $W$  จะมีเครื่องหมายเป็นบวก แต่ถ้าระบบสูญเสียงานให้กับสิ่งแวดล้อม ค่า  $W$  จะมีเครื่องหมายเป็นลบ

### 2.4.3 กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ว่าด้วยกระบวนการที่จะเกิดขึ้นในทิศทางที่แน่นอน กล่าวคือ ไม่มีอุปกรณ์ใด ๆ ที่สามารถดำเนินการเป็นวัฏจักรและสามารถถ่ายเทความร้อนได้จากแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไปสู่แหล่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าโดยปราศจากการให้งานแก่ระบบ และงานที่เกิดขึ้นจะต้องสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งให้แก่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ซึ่งเราจะต้องทราบถึงปริมาณความร้อนที่แหล่งให้ความร้อนอุณหภูมิสูง (Thermal Energy Source) กับแหล่งรับความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Thermal Energy Sink) สรุปได้ว่ากฎข้อนี้เป็นตัวกำหนดทิศทางของการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นทางกายภาพหรือทางเคมี และเกี่ยวข้องกับเอนโทรปีและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เอง คือเอนโทรปีของจักรวาลมีค่าเพิ่มขึ้นในกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองและมีค่าคงที่ในกระบวนการที่อยู่ในสภาวะสมดุล

### 2.4.4 กฎข้อที่สามของอุณหพลศาสตร์

กฎข้อที่สามของอุณหพลศาสตร์ ว่าด้วยที่อุณหภูมิศูนย์เคลวิน อะตอมที่อยู่ในผลึกที่สมบูรณ์แบบจะจะไม่เกิดการเคลื่อนที่ เนื่องจากไม่มีพลังงานความร้อน อะตอมเหล่านี้จะจัดเรียงอยู่อย่างเป็นระเบียบที่สุด นั่นคือ จัดเรียงตัวได้เพียงแบบเดียวเท่านั้น กล่าวได้ว่า ระบบไม่มีความไม่เป็นระเบียบเหลืออยู่เลย ดังนั้น ค่าเอนโทรปีของระบบผลึกที่สมบูรณ์แบบที่อุณหภูมิศูนย์องศาเคลวินจะมีค่าเป็นศูนย์

## 2.5 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ เมื่ออุณหภูมิระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งมีค่าแตกต่างกัน การถ่ายเทของพลังงานเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่สมดุลทางความร้อน โดยความร้อนจะถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ โดยเมื่อความร้อนถ่ายเทจากจุดจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะทำให้จุดที่ได้รับความร้อนซึ่งมีสสารอยู่จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งการถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การถ่ายเทความร้อน

### 2.5.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค โดยความร้อนเคลื่อนที่ไปตามเนื้อวัสดุ แต่เนื้อวัสดุที่เป็นตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่แต่ใด

### 2.5.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยมีวัตถุหรือตัวกลางที่ได้รับความร้อนเป็นตัวพาเอาความร้อนนั้นไป การพาความร้อนจะเกิดได้เฉพาะวัตถุพวกของเหลวและก๊าซเท่านั้นพวกของแข็งจะไม่เกิดการพาความร้อน

### 2.5.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางและในการเคลื่อนที่ผ่านไบนั้นจะไม่ทำให้วัตถุตัวกลางที่มีความร้อนผ่านไปร้อนขึ้นด้วยซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง อาศัยคลื่นความร้อนการแผ่รังสีความร้อนจะเกิดในปริมาณที่เท่ากันในทุกทิศทาง

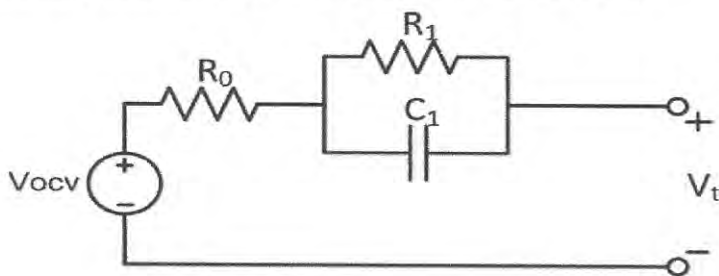
## 2.6 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

### 2.6.1 วงจรสมมูลแบบ One-RC Branch

วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแบบ One-RC Branch Equivalent เป็นวงจรสมมูลที่ประกอบไปด้วย  $V_{ocv}$  คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่า SOC และ อุณหภูมิ  $R_0$  คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Ohmic Resistance หรือ Electrolyte Resistance) เป็น Parameter ที่ทำให้เกิดแรงดันตกอย่างทันทีทันใด ซึ่งเป็นแรงดันที่ตกคร่อมระหว่าง Reference Electrode และ Working Electrode ซึ่ง Ohmic Resistance จะขึ้นอยู่กับสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์  $R_1$  หรือ  $C_1$  เป็นค่าที่แสดงพฤติกรรมในช่วง Transient ซึ่งมีค่า Time Constant ในช่วง Short-Term โดย  $R_1$  คือ Polarization Resistance หรือ Charge Transfer Resistance ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทประจุระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 ฝั่ง ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ปานกลางและ  $C_1$  คือ Double Layer Capacitance ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่อยู่ระหว่าง อิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรด โดยจะขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดของไอออนและชั้นของออกไซด์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ปานกลาง

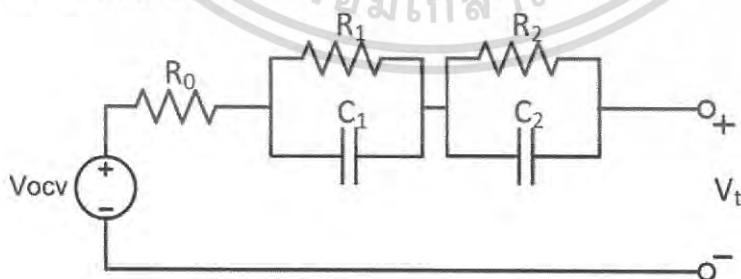


รูปที่ 2.7 รูปวงจรสมมูลแบบ One-RC Branch

### 2.6.2 วงจรสมมูลแบบ Two-RC Branch

วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแบบ Two-RC Branch Equivalent เป็นวงจรสมมูลที่มี RC ขนานกัน 2 คู่ ประกอบไปด้วย  $V_{ocv}$  คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่า SOC และ อุณหภูมิ  $R_0$  คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Ohmic Resistance หรือ Electrolyte Resistance) เป็น Parameter ที่ทำให้เกิดแรงดันตกอย่างทันทีทันใด ซึ่งเป็นแรงดันที่ตกคร่อมระหว่าง Reference Electrode และ Working Electrode ซึ่ง Ohmic Resistance จะขึ้นอยู่กับสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์  $R_1$  หรือ  $C_1$  เป็นค่าที่แสดงพฤติกรรมในช่วง Transient ซึ่งมีค่า Time Constant ในช่วง Short-Term และ  $R_2$  หรือ  $C_2$  เป็นค่าที่แสดงพฤติกรรมในช่วง Transient ซึ่งมีค่า Time Constant ในช่วง Long-Term

โดย  $R_1, R_2$  คือ Polarization Resistance หรือ Charge Transfer Resistance ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทประจุระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 ฝั่ง ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ปานกลางและ  $C_1, C_2$  คือ Double Layer Capacitance ซึ่งคือตัวเก็บประจุที่อยู่ระหว่างอิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรด โดยจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ชนิดของไอออนและชั้นของออกไซด์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ปานกลาง



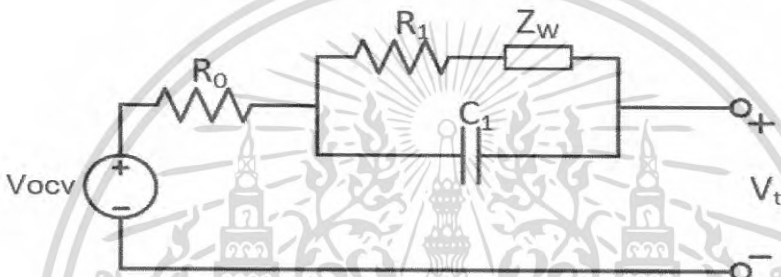
รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลแบบ Two-RC Branch

### 2.6.3 วงจรสมมูลแบบ Finite Warburg Impedance

วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแบบ Finite Warburg Impedance Model เป็น วงจรสมมูลที่มีอิมพีแดนซ์  $Z_w$  ต่ออนุกรมกับความต้านทาน  $R_1$  ประกอบไปด้วย  $V_{ocv}$  คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามค่า SOC และ อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย และเผยแพร่ทางวิชาการโดยไม่หวังกำไร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_0$  คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Ohmic Resistance หรือ Electrolyte Resistance) เป็น Parameter ที่ทำให้เกิดแรงดันตกอย่างทันทีทันใด ซึ่งเป็นแรงดันที่ตกคร่อมระหว่าง Reference Electrode และ Working Electrode ซึ่ง Ohmic Resistance จะขึ้นอยู่กับสภาพการนำไฟฟ้าของ สารละลายอิเล็กโทรไลต์  $R_1$  หรือ  $C_1$  เป็นค่าที่แสดงพฤติกรรมในช่วง Transient ซึ่งมีค่า Time Constant ในช่วง Short-Term โดย  $R_1$  คือ Polarization Resistance หรือ Charge Transfer Resistance ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทประจุระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 ฝั่ง ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ปานกลาง และ  $C_1$  คือ Double Layer Capacitance ซึ่งคือตัวเก็บ ประจุที่อยู่ระหว่าง อิเล็กโทรไลต์และอิเล็กโทรด โดยจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด, อุณหภูมิ, ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดของไอออน และชั้นของออกไซด์ ซึ่ง จะสอดคล้องในย่านความถี่ปานกลาง และอิมพีแดนซ์  $Z_w$  คือ Warburg Resistance แสดงถึงการ แพร่ของ Li-Ion ระหว่างวัสดุที่ใช้งานกับอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ต่ำ

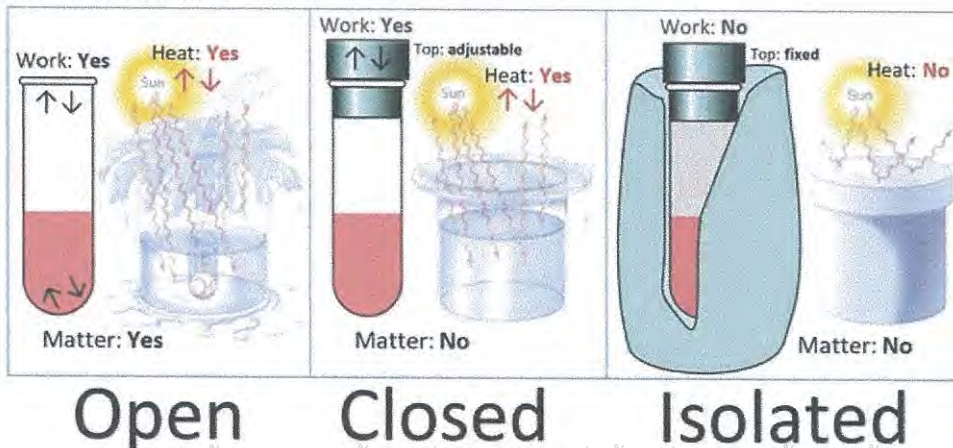


รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลแบบ Finite Warburg Impedance

### 2.7 พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์

- ระบบ (System) คือสิ่งที่เรากำลังศึกษาอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดขึ้น เป็นส่วน หนึ่งของจักรวาลหรือเอกภพแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- 1) ระบบเปิด (Opened System) คือ ระบบที่แลกเปลี่ยนทั้งพลังงานและมวลสาร กับสิ่งแวดล้อม
- 2) ระบบปิด (Closed System) คือ ระบบที่แลกเปลี่ยนพลังงานกับสิ่งแวดล้อมแต่ ไม่มีการแลกเปลี่ยนมวลสาร
- 3) ระบบโดดเดี่ยว (Isolated System) คือ ระบบที่ไม่เกิดการแลกเปลี่ยนพลังงาน หรือมวลสารกับสิ่งแวดล้อม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนไข้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.10 ระบบทางอุณหพลศาสตร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สิ่งแวดล้อม (Surrounding) เป็นส่วนที่เหลือของจักรวาลที่อยู่รอบระบบ อาจมีผลต่อระบบหรือไม่ก็ได้

- อุณหภูมิ (Temperature : T) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงระดับความร้อนของสสาร โดยพลังงานความร้อนถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปอุณหภูมิต่ำเสมอ การคำนวณทางอุณหพลศาสตร์ใช้หน่วย Kelvin, K เสมอ

- ความร้อน (Heat : Q) คือ พลังงานรูปแบบหนึ่งที่ถ่ายเทระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมหรือระหว่างจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งของระบบ เกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยกำหนดให้เครื่องหมายเป็นบวก ถ้าความร้อนถ่ายเทจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบ และเครื่องหมายเป็นลบ ถ้าความร้อนถ่ายเทจากระบบไปยังสิ่งแวดล้อม

- งาน (Work : W) คือ พลังงานรูปแบบหนึ่งที่สามารถถ่ายเทหรือแลกเปลี่ยนระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อมได้

โดยกำหนดให้เครื่องหมายเป็นบวก ถ้าสิ่งแวดล้อมกระทำกับระบบ และเครื่องหมายเป็นลบถ้าระบบทำงานให้กับสิ่งแวดล้อมดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11 แสดงงานที่เกิดจากการขยายตัวของอากาศภายในกระบอกสูบ ในทางอุณหพลศาสตร์เราจะพิจารณาเฉพาะงานทางกลสำหรับงานทางกลขนาดเล็กๆ  $\Delta W$  ที่ระบบกระทำหรือถูกกระทำนั้นก็คือ แรงกระทำคูณกับระยะทาง ดังสมการที่ 2.2



รูปที่ 2.11 งานที่เกิดจากการขยายตัวของอากาศในกระบอกสูบ

- พลังงานภายใน (Internal Energy : U) คือ พลังงานที่ขึ้นอยู่กับสมบัติของสสารในระบบ เช่น ชนิด ส่วนผสม และตัวแปรแวดล้อมอื่นๆ

- พลังงานศักย์ (Potential Energy) คือ ผลรวมของแรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็ก ศักย์ไฟฟ้า ศักย์แม่เหล็ก ที่กระทำต่อระบบ ค่าของพลังงานขึ้นอยู่กับระดับพลังงานที่เราเลือกให้เป็นศูนย์

- พลังงานจลน์ (Kinetics Energy) คือ พลังงานของระบบที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่สุทธิภายในระบบ

- ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat : s) คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้สาร 1 กรัม มี อุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  หน่วย  $\text{J/g}^{\circ}\text{C}$  ซึ่งตัวแปรนี้ไม่ขึ้นกับขนาดของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความจุความร้อน (Heat Capacity : C) คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้สารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  มีหน่วยเป็น  $\text{J}/^{\circ}\text{C}$  ความสัมพันธ์ระหว่างความจุความร้อนจำเพาะกับความจุความร้อน เป็นดังต่อไปนี้

$$C = ms \quad (2.3)$$

เราสามารถหาปริมาณความร้อนได้ว่าเป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อนได้จากความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 2.4 เครื่องหมายของ Q เปรียบเสมือนการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี ซึ่งถ้าค่าเป็นบวก เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน หาก Q มีค่าเป็นลบ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ความจุความร้อนจำเพาะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือความจุความร้อนของวัสดุภายใต้ความดันคงที่ ( $C_p$ ) และความจุความร้อนของวัสดุภายใต้ปริมาตรคงที่ ( $C_v$ ) ส่วนใหญ่ลักษณะของระบบที่เราศึกษาในทางโลหวิทยาและวัสดุศาสตร์นั้นอยู่ในสภาวะที่เราจะเลือกใช้ความจุความร้อนของวัสดุภายใต้ความดันคงที่ ( $C_p$ )

$$Q = ms\Delta t \quad (2.4)$$

$$Q = C\Delta t \quad (2.5)$$

- เอนทาลปี (Enthalpy : H) คือ ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าหรือออกจากระบบในกระบวนการที่ความดันคงที่ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.6

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad (2.6)$$

- เอนโทรปี (Entropy : S) เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งทางอุณหพลศาสตร์ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความไม่มีระเบียบของโมเลกุล การนำความร้อนไปทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่งภายใต้อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งของแข็งจะมีค่าเอนโทรปีน้อยที่สุด และก๊าซจะมีค่าเอนโทรปีมากที่สุด ยิ่งระบบมีความไม่เป็นระเบียบสูง เอนโทรปีก็จะมีค่าสูง แต่ถ้าระบบมีความไม่เป็นระเบียบน้อย เอนโทรปีก็จะมีค่าต่ำ

## 2.8 การสื่อสารภายในรถยนต์

การสื่อสารภายในรถยนต์ใช้การสื่อสารแบบ Controller Area Network (CAN) คือ การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial) ซึ่งรองรับการควบคุมแบบ Real Time ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีระบบความปลอดภัยขั้นสูง รองรับการส่งข้อความความผิดพลาดของเครื่องจักรและมีการจัดลำดับความสำคัญ ด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้สามารถปรับปรุงความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของระบบสื่อสารได้นอกจากนี้ CAN Furthermore, CAN รองรับการใช้งาน Multi-Master และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะสำหรับระบบ “อัจฉริยะ” ที่มีอุปกรณ์ประเภทเซ็นเซอร์และ อุปกรณ์ควบคุม อยู่ในในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 CAN Bus

### 2.8.1 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบ CAN

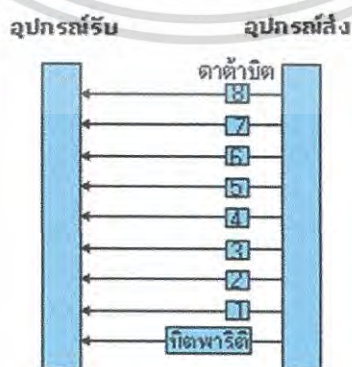
- มีความเร็วในการสื่อสารข้อมูลทำให้การตอบสนองของแต่ละโมดูลมีประสิทธิภาพสามารถจัดการกับอัตราการขนถ่ายข้อมูลได้สูงสุดถึง 1 เมกะไบต์ต่อวินาที
- สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่างๆแบบทันทีทันใด (Real Time)
- รองรับวิดีโอสตรีมมิ่ง (Video Streaming)
- สามารถใส่โมดูลต่าง ๆ เข้าไปได้มาก
- มีความสามารถในการตรวจจับข้อผิดพลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- มีสายไฟน้อยกว่า เพราะใช้ระบบสายเคเบิลเครือข่าย (Network Cable)

### 2.8.2 วิธีการถ่ายโอนข้อมูล

วิธีการถ่ายโอนข้อมูลเป็นการส่งสัญญาณออกจากเครื่องและรับสัญญาณเข้าไปในเครื่อง การถ่ายโอนข้อมูลสามารถจำแนกได้ 2 แบบ คือ

#### 2.8.2.1 การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน

การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกทีละ 1 ไบต์ หรือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ อุปกรณ์ตัวกลางระหว่างสองเครื่องจึงต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง เพื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านโดยมากจะเป็นสายสัญญาณแบบขนาน ระยะทางของสายสัญญาณแบบขนานระหว่างสองเครื่องไม่ควรยาวเกิน 100 ฟุต เพราะอาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสาย นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกิดจากระดับไฟฟ้าสายดินที่จุดรับผิดไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณทางฝ่ายรับ



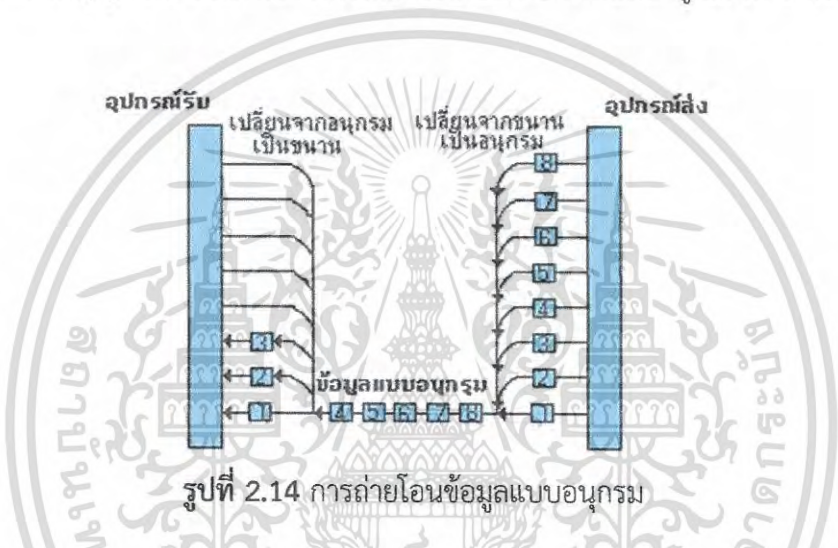
รูปที่ 2.13 การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2.2 การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิต ระหว่างจุดส่งและจุดรับ การส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนาน การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมต้องการตัวกลางสำหรับการสื่อสารเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายจะถูกกว่าแบบขนานสำหรับการส่งระยะทางไกลๆ โดยเฉพาะเมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไวใช้งานอยู่แล้ว ย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดต่อสื่อสารทีละ 8 ช่อง เพื่อการถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน

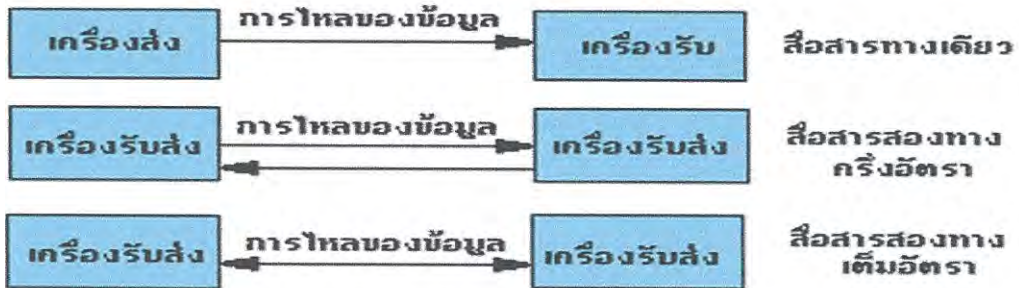
การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมจะเริ่มโดยข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณอนุกรมเสียก่อน แล้วค่อยทยอยส่งออกไปทีละบิตไปยังจุดรับ และที่จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิต ให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดิ เช่น บิตที่ 1 ลงที่บัสข้อมูลที่ส่งมาทีละบิต ให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดิ เช่น บิตที่ 1 ลงที่บัสข้อมูลเส้นที่ 1 ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.14 การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

การติดต่อแบบอนุกรมอาจจะแบ่งตามรูปแบบการรับ-ส่ง ได้ 3 แบบ คือ

1. สื่อสารทางเดียว (Simplex) ข้อมูลส่งได้ทางเดียวเท่านั้น บางครั้งก็เรียกว่าการส่งทิศทางเดียว (Unidirectional Data Bus)
2. สื่อสารสองทางครึ่งอัตรา (Half Duplex) ข้อมูลสามารถส่งได้ทั้งสองสถานี แต่จะต้องผลัดกันส่งและผลัดกันรับ จะส่งและรับพร้อมกันไม่ได้
3. สื่อสารสองทางเต็มอัตรา (Full Duplex) ทั้งสองสถานีสามารถรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.15 รูปแบบการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ดูแลเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วของการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม หน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที (bps) หน่วยที่บรรยายถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที เรียกว่าอัตราบอด (Baud Rate) ซึ่งเมื่อนำมาคูณกับจำนวนบิตใน 1 บอด จะได้อัตราบิต (Bit Rate) ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ 1 ครั้ง ถ้าเขียนในรูปของสมการคณิตศาสตร์ก็จะได้ว่า

$$\text{อัตราบิต (Bit Rate)} = \text{อัตราบอด (Baud Rate)} \times (\text{จำนวนบิตใน 1 บอด})$$

## 2.9 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงชนิดแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ อุณหพลศาสตร์ การถ่ายเทความร้อน พารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน และการสื่อสารในรถยนต์เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาทำการออกแบบการทดลองต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบการทดลอง

#### 3.1 บทนำ

แบตเตอรี่ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากการใช้ในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าทั้งในระบบโครงข่ายไฟฟ้าและระบบยานยนต์ไฟฟ้า (EV) แต่ในปัจจุบันราคาของแบตเตอรี่ยังมีราคาที่ยังค่อนข้างแพงดังนั้นหากเราสามารถดูแลรักษาและยืดอายุของแบตเตอรี่ได้ก็จะสามารถประหยัดต้นทุนได้ในอนาคต การดูแลรักษาแบตเตอรี่ในเบื้องต้นที่สามารถลดความเสี่ยงของแบตเตอรี่ได้คือการรักษาระดับอุณหภูมิของแบตเตอรี่ไม่ให้เกินขีดจำกัดที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ดังนั้นวิธีที่จะช่วยในการตรวจสอบอุณหภูมิไม่ให้มีค่าที่เกินกำหนดจะใช้วิธีการจำลองอุณหภูมิโดยใช้เทคนิคจำลองอุณหภูมิ (Thermal Model Technique) ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

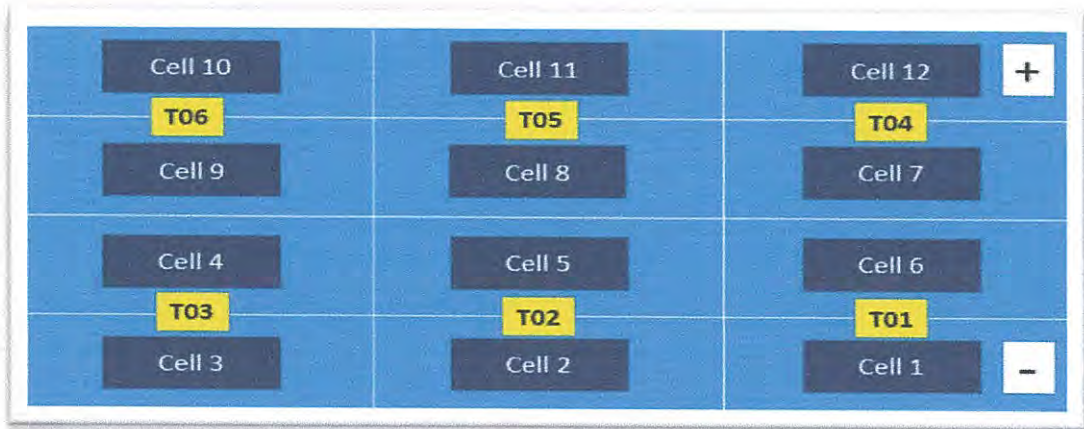
#### 3.2 แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง

แบตเตอรี่ลิเทียมเป็นที่นิยมใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าทั้งในด้านพลังงานทดแทน และรถยนต์ไฟฟ้า เพราะสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีในแบตเตอรี่เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งไม่ปล่อยสารพิษหรือแก๊สอันตรายใดๆ ออกมาทำลายสิ่งแวดล้อมจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ความพิเศษของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ดีกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นคือ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง มีอัตราการคายประจุด้วยตนเอง (Self-Discharge) ต่ำ อายุการใช้งานนานกว่า เพราะแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญในระบบจัดเก็บพลังงาน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในการศึกษาและทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1 เป็นแบตเตอรี่ยี่ห้อ Toshiba ขนาดแรงดันไฟฟ้า 27.6 โวลต์ และความจุไฟฟ้า 40 Ah มีความจุพลังงาน 1104 Wh ช่วงแรงดันไฟฟ้าในการใช้งานอยู่ระหว่าง 18-32.4 โวลต์ ทั้งนี้ช่วงอุณหภูมิในการใช้งานอยู่ระหว่าง -30 ถึง 55 °C เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ 1 โมดูลประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 12 เซลล์ และภายในแบตเตอรี่ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจำนวน 6 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

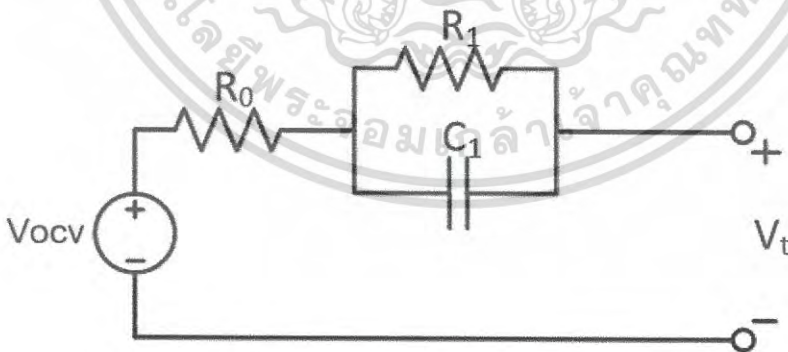


รูปที่ 3.2 แผนผังเซลล์ภายในแบตเตอรี่และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

แผนผังเซลล์ภายในแบตเตอรี่และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 12 เซลล์ แต่ละเซลล์มีขนาดแรงดัน 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ ภายในแบตเตอรี่มีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิจำนวน 6 ตำแหน่ง เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิขณะใช้งานไม่ให้เกินค่าที่กำหนด และป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ ตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิมียังดังต่อไปนี้

1. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ T01 อยู่ระหว่างเซลล์ที่ 1 และเซลล์ที่ 6
2. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ T02 อยู่ระหว่างเซลล์ที่ 2 และเซลล์ที่ 5
3. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ T03 อยู่ระหว่างเซลล์ที่ 3 และเซลล์ที่ 4
4. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ T04 อยู่ระหว่างเซลล์ที่ 7 และเซลล์ที่ 12
5. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ T05 อยู่ระหว่างเซลล์ที่ 8 และเซลล์ที่ 11
6. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ T06 อยู่ระหว่างเซลล์ที่ 9 และเซลล์ที่ 10

วงจรสมมูลในแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือ วงจรสมมูลแบบ One-RC Branch



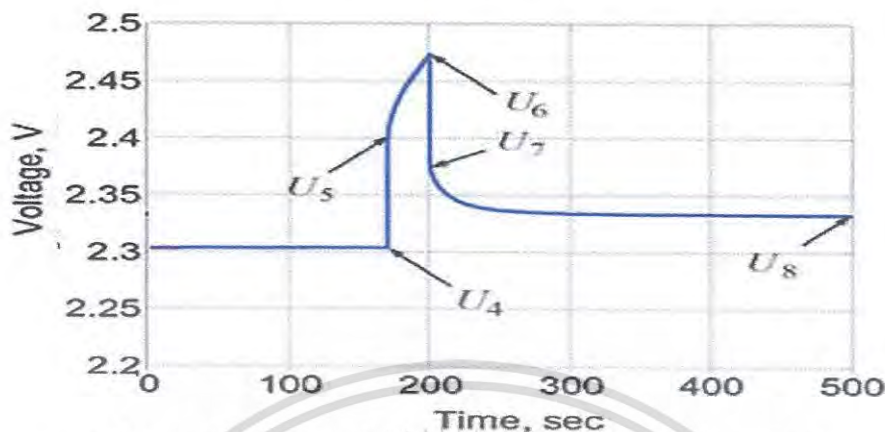
รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลแบบ One-RC Branch

### 3.3 การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ

#### 3.3.1 การหาค่าพารามิเตอร์ความต้านทานภายในแบตเตอรี่

จากการศึกษางานวิจัยการหาจรรยาสมมูลของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน พบว่าจรรยาสมมูลที่นิยมใช้คือจรรยาสมมูลดังรูปที่ 3.3 วงจรสมมูลแบบ One-RC Branch ประกอบด้วย  $V_{ocv}$ ,  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $C_1$  โดยการทำนายค่าพารามิเตอร์นั้น ค่าความต้านทาน  $R_0$  จะทำนายจากแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันทีหลังจากเริ่มการอัดประจุไฟฟ้า ส่วนค่า  $R_1$  และ  $C_1$  จะทำนายจากช่วง Exponential Function Curve Fit โดยให้กระแสทดสอบคือกระแสที่พิกัดของแบตเตอรี่



รูปที่ 3.4 แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ขณะการอัดประจุแบบพัลส์

จากรูปที่ 3.4 แสดงแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะการอัดประจุแบบพัลส์ 1 รูปคลื่น ซึ่งจะใช้เป็นตัวอย่างในการคำนวณค่าพารามิเตอร์  $R_0$  และ  $R_1$  ที่ตำแหน่ง  $U_4$  คือช่วงที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าของลูกคลื่นใด ๆ โดยเมื่อเริ่มการอัดประจุแล้วแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ตำแหน่ง  $U_5$  คือช่วงที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทันทีทันใดหลังจากเริ่มอัดประจุไฟฟ้า เมื่ออัดประจุตามเวลาที่กำหนดแต่ละพัลส์แล้วจึงทำการหยุดการอัดประจุ ตำแหน่ง  $U_6$  คือจุดที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงสุดก่อนหยุดอัดประจุไฟฟ้า และตำแหน่ง  $U_7$  คือช่วงที่แรงดันไฟฟ้าลดลงทันทีทันใดเมื่อหยุดอัดประจุไฟฟ้า หลังจากนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะค่อย ๆ ลดลงเป็นลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล โดยที่ตำแหน่ง  $U_8$  คือจุดที่แรงดันไฟฟ้าลดลงต่ำสุด จากรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$R_0 = \frac{U_5 - U_4}{I_{\text{batt}}} \quad (3.1)$$

$$R_1 = R_{\text{Alt}} - R_0 \quad (3.2)$$

$$R_1 = \frac{(U_6 - U_8)}{I_{\text{batt}}} - \frac{(U_5 - U_4)}{I_{\text{batt}}} \quad (3.3)$$

จากการศึกษาวิจัยการหาความต้านทานทางความร้อนของแบตเตอรี่ ซึ่งการคำนวณหาค่าความต้านทานทางอุณหพลศาสตร์นั้นจะใช้ข้อมูลทางเทคนิคของแบตเตอรี่ ได้แก่ ความจุของแบตเตอรี่ น้ำหนักของแบตเตอรี่ ขนาดของแบตเตอรี่ ค่าพารามิเตอร์  $R_0$  และ  $R_1$  และข้อมูลทางอุณหพลศาสตร์ ได้แก่ ความจุความร้อนจำเพาะของแบตเตอรี่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ อุณหภูมิห้องที่ทำการทดสอบ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะอัดประจุไฟฟ้า

พลังงานความร้อนทั้งหมดที่แบตเตอรี่ได้รับจากการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้า

คงที่สามารถหาได้จากสมการที่ 3.4 และพลังงานที่สูญเสียจากการนำความร้อนสามารถเขียนได้ดัง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 3.5 ดังนั้นเมื่อปรับสมการจะสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานทางความร้อนได้โดยใช้สมการที่ 3.8

$$\frac{Q_{\text{gen}}(t)}{dt} = R_0(I_{\text{batt}})^2 + R_1(I_{\text{batt}})^2 \quad (3.4)$$

$$\frac{Q_{\text{loss}}(t)}{dt} = \frac{Q_{\text{cond}}(t)}{dt} = \frac{T_{\text{core}} - T_{\text{crust}}}{R_{\text{cond}}} \quad (3.5)$$

$$mC_p \frac{dT_{\text{core}}}{dt} = \frac{Q_{\text{gen}}(t)}{dt} - \frac{Q_{\text{loss}}(t)}{dt} \quad (3.6)$$

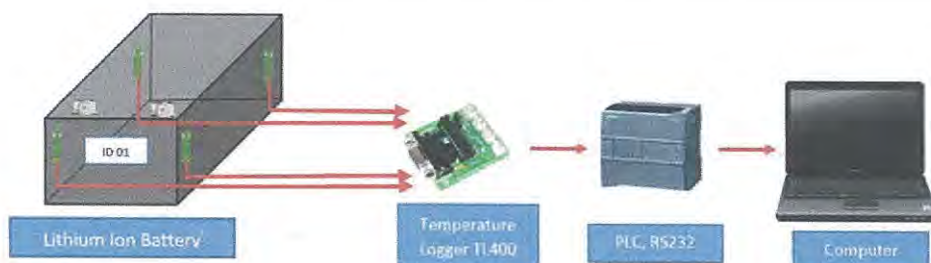
$$mC_p \frac{dT_{\text{core}}}{dt} = R_0(I_{\text{batt}})^2 + R_1(I_{\text{batt}})^2 - \frac{T_{\text{core}} - T_{\text{crust}}}{R_{\text{cond}}} \quad (3.7)$$

$$R_{\text{cond}} \approx \frac{T_{\text{core}} - T_{\text{crust}}}{R_0(I_{\text{batt}})^2 + R_1(I_{\text{batt}})^2 - mC_p \frac{dT_{\text{core}}}{dt}} \quad (3.8)$$

หลังจากทราบค่าพารามิเตอร์  $R_0$  และ  $R_1$  ของแบตเตอรี่แล้ว จะนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาป้อนค่าในแบบจำลองทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

### 3.3.2 แบบจำลองอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ

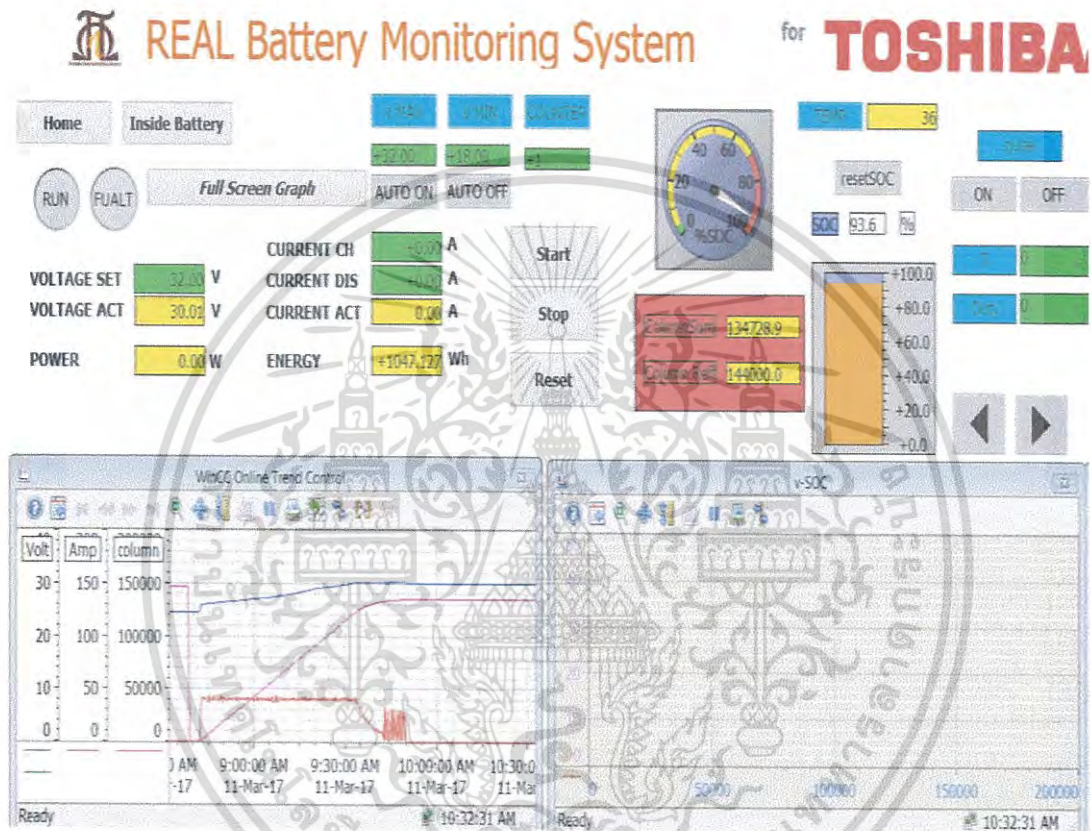
ในการทดลองเพื่อหาแบบจำลองทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ จะทำการทดสอบแบตเตอรี่ด้วยการอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging) ที่กระแสพิคัด 40 แอมแปร์ ซึ่งเป็นกระแสพิคัดที่ใช้งานของแบตเตอรี่รูปที่ 3.5 แสดงการทดสอบเพื่อหาแบบจำลองทางอุณหภูมิพลศาสตร์ ในการทดลองจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายนอกแบตเตอรี่จำนวน 4 ชุด โดยใช้บอร์ดอ่านค่าอุณหภูมิ Temperature Logger TL400 โดยสามารถวัดค่าอุณหภูมิระหว่าง -55 องศาเซลเซียส ถึง 125 องศาเซลเซียส และมีความละเอียดในการวัด 0.1 องศาเซลเซียส บอร์ดอ่านค่าอุณหภูมิจะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกแบตเตอรี่แบบเรียลไทม์ (Real Time) จากนั้นจะส่งค่าอุณหภูมิให้กับ PLC เพื่อนำไปแสดงผลบนหน้าจคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อหาแบบจำลองทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลของแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าจะใช้โปรแกรม PLC ของบริษัท Siemens ซึ่งข้อมูลของแบตเตอรี่แสดงแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าขณะทำการทดสอบ แรงดันต่อเซลล์ภายในแบตเตอรี่ทั้ง 12 เซลล์ อุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ อุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายนอกแบตเตอรี่ ค่าสถานะ SOC (State of Charge) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับเวลา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา



รูปที่ 3.6 หน้าต่างแสดงผลข้อมูลของแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบ

### 3.4 บทสรุป

ในบทนี้กล่าวถึงคุณลักษณะเฉพาะและข้อมูลทางเทคนิคของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ พิกัดกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานแบตเตอรี่ และโครงสร้างภายในแบตเตอรี่ รวมถึงตำแหน่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ กล่าวถึงการออกแบบการทดลองประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองอุณหภูมิของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปทำนายอุณหภูมิขณะอัดประจุ และได้แสดงถึงการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิกับหน้าจอแสดงผลข้อมูลของแบตเตอรี่ขณะทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรม PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

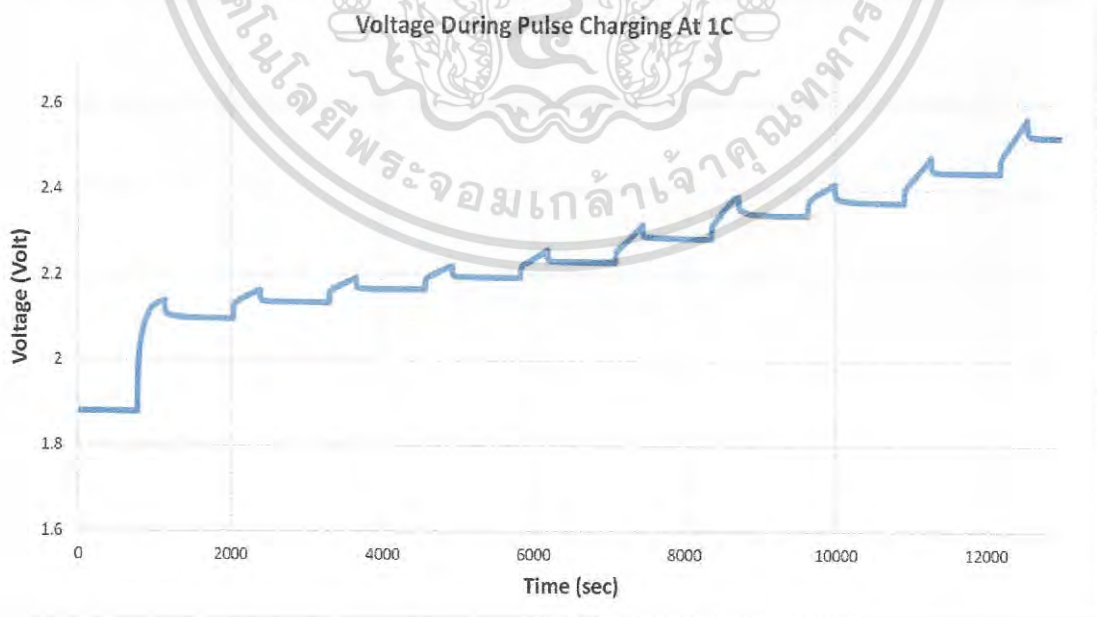
### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเสนอถึงผลการทดลองแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ขนาดความจุ 40 แอมแปร์ - ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 27.6 โวลต์ โดยการทดลองประกอบด้วยการอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charged) ที่พิกัดกระแส 40 60 80 และ 100 แอมแปร์ เพื่อหาความต้านทานภายในแบตเตอรี่  $R_0$  และทดลองอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging) ที่พิกัดกระแส 40 60 80 และ 100 แอมแปร์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ และนำไปคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่

### 4.2 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ความต้านทานภายในแบตเตอรี่

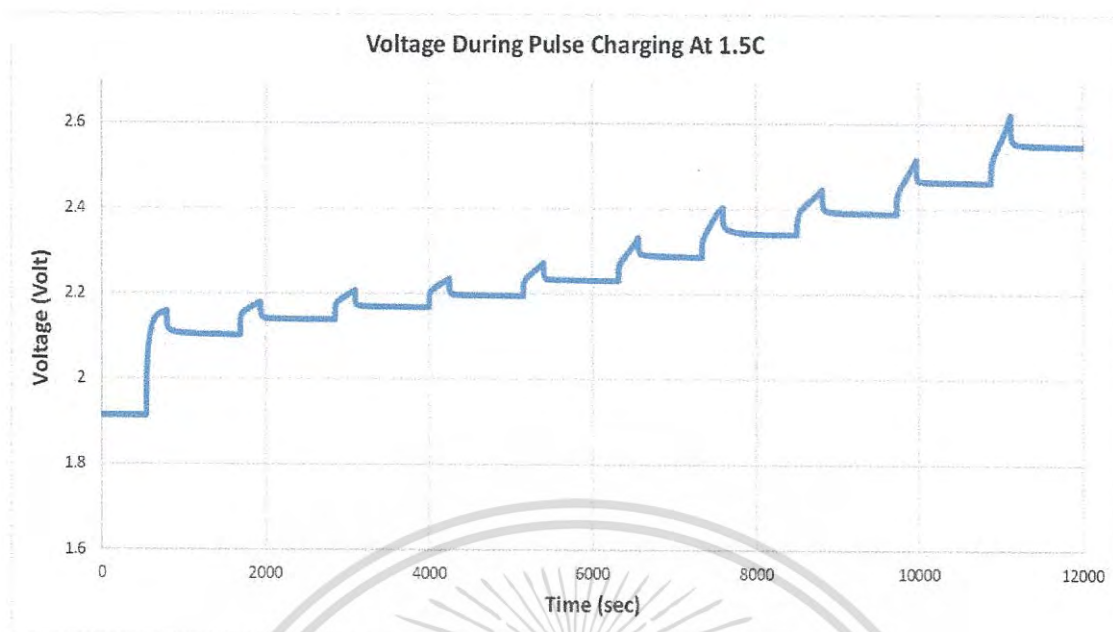
#### 4.2.1 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าแบบพัลส์

การทดสอบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีการอัดประจุแบบพัลส์ (Pulse Charged) ที่พิกัดกระแส 40, 60, 80 และ 100 แอมแปร์ เริ่มจากการคายประจุแบตเตอรี่จนหมด จากนั้นอัดประจุให้ SOC เพิ่มขึ้น 10 % แล้วทำการหยุดพักเป็นเวลา 15 นาที โดยเริ่มอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ สิ้นสุดการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 32.4 โวลต์ ในการทดลองจะได้รูปคลื่นพัลส์จำนวน 10 ลูกคลื่น จากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้าจาก SOC ที่ 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % และ 100 % เพื่อคำนวณพารามิเตอร์ความต้านทานไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่  $R_0$

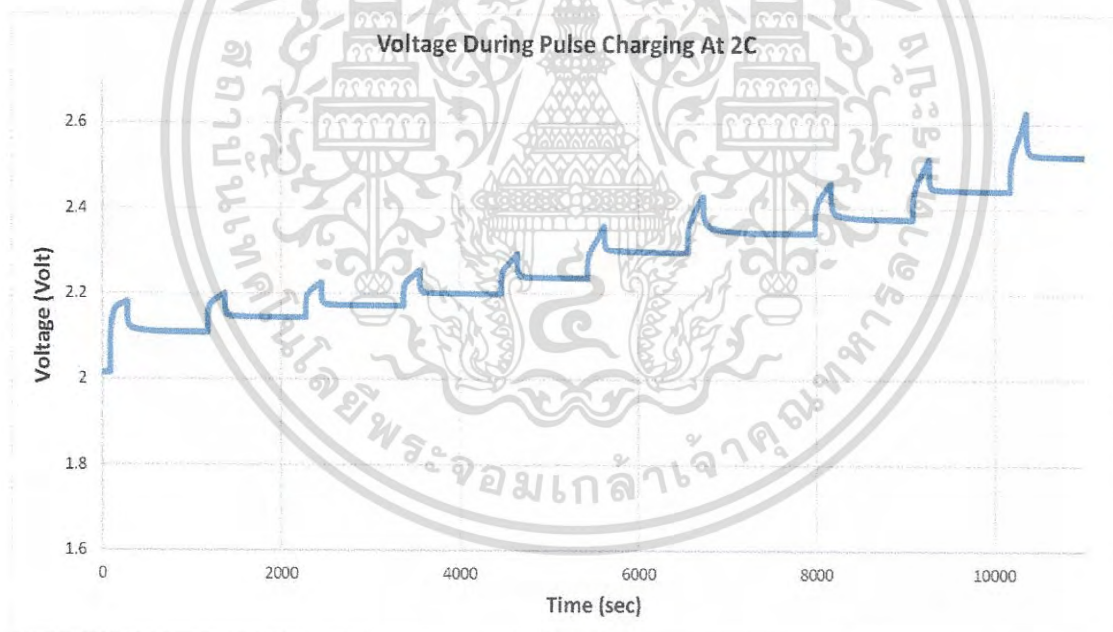


รูปที่ 4.1 การอัดประจุแบบพัลส์ที่พิกัดกระแส 40 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

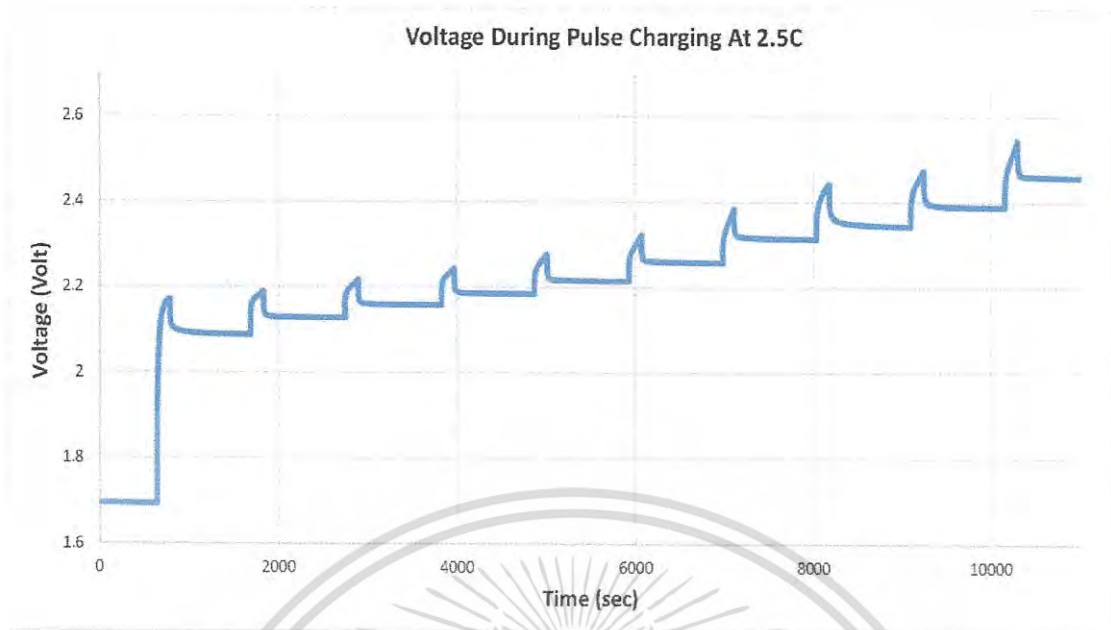


รูปที่ 4.2 การอัดประจุแบบพัลส์ที่พิกัดกระแส 60 แอมแปร์



รูปที่ 4.3 การอัดประจุแบบพัลส์ที่พิกัดกระแส 80 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

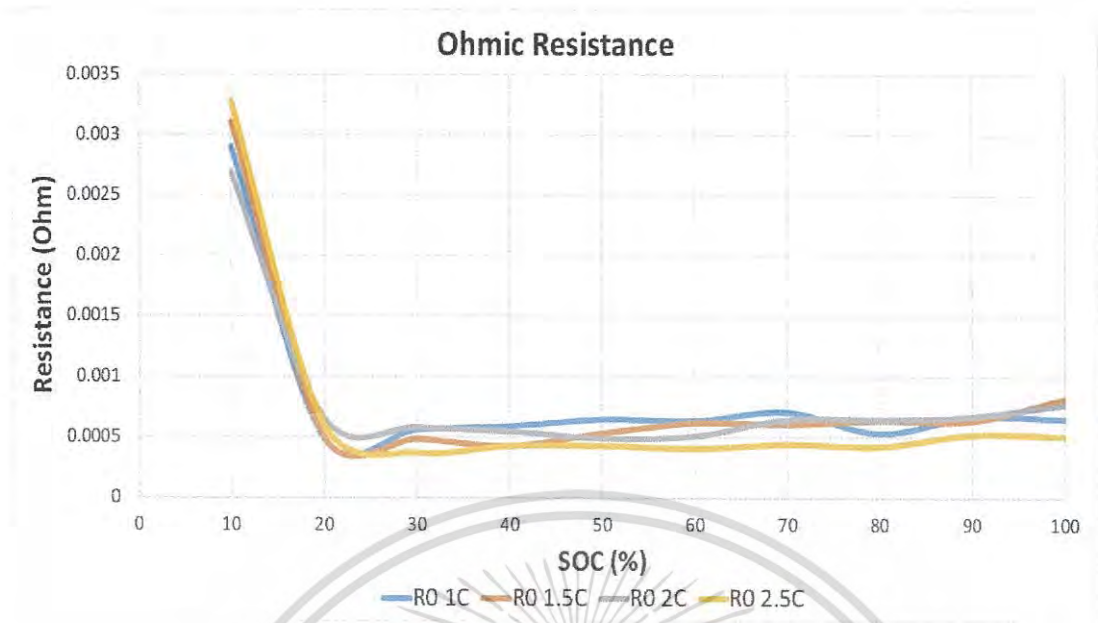


รูปที่ 4.4 การอัดประจุแบบพัลส์ที่พิกัดกระแส 80 แอมแปร์

#### 4.2.2 การคำนวณความต้านทานภายในแบตเตอรี่ $R_0$

เมื่อทำการทดลองอัดประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่ที่พิกัดกระแส 40 60 80 และ 100 แอมแปร์ จากนั้นนำรูปคลื่นจากผลการทดลองหาค่า  $U_4$  และ  $U_5$  เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่  $R_0$  ดังสมการ 4.1 จากการทดลองพบว่าเมื่ออัดประจุไฟฟ้าแบบพัลส์ที่กระแสไฟฟ้าต่างๆ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่  $R_0$  มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากดังรูปที่ 4.5

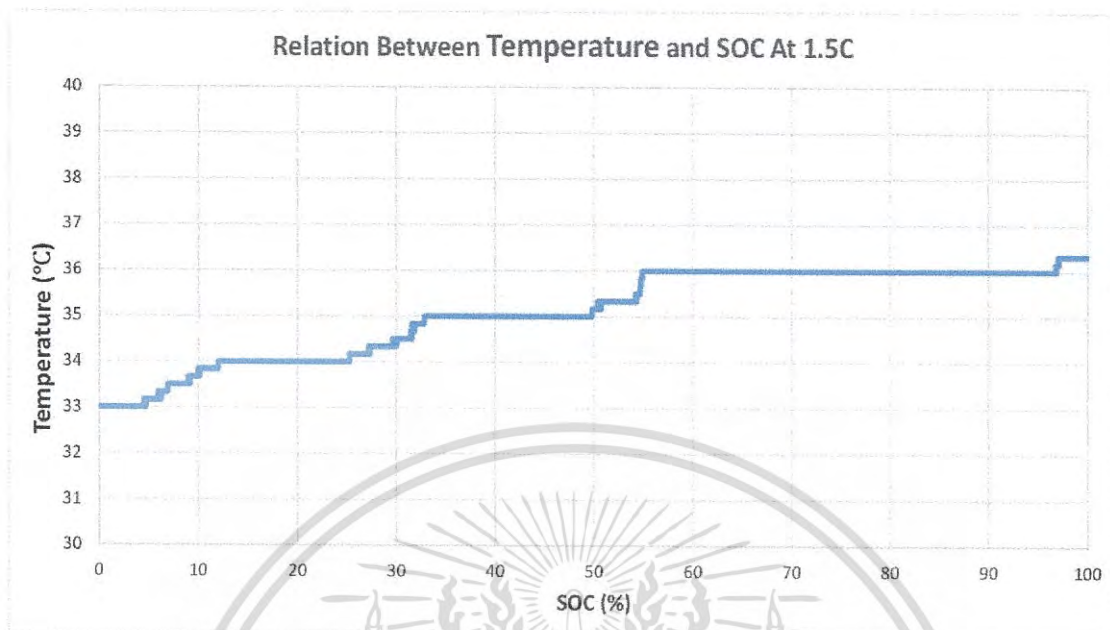
$$R_0 = \frac{U_5 - U_4}{I_{\text{batt}}} \quad (4.1)$$



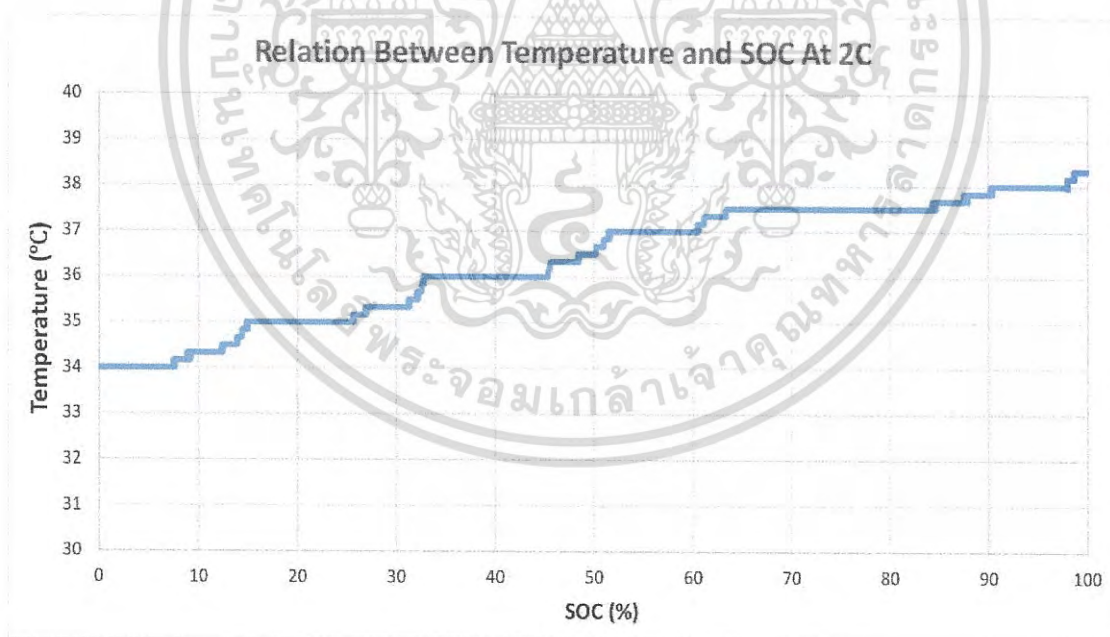
รูปที่ 4.5 ความต้านทานภายในแบตเตอรี่  $R_0$  ที่ 1C 1.5C 2C และ 2.5C

#### 4.3 การทดลองการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging)

การทดสอบอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่โดยการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ ซึ่งทำการอัดประจุด้วยพิกัดกระแส 60 80 และ 100 แอมแปร์ พิกัดแรงดันไฟฟ้า 32.4 โวลต์ และพิจารณาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ SOC 0 – 80 % ซึ่งเป็นช่วงการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ โดยเริ่มอัดประจุที่แรงดันเริ่มต้นประมาณ 24 โวลต์ และอัดประจุไฟฟ้าจนถึง 32.4 โวลต์ เพื่อนำค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางอุณหภูมิภายในของแบตเตอรี่ จากการทดลองพบว่าเมื่ออัดประจุไฟฟ้าที่กระแสเพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 แสดงให้เห็นว่าการอัดประจุไฟฟ้าที่พิกัด 100 แอมแปร์ มีอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่สูงสุด

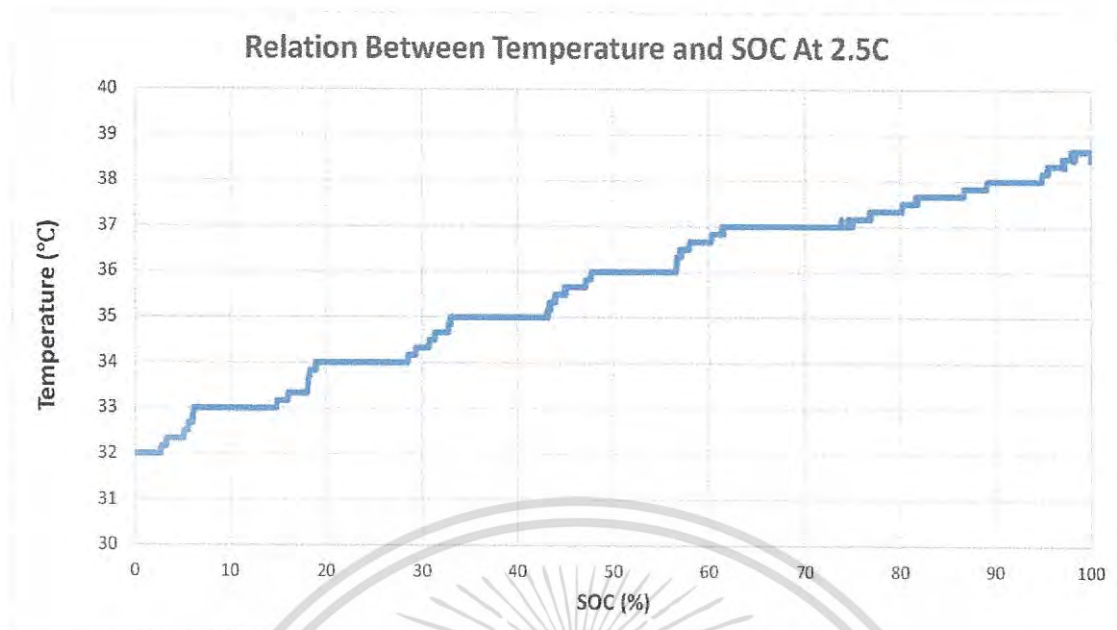


รูปที่ 4.6 อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุที่พิกัด 60 แอมแปร์



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุที่พิกัด 80 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุที่พิกัด 100 แอมแปร์

#### 4.4 การทำนายอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้า

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่ ที่พิกัดกระแส 60 80 และ 100 แอมแปร์พบว่าสามารถหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้จากสมการที่ 4.6 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางความร้อนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่

$$Q_t = Q_p + Q_j - Q_s \quad (4.2)$$

$$Q_p = IV_p \quad (4.3)$$

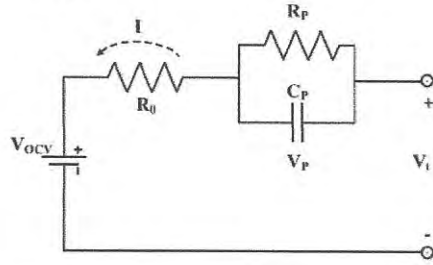
$$Q_j = I^2 R_0 \quad (4.4)$$

$$Q_s = Ah(T - T_{air}) \quad (4.5)$$

$$T(S) = T(S-10\%) + (\Delta t) \left( \frac{(I^2 R_0 + IV_p - Ah(Ah(T(S-10\%) - T_{air})))}{mc} \right) \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $V_p$  คือ Polarization Voltage



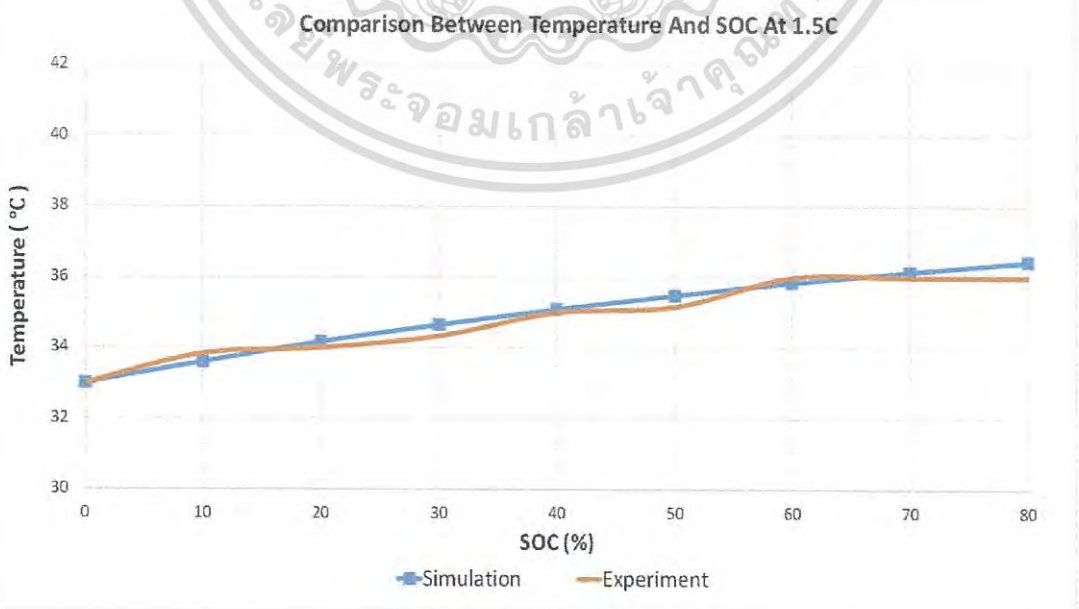
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ Polarization Voltage และวงจรสมมูล One-RC Branch  
จากรูปที่ 4.9 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของ  $V_p$  ได้ดังสมการ 4.7

$$V_p = V_t - (V_{OC} + IR_0) \tag{4.7}$$

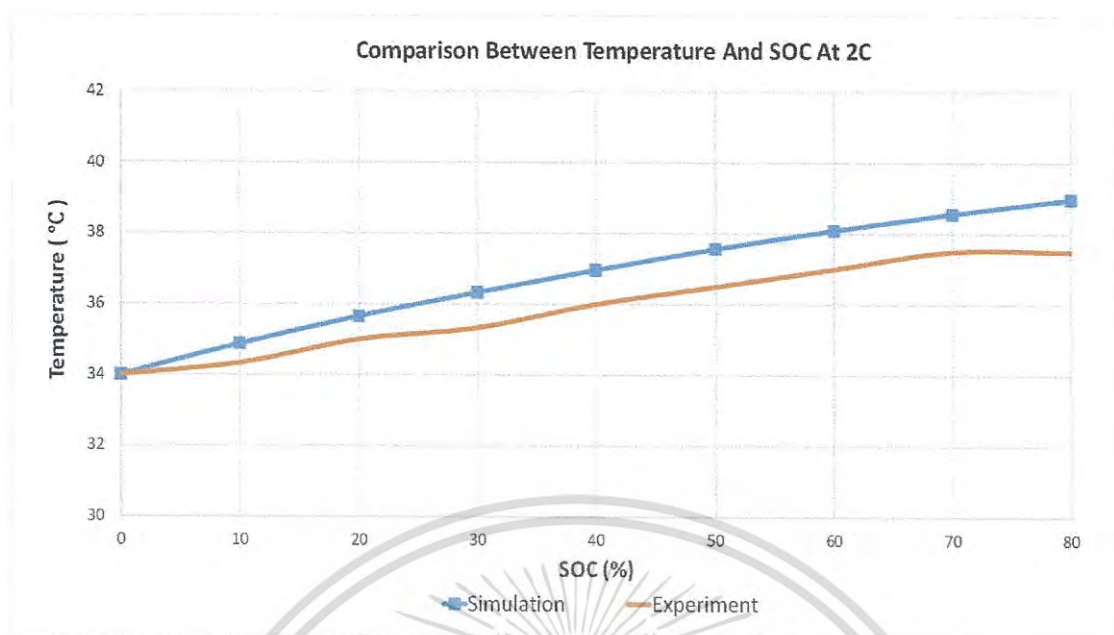
- A คือ พื้นที่ผิวของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์
- m คือ มวลของเซลล์แบตเตอรี่
- h คือ Heat Transfer Coefficient ( $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ )
- c คือ Specific Heat Capacity ( $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$ )

4.5 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

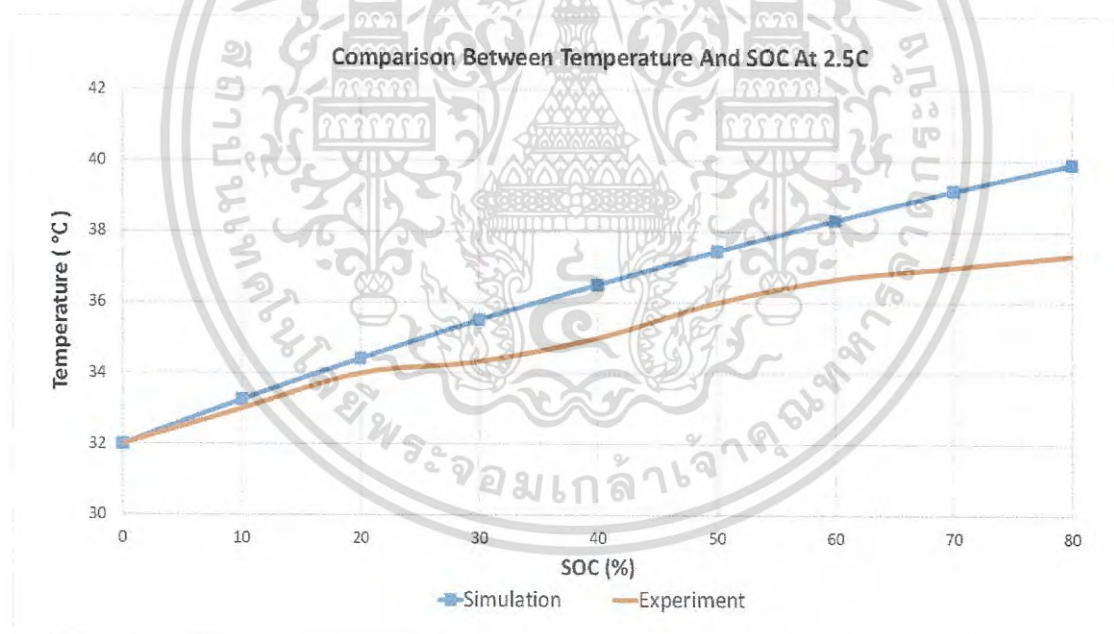
จากการทดลองและการสร้างแบบจำลองทางอุณหภูมิกายในแบตเตอรี่โดยการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ที่พิกัดกระแส 60 80 และ 100 แอมแปร์ ที่ SOC 0 – 80 % สามารถนำมาเปรียบเทียบแล้วพบว่าใกล้เคียงกับค่าจากการทดสอบจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 80 แอมแปร์

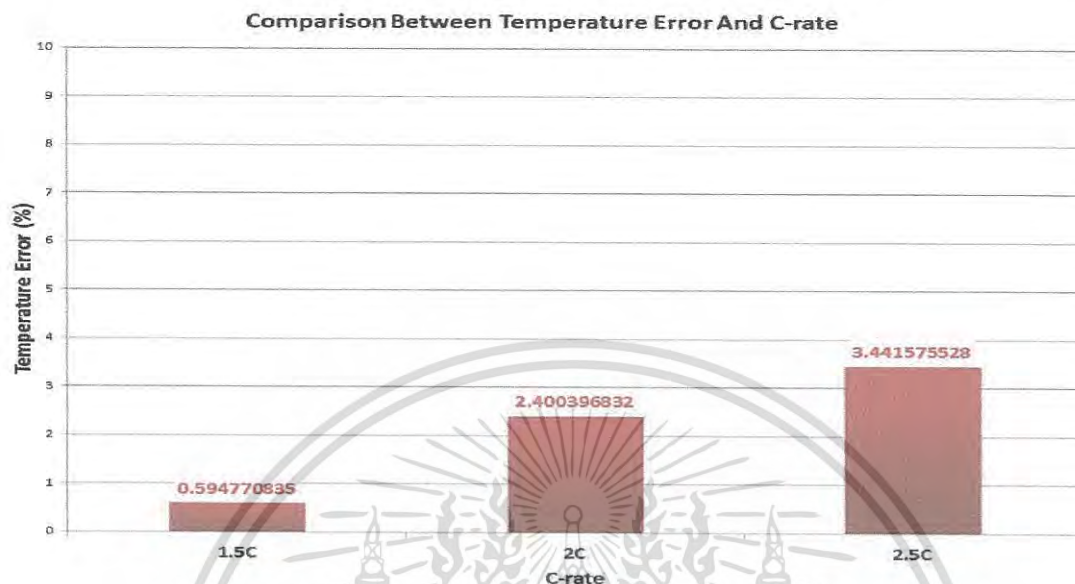


รูปที่ 4.12 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 100 แอมแปร์

รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองและการอัดประจุไฟฟ้าจากการทดลองที่กระแสไฟฟ้า 60 แอมแปร์ พบว่าการอัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองมีค่าใกล้เคียงกับการทดลอง รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองและการอัดประจุไฟฟ้าจากการทดลองที่กระแสไฟฟ้า 80 แอมแปร์ พบว่าการอัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองมีค่ามากกว่าการทดลองเพียงเล็กน้อย รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการอัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองและการอัดประจุไฟฟ้าจากการทดลองที่กระแสไฟฟ้า 100 แอมแปร์ พบว่าการอัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองมีค่ามากกว่าการทดลองเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองและการอัดประจุไฟฟ้าจากการทดลองที่กระแสไฟฟ้า 100 แอมแปร์ พบว่าการอัดประจุไฟฟ้าจากการจำลองมีค่ามากกว่าการทดลอง และมีอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่สูงสุด



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่การอัดประจุไฟฟ้าที่ 60 80 และ 100 แอมแปร์

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่การอัดประจุไฟฟ้าที่ 60 80 และ 100 แอมแปร์ พบว่าการอัดประจุไฟฟ้าที่ 60 แอมแปร์ มีค่าความผิดพลาด 0.59 % ที่การอัดประจุไฟฟ้า 80 แอมแปร์ มีค่าความผิดพลาด 2.40 % ที่การอัดประจุไฟฟ้าที่ 100 แอมแปร์ มีค่าความผิดพลาด 3.44 % จากรูปพบว่าที่การอัดประจุไฟฟ้าที่ 100 แอมแปร์ มีค่าความผิดพลาดมากที่สุด

#### 4.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้แสดงผลการอัดประจุไฟฟ้าแบบพัลส์และการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนขนาด 40 แอมแปร์ - ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 27.6 โวลต์ เพื่อสร้างสมการการทำนายอุณหภูมิขณะอัดประจุด้วยกระแสคงที่ โดยการทดลองเริ่มจากการอัดประจุแบบพัลส์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ จากนั้นทำการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่เพื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ สุดท้ายได้สร้างแบบจำลองของอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุและนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

## บทที่ 5

### บทสรุป ข้อเสนอแนะ แนวทางการพัฒนา

#### 5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำนายอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่เนื่องจากการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูงซึ่งทำให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงตามส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จึงได้นำวิธีการทำนายอุณหภูมิของแบตเตอรี่ก่อนอัดประจุเพื่อหากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการอัดประจุ ในการหาค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่แบบพัลส์ (Pulsed charge) โดยคำนวณค่าความต้านทานจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในช่วงพักของพัลส์ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะส่งผลโดยตรงต่อการสูญเสียทางความร้อนและทำให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้น

ในการศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้าพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแปรผันตามกระแสไฟฟ้าที่อัดประจุ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และ Polarization Voltage ของเซลล์แบตเตอรี่ซึ่งหาได้จากวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากผลการทดสอบด้วยการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่เพื่อนำอุณหภูมิภายในของแบตเตอรี่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายจากพบว่าสามารถทำนายอุณหภูมิได้อย่างดี

#### 5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. การคายประจุจะทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นมากกว่าการอัดประจูดังนั้นควรระวังการกำหนดกระแสในการคายประจุในการทดลอง

2. การใช้เครื่องอัดประจุไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการ Real lab มีข้อจำกัดในการคายประจุไฟฟ้าโดยไม่สามารถหยุดการคายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ได้ทันที

3. ในการทดสอบควรควบคุมอุณหภูมิในระหว่างทำการทดลองให้คงที่เนื่องจากอุณหภูมินั้นเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อผลการทดลองของแบตเตอรี่

4. การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าและการคายประจุไฟฟ้าแต่ละครั้งต้องรอให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ลดลงคงที่ก่อนที่จะทดสอบครั้งต่อไปเพื่อความแม่นยำในการหาค่าตัวแปรต่างๆของแบตเตอรี่

5. ควรควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นในการอัดประจุและเสไฟฟ้าคงที่ให้ต่างกันเพื่อพิสูจน์ว่าแนวโน้มเป็นไปตามการทำนายจากสมการหรือไม่

#### 5.3 แนวทางการพัฒนา

งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มเติมได้จากการนำข้อเสนอแนะข้างต้นที่ได้กล่าวมาโดยการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิเครื่องอัดประจุขณะอัดประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า และไปพัฒนาสร้างเป็นระบบการประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าซึ่งนำไปสู่ระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่ดีขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชนิดของแบตเตอรี่ [Online]. Available: [https://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric\\_batteries.html](https://www.afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html)
- [2] Zheng Chen; Xing Shu, Xiaoyu Li; Renxin Xiao; Jiangwei Shen, “An Optimal Charging Algorithm for Lithium-ion Batteries Considering Temperature Rise Minimization” *IEEE International Electric Vehicle Conference, 2012*
- [3] Yashraj Tripathy; Andrew McGordon; John Low; James Marco, “Internal Temperature Prediction of Lithium-ion Cell Using Differential Voltage Technique” *IEEE International Electric Vehicle Conference, 2017*
- [4] กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (2nd Law of Thermodynamics) [Online]. Available: <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/86/Thermo1/Second%20Law.htm>
- [5] กฎข้อที่ 3 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (3rd Law of Thermodynamics) [Online]. Available: <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/86/Thermo1/Third%20Law.htm>
- [6] อุณหพลศาสตร์(Thermodynamics) [Online]. Available: <http://pioneer.netseiv.chula.ac.th/~sjessada/chap10.pdf>
- [7] การถ่ายเทความร้อน [Online]. Available: <http://www.thaigoodview.com/node/42080>
- [8] การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Transmission) [ระบบออนไลน์]. Available: <https://digitalcpe2.wordpress.com/8-2/>
- [9] Battery Lifetime: How Long Can Electric Vehicle Batteries Last? [Online]. Available: <https://cleantechnica.com/2016/05/31/battery-lifetime-long-can-electric-vehicle-batteries-last/>
- [10] Feng Jin; He Yongling; Wang Guofu, “Comparison Study of Equivalent Circuit Model of Li-Ion Battery for Electrical Vehicles” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, November 2013*
- [11] Chanikarn Hommalai, “The Study of Lithium Ion Battery Electrical Model with Thermal Characteristic During Constant Current Charging” *King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang*
- [12] Joris Jaguemont; Loïc Boulon, “Characterization and Modeling of a Hybrid-Electric-Vehicle Lithium-Ion Battery Pack at Low Temperatures” *IEEE Transactions on Vehicular Technology, January 2016*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



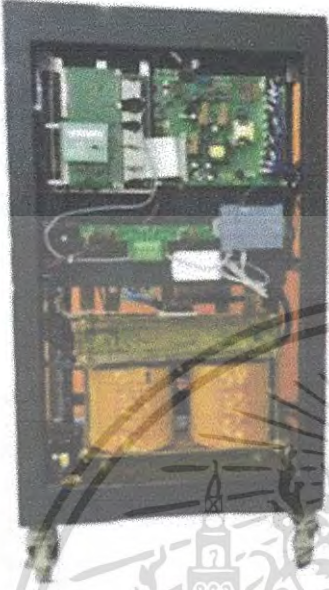
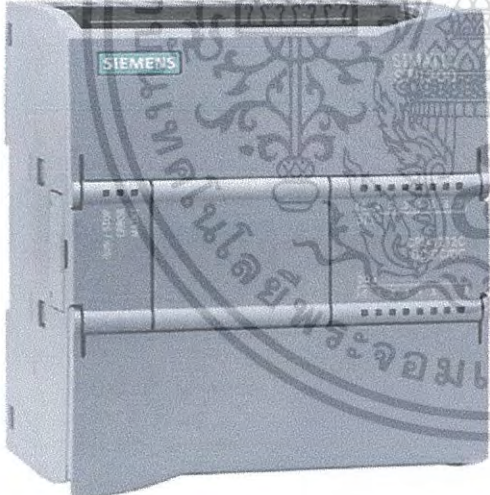
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์	รายละเอียด
	<p>แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 27.6 V 40Ah</p>
	<p>คอมพิวเตอร์</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์	รายละเอียด
	<p>เครื่องอัตโนมัติ</p>
	<p>PLC S7-1200</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์	รายละเอียด
	<p>Temperature logger TL-400</p>
	<p>RS2 32</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์	รายละเอียด
	RS422/485
	Multi Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์	รายละเอียด
	<p>ตัวแปลงสัญญาณ</p>
	<p>อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

## Instruction manual of 27.6V-40Ah Secondary battery module on vehicle

Model number: AMQ1202CCA05A

23<sup>rd</sup> April, 2013

Vehicle Driving Systems Engineering Dept.  
Automotive Systems Div.  
Social Infrastructure Systems Company

Approved by	Reviewed by	Prepared by
H. Nishimura	M. Yasosaki	M. Suzuki

The information contained in this document is confidential and proprietary to TOSHIBA CORPORATION. Therefore, please kindly observe the followings.  
It shall not be traded, otherwise copied, nor used for any other purpose, nor communicated to any other person without our written permission.

TOSHIBA CORPORATION  
Social Infrastructure Systems Company

Confidential

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 1. Introduction

This document describes how to handle the (SCiB™) 27.6V-40Ah secondary battery module on vehicle (hereafter called "This module"). The installation method of this module is mainly described in this document.

As for necessary detailed specifications on the use of this module (charge/discharge operation and etc.), refer to the technical specifications and etc. which is provided as the technical material. And as for controlling requests to upper system such as BMU (Battery Management Unit) and a controlling system of charge/discharge equipment and etc. which is required to use this module, also refer to the technical specifications.

## 1.1 Acronyms symbols and abbreviations

Table 1-1 indicates the definition of terms used in this document.

Table 1-1 The definition of terms

Terms	Definition
2P12S	Cell arrangement that 2 cells are connected in parallel, and 12 of which are connected in series.
BMU	Battery Management Unit. BMU is a circuit board. It receives signals from CMU. BMU controls this module.
CAN	Controller Area Network: Communication network used in data transmitting between interconnected electrical devices.
CMU	Cell Monitoring Unit: CMU is Electric circuit board. It is mounted in this module, equipped with CPU and cell monitoring IC. It monitors cell voltages and module temperatures and transmits these information to upper system.
CMU-ID	Unique ID, which is installed in the battery module, is numbered from the upper system, such as BMU. CMU generates a CAN-ID from the numbered CMU-ID. CMU sends the module information named by the CAN-ID through CAN communication. It can be automatically numbered by the serial communication (UART) interface as well.
SOC	State Of Charge: Charging capacity ratio of cell capacity. Unit is %
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter: The asynchronous serial communication.
Cell	Smallest battery structural unit arranged in this module
Battery module	The assembled battery is consisted of SCiB 20Ah cells arranged 2 in parallel / 12 in serial (2P12S). CMU is internally-mounted on this module.
Battery unit	A building block of battery is consisted of some battery modules connected in series (Max 22pcs) and peripheral equipment such as safety equipment.
Cell balancing operation	If cell voltage is higher than the prescribed voltage (target cell voltage), Cell balancer operates to balance cell voltage.
Hexalobular	The shape of a driving hole on the head of the screw used on main circuit terminal in this module. The shape of Hexalobular is 6 radial grooves
Recess	Driving hole on the head of the screw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 The specifications of this module

Table 1-2 of the next page indicates the specifications of this module.

This module is an assembled battery module with SCiB™ 20Ah cells arranged 2 in parallel / 12 in serial (2P12S).

This module has CMU which measures voltage of cells and module temperature inside, operates cell balancing and communicate with the upper system such as BMU or controlling systems. It is necessary to control this module by BMU or controlling systems as the specifications of this module when charging/discharging this module. And this module needs to be supplied DC12V power supply provided from outside.

Before using this module, BMU needs to assign ID No. to this module by means of UART communication (ID No. of the battery module can be assigned automatically from BMU and controlling systems designed based on the specification of this module) in order to communicate by CAN after system assembly.

If necessary, it is possible to number ID No. to this module in advance before shipping.

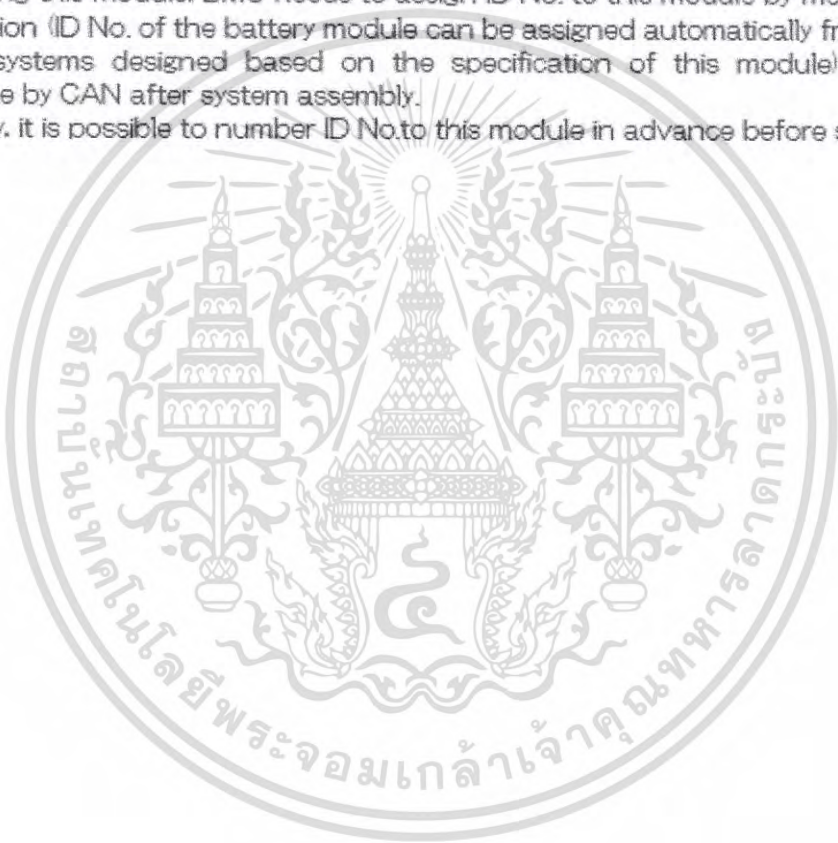


Table 1-2 The module specifications (AM01202CCA05A)

Item	Specifications	Remarks
Nominal voltage *1	27.6V DC	-
Nominal capacity *1	40Ah	Discharging@25deg.C 0.2 C (8A) *2
Max allowed current *1	120A (Charge/discharge)	@25 deg.C
Operating voltage *1	18.0V~32.4V	-
Cell composition	2 in parallel and 12 in serial (2P12S)	Use of SCiB® 20Ah cell
Function	-Measuring of cell voltages and module temperatures -Cell balancing operation -External notification through CAN -Automatically numbered CMU-ID by UART	-The notification of cell voltages and module temperatures through CAN -Cell balancer can be operated through CAN -CAN 2.0B: 500kbps -UART: 1200bps
Number of connections	Below 22 modules in series	122 modules in series. Nominal voltage: 607.2V
Charge/discharge terminal	Specified M6 screw	Tool: T20 Hexalobular wrench
Dimensions	187.3(H) x 358.5(D) x 122.65(W)	Unit: mm (Excluding protrusions) (Tolerance refers to "1.3 Appearance Dimensions")
Weight	14kg (Approx.)	-
External interface	CAN 2.0B 1ch UART (ISO9141 Equivalent) 1ch	CAN communication connector (8 poles) SM08B-CPTK-1A-TB (Manufactured by JST)
CMU operating power supply	Voltage: DC12V (10.2~13.2V) Rated consumption current: 17mA	Supplied from external power source Instantaneous interruption: less than 10msec Rush current: Approx. 7A (Only 1 in series). ~Approx. 11A (22 in series)
Environmental condition	Operating temperature range	-30~+55deg.C No condensation *3
	Storage temperature range	-30~+55deg.C Recommended: -10~+25deg.C No condensation *3
	Humidity	15~85%RH No condensation *3
	Operating altitude range	Below 1,000m When this module is used in an area over 1,000m, please contact us at the address described at the end of this document.

Note \*1. Initial characteristics in manufacturing.

\*2. Charge/discharge condition

- Charge: 40A, 20A, 8A, 4A, 2A/cell 2.7V cut Step charge
- Discharge: 8A/cell 1.5V cut Constant current discharge

\*3. This module may be damaged and become unusable due to condensation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The battery module will deteriorate their characteristics as charge/discharge operation is repeated. Even if they are stored, they will also be deteriorated as time passes. Deteriorated characteristics vary depending on ambient temperature, SOC status, charge/discharge conditions etc.

Refer to the recommendations are described in “6.5 Storage” in order to use the battery module as long as possible.

### 1.3 Appearance/Dimensions

Below is the appearance and dimensions of this module.

(Communication cable for checking of operation is detached from this module.)

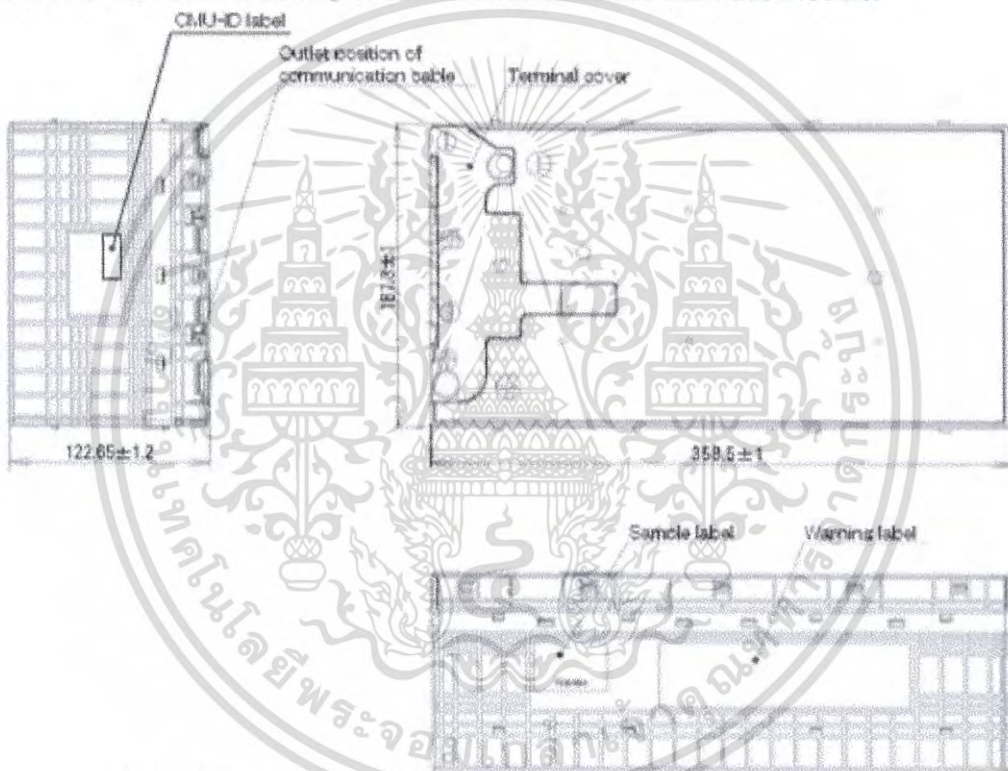


Fig.1-1 The appearance and dimensions of this module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 Part names

Below are the part names of this module.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 CAN communication connector

Below is information on the terminal arrangement of CAN communication connector and applicable connectors.

CAN communication connector terminal arrangement

Terminal No.	Terminal Name	I/O	Remarks
1	CANL	I/O	CAN Low line I/O
2	NC	-	No connection
3	ANCI	Input	UART input (For CMU-ID automatic numbering)
4	IGCT	Input	CMU starting power supply (DC12V)
5	CANH	I/O	CAN High line I/O
6	GND	GND	-
7	ANCO	Output	UART output (For CMU-ID automatic numbering)
8	NC	-	No connection

Terminal layout (Fitting side)

4	3	2	1
8	7	6	5

The model number of CAN communication connector: SM08B-CPTK-1A-TB (Male terminal) manufactured by JST

### 1.6 Communication cable for checking of operation (Including)

When included communication cable is connected with CAN communication connector on this module, it becomes possible to send a signal of CAN communication. As for connecting with the upper system, confirm the specification with regard to the connection in customer's own design and manufacture a communication cable adequately.

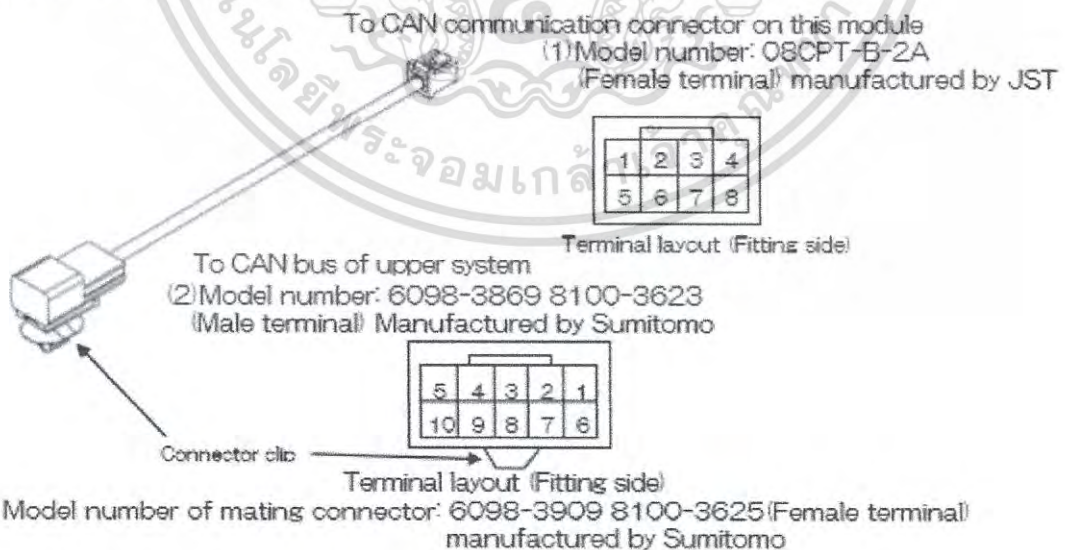


Fig.1-3 Communication cable for checking of operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Below is connecting diagram shown in Fig.1-3 in previous page.

Connecting diagram in communication cable for checking of operation

(1) Terminal No.	(2) Terminal No.	Terminal name	I/O	Remarks
1	1	CANL	I/O	CAN Low line I/O
2	2	NC	-	No connection
3	3	ANCI	Input	UART input (For CMU-ID automatic numbering)
4	4	IGCT	Input	CMU starting power supply (DC12V)
5	5	NC	-	No connection
6	6	CANH	I/O	CAN High line I/O
7	7	GND	GND	
8	8	ANCO	Output	UART output (For CMU-ID automatic numbering)
	9	NC	-	No connection
	10	NC	-	No connection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่ใช้เทคนิคแบบจำลองความร้อน

## Battery Health Diagnostic System Using Thermal Model Technique

จิรายุ มาศวงศ์วิวัฒน์<sup>1</sup> ณัฐนันท์ ตรีชัยรัตน์<sup>2</sup> และปริตา ขวัญรอด<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-739-2478 E-Mail: parita94.kr@gmail.com

### บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์นี้นำเสนอการทำนายอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็วด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่สูงและความร้อนส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง ดังนั้นจึงมีการศึกษาแบบจำลองของแบตเตอรี่ โดยใช้วงจรสมมูลทางความร้อนเพื่อตรวจวัดสุขภาพของแบตเตอรี่ แบบจำลองอุณหภูมิของแบตเตอรี่สามารถใช้ในการทำนายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ แบบจำลองนั้นสามารถนำไปปรับใช้เป็นฟังก์ชันในเครื่องอัดประจุ โดยทำการอัดประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและอัดประจุได้อย่างรวดเร็ว ผลการจำลองและผลการทดลองได้รับการตรวจสอบ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถทำนายอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ นั้นหมายความว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถใช้งานได้กับเครื่องอัดประจุสำหรับควบคุมการอัดประจุที่ดีที่สุดเพื่อยืดอายุการใช้งานและลดเวลาในการอัดประจุ

**คำสำคัญ:** สุขภาพแบตเตอรี่, เทคนิคแบบจำลองความร้อน

### Abstract

A prediction of internal temperature in lithium-ion battery is presented in this thesis. Due to the fast charging with constant current, this causes high heat inside the battery and the heat ruined the battery life. Therefore, a battery diagnostic model using thermal equivalent circuit is studied in this thesis for detecting battery health condition. The proposed battery thermal model can be used to predict an internal temperature which is occurred inside of the battery. The proposed model can be applied to be a function in a charger for optimal charging current to maintain a battery lifetime. The simulation and experimental results of proposed model are also validated. The results show that the proposed model can be predicted a battery inside temperature: this imply that the proposed method can implement in a charger function to control an optimum charging current for better battery lifetime.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1. บทนำ

แนวโน้มเชื้อเพลิงน้ำมันมีราคาสูงขึ้นและมีปริมาณน้อยลง ในปัจจุบันมีการใส่ใจต่อสภาพสิ่งแวดล้อมมากขึ้นเนื่องจากการสันดาปภายในรถยนต์ทำให้เกิดมลพิษทางเสียงและมลพิษทางอากาศเพราะการสันดาปไม่สมบูรณ์ จึงมีการคิดค้นพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า (EV) เพื่อแก้ไขปัญหาข้างต้น และแนวโน้มการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (EV) ในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการพัฒนารถยนต์ไฟฟ้า (EV) ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ความเร็วสูงสุด ความเร็วในการอัดประจุระยะทางต่อการอัดประจุแต่ละครั้งสูงขึ้น และราคาของรถยนต์ไฟฟ้าราคาแบตเตอรี่ ค่าซ่อมบำรุงมีแนวโน้มถูกลงด้วย

การกักเก็บพลังงาน ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานไฟฟ้ามีความสูญเสียน้อยมาก (Low Loss) เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงรูปของพลังงานชนิดอื่น และมีการคืนพลังงานกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น ระบบเบรกของรถยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ไฮบริด (Regenerative Braking) การพัฒนาการอัดประจุไฟฟ้าในปัจจุบันมีความรวดเร็วและสะดวกสบายต่อผู้ใช้งานรถไฟฟ้ามากขึ้น แต่การอัดประจุไฟฟ้าเร็วขึ้นทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น

ดังนั้นจึงได้หาแนวทางในการทำนายความร้อนที่อาจเกิดขึ้นของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าขณะอัดประจุ เพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาอย่างเหมาะสม โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงอุณหภูมิ มาสร้างสมการอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

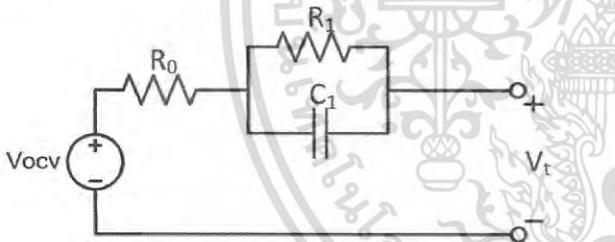
#### 2.1 การอัดประจุ

การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ คือการรวมวิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่กับ แรงดันคงที่เข้าด้วยกัน โดยจะแบบเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรก : การอัดประจุด้วยกระแสเต็มพิกัดคงที่ แรงดันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนเซลล์ได้รับความต่างศักย์ของ แบตเตอรี่ใกล้เต็ม ช่วงที่สอง : การอัดประจุด้วยแรงดันเต็มพิกัดคงที่ กระแสที่อัดประจุ

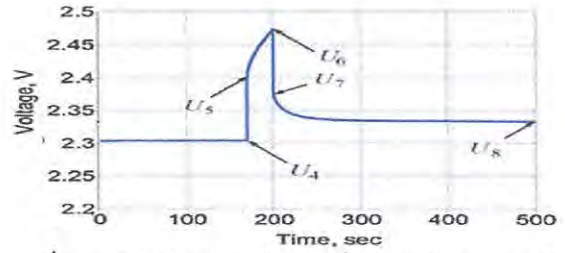
เข้าเซลล์ของแบตเตอรี่จะค่อย ๆ ลดลง และจะหยุดอัดประจุเมื่อกระแส น้อยกว่า 3 % ของแบตเตอรี่

**2.2 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน**

วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนแบบ One-RC Branch Equivalent เป็น วงจรสมมูลที่ประกอบไปด้วย  $V_{ocv}$  คือ แรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตาม ค่า SOC และ อุณหภูมิ  $R_0$  คือ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ (Ohmic Resistance หรือ Electrolyte Resistance) เป็น Parameter ที่ทำให้เกิด แรงดันตกอย่างทันทีทันใด ซึ่งเป็นแรงดันที่ตกคร่อมระหว่าง Reference Electrode และ Working Electrode ซึ่ง Ohmic Resistance จะขึ้นอยู่กับ สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์  $R_1$  หรือ  $C_1$  เป็นค่าที่ แสดงพฤติกรรมในช่วง Transient ซึ่งมีค่า Time Constant ในช่วง Short-Term โดย  $R_1$  คือ Polarization Resistance หรือ Charge Transfer Resistance ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าการถ่ายเทประจุระหว่างอิเล็กโทรดทั้ง 2 ฝั่ง ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ปานกลางและ  $C_1$  คือ Double Layer Capacitance ซึ่งคือตัวเก็บประจุที่อยู่ระหว่าง อิเล็กโทรดและอิเล็กโทรด โดยจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างขั้ว อิเล็กโทรด อุณหภูมิ ความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ชนิดของไอออนและชั้นของออกไซด์ ซึ่งจะสอดคล้องในย่านความถี่ปาน กลาง



รูปที่ 1 วงจรสมมูลแบบ One-RC Branch



รูปที่ 2 แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ขณะการอัดประจุแบบพัลส์ จากรูปที่ 2 แสดงแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขณะการอัดประจุแบบพัลส์ 1 รูปคลื่น ซึ่งจะใช้เป็นตัวอย่างในการคำนวณค่าพารามิเตอร์  $R_0$  และ  $R_1$  ที่ตำแหน่ง  $U_1$  คือช่วงที่เริ่มอัดประจุไฟฟ้าของลูกคลื่นใด ๆ โดยเมื่อเริ่ม การอัดประจุแล้วแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ตำแหน่ง  $U_2$  คือช่วงที่ แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทันทีทันใดหลังจากเริ่มอัดประจุ จากรูปคลื่น แรงดันไฟฟ้าสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$R_0 = \frac{U_5 - U_4}{I_{batt}} \tag{1}$$

**3.2 แบบจำลองอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุ**

ในการทดสอบเพื่อหาแบบจำลองทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ จะ ทำการทดสอบแบตเตอรี่ด้วยการอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสไฟฟ้างที่ และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current – Constant Voltage Charging) ที่กระแสฟัดัก 40 แอมแปร์ ซึ่งเป็นกระแสฟัดักที่ใช้งานของแบตเตอรี่ รูป ที่ 3 แสดงการทดสอบเพื่อหาแบบจำลองทางอุณหภูมิศาสตร์ ในการ ทดลองจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายนอกแบตเตอรี่จำนวน 4 ชุด โดยใช้บอร์ดอ่านค่าอุณหภูมิ Temperature Logger TL400 โดย สามารถวัดค่าอุณหภูมิระหว่าง -55 องศาเซลเซียส ถึง 125 องศาเซลเซียส และมีความละเอียดในการวัด 0.1 องศาเซลเซียส บอร์ดอ่านค่าอุณหภูมิจะ ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายนอกแบตเตอรี่แบบ เรียลไทม์ (Real Time) จากนั้นจะส่งค่าอุณหภูมิให้กับ PLC เพื่อนำไป แสดงผลบนหน้าจคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อหาแบบจำลองทางอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ขณะอัดประจุ

**3. การออกแบบการทดลอง**

**3.1 แบบจำลองอุณหภูมิของแบตเตอรี่**

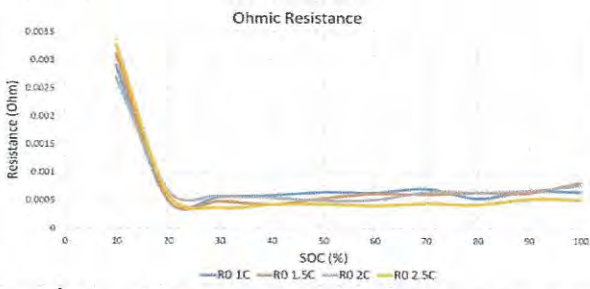
จากการศึกษางานวิจัยการหาวงจรมูลของแบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน พบว่าวงจรมูลที่นิยมใช้คือวงจรมูลแบบ One-RC Branch ประกอบด้วย  $V_{ocv}$ ,  $R_0$ ,  $R_1$ ,  $C_1$  โดยการหาค่าพารามิเตอร์นั้น ค่าความ ต้านทาน  $R_0$  จะหาค่าจากแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทันทีหลังจากเริ่มการอัด ประจุไฟฟ้า ส่วนค่า  $R_1$  และ  $C_1$  จะหาค่าจากช่วง Exponential Function Curve Fit โดยให้กระแสทดสอบคือกระแสที่ฟัดักของแบตเตอรี่

**4. ผลการทดลอง**

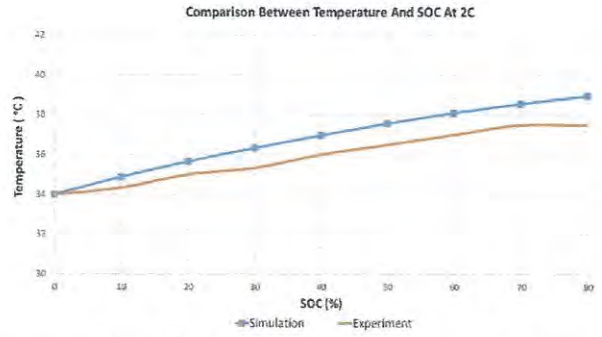
**4.1 การคำนวณความต้านทานภายในแบตเตอรี่ ( $R_0$ )**

เมื่อทำการทดลองอัดประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่ที่ฟัดักกระแส 40 60 80 และ 100 แอมแปร์ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความต้านทานภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ R<sub>0</sub> ที่ 1C 1.5C 2C และ 2.5C

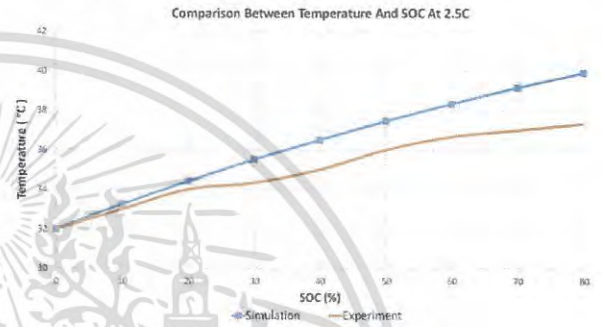


รูปที่ 7 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 80 แอมแปร์

4.2 การทำนายอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้า

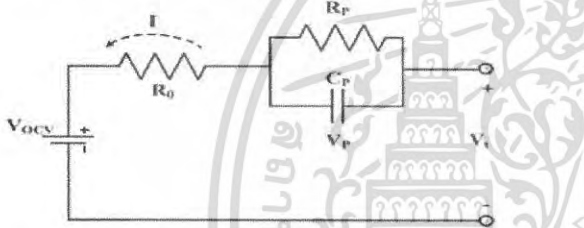
ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่ ที่พิกัดกระแส 60 80 และ 100 แอมแปร์ พบว่าสามารถหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นได้จากสมการที่ 2

$$T(S) = T(S-10\%) + (\Delta t) \frac{(I^2 R_0 + I V_p - Ah(T(S-10\%) - T_{air}))}{mc} \quad (2)$$



รูปที่ 8 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 100 แอมแปร์

โดย V<sub>p</sub> คือ Polarization Voltage



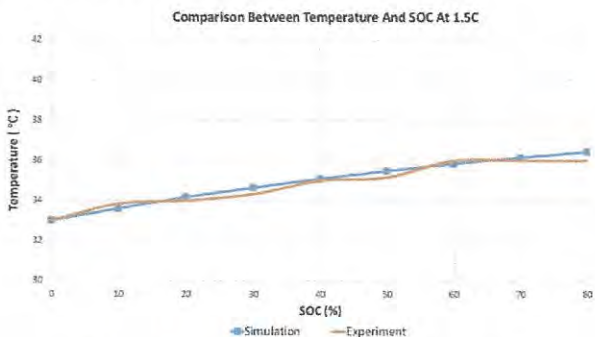
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ Polarization Voltage และวงจรสมมูล One-RC Branch

สามารถเขียนความสัมพันธ์ของ V<sub>p</sub> ได้ดังสมการ 3

$$V_p = V_t - (V_{oc} + IR_0) \quad (3)$$

4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

จากการทดลองและการสร้างแบบจำลองทางอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ โดยการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ที่พิกัดกระแส 60 80 และ 100 แอมแปร์ ที่ SOC 0 - 80 % สามารถนำมาเปรียบเทียบ พบว่ามีใกล้เคียงกับค่าจากการทดลองจริง



เอกรูปที่ 6 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 60 แอมแปร์ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำนายอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ เนื่องจากการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ ใช้กระแสไฟฟ้าสูงทำให้แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ จึงได้นำวิธีการทำนายอุณหภูมิของแบตเตอรี่ก่อนอัดประจุเพื่อหากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการอัดประจุ ในการหาค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ได้ทำการทดสอบด้วยวิธีการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่แบบพัลส์ (Pulse Charging) โดยคำนวณค่าความต้านทานจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในช่วงพักของการอัดประจุแบบพัลส์ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะส่งผลโดยตรงต่อการสูญเสียทางความร้อนและทำให้อุณหภูมิภายในแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้น

ในการศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะอัดประจุไฟฟ้าพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแปรผันตามกระแสไฟฟ้าที่อัดประจุ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และ Polarization Voltage ของเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งหาได้จากวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากผลการทดสอบด้วยการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่เพื่อทำนายอุณหภูมิภายในของแบตเตอรี่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้จากการทำนายจากพบว่าสามารถทำนายอุณหภูมิได้อย่างดี

## 6. กิตติกรรมกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย ขอขอบคุณ รศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย และอาจารย์ชัยทัต มณีอินทร์ รวมถึงทุกท่านในห้องปฏิบัติการ Renewable Energy Application Laboratory (REAL) ที่คอยช่วยเหลือจนการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Chanikarn Hommalai, "The Study of Lithium Ion Battery Electrical Model with Thermal Characteristic During Constant Current Charging" King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
- [2] Zheng Chen; Xing Shu, Xiaoyu Li; Renxin Xiao; Jiangwei Shen, "An Optimal Charging Algorithm for Lithium-ion Batteries Considering Temperature Rise Minimization" IEEE International Electric Vehicle Conference, 2012



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายจิรายุ มาตวงศ์วิวัฒน์  
วัน เดือน ปีเกิด 3 กันยายน 2538  
ที่อยู่ 281/5 หมู่ 5 ตำบลวังขนาย อำเภอท่าม่วง  
จังหวัดกาญจนบุรี 71110

## ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนวิสุทธรังษี

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท ABB จำกัด ฝ่ายออกแบบ

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 27 กรกฎาคม 2560



ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐนันท์ ตรีไชยรัตน์  
วัน เดือน ปีเกิด 6 กันยายน 2538  
ที่อยู่ 2311 หมู่ 1 ตำบลชุมแพ อำเภอชุมแพ  
จังหวัดขอนแก่น 40130

## ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสายปัญญา  
ในพระบรมราชินูปถัมภ์

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (บางกรวย)

(Electricity Generating Authority of Thailand : EGAT)

ฝ่ายควบคุมและซ่อมบำรุง

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 27 กรกฎาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล นางสาวปริตา ขวัญรอด  
 เดือน ปีเกิด 9 เมษายน 2538  
 ที่อยู่ 54 หมู่ 3 ตำบลท่าแค อำเภอเมือง  
 จังหวัดพัทลุง 93000

#### ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2555 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสตรีพัทลุง

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จังหวัดกระบี่

(Electricity Generating Authority of Thailand : EGAT)

ฝ่ายควบคุมและซ่อมบำรุง

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 27 กรกฎาคม 2560



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้