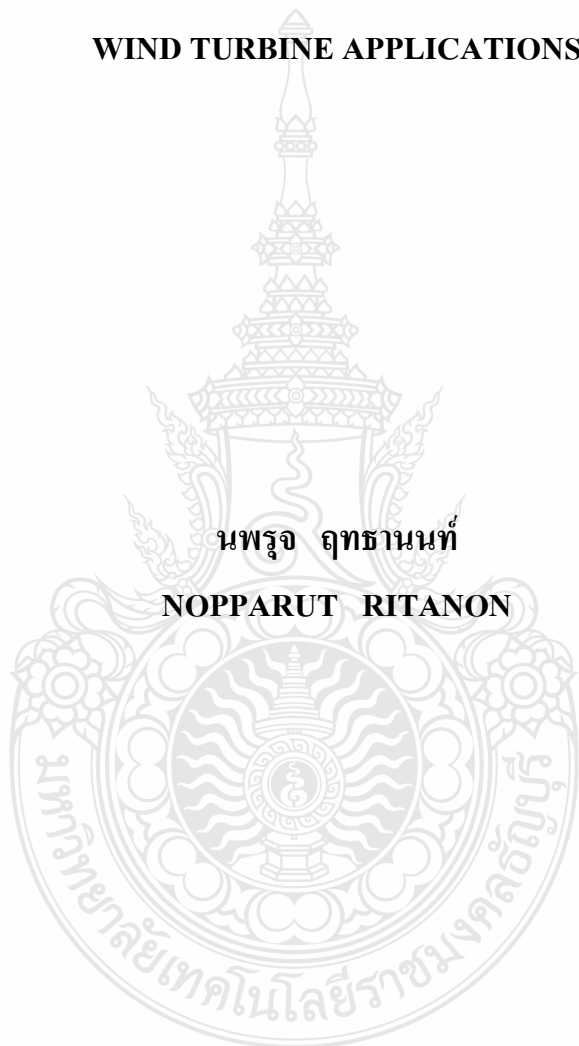


การศึกษาแบบจำลองพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับการประยุกต์ใช้  
กับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

STUDY OF DYNAMIC MODEL OF LEAD-ACID BATTERY IN SMALL  
WIND TURBINE APPLICATIONS

นพรุจ ฤทธานนท์

NOPPARUT RITANON



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

การศึกษาแบบจำลองพลวัตของเบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับการประยุกต์ใช้  
กับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก



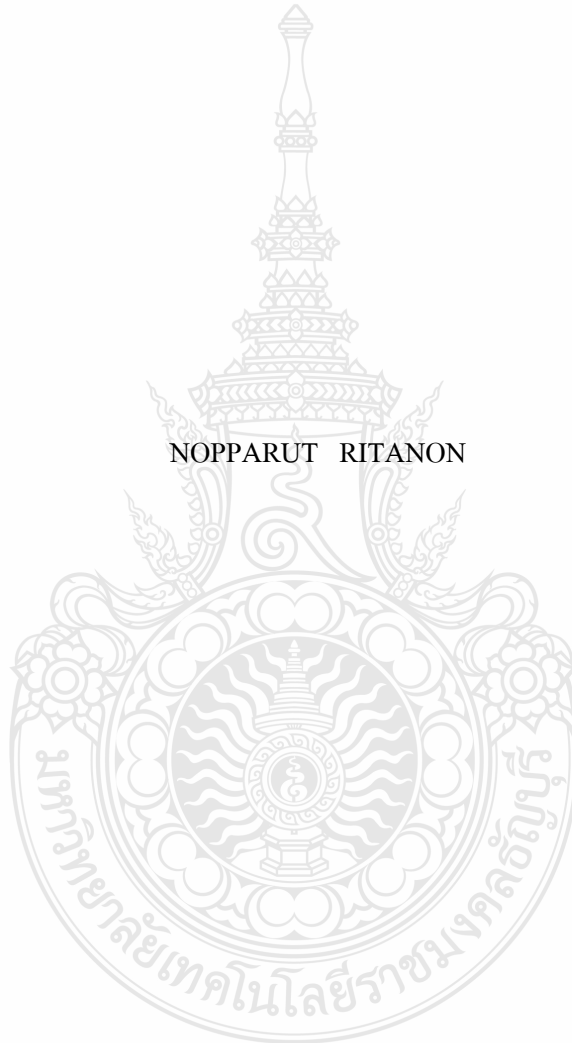
นพรุจ ฤทธานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

**STUDY OF DYNAMIC MODEL OF LEAD-ACID BATTERY IN SMALL WIND  
TURBINE APPLICATIONS**

**NOPPARUT RITANON**



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ  
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายนพรุจ ฤทธานนท์





# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาแบบจำลองพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับกร  
ประยุกต์ใช้กับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

STUDY OF DYNAMIC MODEL OF LEAD-ACID BATTERY IN  
SMALL WIND TURBINE APPLICATIONS

ชื่อนักศึกษา

นายนพรุจ ฤทธานนท์

รหัสประจำตัว

114970402010-0

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วารุณี อริยวิริยะนันท์

วัน เดือน ปี ที่สอบ

26 กุมภาพันธ์ 2554

สถานที่สอบ

ห้องประชุมชมพูพันธุ์ทิพย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมุข อุณหเลขกะ)

.....กรรมการ  
(ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง)

.....กรรมการ  
(ดร. สุรินทร์ แห่งมงาม)

.....กรรมการ  
(ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วารุณี อริยวิริยะนันท์)

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมหมาย ผิวสอาด)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแบบจำลองพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับการประยุกต์ใช้กับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก
นักศึกษา	นายนพรุจ ฤทธานนท์
รหัสประจำตัว	114970402010-1
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์

### บทคัดย่อ

การศึกษาแบบจำลองพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด สำหรับการประยุกต์ใช้กับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ทำการศึกษาคุณสมบัติของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ต่อใช้งานร่วมกับระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า เกิดปัญหาเรื่องอายุการใช้งานที่สั้นกว่าปกติเนื่องจากพฤติกรรมของลมตามธรรมชาติ มีความเร็วลมที่แตกต่างกันแต่ละช่วงเวลา ทำให้การควบคุมการอัดประจุ และคายประจุที่ไม่ดี ส่งผลเสียกับแบตเตอรี่และเสื่อมสภาพก่อนที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงต้องศึกษาผลกระทบที่เกิดจากพฤติกรรมการทำงานของระบบกังหันลม เพราะเมื่อกังหันลมทำงานกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านอุปกรณ์ทำหน้าที่ควบคุมการประจุเข้าแบตเตอรี่ และจากแบตเตอรี่ต่อไปใช้งานยังโหลด จึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบและแก้ปัญหาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ให้ดียิ่งขึ้น

โดยการทดสอบแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยเครื่องทดสอบ (Machine for Test Battery) MTB-SERISE เพื่อเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ชนิดแบตเตอรี่รุ่น RA 12-70 ยี่ห้อ RITAR พิกัดแรงดัน 12V 10HR/70AH โดยการอัดประจุที่แรงดันสูงสุดที่ 14.4V และคายประจุที่แรงดันสูงสุด 13.2V ที่กระแส 10A เป็นเวลา 7 ชั่วโมง นำผลและข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่มีองค์ประกอบวงจรไฟฟ้าหาอิมพีแดนซ์ ค่าความต้านทาน (R) ค่าอิมพีแดนซ์ (L) และค่าคาปาซิแตนซ์ (C) ที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งาน โดยกล่าวถึง สถานะการประจุ (State-of-Charge, SOC) และการคายประจุ (State-of-Discharge, SOD) โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61427

ผลการทดสอบนำมาวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB 2008b ในแบบจำลองทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ภายใน คือ ค่าความสูญเสียภายใน ( $R_{ohm} = 5.2m\Omega$ ), ค่าความต้านทานขณะประจุ ( $R_C = 0.5867\Omega$ ), ค่าความต้านทานขณะคายประจุ ( $R_d = 0.6177\Omega$ ), ค่าความเหนี่ยวนำภายใน

$$L = 0.9\mu H$$

$$C = 1.5F$$

คำสำคัญ : แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด, สถานะการประจุ, สถานะการคายประจุ



**Thesis Title :** STUDY OF DYNAMIC MODEL OF LEAD-ACID BATTERY IN  
SMALL WIND TURBINE APPLICATIONS

**Student Name :** Mr.Nopparut Ritanon

**Student ID :** 114970402010-1

**Degree Award :** Master of Engineering

**Study Program :** Electrical Engineering

**Academic year :** 2010

**Thesis Advisors :** Dr. Krischonme Bhumkittipich  
Assistant Prof. Dr.Warunee Ariyawiriyanan

### Abstract

In this thesis, a dynamic simulation modeling was employed to determine the effect of electrical parameters such as resistance(R), impedance (L) and capacitor (C) values to life time of the lead-acid battery for a small wind turbine application. The variation in electrical parameters can limit the performance of the lead-acid battery when we use to store the energy especially in low wind speed turbine resulting in short life time and discharge problem to the battery.

Thus, the formations and analytical data of the stability of lead-acid battery in low wind speeds turbine are required. A RITAR RA12-70 Sealed Lead Acid Battery was characterized at room temperature using Machine for the Battery (MTB Series) with threshold pressure of 12 V, 10HR/10AH according to standard IEC 61427. It was charged at 14.4 V and discharge at 13.2 V at the current of 10A for 7 hours. Then the resulting of state of charge (SOC) and state of discharge (SOD) was simulated through a mathematic model using MATLAB 2008b Program.

It was found that it was important to take into account the internal parameters results from experimental and simulations are similar. The internal loss ( $R_{ohm}$ ), charge resistance ( $R_c$ ), discharge resistance ( $R_d$ ), internal induction (L) and capacitor (C) obtained from simulation were 5.2 mΩ, 0.4867Ω, 0.6177Ω, 0.9 μH and 1.5F, respectively. The study resulted in dynamic model well suited for the system that can be used to simulate the internal electrical behavior for any current of lead –acid battery in future.

**Keywords:** Valve Regulated Lead-Acid (VRLA),State-of-Charge(SOC),State-of-Discharge(SOD)



**Thesis Title :** STUDY OF DYNAMIC MODEL OF LEAD-ACID BATTERY IN  
SMALL WIND TURBINE APPLICATIONS

**Student Name :** Mr.Nopparut Ritanon

**Student ID :** 114970402010-1

**Degree Award :** Master of Engineering

**Study Program :** Electrical Engineering

**Academic year :** 2010

**Thesis Advisors :** Dr. Krischonme Bhumkittipich  
Assistant Prof. Dr.Warunee Ariyawiriyanan

### ABSTRACT

In this thesis, a dynamic simulation modeling was employed to determine the effect of electrical parameters such as resistance(R), impedance (L) and capacitor (C) values to life time of the lead-acid battery for a small wind turbine application. The variation in electrical parameters can limit the performance of the lead-acid battery when we use to store the energy especially in low wind speed turbine resulting in short life time and discharge problem to the battery.

Thus, the formations and analytical data of the stability of lead-acid battery in low wind speeds turbine are required. A RITAR RA12-70 Sealed Lead Acid Battery was characterized at room temperature using Machine for the Battery (MTB Series) with threshold pressure of 12 V, 10HR/10AH according to standard IEC 61427. It was charged at 14.4 V and discharge at 13.2 V at the current of 10A for 7 hours. Then the resulting of state of charge (SOC) and state of discharge (SOD) was simulated through a mathematic model using MATLAB 2008b Program.

It was found that it was important to take into account the internal parameters results from experimental and simulations are similar. The internal loss ( $R_{ohm}$ ), charge resistance ( $R_c$ ), discharge resistance ( $R_d$ ), internal induction ( $L$ ) and capacitor ( $C$ ) obtained from simulation were  $5.2 m\Omega$ ,  $0.4867\Omega$ ,  $0.6177\Omega$ ,  $0.9 \mu H$  and  $1.5F$ , respectively. The study resulted in dynamic model well suited for the system that can be used to simulate the internal electrical behavior for any current of lead – acid battery in future.

Keywords : Valve Regulated Lead-Acid (VRLA),State-of-Charge(SOC),State-of-Discharge(SOD)

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เป็นอย่างดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คือ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์ ได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำอันมีค่ายิ่ง ตลอดจนชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน คณะกรรมการ และท่านประธาน ผู้ที่ให้คำชี้แนะ แนะนำ ยอมเสียสละเวลา และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ด้วยดีต่อการศึกษาและทำงานวิจัย โดยเฉพาะ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ ที่คอยให้กำลังใจชี้แนะแนวทางให้คำปรึกษาด้วยดีเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณและทราบบังเป็นอย่างสูง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความเข้าใจดีสำหรับเวลาที่ใช้ไปขณะศึกษาอยู่ที่ข้าพเจ้าต้องใช้สำหรับการศึกษาเพื่ออนาคตในครั้งนี้ รวมทั้งพี่ๆ น้องๆ ภายในห้อง Lab Power and Energy System Research Center (PSRC) ที่ให้ความรู้สึกร่วมกันเป็นกันเองด้วยดีเสมอมา

นพรุจ ฤทธานนท์

26 กุมภาพันธ์ 2554

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐาน	2
1.4 ขอบเขต	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 ข้อจำกัด	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.8 ลักษณะรายละเอียด	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ทฤษฎีของแบตเตอรี่	9
2.3 การนำแบตเตอรี่มาใช้งานกับพลังงานทดแทน	10
2.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	18
2.5 คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่	28
2.6 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ	34
2.7 มาตรฐานการทดสอบ	40
2.8 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	40
2.9 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	43
2.10 สรุป	51
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	52
3.1 แผนการดำเนินงาน	52
3.2 ชุดทดสอบ	53

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ขั้นตอนการทดสอบ	60
3.4 สรุป	65
บทที่ 4 วิธีดำเนินการ	66
4.1 การกำหนดลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	67
4.2 หลักการออกแบบและการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	68
4.3 ผลจากการจำลองการทำงานวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	70
4.4 สรุป	76
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	77
5.1 สรุป	77
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	
ก มาตรฐาน IEC 60896-21	81
ข Program MTB-Series	87
ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	93
ประวัติผู้เขียน	128

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ	27
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถานะประจุกับค่าความสามารถในการคายประจุ	31
3.1	ตารางผลการทดสอบคายประจุ กระแสขนาด 10A	62
3.2	ตารางผลการทดสอบประจุ กระแสที่ 20 A	64



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	7
2.2	การเปรียบเทียบแบบจำลองเทวินิน	7
2.3	เซลล์พื้นฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	8
2.4	การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม	9
2.5	การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน	9
2.6	การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม-ขนาน	10
2.7	ผลที่นำมาใช้งานกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ขนาด (C10) 70AH	11
2.8	การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกักเก็บผลิตไฟฟ้า	13
2.9	กักเก็บผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง	14
2.10	กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกักเก็บผลิตไฟฟ้าแบบ Stall Limit	16
2.11	การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง	16
2.12	การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ	17
2.13	การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง	17
2.14	การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ	18
2.15	โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด	18
2.16	โครงแผ่นธาตุ	20
2.17	แผ่นกั้น (Separator)	20
2.18	ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	21
2.19	แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA)	25
2.20	โครงสร้างวาล์วระบายก๊าซ	25
2.21	เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA	25
2.22	แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery)	26
2.23	แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM)	27
2.24	แผ่นธาตุในน้ำกรดซัลฟูริก	35
2.25	ผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	36
2.26	ผลของแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	36
2.27	แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูก	37
2.28	ช่วงเกิด Gassing และ Discharge	38
2.29	กราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่	39

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.30	ปฏิกิริยาขณะคายประจุ และประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	40
2.31	กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	41
2.32	กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	42
2.33	กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	42
2.34	แบบจำลองพื้นฐานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	43
2.35	แบบจำลองตามสมการเทวินิน	44
2.36	ค่าความจุแต่เตอร์กับการคายประจุออก	45
2.37	การเกิดอิมพีแดนซ์ในแบตเตอรี่	46
2.38	การรวมอิมพีแดนซ์ของอิเล็กโทรไลต์	47
2.39	การกระจายของอิเล็กโทรไลต์	48
2.40	การรวมอิมพีแดนซ์ของอิเล็กโทรไลต์	48
2.41	การเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ขณะประจุ	49
2.42	การเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ขณะคายประจุ	49
3.1	เครื่องทดสอบแบตเตอรี่	53
3.2	ลักษณะสายต่อขั้วแบตเตอรี่ของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่	54
3.3	ตัวเชื่อมสัญญาณข้อมูลระหว่างตัวเครื่องกับคอมพิวเตอร์	54
3.4	ปุ่ม Power Switch ของเครื่อง MTB	55
3.5	การเชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่อง MTB กับแบตเตอรี่	55
3.6	Key pad ของเครื่อง MTB	56
3.7	ไดอะแกรมหลักการทำงานในการอัดประจุ	56
3.8	ไดอะแกรมหลักการทำงานในการคายประจุ	57
3.9	แบตเตอรี่รุ่น RA 12-70HR/10AH	60
3.10	แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Current (ผลทดสอบคายประจุ)	61
3.11	แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Power (ผลทดสอบคายประจุ)	62
3.12	แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Current (ผลทดสอบประจุ)	63
3.13	แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Power (ผลทดสอบประจุ)	64
4.1	มิเตอร์ มัลติเชลแนล อิเล็กโทรเคมีคอล อิมพีแดนซ์ สเปคโทสโคปี (EIS)	66
4.2	แบบจำลองการเกิดผลกระทบภายในแบตเตอรี่	67
4.3	แบบจำลองการเกิดผลกระทบภายในแบตเตอรี่	69

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	แบบจำลองการเกิดผลกระทบภายในแบตเตอรี่	69
4.5	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระแสขณะคายประจุ 10A	70
4.6	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระแสขณะคายประจุ 10A	71
4.7	แรงดันขณะคายประจุ 10A	71
4.8	แรงดันขณะคายประจุ 10A	72
4.9	เปอร์เซ็นต์ของสถานะการคายประจุขณะคายประจุ 10 A	73
4.10	แรงดันขณะประจุ	74
4.11	แรงดันขณะประจุ	74
4.12	กระแสขณะประจุ	75
4.13	กระแสขณะประจุ	75
4.14	เปอร์เซ็นต์สถานะขณะประจุ	76





# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนมีบทบาทสำคัญกับประเทศที่กำลังพัฒนา แต่พลังงานหลายรูปแบบได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ และ พลังงานลม ยังคงมีปัญหาการกักเก็บพลังงานที่เหลือใช้ หรือ กักเก็บเพื่อนำไปใช้ในเวลาอื่นๆ อุปกรณ์กักเก็บพลังงานจึงมีบทบาทสำคัญไม่น้อยไปกว่าอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าปัจจุบันประกอบไปด้วย เซลล์เชื้อเพลิง แบตเตอรี่ และ ตัวเก็บประจุความจุสูง เซลล์เชื้อเพลิง และ แบตเตอรี่มีหลักการการทำงานที่คล้ายกันคือเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า แต่เซลล์เชื้อเพลิง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็น น้ำบริสุทธิ์ พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า จึงมีราคาที่สูง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ที่ต้องการเพียงพลังงานไฟฟ้า

### 1.1 ความเป็นมาและนิยามของปัญหา

การเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้านั้นเป็นเรื่องที่จำเป็นต่อระบบพลังงานทดแทน ไม่ว่าจะเป็นพลังงานในรูปแบบแสงอาทิตย์หรือแรงลมก็ตาม แบตเตอรี่คือหัวใจของระบบพลังงานทดแทนที่จะคอยเก็บรักษาพลังงาน แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายโหลดได้โดยทันทีเมื่อต้องการ ในปัจจุบันนวัตกรรมด้านพลังงานทดแทนมีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก แต่สำหรับในที่ห่างไกลที่สายส่งของโรงไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง ระบบนี้ก็สามารถแข่งขันในด้านราคากับระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดี จึงทำให้มีการติดตั้งและการใช้งานกันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นระบบสูบน้ำ หรือระบบที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในชนบทที่ห่างไกล เพราะไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษ อีกทั้งยังสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายระบบในกรณีที่มีสายส่งจากโรงไฟฟ้าเข้ามาได้ในภายหลัง ระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในชนบทจึงจำเป็นต้องมีระบบแบตเตอรี่สะสมพลังงานร่วมอยู่ด้วย ซึ่งตอนหลังได้พัฒนานำแบตเตอรี่ประเภทสแตนด์นารีแบตเตอรี่ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความจุสูง เป็นแบตเตอรี่ที่สร้างเพื่อใช้งานในระบบที่ต้องการไฟเลี้ยง เช่น ระบบขยายสัญญาณสื่อสาร วิทยุฉุกเฉิน เป็นต้น จนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่เพื่อใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานลม โดยเฉพาะ แต่เป็นแบตเตอรี่ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ จากการใช้แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานลม มีความพิเศษและต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาและวิเคราะห์หาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ดังกล่าว ปัญหาที่สำคัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ อายุการใช้งานสั้นด้วยสาเหตุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของผู้ใช้งานที่ขาดความรู้ ที่แท้จริง หรือ คุณภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดไม่ดีพอ นำแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มาใช้งานผิดประเภท แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ถูกออกแบบมาใช้งานด้านพลังงานทดแทนมากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery)

ในงานวิจัยนี้ตระหนักถึงความสำคัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่จะนำมาใช้งานทางด้านพลังงานทดแทน ดังนั้น จึงทำการศึกษาวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งทำการจำลองวงจรภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นวงจรทางไฟฟ้าแทนการจ่ายให้กับโหลดพลวัต และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสถานะการประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ซึ่งมีผลโดยตรงต่อสถานภาพอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบวงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
- 1.2.3 เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
- 1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางการใช้อุปกรณ์ประกอบวงจรไฟฟ้าแทนที่เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

## 1.3 สมมุติฐาน

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ได้มามีผลใกล้เคียงกับผลทดสอบซึ่งหมายความว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชื่อถือได้แล้ว เราจะสามารถที่จะทำนายอายุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่นำมาทดสอบได้ และยังสามารถนำไปพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ให้เหมาะกับงานที่นำไปใช้งานได้ไม่มากนัก

## 1.4 ขอบเขต

1.4.1 สามารถเข้าใจปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ใช้กับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทน

1.4.2 สามารถออกแบบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ได้

1.4.3 สามารถเปรียบเทียบผลการจำลองทางคณิตศาสตร์และผลทดลองในห้องปฏิบัติการของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานได้

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.5.2 ศึกษารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นและแบบรูปแบบต่างๆของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

1.5.3 ออกแบบจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.5.4 จากแบบจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์ จำลองเหตุการณ์ขณะทำงานอยู่กับ โหลดขนาด 10A

1.5.5 ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Valve Regulated Lead Acid, VRAL) ขนาด 12V 70AH/10HR

1) ทำการคายประจุที่ 10AH/1HR

2) ทำการประจุที่ ขนาดความจุ (Capacity) ที่ 30% คือที่ประมาณ 20A

1.5.6 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองวงจรทางคณิตศาสตร์ และผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

1.5.7 สรุปผลเพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

## 1.6 ข้อยกเว้น

วิทยานิพนธ์ ศึกษาปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เข้าใจถึงพฤติกรรมของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.7.2 ทราบถึงปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.7.3 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

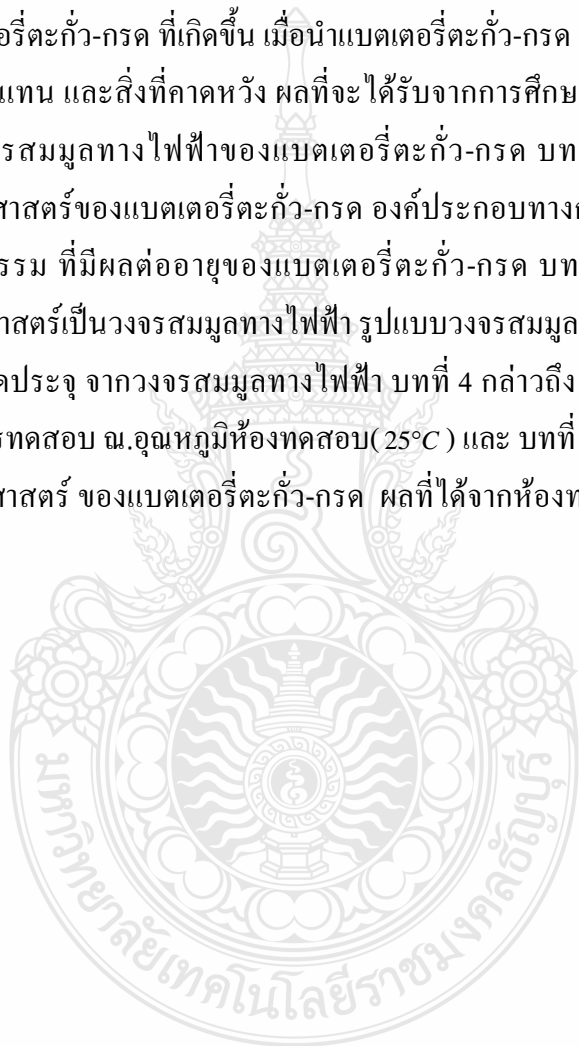
1.7.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยในการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

1.7.5 ทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เมื่อจำลองเหตุการณ์ขณะทำงาน ช่วงพลวัต

1.7.6 เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดให้เหมาะสมกับงานทางด้านพลังงานทดแทน

## 1.8 ลักษณะรายละเอียด

การนำเสนอวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีด้วยกัน 5 บท คือ บทที่ 1 กล่าวถึงปัญหาความเป็นมา และผลกระทบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่เกิดขึ้น เมื่อนำแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มาใช้งานด้านอุตสาหกรรม และ ด้านพลังงานทดแทน และสิ่งที่คาดหวัง ผลที่จะได้รับจากการศึกษา และออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎี และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด องค์ประกอบทางกายภาพ องค์ประกอบและผลกระทบต่อพฤติกรรม ที่มีผลต่ออายุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด บทที่ 3 กล่าวถึง วิธีการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า รูปแบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้า และ ผลที่ได้จากการคายประจุ และ อัดประจุ จากวงจรสมมูลทางไฟฟ้า บทที่ 4 กล่าวถึง เครื่องมือที่ทำการทดสอบ และผลที่ได้รับจากการทดสอบ ณ อุณหภูมิห้องทดสอบ ( $25^{\circ}\text{C}$ ) และ บทที่ 5 กล่าวถึง ผลสรุปที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ผลที่ได้จากห้องทดสอบที่อุณหภูมิห้อง และ ข้อเสนอแนะ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกันและเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการชาร์จ ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นมา โดยแกสตัน ฟลองด์ (Gaston Plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสตั้งแต่ปี พ.ศ.2402 และปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและด้านพลังงานทดแทน เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีความจุ (Capacity) สูง ซึ่งทำให้จ่ายกระแสได้มาก และเมื่อเทียบกับต้นทุนต่อการกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่ชนิดนี้จึงมีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ที่นิยมใช้กันในรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ รถยกไฟฟ้า รถเข็น สตูดิโอ รถกอล์ฟ ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน และปัจจุบันนิยมนำมาใช้กับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนในระบบเดี่ยว (Stand Alone System) หรือระบบผสม (Hybrid System)

เริ่มแรกแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีเฉพาะที่เป็นแบบเปียก (Flooded Type หรือ Wet Type) ที่ต้องคอยเติมน้ำกลั่นเท่านั้น จนกระทั่งช่วงกลางทศวรรษที่ 70 (ระหว่างปี พ.ศ. 2513-2523) ได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นแบบแห้งให้ใช้งานได้หลังจากที่มีการจดสิทธิบัตรมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2500 โดยอ็อตโต จาเช่ (Otto Jache) ทำให้สะดวกกับการใช้งานมากขึ้นและสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ แต่ห้ามติดตั้งสลับตำแหน่งกัน เนื่องจากเป็นเทคนิคในการผลิตที่น้ำกรดไม่ไหลออกมา คือใช้วัสดุดูดซับน้ำกรดเอาไว้ จากนั้นทำการผนึกปิดให้ปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและแก๊ส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำกรด แบตเตอรี่จึงไม่มีการสูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากแบตเตอรี่

ดังนั้นระบบกักเก็บหรือสะสมพลังงานโดยส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดกันอย่างแพร่หลายในด้านอุตสาหกรรม และด้านพลังงานทดแทน เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ และโครงสร้างของแบตเตอรี่

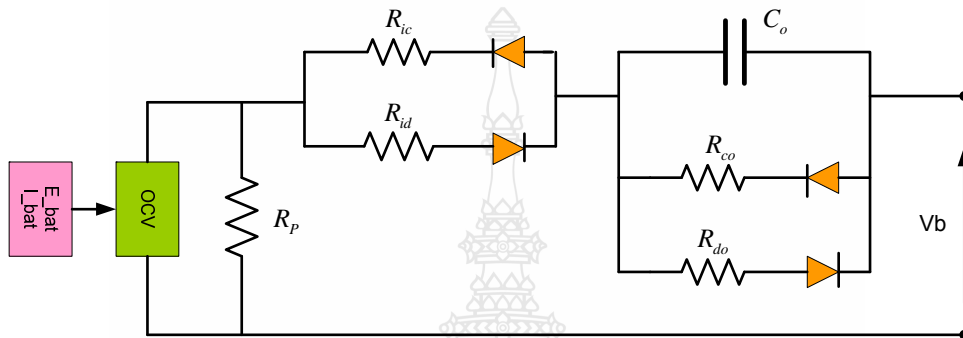
#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากการศึกษามลกระทบที่มีต่อแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในงานวิจัย และ วารสาร แตกต่างกันไป แต่ผลลัพธ์ที่ได้คือ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา และทดสอบ เปรียบเทียบคุณสมบัติ ทางกายภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ทั้งสิ้น สรุปได้พอสังเขปดังนี้

Salkind และคณะ [1] ได้นำเสนอเซลล์แบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กได้แก่ 1Ah, 2Ah และ 2.5Ah เป็นต้น ซึ่งทำการเปรียบเทียบรูปทรงของเซลล์แบตเตอรี่ที่แตกต่างกันระหว่างรูปทรงกระบอกและรูปทรงแผ่นตามมาตรฐาน IEC วิเคราะห์ผลในวิธี วิเคราะห์ช่วงกว้างของคลื่นสัญญาณขนาดเล็กระหว่างแรงดันและกระแสซึ่งได้มาจากการวัดค่าความต้านทาน บนยานการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่เกิดขึ้น ข้อมูลจากการวัดค่าความต้านทาน นำมาออกแบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ อ้างอิงจากการศึกษาพฤติกรรมทางด้านไฟฟ้าเคมี ภายในเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ในเซลล์แบตเตอรี่ที่แตกต่างกันระหว่างรูปทรงกระบอก และรูปทรงแผ่นมีอยู่ทั้งสองชนิดเพื่อเป็นแนวทางในการหาค่าสถานะในการอัดประจุ (State-of-charge, SOC) ของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด (Valve Regulated Lead-Acid, VRLA) โดยใช้ค่ากำหนดทางมาตรฐาน IEC61056 ด้วยขนาดและชนิดของเซลล์ ด้วยเครื่องทดสอบ EIS ผลที่ได้สามารถบอกค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างรูปเซลล์ทรงกระบอก และรูปเซลล์ทรงแผ่น ทางค่าอิมพีแดนซ์ และ ค่าอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นจากซอฟต์แวร์ ของเครื่องทดสอบ

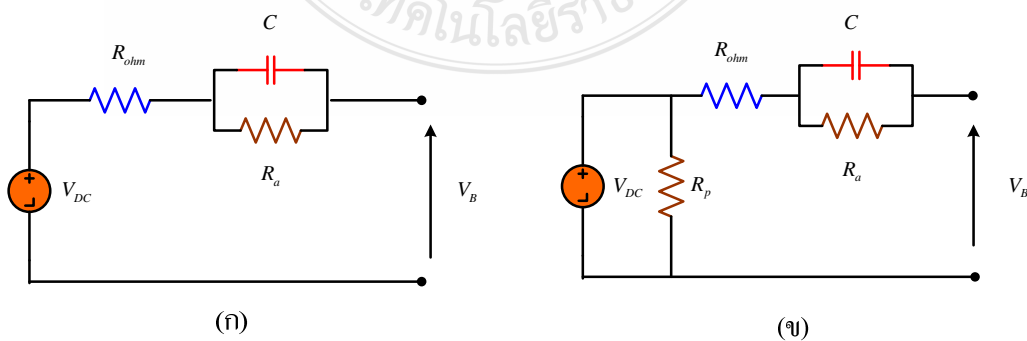
H. Blanke และคณะ [2] ได้นำเสนอบทความ เกี่ยวกับเครื่องมือวัดอิมพีแดนซ์ในแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด สถานะประจุ, สถานภาพของแบตเตอรี่และตรวจสอบความสามารถในการทำนายอาการ ในระบบไฟฟ้าและระบบไฟฟ้ารวมในยานพาหนะ ตลอดจนได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้า การหาช่วงประจุจากเครื่องมือวัดอิมพีแดนซ์ที่ได้กล่าวถึงอุณหภูมิ และความถี่ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อสถานภาพของแบตเตอรี่หลังจากนั้นในบทความได้นำผลที่ได้จากเครื่องมือวัดอิมพีแดนซ์ ได้อิมพีแดนซ์ทางวงจรสมมูลทางไฟฟ้าในช่วงการทำงานที่แตกต่างจากปกติ เพราะจำลองเหตุการณ์เพื่อนำไปใช้กับรถไฟฟ้า และนำค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากเครื่องทดสอบ มาเป็นผลในการใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ปรากฏว่าผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีลักษณะใกล้เคียงกัน กับผลที่ได้จากการทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิที่ต่ำคือ  $-18^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิถึงที่  $50^{\circ}\text{C}$  ที่ความถี่ 600 Hz และ 3000 Hz ณ.อุณหภูมิห้อง ( $25^{\circ}\text{C}$ ) สามารถสรุปได้ว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถเชื่อถือได้ และสามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบต่อไป

M.Durr และคณะ [3] นำเสนอรูปแบบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ใช้งานในช่วงพลวัต เพื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ภายในบ้าน เพราะมีหลักการที่คล้ายกันคือ เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า บทความนี้ได้แสดงการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยอ้างอิงจากแบบจำลองของเทวินิน แต่จำลองเหตุการณ์ให้เห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์แต่ละตัว ของสมการเทวินินในขณะคายประจุ และขณะประจุมีค่าไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งมีความซับซ้อนภายในวงจรเพิ่มมากขึ้น และเพิ่มตัวต้านทาน R ขนานกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้องกันการคายประจุขณะหยุดทำงานเปรียบเสมือนว่าอุณหภูมิห้องที่สูงขึ้น พฤติกรรมของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะคายประจุ ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นเปรียบเสมือนการป้องกัน



รูปที่ 2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

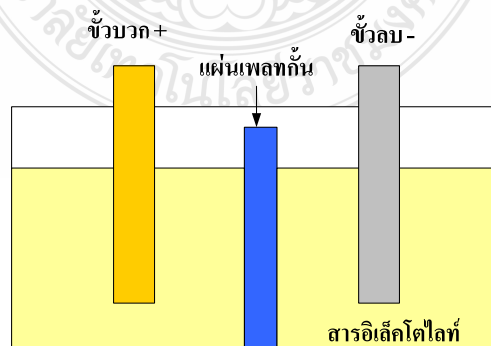
M. Zivad และคณะ [4] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยนำเสนอแบบจำลองที่อ้างอิงจากแบบจำลองของเทวินิน โดยการวิเคราะห์ห่อหุ้มพีแคนซ์ของอิลิเมนต์ในวงจรโดยพิจารณาจากพฤติกรรมทางไฟฟ้าเคมีเป็นตัวแปร มีความแตกต่างจากวงจรเทวินินโดยมีการป้องกันการคายประจุเพิ่มเติมขึ้นตามรูปแบบวงจรด้านล่างดังรูปที่ 2.2(ข) จากบทความนี้ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า สามารถป้องกันการประจุที่รั่วไหลได้เมื่อทำการเปรียบเทียบจากวงจรเทวินินได้ ดังรูปที่ 2.2(ก) ในบทความนี้พิจารณาอ้างอิง สมการทางเทวินินแบบเรียบง่าย การพิจารณาในรูป (ข) จากเหตุผลเดียวกันกับ [3] แต่ไม่ได้มองวงจรภายในให้ซับซ้อนมาก



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบจากวงจรเทวินิน

Shane Duryea และคณะ [5] ได้นำเสนอเกี่ยวกับระบบการจัดการแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดี่ยว กล่าวถึงเซลล์แบตเตอรี่แบบเซลล์เดี่ยว ที่นำมาใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) ใช้ในระบบแบบเดี่ยว (Stand-alone) พลังงานไฟฟ้าต่อเนื่องได้จาก PV โดยจัดเก็บในรูปแบบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่ที่ใช้ใน PV มีลักษณะการทำงานแตกต่างกันเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่ใช้งานในแบบดั้งเดิมมากขึ้น การใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะใช้ได้ไม่นานหากแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ถูกใช้ในงานอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ไฟฟ้าสำรองที่จะทำงานได้ทันทีที่ไฟดับ หรือ รถไฟฟ้า ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในระบบ PV ซึ่งในระบบ PV อื่นๆ พุฒถึงอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นของแบตเตอรี่ จะทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบมีมากขึ้น และ ลดค่าใช้จ่ายสำคัญในการปฏิบัติการ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด สามารถยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานได้ เช่น การประจุ่มากเกินไป และ การคายประจุแบบลึก Deep Discharge ซึ่งเป็นการกล่าวถึงเฉพาะระบบการจัดการแบตเตอรี่สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ยังไม่ได้วิเคราะห์ถึงภาพรวมสำหรับระบบพลังงานผสมผสานที่เชื่อมต่อกับระบบอื่น โดยเฉพาะกักเก็บลมผลิตไฟฟ้า

จากงานวิจัยที่ผ่าน วิทยานิพนธ์จึงได้สังเกตเห็นว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำการศึกษา จากงานวิจัย ที่ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่นำมาจำลองใช้ในด้านพลังงาน มักจะเป็นแบบจำลองของเทวินิน หรือ แบบมีการป้องกันการคายประจุ ซึ่งพิจารณาเห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในช่วงพลวัต ต้องมีตัวแปรอิลลิเมนต์ ที่มากกว่าแบบเทวินิน เมื่อพิจารณาในส่วนอิมพีแดนซ์ของอิลลิเมนต์ที่นำมาวิเคราะห์ ผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการศึกษานำรูปแบบจากงานวิจัยที่วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในเชิงลึก เพื่อหารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับงานด้านพลังงานทดแทน เพื่อเป็นทางเลือกที่เหมาะสม อีกทางเลือกหนึ่ง ที่ไม่ต้องสิ้นเปลืองเวลา สถานที่ และ ค่าใช้จ่าย ในการทดสอบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มา สามารถนำไปพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดให้เหมาะสมกับงานที่นำไปใช้งานไม่มากนักน้อย



รูปที่ 2.3 เซลล์พื้นฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

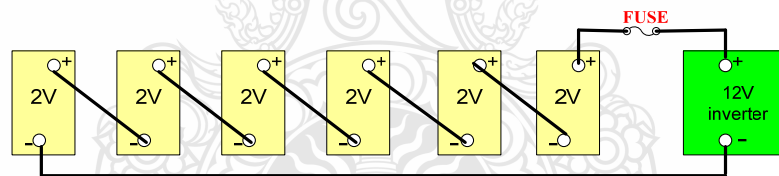


## 2.2 ทฤษฎีของแบตเตอรี่ (Theory of Battery)

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยการใช้ เซลล์กัลวานิก (Galvanic Cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) ซึ่งแบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นเซลล์พื้นฐานของแบตเตอรี่ที่ประกอบด้วย ขั้วบวก ขั้วลบ มีสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และมีแผ่นกั้น เพื่อป้องกันไม่ให้ขั้วบวกและขั้วลบสัมผัสกันโดยตรง โดยที่แต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่มีแรงดันเท่ากับ 2 V ดังนั้นแบตเตอรี่ 12 V จึงประกอบด้วย 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้ ซึ่งการต่อแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

### 2.2.1 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

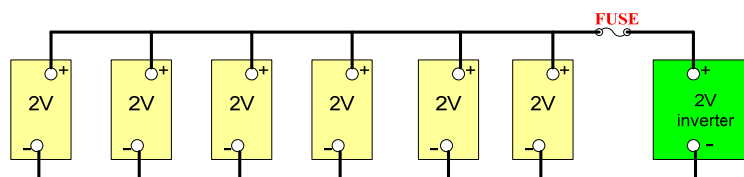
การต่อแบตเตอรี่แบบนี้แบตเตอรี่ถูกเชื่อมต่อกัน โดยขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบของตัวถัดไป ในการต่อแบบอนุกรมความจุที่ได้จะเท่ากับแบตเตอรี่แบบเดี่ยว แรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับผลรวมแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัว ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ในการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมที่จะนำมาต่อควรมีความจุเท่ากัน เพราะว่าแบตเตอรี่ที่ความจุน้อยจะเกิดการคายประจุแบบลึก Deep Discharge ได้ง่ายกว่าแบตเตอรี่ที่ความจุสูงกว่า



รูปที่ 2.4 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

### 2.2.2 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

แบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนานเข้ากัน จะต้องนำขั้วบวกทั้งหมดต่อรวมกันและขั้วลบทั้งหมดต่อกัน โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้ของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากัน ดังรูปที่ 2.5

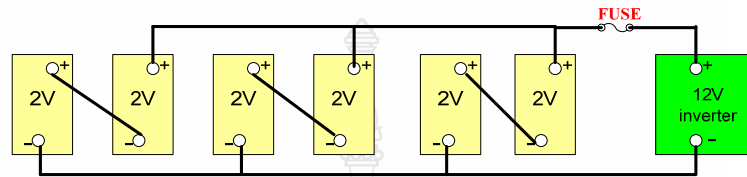


รูปที่ 2.5 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

ดังนั้นถ้ามีความต้องการกระแสที่มากขึ้น ทำได้โดยนำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้น ต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการ การต่อแบตเตอรี่แบบขนานควรมีอัตราแรงดันเท่ากัน เพราะแบตเตอรี่ที่อัตราแรงดันสูงกว่าจะจ่ายกระแสให้กับตัวที่อัตราต่ำกว่าจะทำให้เกิดความเสียหายได้

### 2.2.3 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

เป็นการนำแบบอนุกรมและแบบขนานมารวมกันทำให้ได้แรงดันและความจุเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม-ขนาน

การผลิตแบตเตอรี่ในระดับอุตสาหกรรม เป็นลักษณะอุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุที่เป็นพิษ และมีของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วจะทำเป็นลักษณะผลิตเชิงปริมาณที่ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ หลังจากประกอบเป็นแบตเตอรี่แล้ว ยังต้องทำการประจุและคายประจุ ก่อนที่จะส่งแบตเตอรี่ถึงลูกค้า โดยที่โรงงานผลิตแบตเตอรี่จะมีรายละเอียดของโครงสร้างแบตเตอรี่มากมายแตกต่างกันแต่จะมีลักษณะส่วนประกอบพื้นฐานที่เหมือนกัน คือ

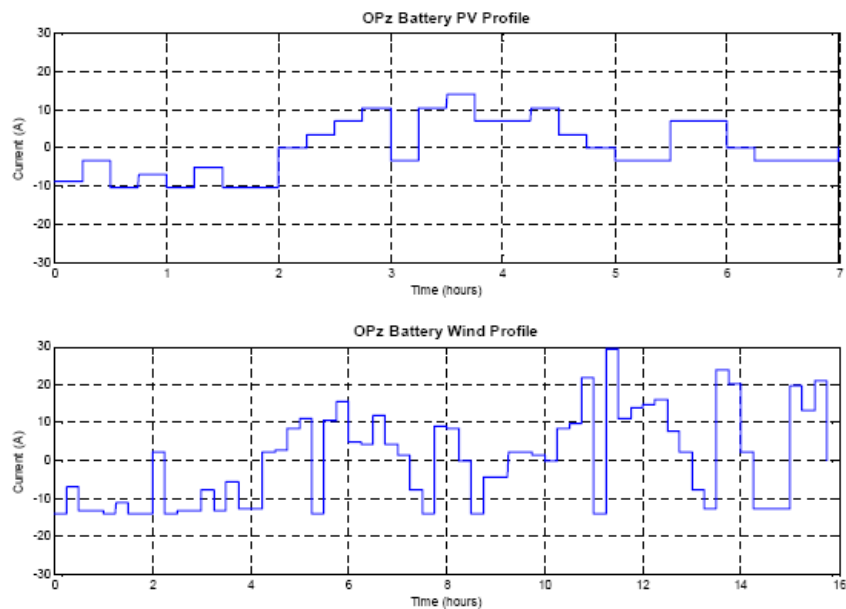
โดยทั่วไปเรียกว่าแบตเตอรี่น้ำ (Storage Battery) ประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์ ต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งแต่ละเซลล์จะมีแรงดัน 2 V จึงจ่ายแรงดันได้ 12 V มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานเคมีแล้วจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าชนิดกระแสตรง แบตเตอรี่ประเภทนี้ใช้งานจนไฟหมดหรือเลิกใช้งานแล้ว สามารถนำไปประจุไฟเพิ่มได้ เป็นการปรับสภาพทางเคมี ให้กลับสู่สภาพพร้อมใช้งานเหมือนเดิมได้ คือ สามารถใช้หมุนเวียนได้จนกว่าแบตเตอรี่นั้น จะเสื่อมสภาพ แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนมากทำจากตะกั่ว-กรด ใช้ในรถยนต์และในการใช้พลังงานไฟฟ้าสำรองในระบบต่างๆ

### 2.3 การนำแบตเตอรี่มาใช้งานกับพลังงานทดแทน

แบตเตอรี่ใช้งานในระบบพลังงานทดแทนเป็นแบตเตอรี่ซึ่งถูกออกแบบ เพื่อให้การจ่ายประจุของแบตเตอรี่มีค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ตลอด ซึ่งจะแตกต่างจากแบตเตอรี่สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ เช่น ในรถยนต์ทั่วไป โดยได้รับการออกแบบให้เกิดการจ่ายกระแสไฟฟ้ามากๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ตัวอย่างยานพาหนะที่ใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ เช่น รถกอล์ฟ รถฟอร์คลิฟท์ และรถกวาดพื้น เป็นต้น

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และในระบบที่ใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กลงมานิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม แต่สำหรับแบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-เหล็ก

พฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ไม่คงที่ แล้วแต่อากาศ และภูมิประเทศแต่ละช่วง เป็นที่ทราบกันว่า พลังงานแต่ละรูปแบบมีขีดจำกัดในการทำงานของตัวเอง พลังงานลมหากไม่มีลมก็จะไม่สามารถที่จะเปลี่ยนรูปแบบพลังงานทางกลเป็นพลังงานทางไฟฟ้าได้เช่นกัน พลังงานแสงอาทิตย์ ก็ไม่สามารถให้พลังงานทางไฟฟ้าได้ในเวลาค่ำคืน แต่พลังงานทั้งสองรูปแบบ การแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ไม่คงที่ผลหรือค่าที่ได้มาทางไฟฟ้าจึงได้ค่าไม่คงที่ ดังรูปที่ 2.7 [20]



รูปที่ 2.7 ผลที่นำมาใช้งานกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ขนาด (C10) 70AH

### 2.3.1 เทคโนโลยีพลังงานลม (Wind Energy Technology)

การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมีมากกว่า 3,000 ปี จนกระทั่งต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 ได้เริ่มมีการใช้พลังงานลมเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลเพื่อการสูบน้ำและการสีข้าว ต่อมาในช่วงเริ่มต้นของยุคอุตสาหกรรมใหม่การใช้งานพลังงานจากลมถูกแทนที่ด้วยพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1970 เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันทั่วโลก ความสนใจในพลังงานลมจึงกลับมาอีกครั้ง โดยมีเป้าหมายหลักคือการนำพลังงานลมมาใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้า ร่วมกับแหล่งพลังงานฟอสซิลเพื่อความมั่นคงของระบบ และลดปัญหาความไม่แน่นอนของลมตามธรรมชาติ [7]

### 2.3.2 พลังงานลมและกังหันลม

พลังงานลม คือ มวลของอากาศซึ่งเคลื่อนที่ไปบนผิวโลกตามแนวแกน ในทุกทิศทางด้วยความเร็วต่างๆ กัน ซึ่งพลังงานลม เกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ โดยที่ผิวโลกแต่ละส่วนได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน จึงเป็นเหตุให้อากาศจากแหล่งที่มีอุณหภูมิสูงเกิดการลอยตัวสูงขึ้นและอากาศจากแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้ามาแทนที่ จึงทำให้มวลอากาศเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งเรียกว่า ลม [8] การใช้ประโยชน์พลังงานลมโดยทั่วไปเพื่อวัตถุประสงค์หลักสองประการ คือ การสูบน้ำ และการผลิตไฟฟ้า การที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จะต้องมีอุปกรณ์เปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ของกระแสลมให้อยู่ในรูปของพลังงานกล อุปกรณ์ดังกล่าว เรียกว่า กังหันลม การพิจารณากระแสลมที่มีความหนาแน่น และมีความเร็วลม ( $V$ ) พัดผ่านพื้นที่ที่มีหน้าตัด ( $A$ ) ในช่วงหนึ่งหน่วยเวลา จะมีกำลังลม  $P$  ที่ได้จากพลังงานจลน์ ได้ดังสมการ 2.1 [9] กำลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $V$  ผ่านพื้นที่หน้าตัด  $A$  คือ

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (2.1)$$

เมื่อ	$P_w$	คือ	กำลังของลม (W)
	$\rho$	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ (มีค่าเท่ากับ $1.225 \text{ kg/m}^3$ )
	$A$	คือ	พื้นที่หน้าตัด ( $\text{m}^2$ )
	$V$	คือ	ความเร็วลม (m/s)

ความหนาแน่นของอากาศเป็นฟังก์ชันของความกดอากาศและอุณหภูมิที่ระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเลซึ่งสามารถแสดงไว้ในสมการ (2.2) ได้ดังนี้

$$\rho(z) = \frac{P_0}{(RT) \exp\left(\frac{-gz}{RT}\right)} \quad (2.2)$$

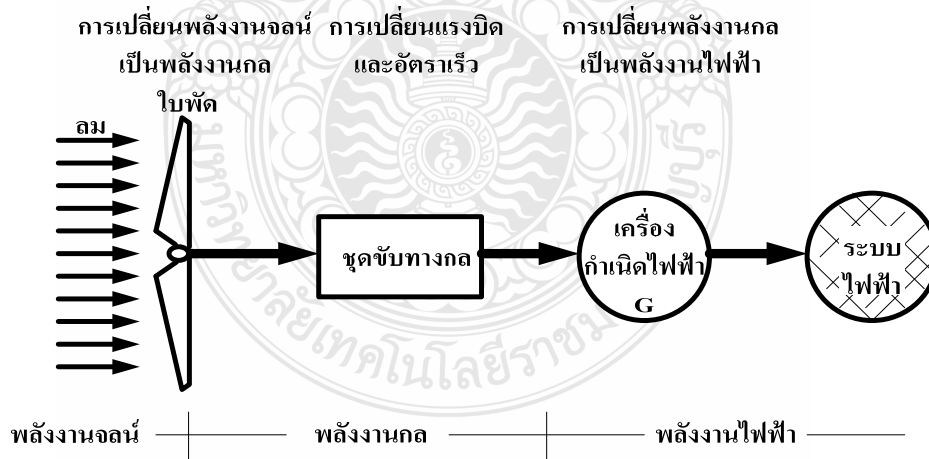
เมื่อ	$\rho(z)$	คือ	ความหนาแน่นของอากาศซึ่งเป็นฟังก์ชันของระดับความสูง ( $\text{kg/m}^3$ )
	$P_0$	คือ	ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลมาตรฐาน ( $\text{kg/m}^2$ )
	$R$	คือ	ค่าคงที่ของอากาศ (Specific Gas Constant of Air) ( $\text{J/K mol}$ )
	$T$	คือ	อุณหภูมิ (K)
	$g$	คือ	ค่าแรงดึงดูดของโลก ( $\text{m/s}^2$ )
	$z$	คือ	ค่าความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)

พลังงานลมถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลของแกนหมุนกังหันลม มวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะเคลื่อนที่ช้าลง ในทางปฏิบัติแล้วพลังงานจากลมไม่สามารถถ่ายเทให้กับกังหันลมได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าเกิดขึ้นจริงจะหมายความว่ามวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบกังหันจะต้องหยุดสนิทอยู่กับที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันทั้งหมด สมการที่ (2.3) ใช้ในการอธิบายพลังงานทั้งหมดที่กังหันลมสามารถเปลี่ยนรูปได้จากพลังงานลม

$$P_{WT} = P_W C_P = \frac{\rho}{2} A_R V^3 C_P \quad (2.3)$$

- เมื่อ  $P_{WT}$  คือ กำลังของกังหันลม (W)  
 $C_P$  คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของกังหันลม  
 $A_R$  คือ พื้นที่กวาดของใบกังหัน ( $m^2$ )

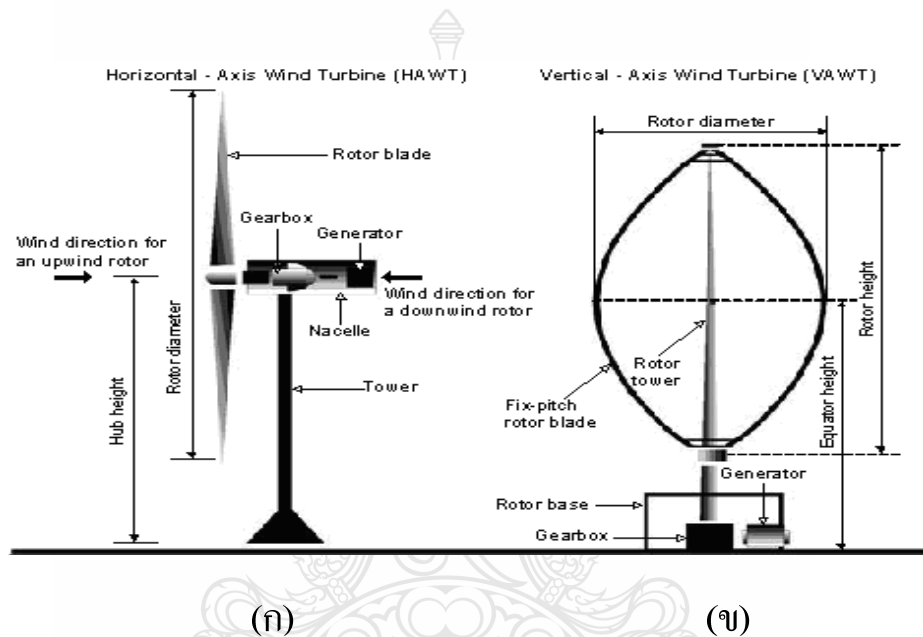
จากพื้นฐานดังกล่าวสามารถอธิบายการเปลี่ยนรูปพลังงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้ ดังนี้คือพลังงานลมซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่ความเร็วค่าหนึ่ง (พลังงานจลน์) เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานทางกลด้วยแรงบิดและความเร็วรอบของแกนหมุนกังหัน (Torque and Speed Conversion) พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนรูปพลังงานในระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

### 2.3.3 ชนิดของกังหันลม

กังหันลมผลิตไฟฟ้าสมัยใหม่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ กังหันลมแกนตั้ง (Vertical-axis Type Wind Turbine; VAWT) และกังหันลมแกนนอน (Horizontal-Axis Type Wind



รูปที่ 2.9 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง

### 2.3.4 ส่วนประกอบของกังหันลม

กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine for Electric) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำมาใช้ทั้งกังหันลมขนาดเล็ก และกังหันลมขนาดใหญ่ ส่วนประกอบสำคัญของระบบกังหันลมแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1) ใบกังหัน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดพลังงานกลที่เพลของกังหันจำนวนใบกังหันอาจมีตั้งแต่ หนึ่งจนถึงหลายสิบใบ กังหันลมที่มีจำนวนใบมากส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิด (Torque) สูง ในทางตรงกันข้าม กังหันที่มีจำนวนใบพัดน้อยส่วนใหญ่ใช้กับงานที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การผลิตไฟฟ้า รูปหน้าตัดของใบกังหันอาจมีตั้งแต่การแพนอากาศ (Airfoil) หรือลักษณะคล้ายปีกของเครื่องบิน เป็นแผ่นโค้ง และเป็นแผ่นราบตรง วัสดุที่ใช้ทำใบกังหันควรจะเป็นวัสดุเบาและแข็งแรง

2) ระบบควบคุม ในชุดกังหันลมส่วนใหญ่จะมี 2 ชนิด โดยเฉพาะแบบแกนนอน คือ ควบคุมให้กังหัน หันหน้าเข้าหาทิศทางลมตลอดเวลา และควบคุมเพื่อป้องกันการเสียหายเนื่องจากความเร็วลมแรงมากๆ ระบบควบคุมให้กังหัน หันหน้าเข้าหาทิศทางลม ส่วนมากระบบนี้จะใช้หางเสือโดยเฉพาะกังหันลมชนิดเล็กเพราะระบบนี้เป็นแบบง่าย ไม่ซับซ้อนมาก ส่วนระบบควบคุมเพื่อป้องกันการเสียหายเนื่องจากความเร็วลมสูงๆ ปกติเมื่อลมพัดแรงมาก จะมีแรงกระทำกับใบกังหันอย่างมาก ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมให้ทำงานที่ความเร็วสูงที่กังหันจะรับได้ค่าหนึ่ง การควบคุมจะมีลักษณะการทำงานอยู่สองแบบคือ

ก. ทำให้กังหันลมหันหน้ารับกระแสลมโดยการหันไปข้างๆ หรือหันเงยหน้าขึ้นหรือทำให้ใบกังหันหุบตัวเพื่อให้มีพื้นที่ของกังหันที่รับกระแสน้อยลง

ข. ทำให้เกิดการหน่วงต่อการหมุนของกังหันลม ซึ่งอาจทำได้โดยการบิดหมุนของใบกังหัน ให้เกิดการหน่วงมากกว่าการขับ หรือ เพิ่มขึ้นส่วนที่ทำให้เกิดแรงหน่วงขึ้นอย่างสูงเมื่อความเร็วถึงจุดที่กำหนดไว้ [10]

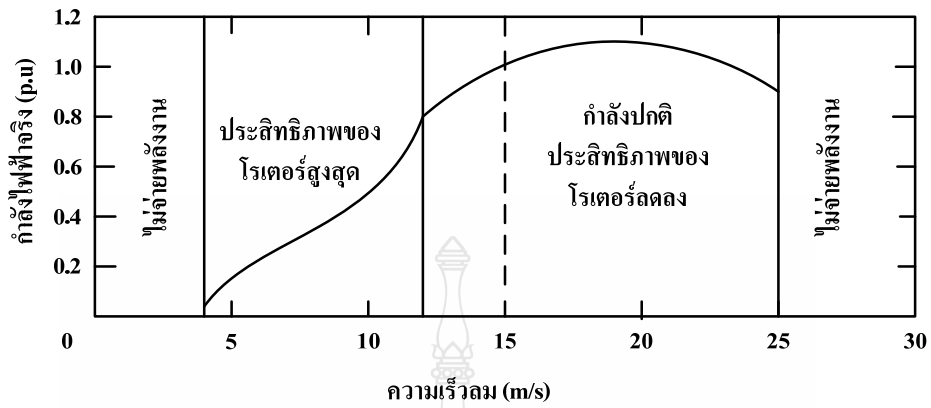
### 2.3.5 จำนวนใบพัด

โดยทั่วไปกฎของการหาจำนวนใบพัดที่เหมาะสมสำหรับกังหันลมขึ้นอยู่กับตัวแปรต่อไปนี้เป็นคือ ถ้าต้องการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วรอบสูง แรงบิดต่ำ กังหันจะต้องการจำนวนใบพัดน้อย แต่ถ้าเป็นกังหันลมซึ่งประยุกต์ใช้เพื่อการสูบน้ำ หรือสีข้าว กังหันชนิดนี้ต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วรอบต่ำดังนั้นกังหันชนิดนี้ จะต้องการจำนวนใบพัดมาก

จำนวนใบพัดค่าสุดท้ายที่ควรจะมีของกังหันลม คือ หนึ่งใบ ซึ่งมีข้อดีคือลดน้ำหนักของใบพัดลงอย่างไรก็ตามการหมุนของกังหันแบบใบเดียวไม่ดีเท่าที่ควร กังหันลมแบบสองใบเป็นแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันแต่การหมุนยังไม่ราบรื่นนัก กังหันแบบสามใบให้การหมุนของแกนกังหันที่ราบรื่นแต่มิ่มีน้ำหนักมากทำให้ต้องการ โครงสร้างรองรับที่แข็งแรง ซึ่งส่งผลถึงงบประมาณการลงทุน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบสามใบพัดเป็นที่นิยมและ มีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงกว่า นอกจากนี้ยังมีข้อดีมากกว่าแบบสองใบพัดอีก คือ ให้ความสวยงามมากกว่าในด้านของรูปลักษณ์และการมองและ มีเสียงดังรบกวนน้อยกว่า

### 2.3.6 ความเร็วลมและกำลังของกังหันลม

พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลมแต่ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำ (1-3 เมตร/วินาที) กังหันลมจะยังไม่ทำงาน ในช่วงความเร็วลมนี้กังหันลมจะยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5-5 เมตร/วินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่า “Cut In” ที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12-15 เมตร/วินาที เป็นช่วงที่เรียกว่า “Nominal หรือ Rate Wind Speed” ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตนเอง ค่าความเร็วลมที่แน่นอนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดของใบพัดและการออกแบบ ที่จุดต่ำกว่า Nominal คือ “Maximum Rotor Efficiency” ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับ “Tip Speed

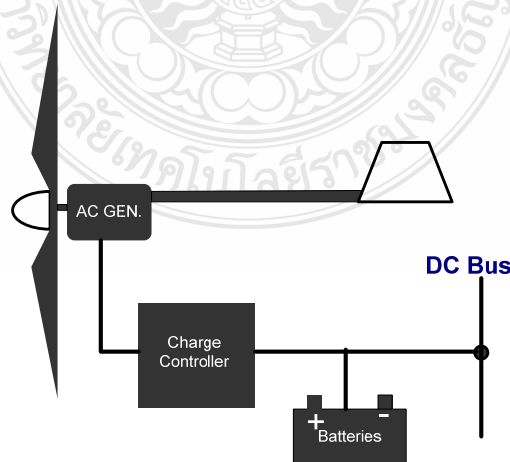


รูปที่ 2.10 กำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบ Stall Limit

### 2.3.7 ระบบเดี่ยว

#### 1) ระบบไฟฟ้ากระแสตรง

การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมในพื้นที่ที่ลมไม่สม่ำเสมอหรือปริมาณลมไม่คงที่ ทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่ต่อเนื่องดังนั้นจึงจำเป็นต้องเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ จากรูปที่ 2.11 กรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยมีเครื่องควบคุมการประจุทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและควบคุมการประจุลงในแบตเตอรี่ ตลอดจนควบคุมการจ่ายโหลด ดังรูปที่ 2.11

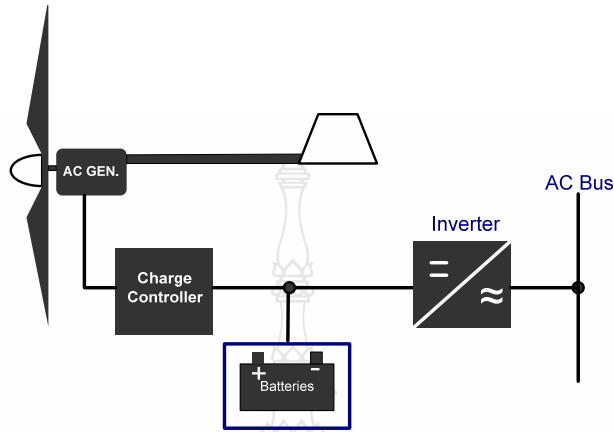


รูปที่ 2.11 การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง



## 2) ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะเป็นโหลดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจากระบบ DC Bus ต้องผ่านอุปกรณ์แปลงผันเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 2.12

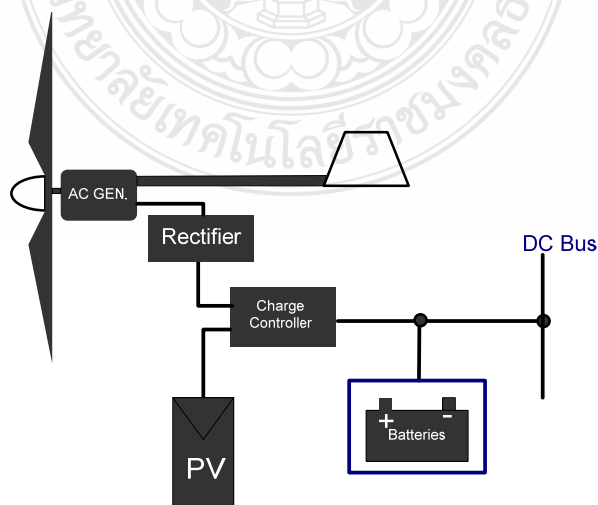


รูปที่ 2.12 การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ

### 2.3.8 ระบบผสมผสานระหว่างกังหันลมและเซลล์แสงอาทิตย์

#### 1) ระบบไฟฟ้ากระแสตรง

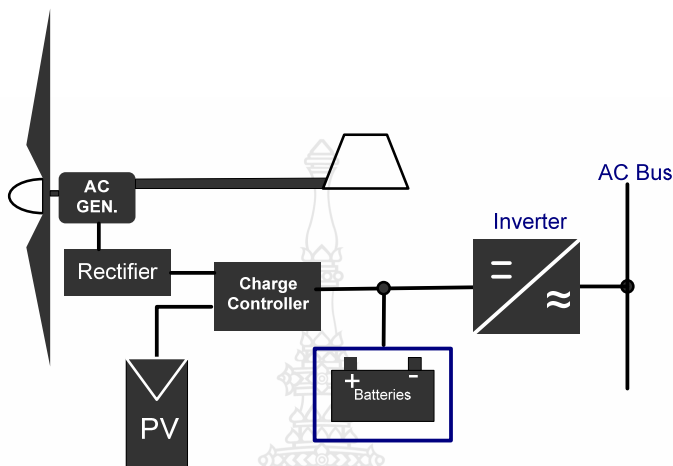
ในการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมเพียงอย่างเดียวอาจทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อเพิ่มให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าดีขึ้น จึงได้นำเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่อเนื่องได้ในตอนกลางวัน เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ในเวลาตอนเย็นและตอนกลางคืนโดยถ้ามีลมจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อไปประจุเข้าที่แบตเตอรี่ได้เช่นเดียวกัน เมื่อประจุเต็มแล้วก็พร้อมที่จ่ายโหลดได้ โดยถ้าเป็นโหลดกระแสตรงสามารถจ่ายได้เลย ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง

## 2) ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

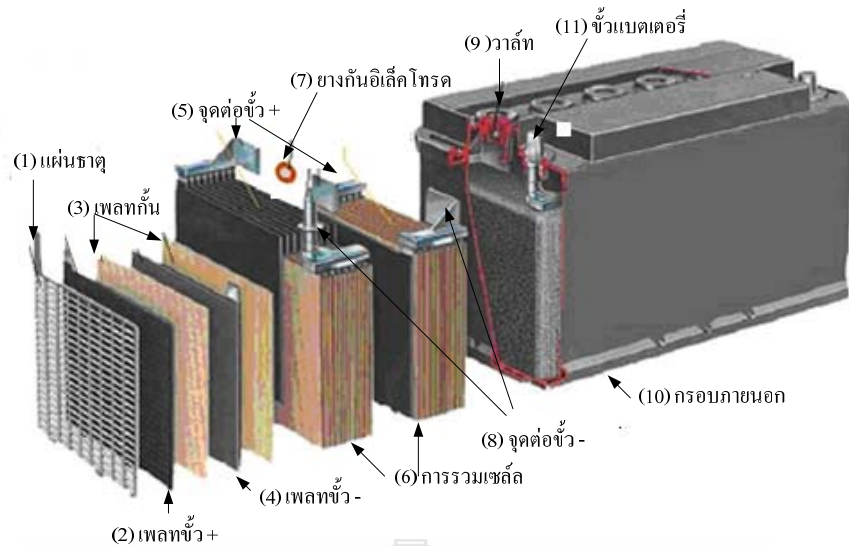
เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะเป็นโหลดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจากระบบผสมผสานที่เป็นระบบ DC Bus จะต้องผ่านอุปกรณ์แปลงผันเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การต่อไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ

## 2.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญภายใน ดังรูปที่ 2.15 ประกอบไปด้วย แผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวก และลบล้อมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุ โมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่ว และปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมาย เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ 12 V จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้



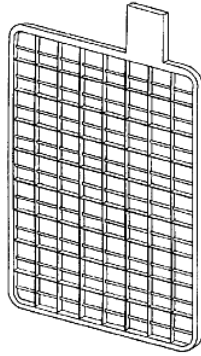
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด วัสดุภายในที่นำมาให้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทงานที่นำไปใช้งาน และการออกแบบของผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกัน ดังนี้

1. วัสดุทำปฏิกิริยา (Active Material) ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น แผ่นธาตุบวกจะเป็น  $PbO_2$  ผงตะกั่วออกไซด์มีสีน้ำตาลลาบอยู่ในโครงแผ่นธาตุ ในขณะที่ขั้วลบจะเป็น  $Pb$  ผงตะกั่วมีสีเทาอบบนโครงแผ่นธาตุเช่นกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับวัสดุทำปฏิกิริยาและลดการตกลงของแรงดันอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ Polarisation

2. โครงแผ่นธาตุ (Support Grids)

โครงแผ่นธาตุ ดังรูปที่ 2.16 จะทำจากตะกั่วผสมอาจเป็น พลวง (Antimony) ดีบุก (Tin) บิสมัท (Bismuth) แคลเซียม (Calcium) ซีลีเนียม (Selenium) ซึ่งตะกั่ว-พลวงเป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดแรกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของตะกั่วโดยใช้ประมาณ 1.5 – 1.8 % เปอร์เซนต์ แต่ทำให้เกิดผลเสียคือเพิ่มความต้านทานในเซลล์ ทำให้เกิดการคายประจุในตัวเองเร็วขึ้น และอายุการใช้งานสั้น ในระหว่างการประจุใหม่จะทำให้เกิดการก่อตัวของแก๊สพิษ  $SbH_3$  จากการค้นคว้าทำให้เราทราบว่า ตะกั่ว-แคลเซียม มีข้อได้เปรียบมากกว่า ตะกั่ว-พลวง ในกรณีแผ่นธาตุชนิดพลวงจะเจือซีลีเนียมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล เช่นกัน



รูปที่ 2.16 โครงแผ่นธาตุ

### 3. แผ่นกั้น (Separator)

แผ่นกั้นดังรูปที่ 2.17 มีหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นนั้น จะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลายต่ำ นั่นก็หมายถึงต้องมีความพรุนให้อิออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบด้วย ในช่วงแรกนั้นแผ่นกั้นจะทำจากวัสดุจำพวกไม้ fir และ Cedar โดยนำยางไม้ ออกก่อน ต่อมาก็ใช้ยางตามธรรมชาติอบซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์ที่เป็นรูปพรุนอันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตจำพวก โพลีไวนิลคลอไรด์หรือ โพลีเอทิลีน แต่แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่น แบตเตอรี่รถยนต์การใช้แผ่นกั้นที่เป็นกระดาษจะคุ้มทุนกว่า

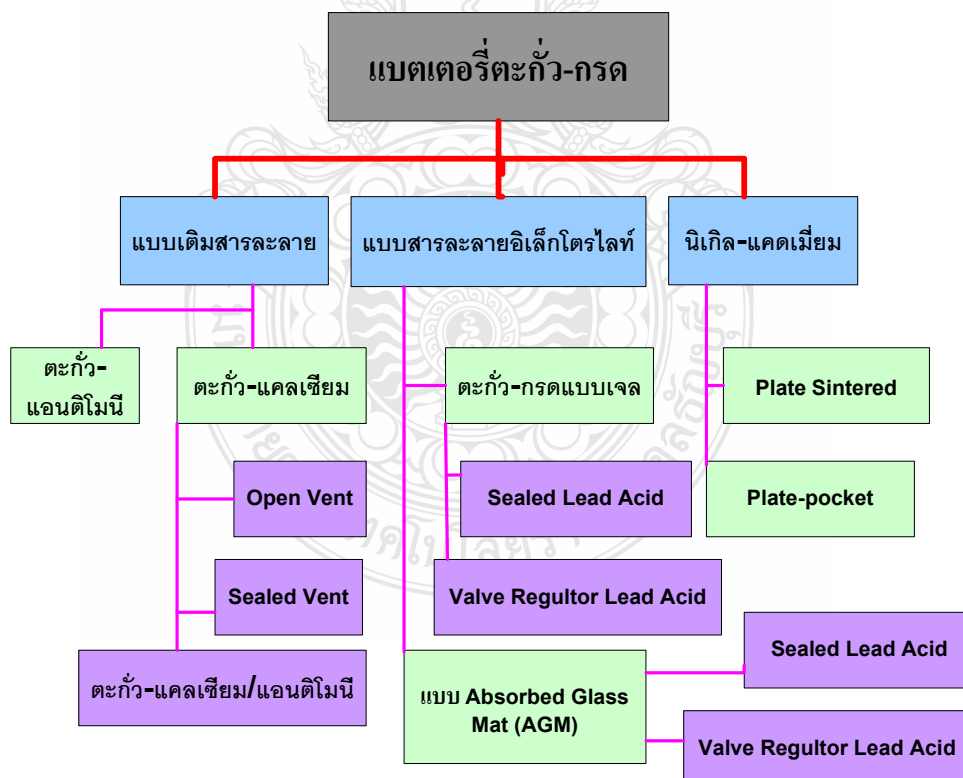


รูปที่ 2.17 แผ่นกั้น (Separator)

4. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นกรดซัลฟิวริก ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.210 – 1.300 แต่จะขึ้นอยู่กับ การออกแบบและประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศ ถ้าใช้สารละลายที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น การคายประจุในตัวเองและการผุกร่อนของแผ่นธาตุ แต่จะ

5. หม้อแบตเตอรี่ (Container) หม้อแบตเตอรี่มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องจากไม้ แก้ว เซรามิก พลาสติก ซึ่งปัจจุบันนิยมทำมาจากพลาสติกจำพวก PVC หรือไม้กึ่งโพลีเอทิลีน และแบ่งออกเป็น ช่างๆ ขึ้นกับการออกแบบ โดยกำหนดให้หนึ่งช่องเซลล์มีความต่างศักย์ประมาณ 2 V และต่ออนุกรม กัน

ในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาใน ระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยนต์/รถยนต๋จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความ แข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถัง ต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายต่างกัน



รูปที่ 2.18 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

#### 2.4.1 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1) แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI) เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ ลักษณะการออกแบบแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยาการที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (Deep Cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ ก็ยังมีการนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนา ที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจใช้งานได้ถึงสองปี กับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20 % DOD ต่อวัน และจำกัดไว้มากที่สุด ไม่เกิน 40-60 % DOD

2) แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า รถไฟฟ้า ในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่าวัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆ จะใช้ ตะกั่ว-แอนติโมนี เพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้ เป็นที่รู้จักกันดี และมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (Deep Cycle) อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

3) แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า และจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก

#### 2.4.2 ชนิดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ดังรูปที่ 2.18

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

โดยจะมี 3 ชนิด คือ ก) แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery)

ข) แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (VRLA Battery)

ค) นิกเกิล-แคดเมียม

1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริดเพลท ให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดา และทำให้สามารถใช้งานอายุประจุมาก หรือที่เรียกว่า ประจुरอบลึก และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี กริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนี ยังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยา ทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียมเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง

ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่ต้องการการประจุกินบ่อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจุกิน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายก๊าซ เป็นเกลียวเปิด สำหรับเปิดเติมน้ำ แบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใส่ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านนอก การเช็ควัดความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเพลทหนาและการออกแบบที่แข็งแรง ส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า เพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท เหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกันการใช้ส่วนผสมแคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสีย ส่วนที่เป็นข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นกริดเพลท มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการเกิดก๊าซซึ่ง ทำให้มีการสูญเสียเล็กน้อยลง การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสียของการผสมแคลเซียมคือ มีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสภาวะที่คายประจุมากๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง หรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25 % DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลง มี 3 ชนิด

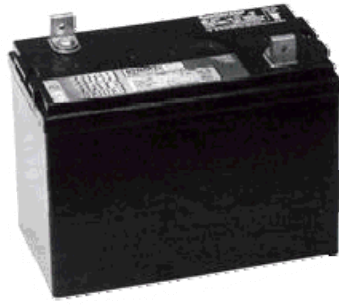
- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent แบตเตอรี่ชนิดนี้ มักจัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกกละ 2 โวลต์ มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000 แอมแปร์-ชั่วโมง แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียน้ำน้อย และอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรอง สำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีประสิทธิภาพไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่อง ปฏิกิริยาการแบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent การพัฒนาแบตเตอรี่ ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ Maintenance Free ใช้กับรถยนต์มีความจุในช่วง 50 แอมแปร์-ชั่วโมง ถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ขนาด 12 V และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดา คือทนต่อการประจุเกินสถานะแวดล้อมอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษา คือ การไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการใส่สารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เช่นระบบที่ใช้ในบ้าน ระบบแสงสว่าง แต่ต้องระมัดระวังในการประจุ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่ยาวนานที่สุด ถึงแม้จะมีราคาถูก แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย(Shallow Cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม ไฮบริด แบตเตอรี่ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่น มีความจุถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียม เป็นกริดแบบแท่งในขั้วบวก และใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รับข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด คือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุมาก มีการสูญเสียเล็กน้อย และอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในระบบขนาดใหญ่

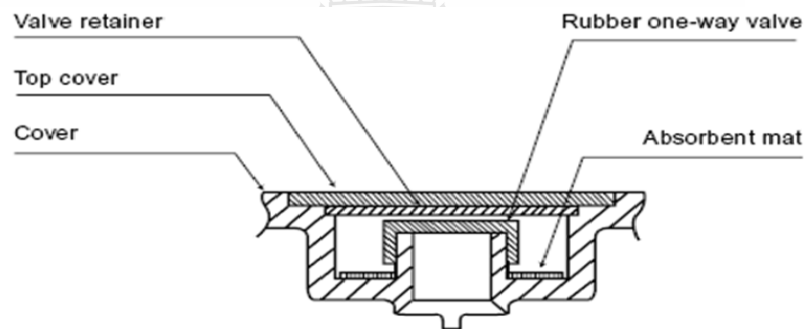
2) แบตเตอรี่ ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) ดังรูปที่ 2.19 เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อีกชนิดหนึ่ง โดยสารอิเล็กโทรไลต์ จะถูกอิมโมบิลไลซ์ (Immobilized) และปิดผนึกในภาชนะบรรจุ ถ้าเกิดสถานะประจุเกิน ช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายใน ดังรูปที่ 2.20 แบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องไม่ทำการประจุเกินแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บลมผลิตไฟฟ้า เพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่ง และที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บลมผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เกิดการเสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือการประจุเกินทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมักเกิดในสถานะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสถานะประจุเกิน (Over Charging)



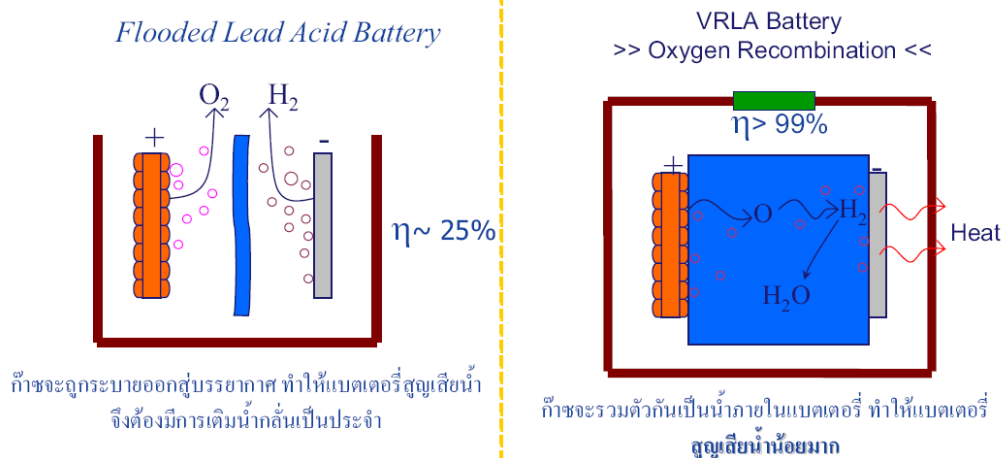


รูปที่ 2.19 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA) [18]

เป็นแบตเตอรี่ที่ปิดผนึกโดยรอบยกเว้นวาล์ว (วาล์วทางเดียว) ที่จะเปิดออกเองในบางครั้ง เพื่อลดความดันในแบตเตอรี่ ในกรณีที่เกิดการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันที่เกินกว่าค่าที่แนะนำของบริษัทผู้ผลิต หรืออุณหภูมิที่ใช้งานสูงผิดปกติ โดยแก๊สที่ระบายออกมานั้นจะมีส่วนของไฮโดรเจน และออกซิเจน



รูปที่ 2.20 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส



รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA [10]

จากรูปที่ 2.21 ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเติมสารละลาย (Flooded) กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดแห้ง (VRLA) ขณะเกิดการสูญเสียน้ำภายในขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางกายภาพ

เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบต่อสภาวะการประจุ โดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิ การประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ถ้าไม่มีข้อมูล ไม่ควรประจุเกิน 14.2 V ที่ 25°C สำหรับแบตเตอรี่ 12 V ข้อแนะนำสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิต่ำกว่าเพื่อป้องกันการประจุเกิน ยังแบ่งได้อีก 2 ชนิด คือ

- แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) ดังรูปที่ 2.22 แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียม แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายใน เพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสียน้ำ แบตเตอรี่แบบเจลบางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่



Gel



รูปที่ 2.22 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery) [10]

- แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) ดังรูปที่ 2.23 แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจล คือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลทแต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้



AGM



รูปที่ 2.23 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) [10]

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและ ออกซิเจน จากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบ ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระเหย ออกมาภายนอก ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทน แต่ใน AGM แบตเตอรี่โมเลกุลออกซิเจนที่ เกิดขึ้นในเพลทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลทลบและรวมตัว กลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้น ภายใน

- แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ สามารถนำมาประจุใหม่ได้ และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า แบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาน้อย สามารถทนการประจุที่ ผิดปกติได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุ ข้อเสียคือ ราคาแพงและมีขนาดให้เล็กลงใช้งานน้อย

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบลึก (Deep cycle)	การ บำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมน้ำละลาย (Flooded Lead-Acid)			
1. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	ต่ำ	ดี	สูง
2. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ปานกลาง
3. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ต่ำ
4. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม	ปานกลาง	ดี	ปานกลาง

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ (ต่อ)

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบลึก (Deep cycle)	การบำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
1. เจลแบตเตอรี่(Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
2. Absorbed Glass Mat(AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิกเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

## 2.5 คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่

นิยามและความหมาย

1) แอมแปร์-ชั่วโมง (AH) เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนใกล้จะคายประจุหมด ความจุแอมแปร์-ชั่วโมงได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80 แอมแปร์-ชั่วโมงหมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมงหรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง

2) ความจุ (Capacity) ในทางปฏิบัติ การวัดความจุของแบตเตอรี่ยังขึ้นกับขนาดของกระแสที่คายประจุ หรือความเร็วในการใช้งานแบตเตอรี่ ถ้ากระแสที่คายประจุเพิ่มขึ้น ความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้จริงจะลดลง ในการกำหนดคุณลักษณะการลดลงของความจุแบตเตอรี่แบบนี้ จะมีการเขียนกำกับความจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตราส่วนของความจุต่อเวลา

สาเหตุที่เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสต่ำ มีความจุมากกว่ากระแสสูงเนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพลทเล็กกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย แต่การซึมของสารละลายเข้าไปในเพลทยิ่งลึกอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะลดลง ดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งาน แบตเตอรี่บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์-ชั่วโมง และแรงดันปกติของแบตเตอรี่ และหารด้วย 1000 เช่น แบตเตอรี่ 12 V 100 แอมแปร์-ชั่วโมง มีความจุเท่ากับ  $12 \times (100/1000) = 1.2 \text{ kWh}$  เป็นต้น

3) แรงดันคัทออฟ (Cut off voltage) เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวร ไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้โดยค่านี้จะ

4) รอบการใช้งาน (Cycle) เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม นำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อย และงานที่มีการคายประจุมาก การจะใช้งานแบตเตอรี่แบบใดหนึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของเซลล์ และส่วนใหญ่ไม่ใช้คายประจุหมด ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 % ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

5) การคายประจุ (Discharge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา กำหนดในรูปของกระแสการคายประจุ หรืออัตราการคายประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟูริก เปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟตและน้ำ

6) การประจุ (Charge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้า กำหนดในรูปของกระแสประจุ หรืออัตราการประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่วซัลเฟตและน้ำเปลี่ยนเป็นตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟูริก

7) อัตราการอัดประจุ และคายประจุ (Rate of Charge/Discharge) คืออัตราส่วนของความจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง เช่นแบตเตอรี่ขนาดความจุ 30AH ที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมง (C/10 หรือ C10 หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุ ในที่นี้คือ  $30/10 = 3$  แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลง

8) ขั้วลบ (Negative Polarity) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

9) ขั้วบวก (Positive Polarity) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์สูง ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

10) แรงดันขณะเปิดวงจร (Open circuit voltage) คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสถานะสมดุล ไม่มีการประจุ หรือไม่มีการคายประจุ แรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ ความถ่วงจำเพาะ และอุณหภูมิ

11) คุณสมบัติในสถานะการประจุแบตเตอรี่ วิธีการและขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ มีหลายลักษณะ สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดี่ยว วิธีการประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิด มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดมาโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ การประจุแบบต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

- Bulk or Normal Charge เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กัน ที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดันก้ำกึ่ง การประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80-90% ของความจุทั้งหมด

- Float or Finishing Charge เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้น หลังจากนั้น ต้องมีการควบคุมอาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ การประจุแบบนี้มักทำที่อัตราการประจุต่ำถึงกลาง

- Equalizing Charge บางครั้งเรียก Refreshing Charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่แรงดันสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้ เซลล์ที่มีสถานะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าซ ในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็มการประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing Charge 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง

## 12) คุณสมบัติในสถานะการคายประจุ

ก. ความลึกของการคายประจุ (Depth of Discharge : DOD) คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไป หรือคายประจุออกไป เปรียบเทียบกับความจุทั้งหมด มีปริมาณ DOD สองปริมาณที่ใช้อธิบายในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

- Allowable DOD หรือ Maximum DOD เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีก โดยทั่วไปจะกำหนดโดยแรงดัน Cut off ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระพารามิเตอร์ที่สะท้อนค่า Maximum DOD คือค่าพิคคแรงดันต่ำสุด (LVD) แต่อย่างไรก็ตามค่า Maximum DOD นี้สามารถกำหนดตามฤดูกาลได้ โดยขึ้นกับลักษณะพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และลักษณะของการใช้ภาระทางไฟฟ้า

- Average Daily DOD เป็นปริมาณพลังงานที่ยอมให้มีการจ่ายออกจากแบตเตอรี่ได้ภายใน 1 วัน โดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยรายวันของภาระทางไฟฟ้า ปริมาณนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจำนวนวันที่ต้องการเก็บพลังงานไว้ใช้งาน

ข. Stage of Charge (SOC) สถานะของการคายประจุ เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 % หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50 % หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ 50 %

ความลึกของการคายประจุ และการอัดประจุ ค่าดีโอดี (DOD, Depth of Discharge) เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความจุซึ่งถูกใช้งานไปแล้วจากเดิมที่มีการอัดประจุเต็มพิคค ในทางส่วนกลับของค่าดีโอดีคือ ค่าเอสโอซี (SOC, State of Charge) เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความจุที่คงใช้งานได้ อาจพิจารณาคล้ายแก้วน้ำซึ่งมีน้ำอยู่ระดับหนึ่งซึ่งจะมีส่วนที่ว่างเปล่าหรือส่วนจะต้องเติมให้เต็ม ดังนั้นค่าดีโอดี และค่าเอสโอซีคือ ความสูงของส่วนที่ว่างเปล่าไม่มีน้ำในแก้วและความสูงของน้ำที่มีอยู่ในแก้วตามลำดับ ใน

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถานะประจุกับค่าความสามารถในการคายประจุ

สถานะประจุ (% SOC)	ความสามารถในการคายประจุ (% DOD)
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

อย่างไรก็ตาม ค่าดีโอดีหรือเอสไอซึ่งจะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity) ตัวอย่างเช่น ความจุที่อัตรา 10 ชั่วโมง การจ่ายกระแสต่ำจะให้ค่าดีโอดี มากกว่า 100 % ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการใช้งานได้มากกว่า 100 % เมื่ออัตราการคายประจุต่ำกว่าอัตราการคายประจุปกติ

13) Autonomy โดยทั่วไปจะนิยามคือจำนวนวันที่จะเก็บพลังงานไว้ให้เพียงพอใช้งาน ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจะหมายถึง ช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ที่ประจุเต็มแล้วสามารถจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อไม่มีพลังงานประจุกลับจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เลย สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป ช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ระหว่าง 2-6 วันขึ้นอยู่กับการออกแบบ ยิ่งออกแบบเวลา Autonomy นานขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ก็จะเพิ่มขึ้น

14) การคายประจุด้วยตัวเอง (Self Discharge Rate) เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยให้โดยไม่มีการทำงานจะมีการคายประจุในตัวเองอัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือนการคายประจุด้วยตัวเองนี้ขึ้นกับความยากง่ายในการเกิดก๊าซที่เพลทเมื่อมีการประจุเกินและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น

15) อายุการใช้งานแบตเตอรี่ (Battery Lifetime) อายุการใช้งานแบตเตอรี่คือช่วงเวลาที่ความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็มลดลงจากความจุเต็มของแบตเตอรี่ใหม่ 80 % โดยการลดลงนั้นเกิดขึ้นทั้งจากจำนวนรอบการใช้งาน และอายุของเซลล์

ในบางรอบการใช้งาน วัสดุทำปฏิกิริยาจะหลุดออกจากอิเล็กโทรด และจมลงด้านล่างของภาชนะบรรจุ เมื่อวัสดุแยกออกมาจากอิเล็กโทรดวัสดุนั้นจะไม่สามารถคืนรูปเหมือนเดิมได้ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงได้เช่นเดียวกัน จำนวนรอบของการใช้งานก่อนที่ความจุเต็มจะลดลงเหลือ 80 % เรียกว่าอายุของเซลล์ (Cell Life) อายุของเซลล์นี้จะขึ้นกับลักษณะการคายประจุ ขนาดของกระแสที่คายประจุและอุณหภูมิ

ในการใช้งานบางงานเซลล์ไม่ได้มีการใช้งานเป็นรอบบ่อยๆ เช่นในระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน แบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มตลอดเวลา จนกระทั่งถึงเวลาฉุกเฉินจึงมีการคายประจุความจุเต็มของแบตเตอรี่ชนิดนี้จะลดลงตามอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงเรียกอายุของการใช้งานแบตเตอรี่แบบนี้เป็นอายุ

ในเซลล์บางชนิด แบตเตอรี่จะสามารถใช้งานได้นานเท่าอายุปฏิทินของแบตเตอรี่ ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานแบบที่มีการคายประจุน้อยเท่านั้น ดังนั้นจะไม่สามารถใช้ไฟฟ้าเท่ากับความสามารถของแบตเตอรี่ทั้งหมดได้ เวลาที่กล่าวถึงความจุแบตเตอรี่จึงมักกล่าวถึงความจุของลักษณะคือ ความจุทั่วไป (Nominal capacity) และความจุที่ใช้งานจริง (Usable capacity)

16) ผลกระทบของอุณหภูมิ (Temperature Effects) สำหรับแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $10^{\circ}\text{C}$  จากอุณหภูมิห้อง หรือ เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ซึ่งเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเป็นสองเท่าเช่นกัน และนอกจากนั้นอุณหภูมิสูงยังมีผลในการเร่งการสึกหรอของเพลทวอก เนื่องจากผลของการเกิดก๊าซซิง และการสูญเสียน้ำ ส่วนอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นแต่อย่างไรก็ตามทำให้ความจุลดลงในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

17) ผลกระทบของอัตราการคายประจุ (Effects of Discharge Rates) ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลง เมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุสูงขึ้น อัตราการคายประจุสูงนี้ มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการคายประจุต่ำกว่า บางครั้งอาจส่งผลถึงการเลือกจุดแรงดันต่ำสุดที่จะตัดภาระทางไฟฟ้าออก ในแรงดันแบตเตอรี่ค่าเดียวกัน

18) การเกิดแก๊สซิง และปฏิกิริยาเมื่อมีการประจุเกิน เซลล์ของแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาในอิเล็กโทรด เปลี่ยนรูปจากสภาวะการคายประจุเป็นสภาวะการประจุเต็มทั้งหมด ถ้ายังทำการประจุต่อไป จะเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นขึ้นแทนที่อิเล็กโทรด ปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดก๊าซ เรียกรวมการเกิดก๊าซซิงเนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลทวอกและไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลทวอลบ

การเกิดแก๊สซิงแบบซ้าๆ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบซ้าๆ กลับทำให้เกิดประโยชน์เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น (Stratification) ถ้ายังมีการเกิดแก๊สอย่างต่อเนื่อง สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งต่ำสุด ยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆที่เกิดขึ้นช่วงสภาวะการประจุเกินคือการแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโทรด ปฏิกิริยานี้จะรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

ดังนั้นในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด จึงมีความต้องการระบบควบคุมการประจุเพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้นบางครั้งการป้องกันการประจุเกินจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วิธีออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีแรงดันพอดีกับการประจุแบตเตอรี่ในบางกรณีก็ใช้ระบบควบคุม



19) แรงดันควบคุมในช่วงการประจุเกินและการเกิดแก๊สซึ่ง แรงดันควบคุมในช่วงประจุเกิน คือ แรงดันสูงสุดที่อุปกรณ์ควบคุม ยอมให้มีการประจุแบตเตอรี่จนเกิดแก๊สได้ถ้าแรงดันแบตเตอรี่เกินจุดนี้ อุปกรณ์ควบคุมจะทำการตัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออกไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดก๊าซมากขึ้น ดังนั้น การเลือกแรงดันควบคุมสูงสุดนี้ ก็จะมีผลสำคัญต่อระบบโดยรวมถ้าเลือกแรงดันควบคุมต่ำเกินไป อาจทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุไม่เต็ม แต่ถ้าเลือกสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการประจุเกินได้

ก. ค่าความจุ ประสิทธิภาพ และการประจุไฟฟ้ามากเกินไป

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง หรือ กิโลวัตต์-ชั่วโมงคำนวณหาประสิทธิภาพของพลังงาน หรือ Energy Efficiency โดยใช้สมการที่ 2.4 ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70-80 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)}}{\text{พลังงานที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \quad (2.4)$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมแปร์-ชั่วโมง และประสิทธิภาพของการอัดประจุ หรืออาจเรียกว่า ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah efficiency) คำนวณได้จากสมการที่ 2.5 ซึ่งในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีค่าประมาณ 95 % แต่ในแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียมจะมีค่าน้อยกว่านี้

ในแบตเตอรี่โดยทั่วไปจะมีค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของการอัดประจุหรือประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงเนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ}}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \quad (2.5)$$

ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ดังนั้นจึงทำให้สะดวกที่เลือกใช้ค่าแอมแปร์-ชั่วโมงเพื่อให้ทราบว่าต้องการทำการอัดประจุ และเพื่อแทนที่จำนวนประจุที่คายออกมาในการใช้งานค่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมงเมื่อทำการอัดประจุเต็มพิกัด พบว่าจะมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการอัดประจุหรือการอัดประจุเกินจะถูกนำไปใช้งานในความต้องการอื่นๆ อาทิ เช่น ปฏิกริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมนั้นจะเกิดก๊าซ

## ข. อัตราการคายประจุ และอัตราการอัดประจุ

อัตราการคายประจุและการอัดประจุจะทำการเปรียบเทียบค่ากระแสที่ถูกใช้ในการประจุแบตเตอรี่และไม่ขึ้นกับค่าความจุของแบตเตอรี่ รวมถึงจะแสดงเป็นจำนวนชั่วโมง อาทิ เช่น อัตรา 10 ชั่วโมง และอัตรา 240 ชั่วโมง เป็นต้น กระแสที่ใช้งานนี้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.6 จากค่าความจุที่แบตเตอรี่สามารถคายประจุได้ หารด้วยจำนวนชั่วโมง

$$\text{อัตราการคายประจุและการอัดประจุ} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \quad (2.6)$$

ตัวอย่างเช่น C/10 หรืออัตรา 10 ชั่วโมง หมายถึง ค่ากระแสเทียบเท่า Rated Capacity ในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง หารด้วย 10

## 2.6 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบพลังงานทดแทน เป็นปัญหาของผู้ใช้งาน และมักจะสงสัยกันว่าทำไมแบตเตอรี่จึงเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันสมควรแม้ว่าจะเลือกซื้อแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานที่นานก็ตามเช่น แบตเตอรี่ที่ออกแบบให้มีอายุ 5 ปีแต่กลับใช้งานได้เพียง 3 ปีเท่านั้นหรือบางครั้งก็เลยเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีอายุ 10 ปี แต่ก็ยังพบว่าสามารถใช้งานได้เพียง 5-8 ปีเท่านั้น ในส่วนของผู้ใช้งานแล้วจำเป็นต้องเข้าใจในการกำหนดอายุของแบตเตอรี่ ว่าเป็น 5 ปี หรือ 10 ปี นั้นเป็นการกำหนดโดยการนำแบตเตอรี่ไปทดสอบในห้องทดลองในห้องที่มีการควบคุมให้มีอุณหภูมิสูงจนทำให้มีการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพโดยทำให้แผ่นธาตุมีสภาพผุกร่อนเร็วขึ้น (IEEE 535) แล้วนำสภาพการผุกร่อนของแผ่นธาตุที่ได้จากการทดสอบไปกำหนดอายุ จึงเป็นที่มาอายุของแบตเตอรี่ หรือพอจะกล่าวได้ว่าอายุแบตเตอรี่เป็นเพียงการแบ่งระดับแบตเตอรี่ โดยใช้ข้อมูลจากห้องทดลองมาเป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้แบตเตอรี่ ในทางปฏิบัติแล้วพบว่าแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบพลังงานทดแทน มีปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ด้วยหลายสาเหตุ ในบทความนี้จะได้กล่าวถึงสาเหตุของการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่และวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพ

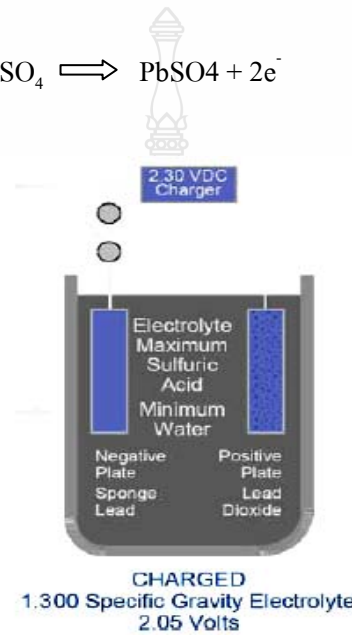
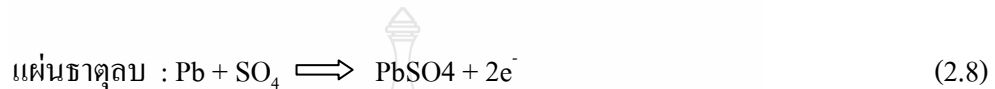
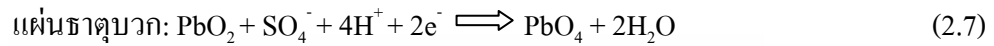
ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควรพอจะรวบรวมได้ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ (Ambient Temperature)
2. แรงดัน (Float Charge Voltage)
3. กระแส (Float Charging Current)
4. จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)

### 2.6.1 อุณหภูมิ (Ambient Temperature)

เนื่องจากแบตเตอรี่ที่เราใช้งานเป็นชนิด Valve Regulated Lead Acid ที่มีแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว โดยแช่ลงในน้ำกรดซัลฟิวริกดังแสดงในรูปที่ 2.24 [12]

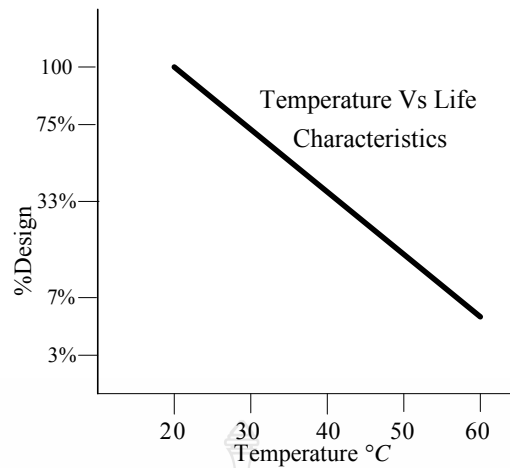
โดยมีสมการทางเคมีสำหรับแผ่นธาตุบวก, ดังนี้



รูปที่ 2.24 แผ่นธาตุในน้ำกรดซัลฟิวริก

การที่แผ่นธาตุได้ถูกแช่อยู่ในน้ำกรดซัลฟิวริกนั้นการผุกร่อนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้โดยมีอุณหภูมิเป็น ตัวเร่งการผุกร่อนของแผ่นธาตุโดยอัตราการเสื่อมสภาพจะแปรผันตามอุณหภูมิโดยมีข้อกำหนดตาม IEEE 1184 ระบุว่า สำหรับแบตเตอรี่ใช้งานในลักษณะ Stand By เหมือนเช่นการใช้ 2 งานกับ UPS อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุก 10°C จากอุณหภูมิที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ 20°C และในอเมริกาจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง

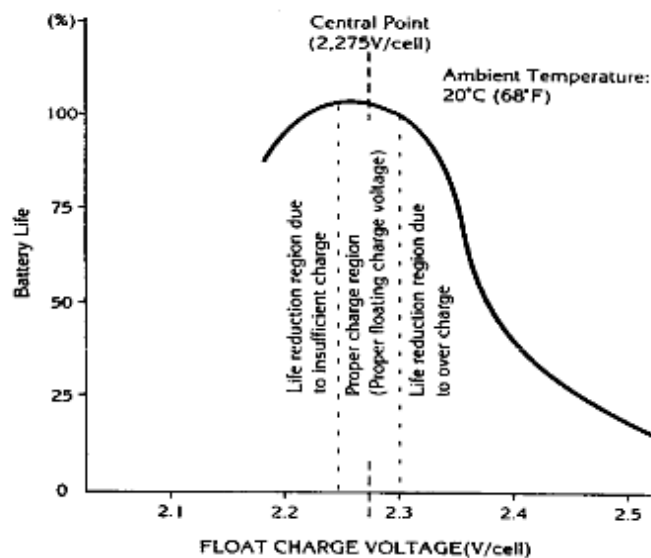
ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องพยายามรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ (20°C หรือ 25°C) ติดตั้งให้แบตเตอรี่มีระยะห่างพอสมควร ประมาณ 1.5 – 2 เซนติเมตร เพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดี หลีกเลี่ยงไม่ให้แบตเตอรี่รับแสงแดดโดยตรงหรือแหล่งความร้อน เป็นต้น



รูปที่ 2.25 ผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

### 2.6.2 แรงดัน (Float Charge Voltage)

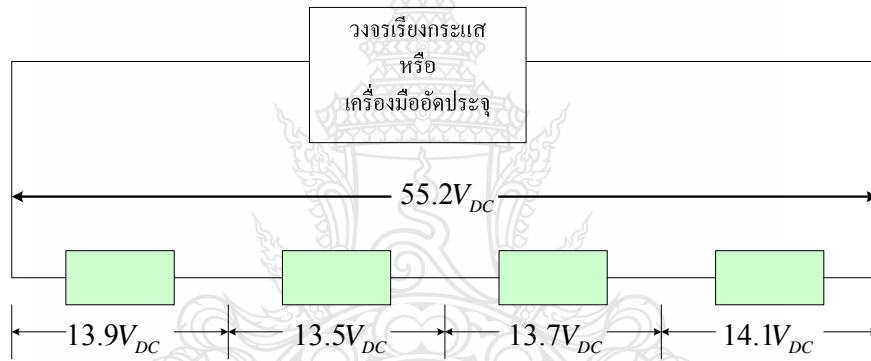
การประจุแบตเตอรี่ชนิด Valve Regulated Lead Acid มีแรงดันที่ 2.25 +/- 0.01 โวลต์ต่อเซลล์ โดยมีชื่อเรียกว่า Floating Voltage หรือ Charging Voltage ขึ้นอยู่กับสถานะของการประจุแบตเตอรี่ กล่าวคือ ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วนั้นเราเรียกแรงดันในการประจุขณะนั้นว่า Float Voltage และ เมื่อมีการประจุแบตเตอรี่หลังจากการคายประจุเราเรียกว่า Charging Voltage จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่พบว่าแรงดันที่สูงหรือต่ำเกินไปกว่าขอบเขตที่กำหนดจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.26 ผลของแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ [13]

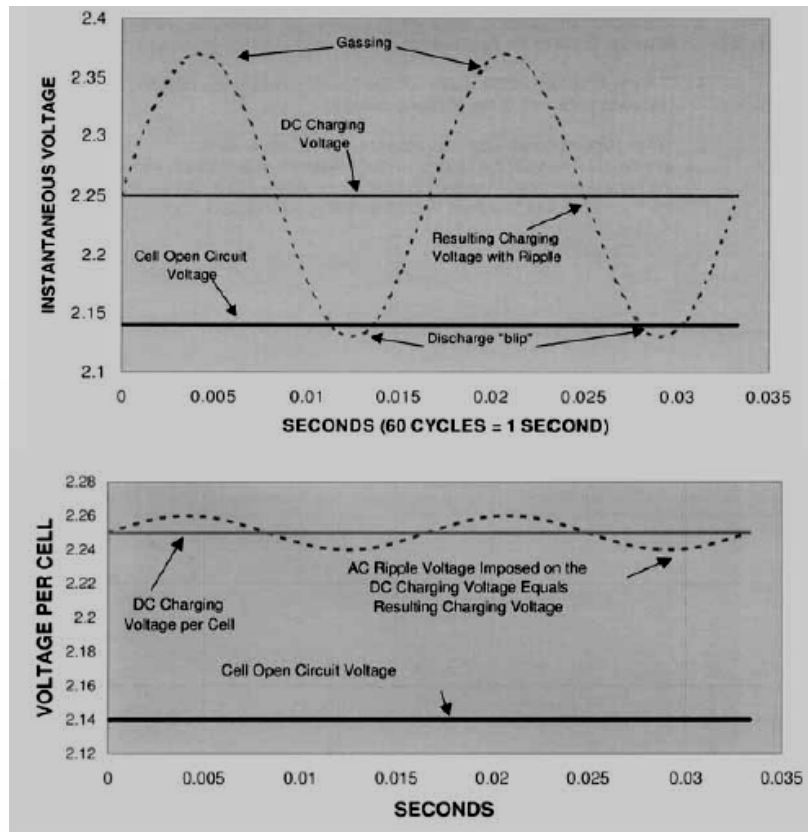
เมื่อแรงดันอยู่นอกจากขอบเขตดังแสดงในกราฟข้างบนนี้ แรงดันคร่อมแบตเตอรี่ระหว่างประจุจะมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แรงดัน 2.275 โวลต์ต่อเซลล์ เป็นแรงดันที่เหมาะสมและแบตเตอรี่มีอายุสูงสุด หรือ ระหว่าง 2.23 – 2.3 ที่อุณหภูมิ 20°C เมื่อแรงดัน float ต่ำก็จะมีผลทำให้เกิดประจุไม่เต็มจนทำให้เกิด Sulfating บนแผ่นธาตุทั้งบวกและลบ และถ้าแรงดัน Float เกินกว่า 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ ก็จะมีผลทำให้เกิด Over Charging โดยแบตเตอรี่จะสูญเสียน้ำจนทำให้เกิดเสื่อมสภาพในที่สุด แต่เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบ นั้นเป็นการนำเอาแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ระดับแรงดันตามต้องการ ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่แรงดันตกรวมแบตเตอรี่ทุกๆ ลูกจะเท่ากันดังรูปที่ 2.27 นี้แสดงให้เห็นว่าแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูกจะไม่เท่ากัน

ดังนั้นเพื่อให้แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าเสมอกันที่สุด จึงจะต้องเลือกแบตเตอรี่ รุ่นและขนาดเดียวกัน ผลิตในระยะเวลาใกล้เคียงกัน และมีแรงดัน Float ไม่ต่างกันเกินกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดมาต่อร่วมกัน



รูปที่ 2.27 แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูก

แรงดันดันกระเพื่อมกระแสสลับ (AC ripple Voltage) คร่อมแบตเตอรี่มีผลทำให้เกิดผลกระทบบ่อยอย่างรุนแรงและรวดเร็วที่สุดกว่าสาเหตุใดๆ ที่กล่าวมาเนื่องจากแรงดันดันกระเพื่อมกระแสสลับ (AC Ripple Voltage) สามารถทำให้เกิด Gassing และ Discharge ตลอดช่วง การประจุ ขึ้นอยู่กับความถี่ของ Charger ตัวนั้นๆ



รูปที่ 2.28 ช่วงเกิด Gassing และ Discharge [13]

ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตแบตเตอรี่กำหนดให้แรงดันผันกระเพื่อมกระแสสลับ (AC ripple voltage) ควรมีค่าไม่เกิน 0.5% ของแรงดัน Float voltage กล่าวคือเท่ากับ  $2.25 \text{ V} \times 0.5\% = 0.01125$  โวลต์ต่อเซลล์สำหรับ mono-block 12 V แบตเตอรี่ แรงดัน AC = 0.0675 โวลต์ต่อเซลล์

### 2.6.3 กระแส (Float & Charging Current)

กระแสที่ไหลในแบตเตอรี่ขณะ Float Charge ประกอบด้วย

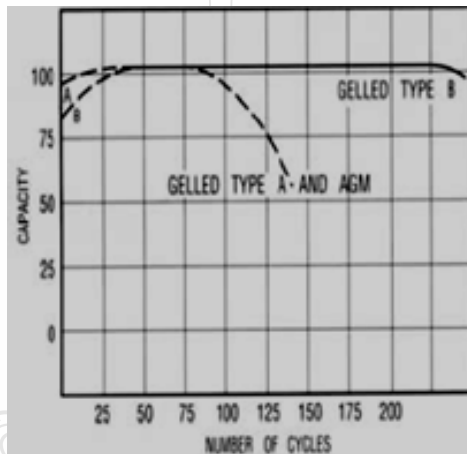
1) ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ เรียกว่า “Float Current” มีค่าประมาณ 0.3-2mA แอมแปร์ชั่วโมง ที่แรงดัน 2.30 โวลต์ต่อเซลล์ที่ 25 °C กระแสนี้ประมาณ 5% จะไปชดเชยการคายประจุภายในตัวเองของแบตเตอรี่ (Self-discharge) ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มพร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยที่อีกส่วนหนึ่งประมาณ 95 % จะเป็นตัวทำให้เกิดความร้อนภายในแบตเตอรี่ ในทางปฏิบัติการลดกระแส Float ก็จะสามารถช่วยลดความร้อนที่สะสมในแบตเตอรี่ลงได้ เช่น การติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิให้กับชาร์จเจอร์ เพื่อปรับลดแรงดัน Float ให้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้น (Temperature Compensation)

2) กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นกระแสที่เกิดจาก Rectifier และ Inverter กระแสนี้ไม่มีประโยชน์แต่อย่างใด ทั้งยังก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพต่อแบตเตอรี่เมื่อค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าสูงเกินกว่า 5 % ของความจุแบตเตอรี่ หรือ ประมาณ 5 A สำหรับแบตเตอรี่ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง

ดังนั้นในการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ทุกครั้งจึงต้องตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ไม่ให้เกินกว่า 5 % ของความจุแบตเตอรี่ หากตรวจพบว่าค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ สูงเกิน ให้ตรวจสอบ Rectifier, Capacitors, UPS และ Load ว่าส่วนใดเป็นสาเหตุและให้แก้ไขโดยเร่งด่วนมิฉะนั้นจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

#### 2.6.4 จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)

จำนวนครั้งในการคายประจุก็เป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบให้ใช้งานในลักษณะ Stand By อย่างในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากโครงสร้างการออกแบบไม่ได้รองรับการคายประจุบ่อยครั้ง ดูจากรูปกราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่ด้านล่างนี้



รูปที่ 2.29 กราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่ [13]

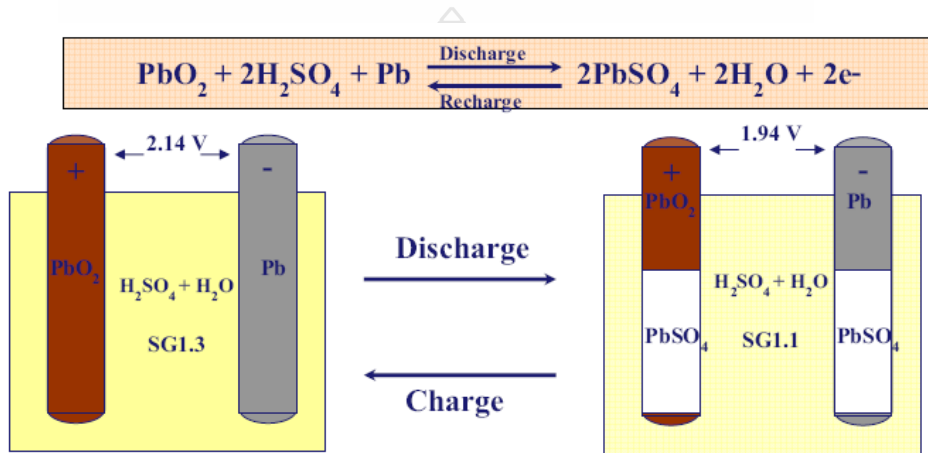
จากรูปที่ 2.29 เส้นประนั้นได้แสดงว่าแบตเตอรี่แบบ AGM เมื่อมีการประจุและคายประจุจนแบตเตอรี่หมดประจุ เป็นจำนวน 125 ครั้ง (Cycles) ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเหลือ 75% ของพิกัด นั่นคือแบตเตอรี่สามารถสำรองไฟฟ้ากับ UPS ได้ 125 ครั้งเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ แบตเตอรี่จะไม่ได้คายประจุจนหมด เพราะ UPS จะรับไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในเวลาอันรวดเร็ว ด้วยสาเหตุนี้ตัวเลขของ Cycle life จึงมีค่ามากกว่าค่านี้ อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่า ทุกครั้งที่แบตเตอรี่มีการคายประจุจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุสั้นลง

- จากที่ได้กล่าวมาในหัวข้อสาเหตุของการเสื่อมสภาพทั้งหมดนี้เป็นการนำเสนอให้เห็นถึงปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพได้แม้ว่าผู้ผลิตจะระบุว่าแบตเตอรี่มีอายุการใช้งาน 10 ปี แต่ก็สามารถใช้งานได้ไม่ถึง 10 ปี ก็เพราะสืบเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ประกอบกันนั่นเอง อย่างไรก็ตามยังมีสาเหตุอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้อีกมากหลายประการ

## 2.7 มาตรฐานการทดสอบ

ในการทดสอบจะใช้มาตรฐาน IEC 60896-21 : Valve Regulated Type Methods of Test ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในการทดสอบแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ชนิด VRLA หัวข้อการคายประจุ (Discharge Capacity) ตามภาคผนวก ก

## 2.8 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



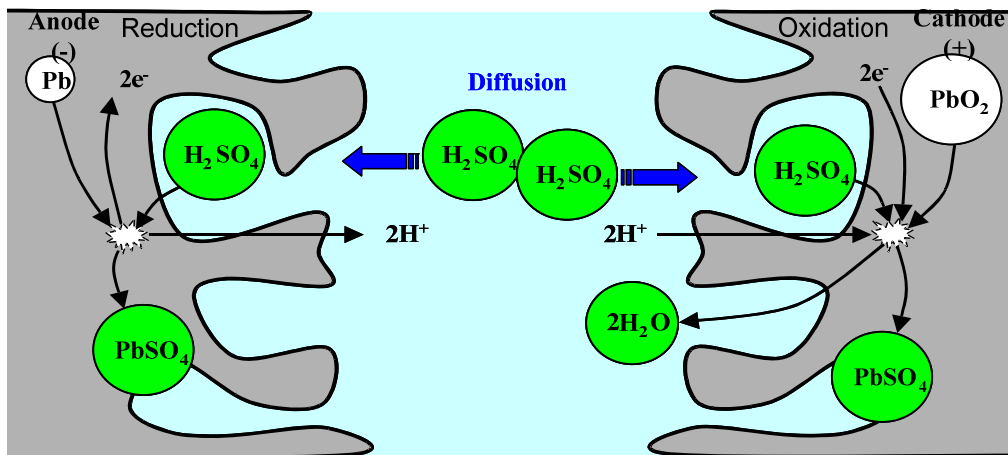
รูปที่ 2.30 ปฏิกริยาขณะคายประจุ และประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

พลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่นั้นอยู่ในรูปของปฏิกิริยาทางเคมี [10] โดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อมีความต้องการ และสามารถประจุพลังงานเข้าไปใหม่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่นิยมบรรจุไว้ในภาชนะที่ทำมาจาก Polypropylene เจือจางด้วยกรดซัลฟูริก ( $\text{SO}_4$ -ion) ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ ภายในบรรจุขั้วไฟฟ้าลบและบวก ซึ่งแขวนยึดติดอยู่กับตัวถัง ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันดังนี้ สำหรับแผ่นบวก (Cathode) ที่มีลักษณะเป็นแบบตาข่าย แบบช่อง แบบท่อ ฯลฯ ซึ่งเติมตะกั่วออกไซด์ ( $\text{PbO}_2$ ) ลงไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุน (ซึ่งจะทำให้ได้พื้นที่ผิวที่มากกว่า) ในระหว่างการประจุ แผ่นลบ (Anode) ทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่าย มีไว้สำหรับรองรับการขยายตัวของพื้นผิว และส่วนที่เป็นตาข่ายนี้เติมตะกั่วบริสุทธิ์ในระหว่างการประจุ และระหว่างแผ่นทั้งสองจะมีกรดเป็นตัวป้องกันการลัดวงจรระหว่างแผ่นทั้งสอง และสามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้ จากรูปที่ 2.31 อธิบายถึงกระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

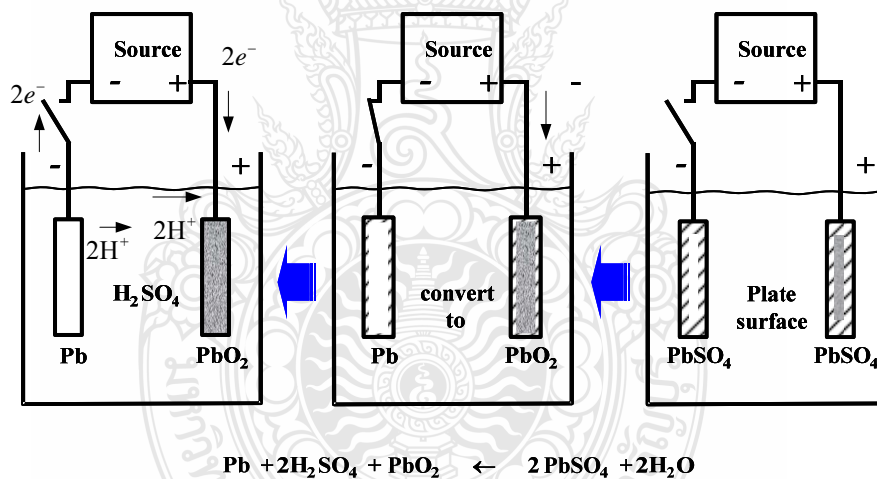




ที่ด้านบวกตะกั่วออกไซด์ (PbO<sub>2</sub>) ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>ion) เพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟต PbSO<sub>4</sub> ส่วนด้านลบตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟตและน้ำ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



รูปที่ 2.33 กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

จากสมการที่ 2.10 กระบวนการประจุด้วยกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.33 คือ ตะกั่วซัลเฟตถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นกรดซัลฟูริกและตะกั่วออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง

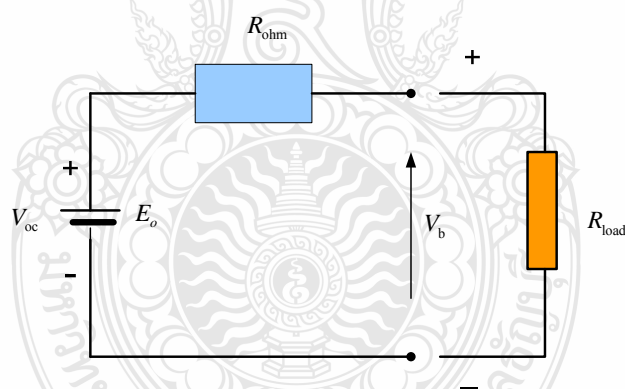
ส่วนเกินของการประจุหลังจากการประจุที่สมบูรณ์แล้ว ทำให้เกิดกระบวนการแยกน้ำ เป็นออกซิเจนและไฮโดรเจน (Electrolysis) ซึ่งจะเกิดการออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ที่แยกแผ่นธาตุบวกและเกิดก๊าซออกซิเจน (H<sub>2</sub>) ที่แผ่นธาตุลบ ก๊าซจะถูกปลดปล่อยออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้นระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ก็จะลดลงด้วยผลดังกล่าว จึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในแบตเตอรี่

ออกซิเจน ( $O_2$ ) ถูกทำให้เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุบวก ทำปฏิกิริยาตะกั่วพรุน (Pb) ของแผ่นธาตุลบและถูกเปลี่ยนรูปเป็น Lead Monoxide (PbO) ซึ่งตัว Lead Monoxide ทำปฏิกิริยากับ Sulphuric Acid ( $H_2SO_4$ ) อีกรอบหนึ่งกลายเป็น Lead Sulphate ( $PbSO_4$ ) เมื่อเกิดการคายประจุเกิดขึ้น หรืออีกนัยหนึ่ง ออกซิเจน ( $O_2$ ) ของแผ่นธาตุบวกถูกดูดซับโดยแผ่นธาตุลบ โดยไม่มีการรั่วไหลของออกซิเจนออกมาภายนอก ผลก็คือแผ่นธาตุลบไม่ได้สร้างออกซิเจน ( $H_2$ ) ก็คือน้ำที่ไม่ได้สูญเสียไปจากแบตเตอรี่

## 2.9 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

### 2.9.1 วงจรไฟฟ้าพื้นฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นแบบจำลองของแหล่งจ่ายแรงดันกับแรงดันที่ตัวเซลล์ ( $V_{oc}$ ) ที่ต่ออนุกรมกับความต้านทานภายใน ( $R_{ohm}$ ) ดังรูปที่ 2.34 เป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถอธิบายการทำงานได้เพราะมีค่าความสัมพันธ์ของ ( $V_{oc}$ ) และ ( $R_{ohm}$ ) แต่การทำงานของตัวแปรส่วนต่างๆ ของการประจุเมื่อถึงเวลาที่ต้องประจุ (State-of-Charge, SOC) อุณหภูมิความหนาแน่นของกระแส และธาตุของแบตเตอรี่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ควรพิจารณาด้วยเช่นกันตามทิศทางของอัตราการไหล



รูปที่ 2.34 แบบจำลองพื้นฐานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

การประจุของรูปแบบแบตเตอรี่ค่าความต้านทาน  $R_{ohm}$  เป็นฟังก์ชัน ของอัตราการอัดประจุ มีรูปแบบดังรูป 2.34 สามารถหาค่าความสัมพันธ์ของวงจรได้จากสมการดังนี้

$$V_b = V_{oc} - I_b R_{ohm} \quad (2.15)$$

$$I_b = \frac{V_{oc}}{R_{ohm} + R_{load}} \quad (2.16)$$

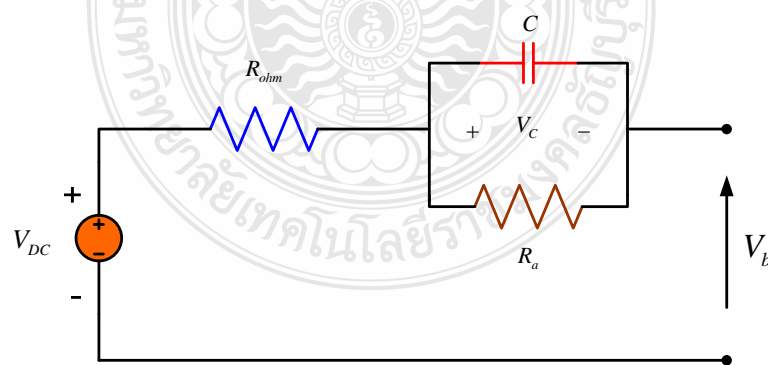
$$R_{ohm} = \frac{R_o}{S^k} \quad (2.17)$$

$$S = 1 - \frac{Ah}{C_n} \quad (2.18)$$

เมื่อ  $S$  คือ ตัวแปรระหว่างอัดประจุ และคายประจุ สามารถปรับค่าได้ (0 ถึง 1) ตามลำดับ,  $(Ah)$   $A$  คือ กระแสที่คายประจุ  $h$  คือ ชั่วโมงที่คายประจุ,  $C$  คือ ขนาดของกระแสที่คายประจุ,  $n$  คือ จำนวนชั่วโมงที่คายประจุ,  $V_{oc}$  คือ สภาวะขณะสมมูลของวงจร,  $V_b$  คือ แรงดันขณะมีโหลด,  $I_b$  คือ กระแสขณะมีโหลด,  $R_{Ohm}$  คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่,  $R_o$  คือ ค่าความต้านทานในขณะที่มีแบตเตอรี่เต็ม,  $R_{load}$  คือ ค่าความต้านทานขณะมีโหลด,  $S^k$  คือ ปรับค่าระดับในการประจุ (0-1) เมื่อประจุเต็ม (0) คายออก (1)

### 2.9.2 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดตามสมการเทวินิน

พฤติกรรมของแบตเตอรี่เมื่อเราอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ถึงช่วงระยะเวลาขณะแบตเตอรี่เต็ม มันจะหยุดทำงานทันทีแต่ก่อนที่กระแสจะหยุดทำงาน เราสามารถหาความสัมพันธ์ จำนวนหาได้จากสมการเทวินิน จากรูปที่ 2.35 วงจรทางไฟฟ้าจากสมการเทวินินได้จำลองรูปแบบภายในแบตเตอรี่โดยกำหนดให้ภายในประกอบไปด้วย  $R$  และ  $RC$  ขนาด กล่าวคือภายในประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายภายในแบตเตอรี่ทำหน้าที่อัดประจุและคายประจุ จากแหล่งจ่ายมี  $R$  มาอนุกรมกับแหล่งจ่ายและจาก  $R$  ก็ยังมี  $RC$  มาอนุกรมกับ  $R$  อีกที สามารถเห็นภาพทางวงจรไฟฟ้า และหาค่าความสัมพันธ์ของวงจรได้



รูปที่ 2.35 แบบจำลองตามสมการเทวินิน

$$R_{Ohm} = \frac{\Delta V_{Ohm}}{I} \quad (2.19)$$

$$I = \frac{V_{DC} - V_C}{R_{ohm}} \quad (2.20)$$

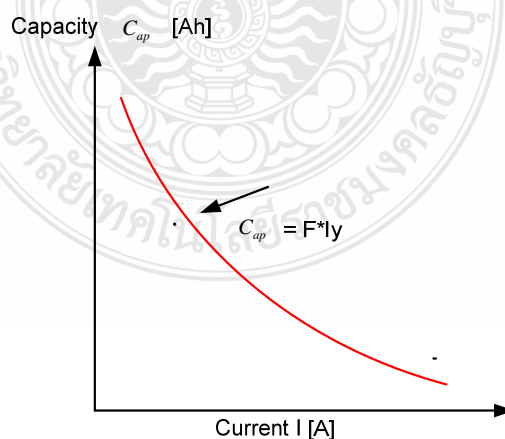
$$R = \frac{\Delta V_a}{I} \quad (2.21)$$

$$V_C = \int \frac{1}{C} \cdot (I - \frac{V_C}{R_a}) \cdot dt \quad (2.22)$$

หาค่าความสัมพันธ์ภายในวงจรได้จากสมการด้านนอก

$$V_B = V_{OC} - IR_{ohm} - V_C \quad (2.23)$$

- เมื่อ
- $V_{OC}$  คือ แรงดันสภาวะขณะสมดุลย์ของวงจร
  - $V_B$  คือ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่
  - $R_{ohm}$  คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่
  - $R_a$  คือ ค่าความต้านทานที่เกิดในระยะเวลา
  - $C_1$  คือ ค่าความจุที่เกิดในระยะเวลา



รูปที่ 2.36 ค่าความจุแบตเตอรี่กับการคายประจุออก

จากรูปที่ 2.36 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ในการคายประจุเมื่อค่าความจุของคาปาซิเตอร์มากเมื่อคายประจุน้อยก็จะคายประจุได้นานตรงกันข้ามเมื่อคาปาซิเตอร์คายประจุมากก็จะมีระยะเวลาในการคายประจุน้อย จากแนวแกน x และ แนวแกน y มีค่าของความสัมพันธ์ของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง จากรูปค่าความจุที่มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อชั่วโมงซึ่งทำหน้าที่เก็บประจุสามารถหาค่าความสัมพันธ์โดยมีกระแสขณะคายประจุกับเวลาเป็นตัวแปรสามารถหาค่าคาปาซิเตอร์ได้จากสมการที่ 2.24

$$C_{ap} = F * I^y \quad (2.24)$$

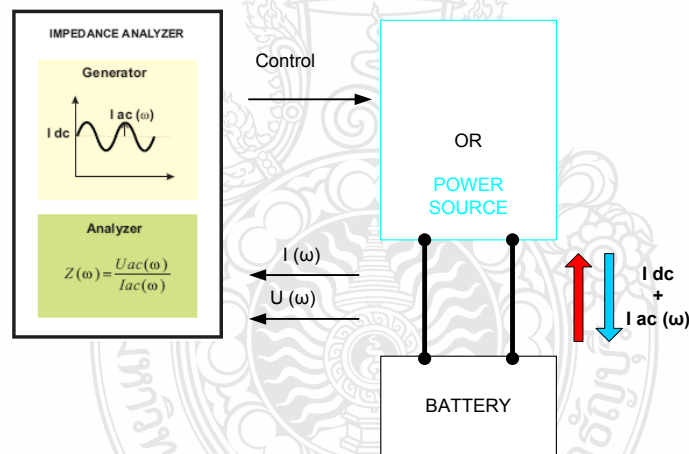
เมื่อ

$C_{ap}$  คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Ah)

$I$  คือ ค่ากระแสคายประจุ (A)

$F$  คือ คอนแดนซ์เฟลคเตอร์ (h)

### 2.9.3 อิมพีแดนซ์ จากการเกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าเคมี



รูปที่ 2.37 การเกิดอิมพีแดนซ์ในแบตเตอรี่

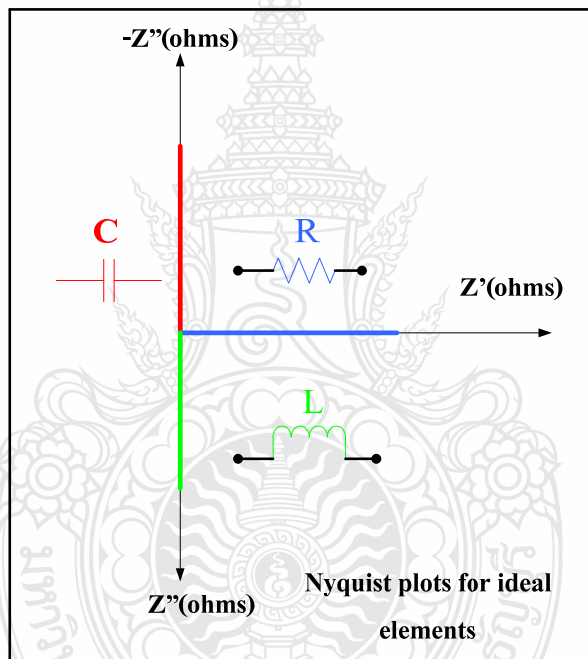
จากรูป 2.37 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแบตเตอรี่ได้มีการต่อใช้งานกับโหลด [6] โหลดส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะฉะนั้นกระแส และแรงดันทางด้านออก และด้านเข้า จะมีกระแส และแรงดันไปสลับกลับมาด้วยเสมอส่วนใหญ่เกิดจาก อุปกรณ์เรียงกระแส และ อินเวอร์เตอร์ กระแส และแรงดันไฟกระแสสลับไม่ทำให้เกิดผลดีกับแบตเตอรี่แต่กับทำให้เกิดผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่หากกระแสมีค่าสูงเกิน 5% ของความจุของแบตเตอรี่ หรือ 5 A สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 100 Ah ซึ่งสามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้จากสมการดังนี้

$$I(t) = I_o \cdot \cos(\omega t); \omega = 2\pi \cdot f \quad (2.25)$$

$$E(t) = E_o \cdot \cos(\omega t - \varphi) \quad (2.26)$$

$$Z = \frac{E(t)}{I(t)} = \frac{E_o \cdot \cos(\omega t - \varphi)}{I_o \cdot \cos(\omega t)} \quad (2.27)$$

เมื่อ  $Z$  คือ อัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อกระแส ( $\Omega$ )  
 $E(t)$  คือ แรงดันไฟกระแสสลับ (v)  
 $I(t)$  คือ กระแสไฟกระแสสลับ (A)



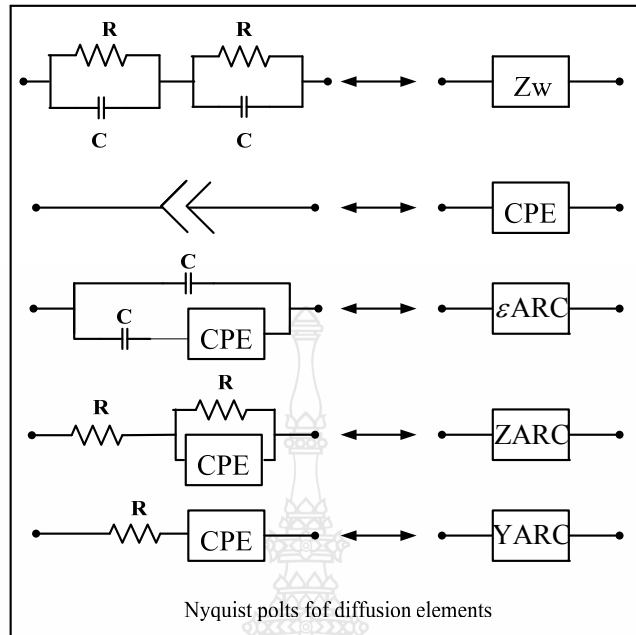
รูปที่ 2.38 แบบอิมพีแดนซ์ของอิเลเมนต์

จากรูป 2.38 สามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้จากสมการ (2.28)

$$Z = Z' + jZ'' \quad (2.28)$$

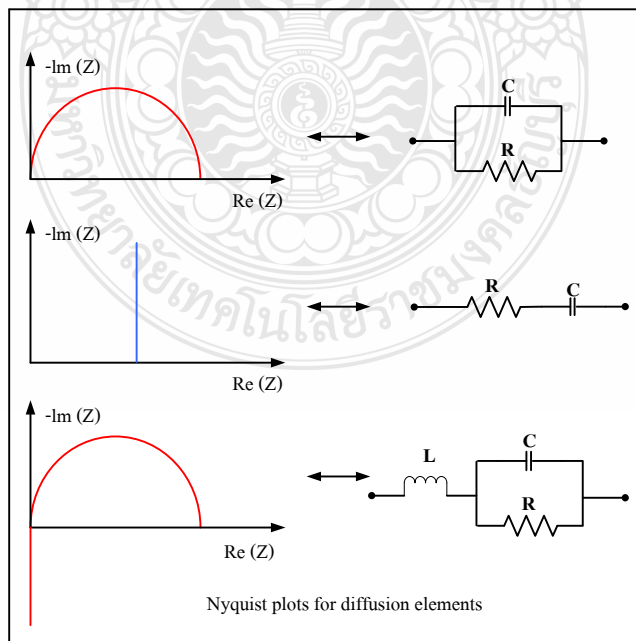
เมื่อ  $Z'$  คือ จูแนวนอนแกน x ที่ขนานกับแกน y เป็นตัวแทนค่าความสัมพันธ์  
 $Z''$  คือ จินตภาค แกนระยะวัดจากแกน x ขนานกับแกน y เป็นตัวแทนค่า  
 $jZ''$  คือ ค่าจินตภาคในด้านลบ

## 2.9.4 รูปแบบที่นำมาใช้ในแบบจำลอง



รูปที่ 2.39 การกระจายของอิลิเมนต์

รูปที่ 2.39 รูปแบบที่มีการนำมาใช้ รูปด้านขวามือ คือรูปที่เห็นในบทความต่างๆ ส่วนรูปด้านซ้ายมือ คือรูปแบบที่ได้ขยายให้เห็นภายในรูปด้านขวา



รูปที่ 2.40 การรวมอิมพีแดนซ์ของอิลิเมนต์

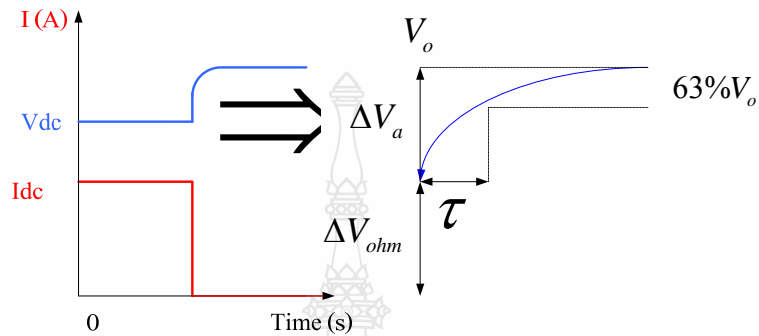


รูปที่ 2.40 ผลที่ได้จากรูปแบบที่นำมาใช้ในการจำลองของอัตราส่วนระหว่างแรงดันกับกระแสสามารถอธิบายพฤติกรรมในรูปแบบการนำมาใช้งานได้

### 2.9.5 RC-RL ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงช่วงเวลาสั้น (Transients in RC-RL D.C Circuits)

พฤติกรรมของ RC-RL ในวงจรกระแสตรงจะแตกต่างกันไป

#### 1) วัฏจักรการประจุ (Charging Cycle)

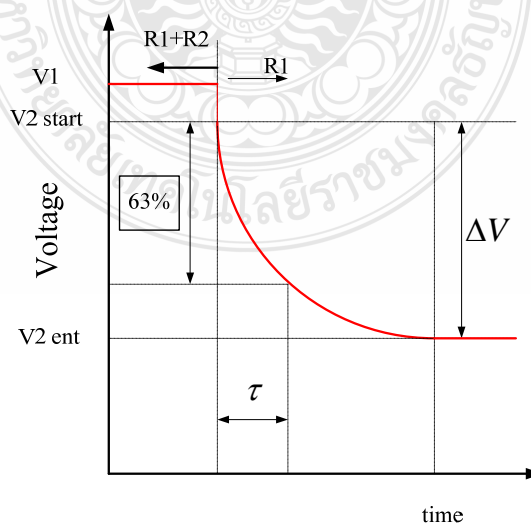


การทดสอบกระแสในช่วงหยุดชะงัก

#### รูปที่ 2.41 การเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ขณะประจุ

จากรูปที่ 2.41 การเกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ขณะประจุเมื่อเส้นแรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นกระแสเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นกันเมื่อเส้นแรงดันเข้าใกล้จุดคงตัว เส้นกระแสเข้าใกล้ศูนย์

#### 2) วัฏจักรการคายประจุ



รูปที่ 2.42 การเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ขณะคายประจุ

จากรูปที่ 2.42 การเกิดการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ ขณะคายประจุ จากรูปที่ 2.41 และรูปที่ 2.42 สามารถหาความสัมพันธ์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้  $R$  ในวงจร  $RL$  คือ

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (2.29)$$

$$p = i^2 R \quad (2.30)$$

$$p = i(o)^2 \text{Re}^{-2t/\tau}, t \geq 0 \quad (2.31)$$

กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้  $R$  ในวงจร  $RC$  คือ

$$\tau = RC \quad (2.32)$$

$$p = \frac{v^2}{R} \quad (2.33)$$

$$p = \frac{V_o^2}{R} e^{-2t/\tau}, t \geq 0 \quad (2.34)$$

กำลังไฟฟ้าในวงจร  $RL$  และ  $RC$  ในรูปทั่วไป คือ

$$p = p_o e^{-2t/\tau} \quad (2.35)$$

$$i = I_o e^{-t/\tau}, t \geq 0 \quad (2.36)$$

$\tau$  คือ ค่าคงตัวเวลาของวงจร (time constant) (s)

$R$  คือ ค่าความต้านทาน ( $\Omega$ )

$C$  คือ คาปาซิเตอร์ซ (F)

$L$  คือ อินดักเตอร์ (H)

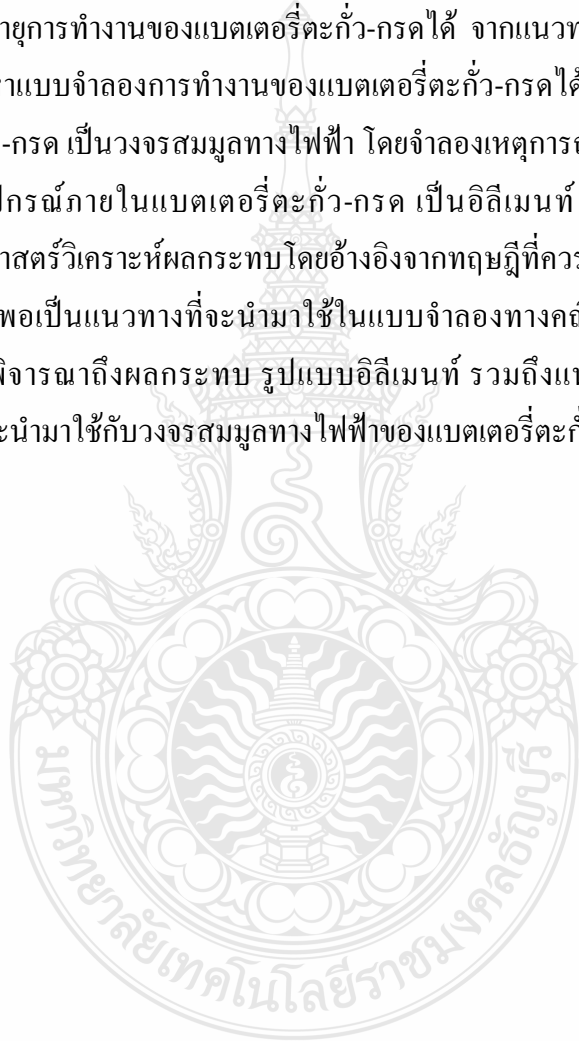
$P$  คือ กำลังไฟฟ้า (w)

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้า (v)

$i$  คือ กระแส (A)

## 2.10 สรุป

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีการใช้งานมากกว่า 100 ปีแล้ว และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนถึงปัจจุบัน เป็นแบตเตอรี่ชนิดชาร์จ ที่ได้รับความนิยมสูงสุดเป็นที่ยอมรับทางด้านอุตสาหกรรม และด้านพลังงานทดแทน องค์ประกอบที่สำคัญหลายอย่างที่ทำให้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าที่ควรจะเป็น ประกอบไปด้วยอุณหภูมิโดยรอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ภายในแบตเตอรี่เอง ซึ่งปัญหาเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญโดยตรงที่ทำให้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าที่ควรจะเป็น หากอยากทราบอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ต้องทำการทดสอบถึงจะสามารถทำนายอายุการทำงาน of แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้ จากแนวทางด้านทฤษฎี ความน่าจะเป็น น่าจะสามารถหาแบบจำลองการทำงาน of แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้ หากเราจำลองวงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้า โดยจำลองเหตุการณ์การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดจากวัสดุ และอุปกรณ์ภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นอิลีเมนต์ จำลองการทำงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์ผลกระทบโดยอ้างอิงจากทฤษฎีที่ควรเป็น อิลีเมนต์ที่นำมาใช้ในแบบจำลองมีข้อมูลเพียงพอเป็นแนวทางที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทฤษฎีในบทที่ 2 ทั้งหมดใช้เป็นส่วนพิจารณาถึงผลกระทบ รูปแบบอิลีเมนต์ รวมถึงแนวทางในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่ควรจะนำมาใช้กับวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

กระบวนการทดสอบแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานทดแทน โดยจะใช้เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (Machine for Test Battery) MTB-SERISE ในการทดสอบ, เก็บข้อมูลและแสดงผลออกมาทางคอมพิวเตอร์ แบตเตอรี่ที่ใช้จะเป็นแบบตะกั่ว-กรด ชนิด VRLA ซึ่งการทดสอบนี้ จะแบ่งเป็น การทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ตามมาตรฐาน IEC และการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ใหม่

#### 3.1 แผนการดำเนินงาน

จากการศึกษาระบบพลังงานทดแทน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้าปัจจุบัน โดยพบว่าการใช้ระบบนี้มีกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งในประเทศไทยจะมีการใช้มากในบริเวณที่สายส่งของการไฟฟ้าไม่สามารถขยายเข้าไปถึง จากการค้นคว้าหาข้อมูล จะพบว่าการใช้แบตเตอรี่ในการสะสมพลังงานนั้น ยังใช้แบตเตอรี่ที่มีคุณภาพไม่ดีพอหรือใช้แบตเตอรี่ผิดประเภทการใช้งาน เช่น การนำแบตเตอรี่รถยนต์มาใช้งาน ซึ่งแบตเตอรี่รถยนต์จะมีปัญหาในเรื่องของการจ่ายกระแสสูงๆ เป็นเวลานานๆ และอายุการใช้งานที่สั้น รวมทั้งยังต้องคอยบำรุงรักษาในส่วนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และการชาร์จเกิน ที่จะมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ในปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้นและผลิตแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดขึ้นมาใช้ในระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยถ้าเรานำแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมาใช้ในระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะคิดว่าแบตเตอรี่รถยนต์อย่างไร และแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนี้จะมีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐาน IEC หรือไม่ โดยทำการทดสอบตามคุณสมบัติพื้นฐานของแบตเตอรี่ทั่วไปคือ การคายประจุของแบตเตอรี่ด้วยกระแสคงที่ ว่าแบตเตอรี่นี้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นานเท่าไร และการประจุ

การที่แบตเตอรี่เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า มีความพิเศษ เราจึงต้องมีการศึกษาทดสอบ และวิเคราะห์การใช้งานแบตเตอรี่เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษา ทดสอบ และวิเคราะห์การใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า เพื่อง่ายต่อการบำรุงรักษาและสามารถใช้งานแบตเตอรี่เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้า ให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

ทั้งนี้การดำเนินการดังกล่าวต้องอาศัยระบบทดสอบแบตเตอรี่ภายใต้มาตรฐานที่ ยอมรับ รวมทั้งกรรมวิธี ขั้นตอนและเทคนิคการทดสอบที่ถูกต้องตามมาตรฐานด้วย

### 3.2 ชุดทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนี้ มีชื่อว่าเครื่อง MTB (Machine for Test Battery) เครื่องนี้สามารถทำการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) ได้ สามารถสั่งการและเก็บข้อมูลโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ MTB-SERISE [23]

โดยในหนึ่งเครื่องจะมี 3 ชุด ที่สามารถใช้ทดสอบแบตเตอรี่ จะมีหลักการทำงานเหมือนกัน ซึ่งแต่ละชุดจะมีขีดจำกัดในการ Charge และ Discharge ที่กระแสและแรงดันต่างกัน ดังนี้

#### ชุดที่ 1

: แรงดันสูงสุดในการ Charge = 20 VDC

: กระแสสูงสุดในการ Charge = 6 ADC

: กระแสสูงสุดในการ Discharge = 60 ADC

#### ชุดที่ 2

: แรงดันสูงสุดในการ Charge = 20 VDC

: กระแสสูงสุดในการ Charge = 10 ADC

: กระแสสูงสุดในการ Discharge = 100 ADC

### ชุดที่ 3

: แรงดันสูงสุดในการ Charge = 20 VDC

: กระแสสูงสุดในการ Charge = 20 ADC

: กระแสสูงสุดในการ Discharge = 200 ADC

แต่ละชุดจะมีสายต่อเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.2 โดยจะมี 2 สาย คือ สีแดง คือ ขั้วบวก และสีดำ คือ ขั้วลบ และสามารถเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ด้วยสายต่อสัญญาณระหว่างตัวเครื่องทดสอบกับคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ลักษณะสายต่อขั้วแบตเตอรี่ของเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ [23]



รูปที่ 3.3 ตัวเชื่อมสัญญาณข้อมูลระหว่างตัวเครื่องกับคอมพิวเตอร์ [23]

### 3.2.1 การใช้งานเครื่อง MTB

ในการสั่งทำงานของเครื่องสามารถสั่งได้ที่ตัวเครื่องโดยตรงและสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งการสั่งงานจากคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรม MTB-Series (ภาคผนวก ข)

โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสั่งงานจะตัวเครื่อง MTB โดยตรง

- 1) ทำการเปิดเครื่องโดยการกดสวิทช์ “Power Switch”



รูปที่ 3.4 ปุ่ม Power Switch ของเครื่อง MTB [23]

- 2) เชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่องทดสอบกับแบตเตอรี่

โดยใช้สายต่อหัวของตัวเครื่องทดสอบ ต่อเข้ากับหัวของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่อง MTB กับแบตเตอรี่

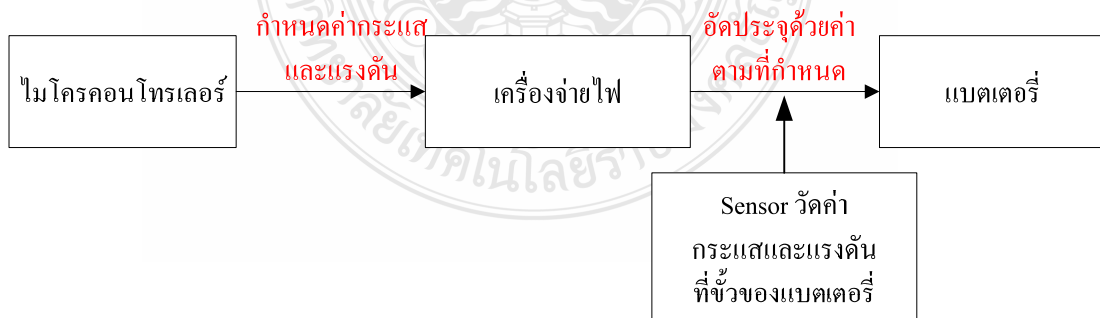
- 3) การเข้าสู่ฟังก์ชันการทำงาน โดยกดปุ่ม A (ขึ้น) หรือปุ่ม B (ลง) เพื่อเลือกฟังก์ชันการทำงาน ได้แก่ START, QUIT, VIEW, EDIT PROG, ADJ TIME และ ADJ DATE แล้วกดปุ่ม E เพื่อการเลือกฟังก์ชันหรือกดปุ่ม C เพื่อยกเลิกการเลือกฟังก์ชัน

- START : เพื่อให้สั่งให้เครื่องทดสอบเริ่มการทำงาน
- QUIT : เพื่อสั่งให้เครื่องทดสอบหยุดการทำงาน
- JUMP : เพื่อสั่งให้ข้ามขั้นตอนการทำงานให้ไปทำงานในขั้นตอนต่อไป
- VIEW : เพื่อตรวจสอบฟังก์ชันการทำงานปัจจุบัน ว่าเป็นฟังก์ชันการทำงานอะไรหรือเป็นการตรวจสอบการตั้งค่าของฟังก์ชันการทำงานว่ามีความผิดพลาดหรือไม่
- EDIT PROG : เพื่อตั้งค่าโหมดของการทำงานในการอัดประจุ- การคายประจุ
- ADJ TIME : เพื่อปรับตั้งเวลาของตัวเครื่องทดสอบ
- ADJ DATE : เพื่อปรับตั้งวัน, เดือนและปีของเครื่องทดสอบ



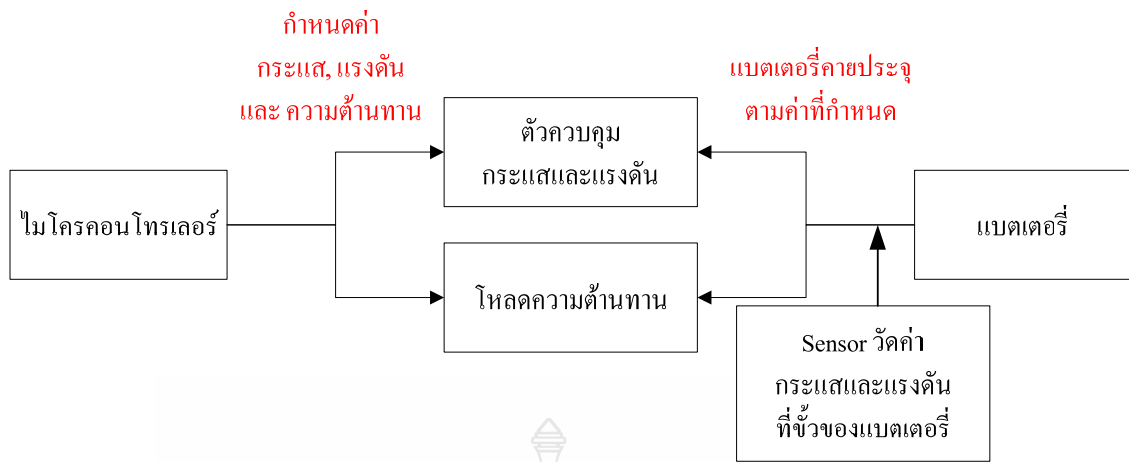
รูปที่ 3.6 Key pad ของเครื่อง MTB

### 3.2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่อง MTB



รูปที่ 3.7 ไคอะแกรมหลักการทำงานในการอัดประจุ





รูปที่ 3.8 ไลอะแกรมหลักการทำงานในการคายประจุ

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 V เข้ามาก็จะผ่านตัวแปลงแรงดัน โดยจะแปลงแรงดันจาก 220 V เป็น 12 V แล้วเข้าสู่วงจรกรองแรงดันกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง จากนั้นก็จะเข้าสู่ชุดควบคุมการทำงาน ซึ่งจะควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีการสั่งการหรือการเลือกโหมดของการทำงานจากหน้าจอของตัวเครื่องและจากทางคอมพิวเตอร์ที่ต่อเข้ากับตัวเครื่อง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะเป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมดของตัวเครื่อง ซึ่งจะเป็นการควบคุมการทำงานในการอัดประจุ – การคายประจุของแบตเตอรี่และควบคุมเวลา – การจับเวลาในการทำงาน

- การทำงานในการอ่านประจุของแบตเตอรี่ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับข้อมูลจากคำสั่งแล้วไปทำการควบคุมตามค่าที่ได้รับคำสั่งมา ซึ่งจะเป็นการควบคุมค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ และจะมีการควบคุมเวลาในการอัดประจุเพื่อความปลอดภัยของแบตเตอรี่

- การทำงานในการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยจะมีหลักการควบคุมที่เหมือนกับการอัดประจุ แต่จะมีการควบคุมโหนดความต้านทานเข้ามาด้วย เพราะในการทดสอบการคายประจุจะต้องมีการต่อโหนดความต้านทานเพื่อให้แบตเตอรี่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาให้กับโหนด

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า

- ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจะมีตัว Current Sensor เป็นตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าทั้งที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหนดความต้านทาน

- ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีตัว Voltage Sensor เป็นตัวตรวจจับแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับโหนดความต้านทานและแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่ได้รับ การอัดประจุไฟฟ้า

การแสดงผลโดยเมื่อมีการรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามาแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าผ่านทางภาค ADC (Analog to Digital Converters) เพื่อแปลงข้อมูลเป็นดิจิทัลเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งข้อมูลออกมาแสดงทางหน้าจอแสดงผลหรือไปแสดงผลในคอมพิวเตอร์

ในส่วนของคำสั่งหรือโหมดของการทำงานจะมีโหมดต่างๆ ดังนี้

#### 1) CA: Constant Current

โดยแบตเตอรี่จะถูก Charge หรือ Discharge ด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ ซึ่งจะมีการตั้งค่ากระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการทำงานโดยผู้ทดสอบ  
หมายเหตุ: จะไม่มีการตั้งค่าแรงดันสุดท้ายในโหมดนี้

#### 2) FV: Final Voltage

โดยแบตเตอรี่จะถูก Charge หรือ Discharge ด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ ซึ่งจะมีการกำหนดค่าแรงดันสุดท้ายในการทำงานโดยผู้ทดสอบ  
หมายเหตุ: จะไม่มีการตั้งค่าเวลาการทำงานในโหมดนี้

#### 3) V/T: Voltage / Time

เป็นโหมดที่ใช้เพื่อควบคุมความปลอดภัยสำหรับการ Charge หรือ Discharge ซึ่งจะทำถูก Charge หรือ Discharge ด้วยกระแสคงที่ จนกว่าจะถึงค่าแรงดันสุดท้ายที่กำหนดหรือเวลาที่กำหนดเอาไว้โดยผู้ทดสอบ

#### 4) LV: Last Voltage

เป็นโหมดที่มีการตั้งค่าแรงดันสุดท้าย, เวลาและค่ากระแสไฟฟ้าใช้ทำงานเอาไว้ โหมดนี้จะเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการ Charge ซึ่งเป็นโหมดที่ควบคุมความปลอดภัยในการ Charge นี้ ก่อนที่จะได้แรงดันสุดท้าย จากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ Charge จะมีค่าคงที่ตามที่ตั้งค่าไว้ ก็จะค่อยๆ ลดลงอย่างอัตโนมัติ ซึ่งจะลดลงเป็น 0 A เมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ ในการที่กระแสไฟฟ้าลดลงนั้นเพื่อเป็นการ ทำให้แรงดันในแบตเตอรี่มีค่าความคงที่ตลอดเวลาจนกว่าจะถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้

หมายเหตุ: ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในการ Discharge แบตเตอรี่

#### 5) CP: Constant Power

ในโหมดนี้จะเป็นการ Discharge โดยจะทำการ Discharge ด้วยค่ากำลังไฟฟ้าคงที่ จนกว่าจะถึงค่าแรงดันสุดท้ายตามที่ได้ตั้งค่าไว้ โดยจะมีการตั้งค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน

#### 6) CAP: Constant Ampere Pulse

เป็นโหมดที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการ Charge ซึ่งเป็นการ Charge ด้วยค่ากระแสพัลส์คงที่ โดยจะทำงานตามการตั้งค่าพัลส์ ที่กำหนด ซึ่งจะมีการตั้งค่าพัลส์ตามพารามิเตอร์ดังนี้

$T_1$  : เวลาของค่าพัลส์สูง (High value pulse time) (1-59s)

$I_1$  : กระแสของค่าพัลส์สูง (Current of high value pulse)

$T_2$  : เวลาของค่าพัลส์ต่ำ (Low value pulse time)(1-59s)

$I_2$  : กระแสของค่าพัลส์สูง (Current of low value pulse)

$T$  : เวลาที่ใช้ในโหมดนี้

#### 7) LVP: Last Voltage Pulse

เป็นโหมดที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในการ Charge ซึ่งจะมีการจำกัดค่าแรงดันสุดท้ายและเวลาในการใช้งานเอาไว้ ก่อนที่ระดับของแรงดันจะถึงค่าแรงดันที่กำหนดไว้ กระแสไฟฟ้าจะมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยขณะที่มีระดับแรงดันที่คงที่ ซึ่งแรงดันจะคงที่ไปจนกว่าจะถึงเวลาที่ได้อ้างไว้ โดยจะมีการตั้งค่าพัลส์ตามพารามิเตอร์ดังนี้

$T_1$  : เวลาของค่าพัลส์สูง (High value pulse time) (1-59s)

$I_1$  : กระแสของค่าพัลส์สูง (Current of high value pulse)

$T_2$  : เวลาของค่าพัลส์ต่ำ (Low value pulse time)(1-59s)

$I_2$  : กระแสของค่าพัลส์สูง (Current of low value pulse)

$V$  : ค่าแรงดันสุดท้าย (The limit voltage in charging)

$T$  : เวลาที่ใช้ในโหมดนี้

#### 8) LVI: Last Voltage and Current

เป็นโหมดที่มีการจำกัดค่าแรงดันสุดท้ายและค่ากระแสที่ใช้งาน โดยจะมีการตั้งค่าแรงดันสุดท้าย, ค่ากระแสเริ่มต้นในการใช้งานและค่ากระแสท้ายท้ายก่อนที่จะหยุดทำงานตามพารามิเตอร์ ก่อนที่ระดับแรงดันจะถึงค่าแรงดันที่กำหนดไว้ กระแสไฟฟ้าจะมีการลดลง เพื่อรักษาระดับค่าของแรงดันสุดท้ายให้คงที่ ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะลดลงมาถึงค่ากระแสสุดท้ายตามที่อ้างไว้แล้วก็จะทำการ Charge ด้วยค่าของกระแสสุดท้ายนี้จนถึงเวลาตามที่ได้กำหนดไว้

#### 9) FAH: Final Ampere Hour

ในโหมดนี้จะเป็นคำสั่งที่ใช้ได้ทั้งการ Charge หรือ Discharge โดยจะมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ AH (Ampere Hour) สุดท้ายเอาไว้ ในที่นี้ค่าพารามิเตอร์ AH (Ampere Hour) จะเริ่มต้นที่ 0 AH ซึ่งในการ Charge หรือ Discharge จะทำด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ตามที่อ้างไว้ แต่จะไม่มี การตั้งเวลาที่ใช้ในการทำงาน

### 3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

สำหรับการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ คือ

#### 3.3.1 การทดสอบการคายประจุด้วยกระแสคงที่

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้เห็นถึงเวลาที่ใช้ในการคายประจุจนถึงค่าแรงดันสุดท้าย โดยกำหนดแรงดันที่ 110% ,2.2 V/Cell เท่ากับ 13.2 V ค่าแรงดันสุดท้ายของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการคายประจุเท่ากับ 10.5 V ซึ่งกำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEC แล้วทำการคายประจุเพื่อดูเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยในการทดสอบนี้แบตเตอรี่ที่มีภายในห้องทดสอบ ที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว

การทดสอบนี้เพื่อเปรียบเทียบแรงดันสุดท้ายกับค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการคายประจุของแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสคงที่เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และดูค่าแรงดันสุดท้ายที่เวลา 7 ชั่วโมงว่ามีค่าเท่ากับเท่าไร และนำค่านั้นไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

โดยในการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 70 AH คือ

- รุ่น RA 12-70 ยี่ห้อ RITAR มีขนาด 12V 70AH

ซึ่งในการทดสอบจะใช้กระแสไฟฟ้าในการคายประจุ เท่ากับ 10 A สังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ทำงาน

\*ข้อกำหนดของแบตเตอรี่คือคายประจุ 7 ชั่วโมง (C10)

\*หมายเหตุ ซึ่งกำหนดตามข้อกำหนดของแบตเตอรี่ ไปเทียบกับค่ามาตรฐาน

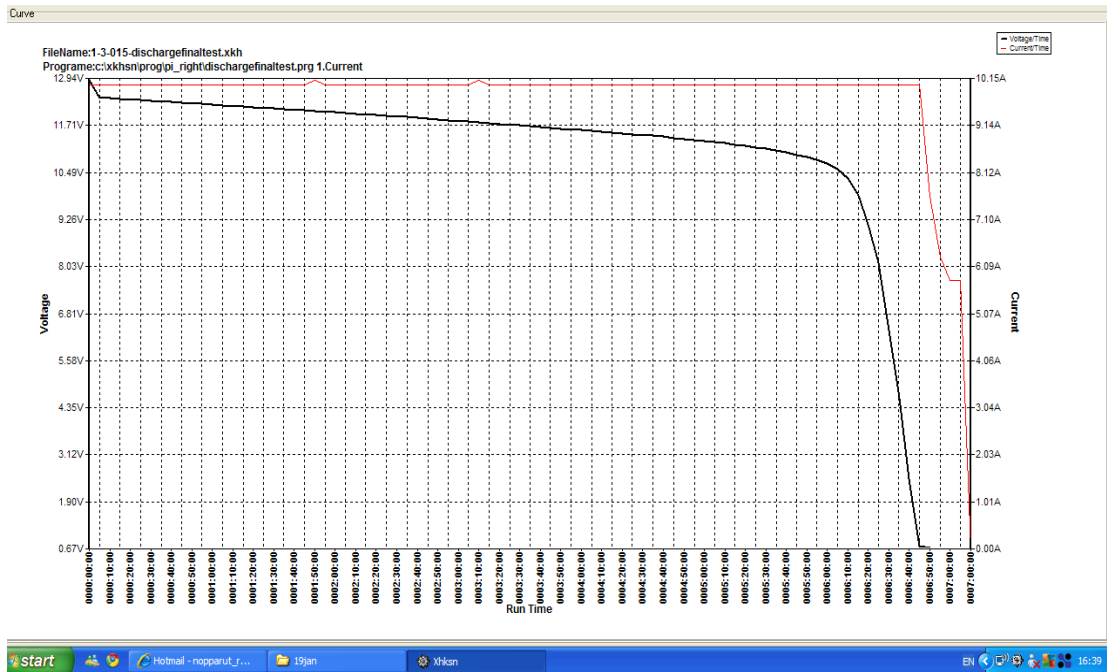
- การบันทึกผล จะเก็บค่าทุกๆ 5 นาที ซึ่งจะเก็บค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า
- อุณหภูมิในการทดสอบควรอยู่ประมาณ 20 – 25 องศาเซลเซียส

\*หมายเหตุ อ้างอิงมาตรฐาน IEC 61427 ว่าด้วยเรื่อง Cell Battery แบตเตอรี่ของ Photovoltaic Energy Systems (PVES) Capacity (C10) แรงดันต่ำสุดที่ 1.75/Cell แรงดันชาร์จถึง 2.4/Cell นอกเหนือจากผู้ประกอบการระบุขนาดอื่นๆ



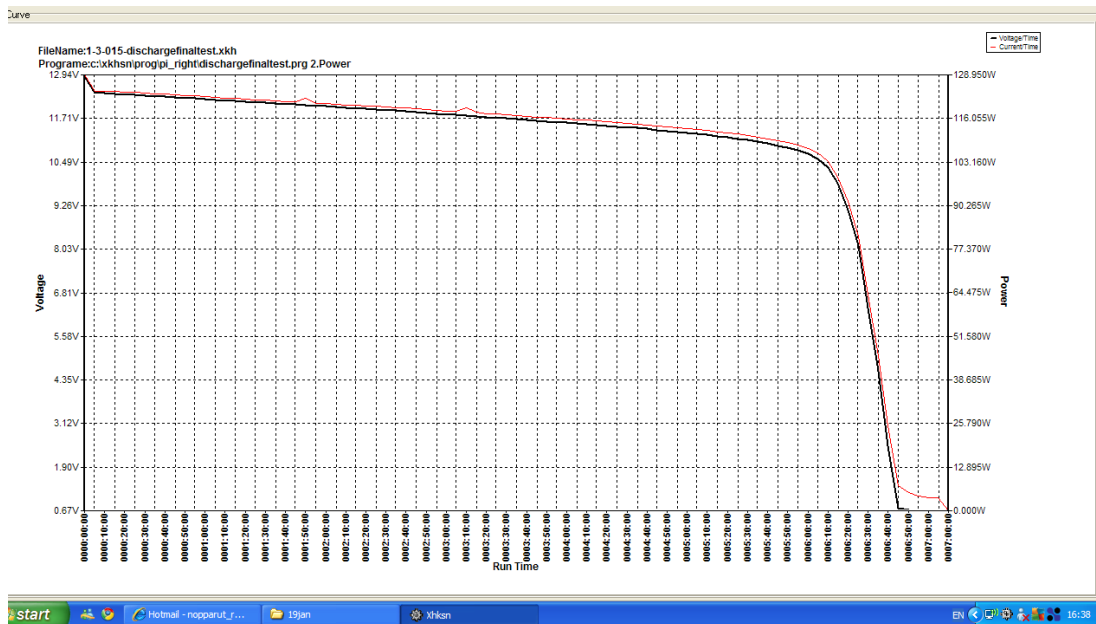
รูปที่ 3.9 แบตเตอรี่รุ่น RA 12-70HR/10AH

### 3.3.2 ผลทดสอบการคายประจุด้วยกระแสคงที่



รูปที่ 3.10 แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Current (ผลทดสอบคายประจุ)

รูปที่ 3.10 ทำการคายประจุด้วยกระแสที่คงที่ที่ 10 A เป็นเวลา 7 ชั่วโมงผลที่ได้ออกมาเป็นเส้นด้านบนสุดเป็นเส้นกระแสเมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง 50 นาที เส้นกระแสจึงตกลงมาตามขนาดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดและตามมาตรฐาน เส้นด้านล่างเป็นเส้นแรงดัน แรงดันจากรูปสูงสุดที่ 12.89 V แต่ที่ต้องการทดสอบจริงๆ อยู่ที่ 13.2 V แต่การจะตั้งค่าให้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดอยู่ในจุดอึด้นานๆ ต้องใช้ระยะเวลานาน จึงทดสอบการคายประจุด้วยกระแสที่คงที่ที่ 10 A ที่แรงดัน 12.89 V เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง แรงดันอยู่ที่ 12.25 V ใช้ค่าความจุไป 10 AH เมื่อผ่านไป 2 ชั่วโมง แรงดันอยู่ที่ 12.05 V ใช้ค่าความจุไป 20 AH เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง แรงดันอยู่ที่ประมาณ 11.83 V ใช้ค่าความจุไป 30 AH เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง แรงดันอยู่ที่ประมาณ 11.59 V ใช้ค่าความจุไป 40 AH เมื่อเวลาผ่านไป 5 ชั่วโมง แรงดันอยู่ที่ประมาณ 11.31 V ใช้ค่าความจุไป 50 AH เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง แรงดันอยู่ที่ 11.72 V ใช้ค่าความจุไป 60 AH เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง 30 นาที แรงดันอยู่ที่ 6.38 V ใช้ค่าความจุไป 65 AH จนถึงเวลาเข้าใกล้ 7 ชั่วโมง กระแสตกลงจนเป็นศูนย์ แรงดันลดลงตาม AH ที่เพิ่มมากขึ้นเข้าใกล้ 70 AH



รูปที่ 3.11 แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Power (ผลทดสอบคายประจุ)

รูปที่ 3.11 การคายประจุด้วยกระแสที่คงที่ ที่ 10 A เป็นเวลา 7 ชั่วโมงเป็นผลจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงดันกับค่า Power เมื่อเทียบกับเวลาจากรูปเส้น Power คล้ายเส้นแรงดันเมื่อทำการคายประจุเมื่อแรงดันเริ่มลดลงกระแสยังคงที่ทำให้เส้น Power ลดลงตามเส้นแรงดันเมื่อเทียบกับเวลา

ตารางที่ 3.1 ตารางผลการทดสอบการคายประจุ กระแสขนาด 10A

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Seq	Loop	Step	StepTime	Instruction	CH/DIS	Run Time	Volt (V)	Current(A)	AH (AH)
2	1	1	1	00:00:00	CA	Di	0000:00:00	12.89	10	0
3	7	1	1	00:30:00	CA	Di	0000:30:00	12.35	10	5
4	13	1	1	01:00:00	CA	Di	0001:00:00	12.25	10	10
5	19	1	1	01:30:00	CA	Di	0001:30:00	12.15	10	15
6	25	1	1	02:00:00	CA	Di	0002:00:00	12.05	10	20
7	31	1	1	02:30:00	CA	Di	0002:30:00	11.94	10	25
8	37	1	1	03:00:00	CA	Di	0003:00:00	11.83	10	30
9	43	1	1	03:30:00	CA	Di	0003:30:00	11.72	10	35
10	49	1	1	04:00:00	CA	Di	0004:00:00	11.59	10	40
11	55	1	1	04:30:00	CA	Di	0004:30:00	11.46	10	45
12	61	1	1	05:00:00	CA	Di	0005:00:00	11.31	10	50
13	67	1	1	05:30:00	CA	Di	0005:30:00	11.1	10	55
14	73	1	1	06:00:00	CA	Di	0006:00:00	10.72	10	60
15	79	1	1	06:30:00	CA	Di	0006:30:00	6.38	10	65
16	83	1	1	06:50:00	CA	Di	0006:50:00	0.7	7.6	68.2
17	84	1	1	06:55:00	CA	Di	0006:55:00	0.68	6.3	68.8
18	85	1	1	07:00:00	CA	Di	0007:00:00	0.67	5.8	69.3
19	87	1	2	07:00:00	END		0007:00:00	0.67	0	0
20										

### 3.3.2 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมของการอัดประจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้เห็นถึงเวลาที่ใช้ในการอัดประจุจนถึงค่าแรงดันสุดท้าย โดยกำหนดแรงดันที่ 120% ,2.4 V/Cell เท่ากับ 14.4 V ค่าแรงดันสุดท้ายของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการอัดประจุ ซึ่งกำหนดไว้ตามมาตรฐาน IEC

การทดสอบนี้เพื่อเปรียบเทียบแรงดันสุดท้ายกับค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการอัดประจุของแบตเตอรี่ที่ค่ากระแส ขนาด 20 A คงที่เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และดูค่าแรงดันสุดท้ายที่เวลา 5 ชั่วโมงว่ามีค่าเท่ากับเท่าไร และนำค่านี้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

โดยในการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 70 AH คือ

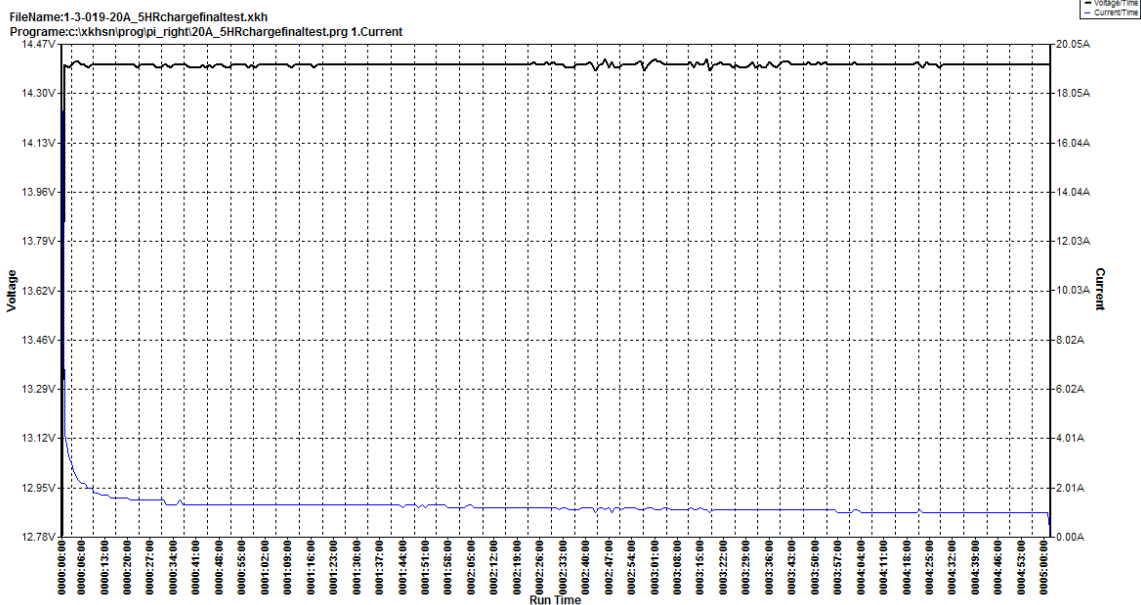
- รุ่น RA 12-70 ยี่ห้อ RITAR มีขนาด 12 V 10HR/70AH

ซึ่งในการทดสอบจะใช้กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุ เท่ากับ 20 A สังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ทำงาน

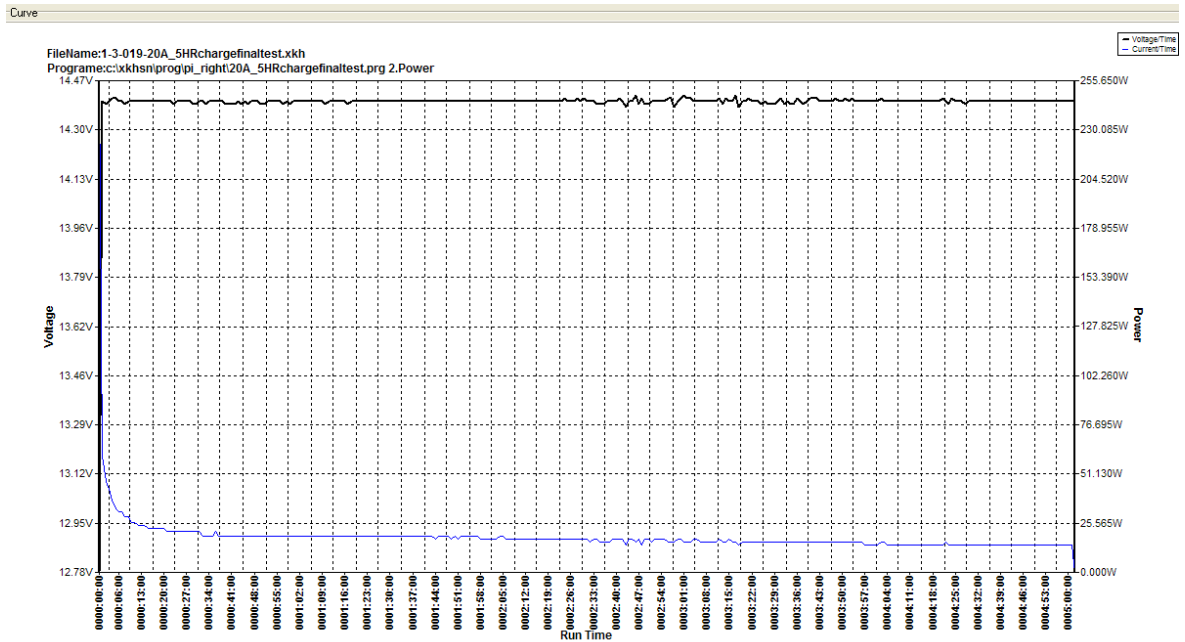
\*ข้อกำหนดของแบตเตอรี่คืออัดประจุ 5 ชั่วโมง

\*หมายเหตุ ซึ่งกำหนดตามข้อกำหนดของแบตเตอรี่ ไปเทียบกับค่ามาตรฐาน

- การบันทึกผล จะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที ซึ่งจะเก็บค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า
- อุณหภูมิในการทดสอบอยู่ประมาณ 25°C



รูปที่ 3.12 แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Current (ผลทดสอบประจุ)



รูปที่ 3.13 แกน x เวลา t (s) แกน y Voltage และ Power (ผลทดสอบประจุ)

ตารางที่ 3.2 ตารางผลการทดสอบการอัดประจุ กระแสที่ 20 A

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Seq	Loop	Step.	Step Time	Instruction	CH/DIS	Run Time	Volt(V)	Current(A)	AH(AH)
1	1	1	1	00:00:00	LV	Ch	0000:00:00	12.78	20	0
2	16	1	1	00:15:00	LV	Ch	0000:15:00	14.4	1.6	0.6
3	31	1	1	00:30:00	LV	Ch	0000:30:00	14.39	1.5	1
4	46	1	1	00:45:00	LV	Ch	0000:45:00	14.4	1.3	1.3
5	61	1	1	01:00:00	LV	Ch	0001:00:00	14.4	1.3	1.7
6	76	1	1	01:15:00	LV	Ch	0001:15:00	14.4	1.3	2
7	91	1	1	01:30:00	LV	Ch	0001:30:00	14.4	1.3	2.3
8	106	1	1	01:45:00	LV	Ch	0001:45:00	14.4	1.3	2.6
9	121	1	1	02:00:00	LV	Ch	0002:00:00	14.4	1.2	3
10	136	1	1	02:15:00	LV	Ch	0002:15:00	14.4	1.2	3.3
11	151	1	1	02:30:00	LV	Ch	0002:30:00	14.41	1.2	3.6
12	166	1	1	02:45:00	LV	Ch	0002:45:00	14.4	1.2	3.9
13	181	1	1	03:00:00	LV	Ch	0003:00:00	14.41	1.2	4.2
14	196	1	1	03:15:00	LV	Ch	0003:15:00	14.4	1.2	4.4
15	211	1	1	03:30:00	LV	Ch	0003:30:00	14.4	1.1	4.7
16	226	1	1	03:45:00	LV	Ch	0003:45:00	14.4	1.1	5
17	241	1	1	04:00:00	LV	Ch	0004:00:00	14.4	1	5.3
18	256	1	1	04:15:00	LV	Ch	0004:15:00	14.4	1	5.5
19	271	1	1	04:30:00	LV	Ch	0004:30:00	14.4	1	5.8
20	286	1	1	04:45:00	LV	Ch	0004:45:00	14.4	1	6
21	301	1	1	05:00:00	LV	Ch	0005:00:00	14.4	1	6.3
22	303	1	2	05:00:00	END		0005:00:00	14.4	0	0
23										
24										



### 3.4 สรุป

ในการทดสอบนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมในการคายประจุและประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ชนิด VRLA โดยใช้เครื่อง MTB-SERISE ทำการทดสอบ, เก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ในขณะที่ทำการทดสอบ ซึ่งทำการทดสอบคายประจุหรือจ่ายไฟให้กับโหลดขนาด 10 A เป็นเวลา 7 ชั่วโมงทำการเก็บผลทดลองที่ได้มาแสดงให้เห็นในกราฟที่ได้จากเครื่องทดสอบ เครื่องทดสอบสามารถบอกค่าแรงดัน ค่ากระแส ค่า Power และค่าความจุในช่วงเวลาที่แตกต่างกันไป ตามขอบเขตของความจุภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่นำมาทดสอบ ในทางกลับกันทำการอัดประจุ ที่กระแส 20 A ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง สังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้น เมื่อเราทำการประจุค่ากระแสที่ 20 A เส้นแรงดันจะใช้เวลาที่สั้นในการขึ้นไปถึงระดับแรงดันที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบคุณภาพไม่ถึง 100 % คือ แบตเตอรี่ที่มีภายในห้องทดสอบพลังงาน ชั้น 6 ซึ่งมีการทดสอบมาแล้วจำนวนหลายครั้ง รวมถึงอุณหภูมิมีส่วนสำคัญที่ทำให้คุณภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดลดน้อยลงในขณะที่ไม่มีการทดสอบ อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบคืออุณหภูมิห้อง ประมาณ 25°C



## บทที่ 4

### การออกแบบและวิธีดำเนินการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาแนวทางการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในช่วงพลวัต โดยใช้วงจรทางไฟฟ้าแทนวงจรสมมูลทางไฟฟ้าเพื่อหาวงจรทางไฟฟ้าที่เหมาะสมกับตะกั่ว-กรดที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านพลังงานทดแทนมากที่สุด โดยวงจรทางไฟฟ้าสามารถบอกพฤติกรรมของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เมื่อนำผลจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการศึกษารูปแบบต่างๆที่มีจากบทความ IEEE TRANSACTION ON ENERGY CONVERSION , Journal of Power Sources และ Conference เพื่อวิเคราะห์รูปแบบวงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่เหมาะสมกับการเป็นวงจรทางไฟฟ้าที่สามารถอ้างอิงกับการทำงานของแบตเตอรี่ ซึ่งเกี่ยวข้องกับอายุการใช้งาน (lift Time) ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากการศึกษาค้นคว้ารูปแบบวงจรทางไฟฟ้าหลายๆแบบมีข้อดีที่แตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ในการทดสอบ ซึ่งผลทดสอบมีทั้งจากโปรแกรมเครื่องโดยตรง (EIS meter for multi-channel electrochemical impedance spectroscopy, (EIS)) ที่พัฒนาแล้วทั้ง Hardware และ Software ที่ Institute for Power Electronics and Electrical Drives (ISEA) สามารถบอกค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่ รวมถึง แสดงให้เห็นค่าอิมพีแดนซ์ออกมาได้โดยดังรูปที่ 3.1 ที่นำเสนอรูปแบบวงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่นำไปวิเคราะห์กับยานพาหนะไฟฟ้าและรถไฟฟ้า วิทยานิพนธ์นี้นำรูปแบบวงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่คิดว่าเหมาะสมกับด้านพลังงานทดแทนมากกว่าบทความอื่นๆ ซึ่งสามารถเห็นผลได้จากการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลทดลองในบทที่ 3 สามารถเห็นผลได้ว่าสอดคล้องกัน



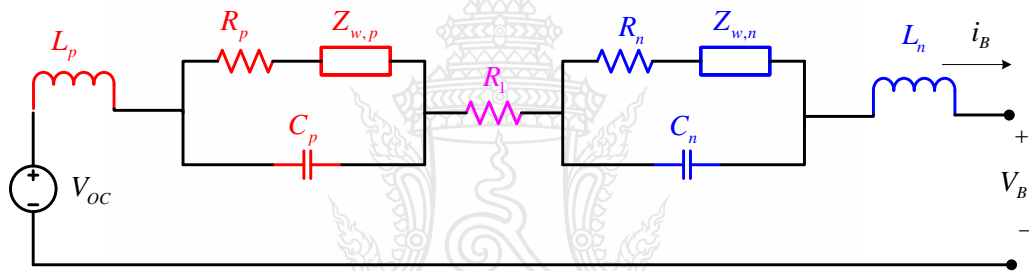
รูปที่ 4.1 มิเตอร์ มัลติเชลแนล อิเล็กโทรเคมีคอล อิมพีแดนซ์ สเปคโทสโคปี (EIS) [2]

#### 4.1 การกำหนดลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้กับพลังงานทดแทนขนาดเล็กหรือกักเก็บผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก พลังงานที่ผลิตได้จากกักเก็บจะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลมกับอัตราส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อพื้นที่หน้าตัดของใบพัด ในการจำลองแบบจำลองในงานวิทยานิพนธ์นี้เน้นรูปแบบวงจรทางไฟฟ้าเป็นวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ฉะนั้นขนาดของความจุของแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบ เพื่อนำผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบ มีขนาดที่ใหญ่กว่ากำลังการเปลี่ยนแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าขนาดของแบตเตอรี่จะต้องไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของกระแสที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม

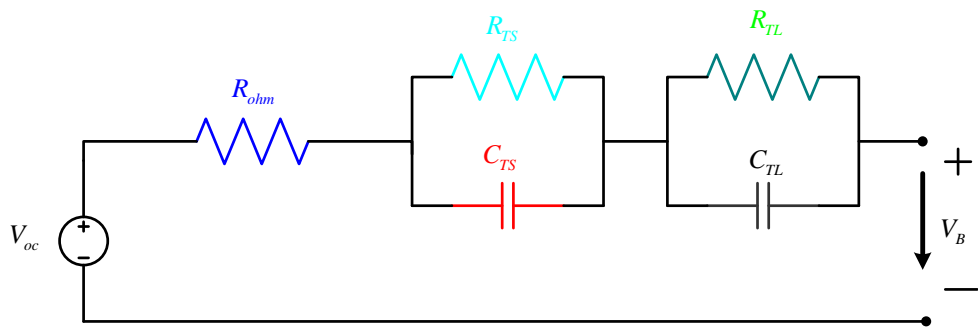
##### 4.1.1 การศึกษารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในช่วงพลวัต

ตัวแปรภายในแบตเตอรี่ประกอบไปด้วย ค่ารีซิสแตนซ์ ( $R$ ) , ค่าอินดักแตนซ์ ( $L$ ) , ค่าคาปาซิแตนซ์ ( $C$ ) และ อิมพีแดนซ์ ( $Z$ ) [14] [15]



รูปที่ 4.2 แบบจำลองการเกิดผลกระทบภายในแบตเตอรี่

จากรูปที่ 4.2 วงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด สามารถบรรยายให้เห็นในรูปทางไฟฟ้าเคมีสิ่งที่เกิดขึ้นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากอิลิเมนต์ของวงจรทางไฟฟ้า สามารถขยายความในทางไฟฟ้าเคมีได้โดยมีเงื่อนไขจากตัวแปรดังนี้  $L_p$  คือ ออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลตขั้วบวก ,  $L_n$  คือ ไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลตขั้วลบ,  $Z_{w,p}$  คือ การแพร่กระจายสารละลายขั้วบวก,  $Z_{w,n}$  คือ การแพร่กระจายสารละลายขั้วลบ,  $R_p$  คือ ความต้านทานขั้วอิเล็กโทรดขั้วบวก,  $R_n$  คือ ความต้านทานขั้วอิเล็กโทรดขั้วลบ,  $C_p$  คือ ค่าความจุจากการกระจายตัวในอากาศของเคมี,  $C_n$  คือ ค่าความจุจากการกระจายตัวในอากาศของเคมี,  $R_i$  คือ ความต้านทานที่เกิดจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (ตกผลึก),  $V_{OC}$  คือ แรงดันสภาวะขณะสมดุลย์ของวงจร,  $V_B$  คือ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่,  $i_B$  คือ กระแสขณะมีโหลด



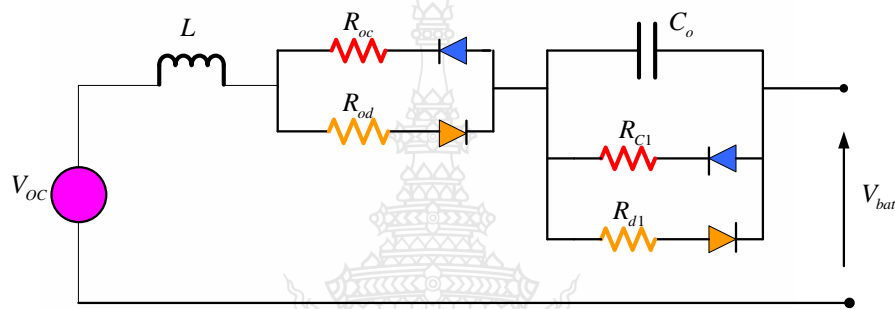
รูปที่ 4.3 แบบจำลองการเกิดผลกระทบภายในแบตเตอรี่

จากรูปที่ 4.3 วงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด รูปวงจรถ่ายกับรูปแบบจำลองแบตเตอรี่ตามสมการเทวินิน [16] คือ มีค่าความต้านทานต่ออนุกรมกับค่าความต้านทานขนานกับค่าคาปาซิแตนซ์ชุดเดียว แต่ในรูปที่ 4.3 มีค่าความต้านทานขนานกับค่าคาปาซิแตนซ์สองชุด จากรูปแบบจำลอง ได้วิเคราะห์ผลกระทบในเชิงลึกมากขึ้น โดยให้ความต้านทานขนานกับค่าคาปาซิแตนซ์ในชุดแรก เปรียบเสมือนผลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาสั้น และ ให้ความต้านทานขนานกับค่าคาปาซิแตนซ์ในชุดที่สอง เปรียบเสมือนผลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลายาว โดยมีตัวแปรดังต่อไปนี้  $V_{OC}$  คือ แรงดันสภาวะขณะสมดุลของวงจร,  $V_B$  คือ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่,  $R_{ohm}$  คือ ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่,  $R_{TS}$  คือ ค่าความต้านทานที่เกิดในระยะเวลาสั้น,  $R_{TL}$  คือ ค่าความต้านทานที่เกิดในระยะเวลายาว,  $C_{TS}$  คือ ค่าความจุที่เกิดในระยะเวลาสั้น,  $C_{TL}$  คือ ค่าความจุที่เกิดในระยะเวลายาว

#### 4.2 หลักการออกแบบและการจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

หลักการออกแบบจากทฤษฎีบทที่ 2 แรงดันสูงสุดที่ทำการจำลอง 2.4 V/Cell หรือ 120 % /Cell ในการประจุหรือเท่ากับ 14.4 V อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61427 และสอดคล้องกับมาตรฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดรุ่น RA 12-70 ยี่ห้อ RITAR มีขนาด 12 V 10HR/70AH ซึ่งผู้ผลิตกำหนดขนาดแรงดันสูงสุดเกินกว่า 2.4 V/Cell เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลทดสอบที่ได้รับในทางกลับกันแรงดันสูงสุดที่ใช้ในการจำลองในการคายประจุ 2.2 V/Cell หรือ 110%/Cell หรือเท่ากับ 13.2 V ซึ่งมีองค์ประกอบโดยรอบเป็นตัวแปร จึงทำการจำลองที่แรงดัน 13.2 V คือ แรงดันที่สูงสุดในการคายประจุ ทำการคายประจุที่ 10 A เปรียบเสมือนการนำไปใช้กับโหลดที่คงที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง จำลองให้เห็นพฤติกรรมแบตเตอรี่ขณะคายประจุ 10 A ตามขอบเขตค่าความจุของแบตเตอรี่ที่ได้ทำการจำลองและเปรียบเทียบคือขนาด 10HR/70AH คือทำการคายประจุที่ 10 A เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดหลายรูปแบบที่มีอยู่ จึงนำข้อที่แตกต่างในการวิเคราะห์เชิงลึก มาพิจารณาความน่าจะเป็นของรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ผสมผสานระหว่างด้านทางฟิสิกส์เคมี และทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คิดว่าเหมาะสม ที่จะนำมาเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในด้านพลังงานทดแทน โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่นำมาใช้ คือ  $R_{ohm} = 5.2m\Omega$  [2],  $L = 0.9\mu H$  [22],  $C = 1.5F$  [21] [22] ภายในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบไปด้วยอินดักเตนซ์ อนุกรมกับค่าความต้านทานภายในวงจร อนุกรมกับค่าความต้านทานขนานกับค่าคาปาซิแตนซ์ โดยค่าความต้านทานขนานกับค่าคาปาซิแตนซ์ เปรียบเสมือนผลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงขณะ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แบบจำลองการเกิดผลกระทบภายในแบตเตอรี่

ค่าที่นำมาใช้จำลอง

$L$	ค่าที่นำมาใช้จำลองคือ	$0.9\mu H$
$R_{oc}$	ค่าที่นำมาใช้จำลองคือ	$5.2m\Omega$
$R_{od}$	ค่าที่นำมาใช้จำลองคือ	$5.2m\Omega$
$R_{C1}$	ค่าที่นำมาใช้จำลองคือ	$0.5867\Omega$
$R_{d1}$	ค่าที่นำมาใช้จำลองคือ	$0.6177\Omega$
$C_o$	ค่าที่นำมาใช้จำลองคือ	$1.5F$

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ ที่อยู่ในสถานะหยุดนิ่ง ไม่มีการประจุ และ ไม่มีการคายประจุ คือ ช่วงที่วงจรแบตเตอรี่เปิด (Voltage Open Circuit,  $V_{oc}$ ) ขึ้นกับการออกแบบแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดของผู้ผลิต ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ หากค่าความสัมพันธ์ภายในวงจรได้จากสมการดังต่อไปนี้

\*  $R_{ohm}$  คือ  $R_{oc}$ ,  $R_{od}$

$$V_{bat} = V_{oc} - V_L - V_{Rohm} - V_{C1} \quad (3.1)$$

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (3.2)$$

$$V_{Rohm} = R_{ohm} I \quad (3.3)$$

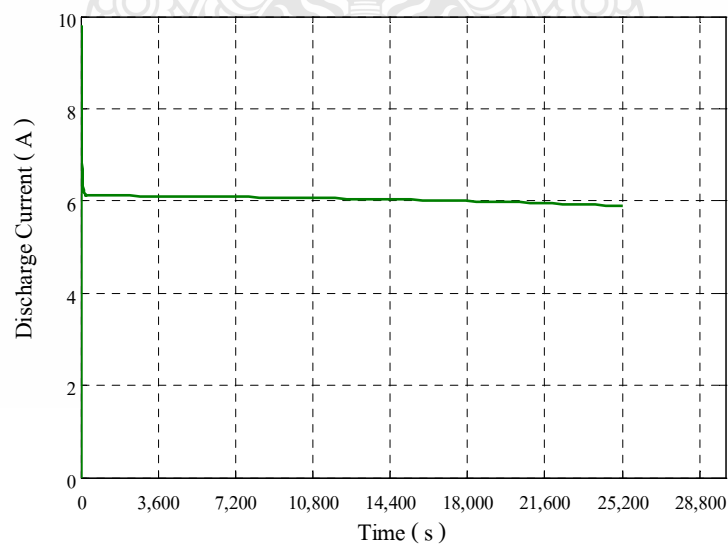
$$V_{C1} = \int \frac{1}{C1} (I - \frac{V_{C1}}{R_1}) dt \quad (3.4)$$

เมื่อ

$V_{bat}$	คือ	แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่
$V_{OC}$	คือ	แรงดันสภาวะขณะสมมูลย์ของวงจร
$V_L$	คือ	แรงดันที่ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ภายในแบตเตอรี่
$V_{Rohm}$	คือ	แรงดันตกคร่อมค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่
$V_{C1}$	คือ	แรงดันตกคร่อมผลที่เกิดการเปลี่ยนแปลง
$R_{ohm}$	คือ	ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่
$I$	คือ	กระแสภายในแบตเตอรี่

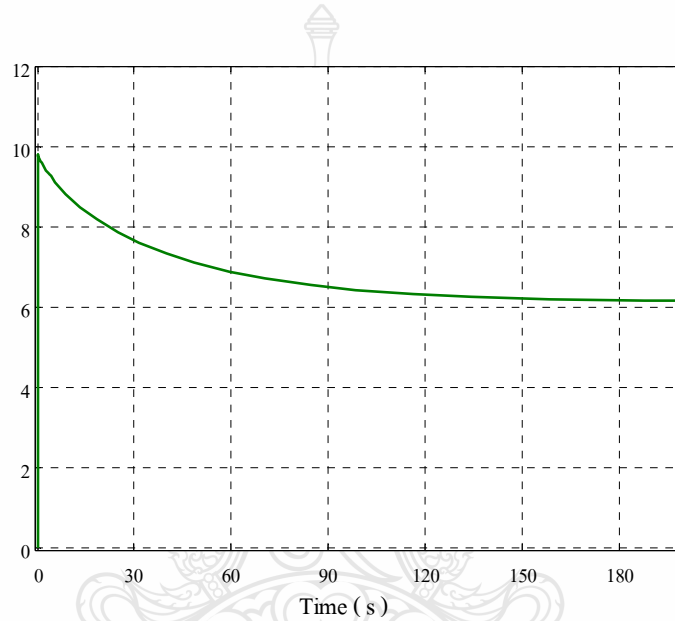
### 4.3 ผลที่ได้จากการจำลอง การทำงานวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

#### 4.3.1 ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขณะคายประจุ

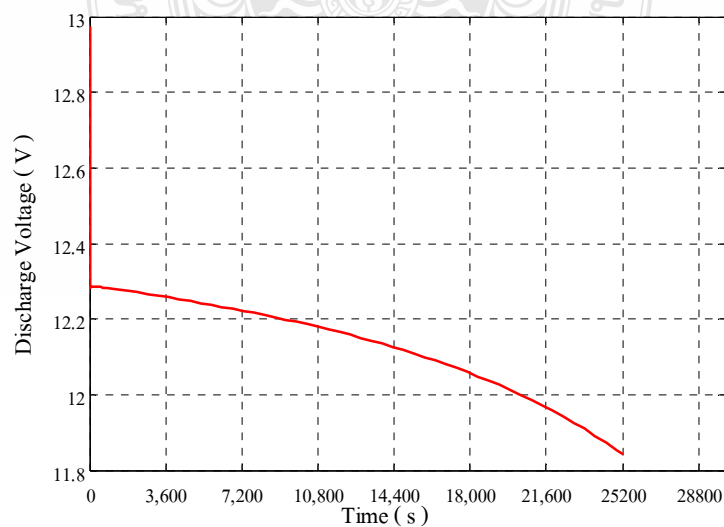


รูปที่ 4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระแสขณะคายประจุ 10A

จากรูปที่ 4.5 รูปกระแสที่ได้จากการจำลองขณะคายประจุให้กับโหลดที่มีขนาด 10 A เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากรูปจะสังเกตเห็นว่า เมื่อแบตเตอรี่คายประจุให้กับโหลดขนาด 10 A เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 นาทีหรือเวลา 60 วินาที ดังรูปที่ 4.6 กระแสการคายประจุลดลงจาก 10 A เหลืออยู่ 7 A จนถึง นาทีที่ 3 หรือ 180 วินาที กระแสมีขนาดคงตัวที่ประมาณ 6.3 A จนถึงประมาณชั่วโมงที่ 2 หรือ 7200 วินาที จากชั่วโมงที่ 2 กระแสลดลงจาก 6.3 A เหลืออยู่ประมาณ 6.1 A ในชั่วโมงที่ 2 จนถึง ชั่วโมงที่ 4 หรือ 14400 วินาที จากชั่วโมงที่ 4 ถึงชั่วโมงที่ 5 กระแสเหลืออยู่ประมาณ 6 A และคงเหลือประมาณ 5.9 A และ 5.7 ในชั่วโมงที่ 6 และ 7 ตามลำดับต่อมา

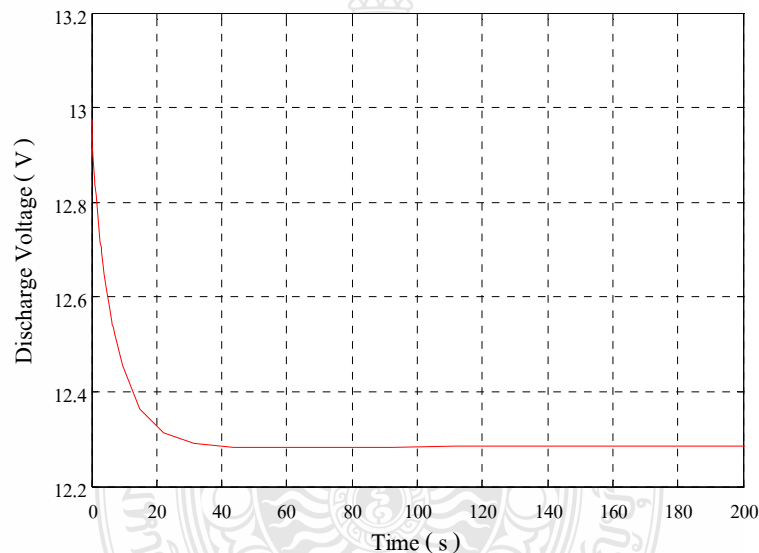


รูปที่ 4.6 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระแสขณะคายประจุ 10A



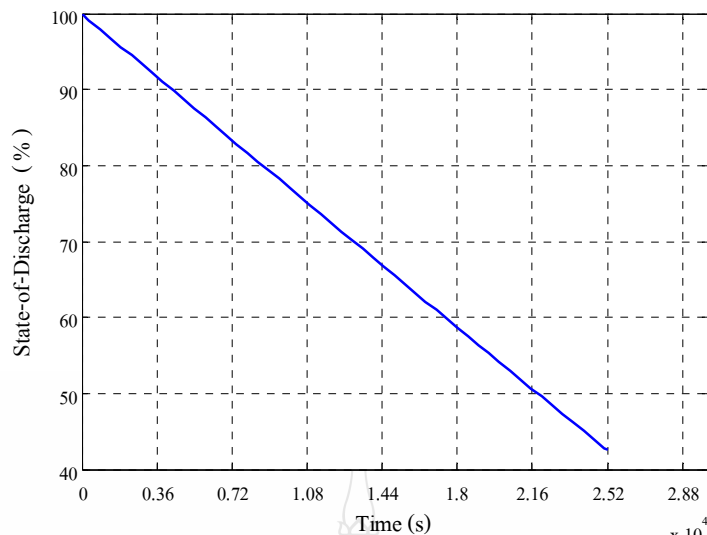
รูปที่ 4.7 แรงดันขณะคายประจุ 10A

จากรูปที่ 4.7 รูปแรงดันขนาด 12.94 V ที่ได้จากการจำลองขณะคายประจุให้กับโหลดที่มีขนาด 10A เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากรูปจะสังเกตเห็นว่า เมื่อแบตเตอรี่คายประจุให้กับโหลดขนาด 10 A เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 นาที หรือเวลา 60 วินาที แรงดันจากการคายประจุลดลงจาก 12.94 V เหลือ 12.25 V ดังรูปที่ 4.8 แรงดันจากการคายประจุลดลงทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง หรือ 3600 วินาที แรงดันคงเหลือที่ 12.227 V และ ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป 2.5 ชั่วโมง หรือ 9000 วินาที แรงดันคงเหลือ 12.2 V และยังคงลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึงชั่วโมงที่ 4.5 ชั่วโมง หรือ 16200 วินาที แรงดันจากการคายประจุลดลงเหลือ 12.1 V ในชั่วโมงที่ 5 หรือ 18000 วินาที เหลือแรงดันจากการคายประจุ ประมาณ 12.15 V และลดลงตามลำดับในชั่วโมงที่ 6 หรือ 21600 วินาที แรงดันคงเหลือ 11.97 V และในชั่วโมงที่ 7 หรือ ช่วงเวลาที่ 25200 วินาที แรงดันคงเหลือ 11.85 V จากรูปแรงดัน จะเห็นความสัมพันธ์ ของการเปลี่ยนแปลงกับค่าความจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 4.8 แรงดันขณะคายประจุ 10A



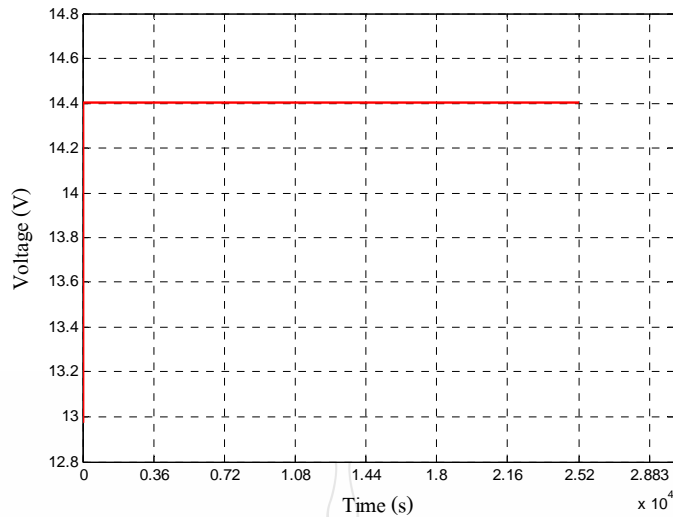


รูปที่ 4.9 เปอร์เซนต์ของสถานะการคายประจุขณะคายประจุ 10 A

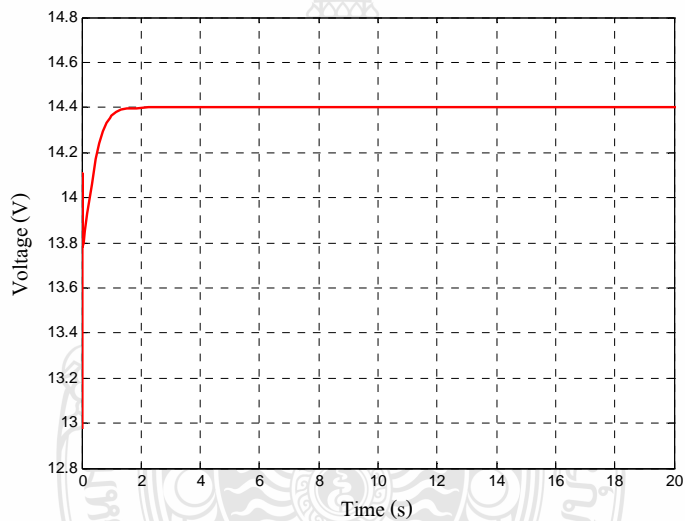
รูปที่ 4.9 รูปสถานะการคายประจุเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับขนาดแรงดันขนาด 12.94 V ที่ 100 % ที่ได้จากการจำลองขณะคายประจุให้กับโหลดที่มีขนาด 10 A เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากรูปจะสังเกตเห็นว่า เมื่อแบตเตอรี่คายประจุให้กับโหลดขนาด 10 A เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง หรือเวลา 3600 วินาที เปอร์เซนต์จากการคายประจุลดลงอย่างต่อเนื่องอยู่ที่ประมาณ 93 % จนถึงชั่วโมงที่ 2 หรือ 7200 วินาที เปอร์เซนต์จากการคายประจุลดลงอย่างต่อเนื่องอยู่ที่ประมาณ 84 % จนถึงชั่วโมงที่ 3 หรือ 10800 วินาที เปอร์เซนต์จากการคายประจุลดลงเหลือประมาณ 75 % จนถึงชั่วโมงที่ 4 หรือ 14400 วินาที เปอร์เซนต์จากการคายประจุลดลงเหลือประมาณ 67 % จนถึงชั่วโมงที่ 5 หรือ 18000 วินาที เปอร์เซนต์จากการคายประจุลดลงเหลือประมาณ 58 % จนถึงชั่วโมงที่ 6 หรือ 21600 วินาที เปอร์เซนต์จากการคายประจุลดลงเหลือประมาณ 50 % และ ในชั่วโมงที่ 7 เหลือ 43 % ความสัมพันธ์ ของสถานะการคายประจุคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเวลา จากค่าความจุแบตเตอรี่สูงสุดที่ 12.9 V ของค่าความจุของแบตเตอรี่

#### 4.3.2 ผลที่ได้จากแบบจำลองขณะประจุ

แรงดันขนาด 12 V เซลล์แบตเตอรี่มีขนาด 2 V/Cell แรงดันสูงสุดที่ทำการจำลอง 2.4 V/Cell หรือ 120 % /Cell ในการประจุหรือเท่ากับ 14.4 V อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61427 และ สอดคล้องกับมาตรฐานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดรุ่น RA 12-70 ยี่ห้อ RITAR มีขนาด 12 V 10HR/70AH ซึ่งผู้ผลิตกำหนดขนาดแรงดันสูงสุดเกินกว่า 2.4 V/Cell เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลทดสอบ

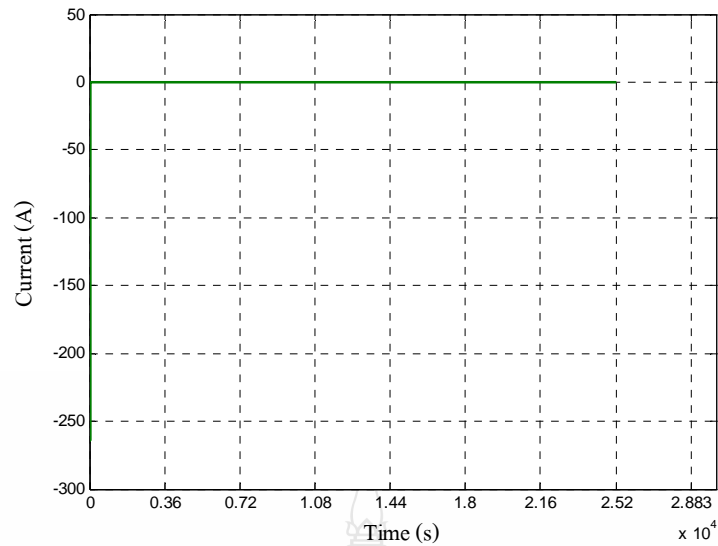


รูปที่ 4.10 แรงดันขณะประจุ

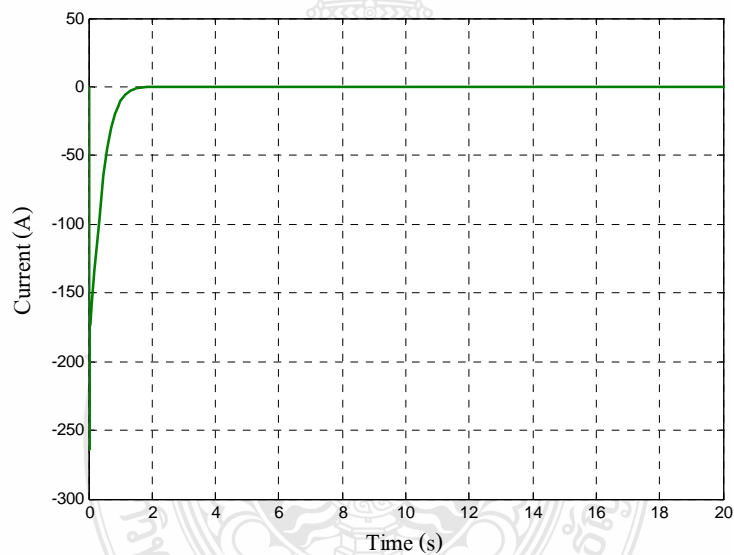


รูปที่ 4.11 แรงดันขณะประจุ

รูปที่ 4.10 แรงดันขณะประจุที่แรงดันสูงสุดขนาด 14.4 V เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากรูปสังเกตุดูเห็นได้ว่าแรงดันขณะยังไม่ได้ประจุเข้าแบตเตอรี่ยังคงมีแรงดันภายในตัวแบตเตอรี่อยู่และจะเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นในขณะทำการประจุ แรงดันอยู่ที่ประมาณ 10.8 V หรือ 1.8 V/Cell (C10) ขนาดเซลล์ที่ต่ำสุดอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61427 ระยะเวลาที่ทำให้แรงดันเกิดการเปลี่ยนแปลงคือในช่วงระยะเวลา 0 วินาที ถึง 2 วินาที หลังจาก 2 วินาที แรงดันจะคงตัวที่ 14.4 V ดังรูปที่ 4.11 แต่พฤติกรรมของแบตเตอรี่หากประจุที่กระแสสูงๆแรงดันจะถึงจุดที่กำหนดไว้ได้เร็วต้องอาศัยระยะเวลาเพื่อไ้จากค่าของความจุอีก 30% ของอัตราส่วนค่าความจุต่อเวลา แบตเตอรี่ถึงจะอิมตัว มิฉะนั้นเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดแรงดันก็จะตกลงมา

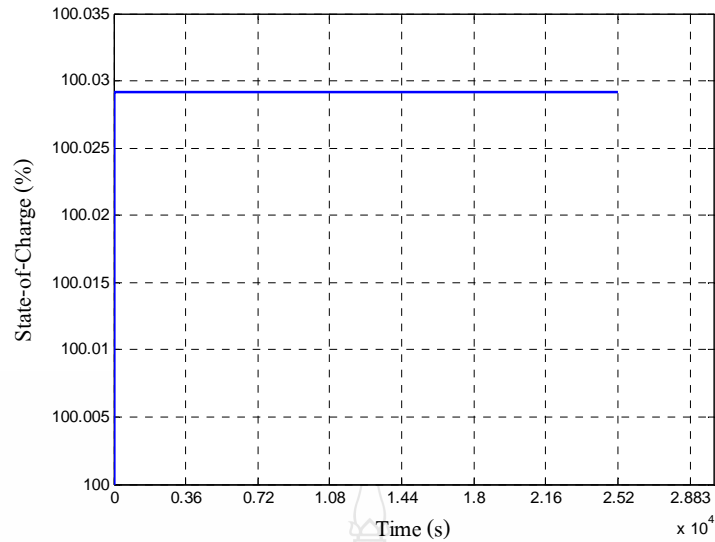


รูปที่ 4.12 กระแสขณะประจุ



รูปที่ 4.13 กระแสขณะประจุ

รูปที่ 4.12 กระแสขณะประจุที่แรงดันสูงสุดขนาด 14.4 V เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากภาพขยายรูปที่ 4.13 สังเกตเห็นได้ว่ากระแสขณะยังไม่ได้ประจุเข้าแบตเตอรี่กระแสภายในตัวแบตเตอรี่อยู่ในตำแหน่งวงจรถัด กระแสเป็นศูนย์ เมื่อมีการประจุขณะที่แรงดันเริ่มมากขึ้นแต่กระแสเริ่มจาก -270 A และ ลดลงตามลำดับ กระแสเข้าใกล้ศูนย์ในช่วงระยะเวลา 2 วินาที จากรูปที่ 4.13 และกระแสคงตัวที่ 0 A ที่เวลา 2 วินาที จนถึงชั่วโมงที่ 7 หรือ 25200 วินาที



รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์สถานะขณะประจุ

รูปที่ 4.14 รูปสถานะประจุเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับขนาดแรงดันขนาด 14.4 V ที่ 100.03 % จากรูปสังเกตได้ว่าเมื่อแรงดันขนาด 14.4 V โดยใช้ระยะเวลาที่สั้น เส้นเปอร์เซ็นต์สถานะประจุจึงเป็นเส้นตรง

#### 4.4 สรุป

จากการออกแบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้าเป็นวงจรทางไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม MATLAB 2008b ทำการทดสอบ ผลการจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาการทำงานและประเมินผลที่ได้จากแบบจำลอง พบว่าผลที่ได้มีความน่าจะเป็นตามพฤติกรรมการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในด้านการคายประจุเมื่อแบตเตอรี่คายประจุให้กับโหลดคงที่ ค่าความจุภายในแบตเตอรี่คือตัวแปร ในการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ควรจะเป็น เมื่อความจุของแบตเตอรี่ใกล้หมด พฤติกรรมของแบตเตอรี่ กระแส และ แรงดัน ก็ต้องลดตามด้วย ในทางกลับกันการประจุจากโหลดที่ต่อไปใช้งานจะ เปลี่ยนเป็นแหล่งจ่าย เมื่อต่อแบตเตอรี่ไปใช้งานด้านที่ต่อไปใช้งานเป็นโหลด เมื่อต้องการรับประจุ ด้านที่เป็น โหลดจะเป็นตัวประจุภายในตัว ในขณะที่เป็นตัวประจุเปรียบเหมือนเป็นแหล่งจ่ายอยู่ มีค่า ความต่างศักย์สูงกว่าแรงดันภายในแบตเตอรี่ สามารถบอกได้ว่า  $V_{bat} > V_{OC}$  ( ในขณะประจุ)  $V_{OC} > V_{bat}$  ( ในขณะคายประจุ) ) แรงดันสูงสุดขณะประจุที่ 14.4 V ที่ (State-of-Charge, SOC) 100% แรงดันที่ได้ 14.4 V และ แรงดันสูงสุดขณะคายประจุที่ 12.94 V ตามขนาดของแรงดันของแบตเตอรี่ที่นำมา ทดสอบ

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษารูปแบบหรือแบบจำลองภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะเข้าใจว่า วงจรภายในมีเพียงแหล่งจ่ายที่ทำหน้าที่กักเก็บประจุ และทำหน้าที่คายประจุให้กับโหลดเมื่อนำไปใช้งาน ซึ่งภายในมีตัวแปรคือมีความต้านทานภายใน ที่เกิดจากวัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ เช่น ขั้ว และสารละลายที่มีค่าความต้านทานภายในตัวของวัสดุและอุปกรณ์นั่นเอง เมื่อนำมาใช้งานคุณภาพย่อมลดลงตามอายุการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มาใช้งานกับด้านพลังงานทดแทนแล้ว ต้องพ่วงต่อกับอุปกรณ์ วงจรเรียงกระแส และ วงจรแปลงไฟกระแสตรงเป็นกระแสสลับ แล้วย่อมมีผลกระทบที่เกิดจากไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ด้วย ฉะนั้นรูปแบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ไม่ได้มีเพียงแต่ค่าต้านทานที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเท่านั้น แต่ยังคงมีอิมพีแดนซ์ของอิเล็กโทรไลต์ หรืออัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อกระแส ซึ่งถ้าวิเคราะห์ในทางไฟฟ้ากระแสสลับแล้ว คือมี ค่าความต้านทาน, อินดักแตนซ์ และ คาปาซิแตนซ์ จากทฤษฎีในบทที่ 2 กล่าวคือ เมื่อมองการทำงานของแบบจำลองภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ขณะทำงานไม่ได้มองแค่มีไฟกระแสตรงเท่านั้นแต่ให้มองผลกระทบที่เกิดจากไฟกระแสสลับด้วย

#### 5.1 สรุป

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คิดว่าเหมาะสมกับการนำมาเป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่จะนำมาใช้ในด้านพลังงานทดแทนนำเอารูปวงจรทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่วิเคราะห์เชิงลึกแต่ละแบบมารวมอยู่ภายในวงจรเดียวกันทำให้เห็นผลกระทบในช่วงระยะเวลาสั้นและช่วงระยะเวลายาว(ชั่วโมง) ก็สามารถทำนายอายุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้ รวมถึงทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ควรจะเป็นได้ซึ่งข้อมูลจากงานวิจัยนี้ยังคงสามารถนำไปพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในเชิงลึกได้และสามารถนำไปพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดให้เหมาะสมกับงานทางด้านพลังงานทดแทนต่อไป

วิเคราะห์ผลการจำลองและผลการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผลจากการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจ่ายโหลดขนาด 10A เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เนื่องจาก แบตเตอรี่ที่นำมาทำการทดสอบมีแรงดันภายในอยู่ที่ 12.94 V จึงทำการจำลองแบบ เมื่อนำผลที่ได้ไปเทียบกับผลการทดลองปรากฏว่ากระแสจากการทดสอบและกระแสจากแบบจำลองแตกต่างกันคือจากการทดสอบกระแสจะอยู่คงตัวที่ 10 A ถึงเวลา 6.50 นาที ถึงกระแสจะลดลง แต่แบบจำลองจะลดลงทุกๆประมาณ 1.5 ชั่วโมง จากชั่วโมงแรกถึง ชั่วโมงที่ 7 กระแสต่ำสุดที่ประมาณ

5.1.2 ผลจากการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประจุแรงดันที่ 14.4V ในเวลา 7 ชั่วโมงเมื่อนำผลที่ได้ไปเทียบกับผลการทดลอง ปรากฏว่าแรงดันจากการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แรงดันที่ได้อยู่ที่ 14.2725 V ใช้เวลา 0.6 ms. เช่นเดียวกัน เส้นกระแส จากแบบทดสอบและแบบจำลองเมื่อขนาดแรงดันถึงจุดที่กำหนดไว้เส้นกระแสจะมีขนาดเป็นศูนย์

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีห้องที่ทำการทดสอบที่มีมาตรฐาน สามารถปรับตั้งอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ได้ เป็นห้องปลอดเชื้อป้องกันไรฝุ่นได้ เพราะแบคทีเรีย และ จุลินทรีย์ มีผลทำให้คุณภาพของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด ลดน้อยลง

5.2.2 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่นำมาทดสอบ ควรมีการตรวจสอบ ให้เกิดความมั่นใจ ว่าเป็นแบตเตอรี่ ใหม่ และ ได้มาตรฐานจริงๆ ผลที่ได้จากการทดสอบจะได้ไม่เกิดการผิดพลาดมากนัก

5.2.3 เครื่องมือในการทดสอบ คือ สิ่งสำคัญ เนื่องจากเครื่องมือที่มีในการทดสอบ คือ เครื่อง (Machine for Test Battery, MTB) มีขีดจำกัดในการให้ข้อมูล ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่นำไปทดสอบ ควรมีการพัฒนา Hardware และ Software ให้สามารถรับทราบข้อมูลในเชิงลึกในทางด้านวิศวะมากขึ้น

5.2.4 รูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อ้างอิงมาจากแบบจำลองของเทวินิน ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ของอิลิเมนต์เป็นตัวแปร โดยเฉพาะเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ และเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีการพัฒนา Hardware และ Software ทำให้สามารถรับทราบข้อมูลในเชิงลึก สามารถทราบค่าอิมพีแดนซ์ของอิลิเมนต์ภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ได้

ที่กล่าวมาในข้อเสนอแนะทั้งหมดนี้ หากมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่เหมาะสมกับงานด้านพลังงานทดแทนแล้ว เราก็สามารถทราบค่าพารามิเตอร์ภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ซึ่งทำให้เราสามารถทำนายอายุของแบตเตอรี่ได้ เป็นทางเลือกที่เหมาะสม อีกทางเลือกหนึ่ง ที่ไม่ต้องสิ้นเปลืองเวลา สถานที่ และค่าใช้จ่าย ในการทดสอบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มา สามารถนำไปพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และสามารถเป็นแนวทางในการนำไปใช้พัฒนางานวิจัย ให้เหมาะสมกับงานที่นำไปใช้งานไม่มากนัก

## เอกสารอ้างอิง

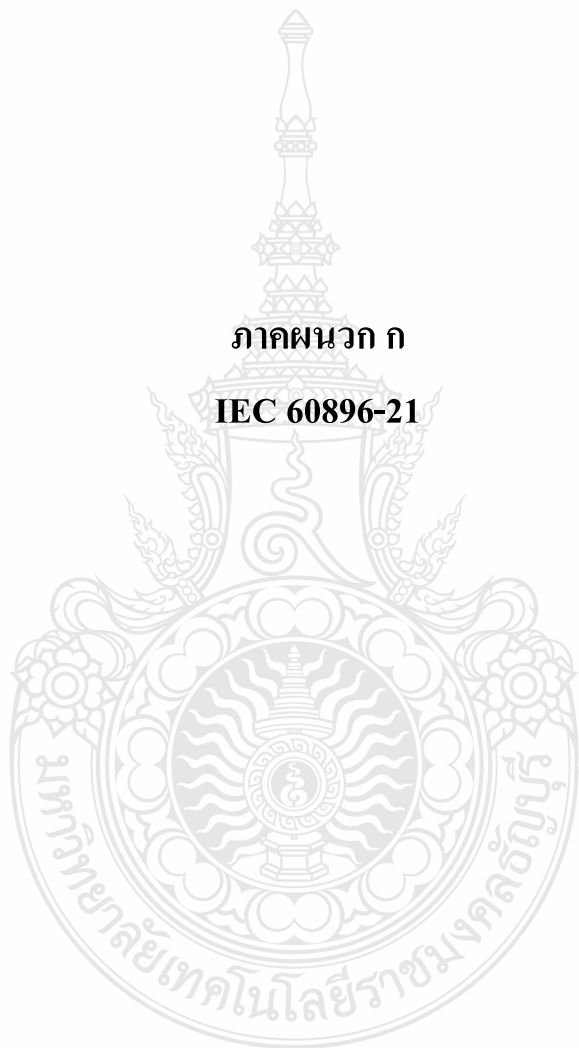
- [1] Salkind, T. Atwater, “ Dynamic characterization of Small lead – acid cells” Journal of power Sources 96 (2001) 151-159.
- [2] H. Blanke, O.Bohlen, S.Buller, “Impedance measurements on lead-acid batteries for state-of-charge, state-of-health and cranking capability prognosis in electric and hybrid electri vehicles” Journal of power Sources 144 (2005) 418-425
- [3] M.Durr, A.Crudon, “Dynamic model of a lead-acid battery for use in a domestic fule cell systam” Journal of power Sources 161(2006) 1400-1411.
- [4] Ziyad M. Salameh, Margaret A. Casacca, William A. Lynch “A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries” IEEE Transactions on Energy Conversion,vol.7,No1,March1992
- [5] Shane Duryea, Syed Islam, and William Lawrance, “A Batteries Management System for stand-alone Photovoltaic Energy System,” IEEE Industry Applications Magazine, pp.67-72, May/June, 2001.
- [6] Lucia Gauchia Babe, Javier Sanz Feito, “Nonlinear dynamic per-unit models for electrochemical energy systems. Application to a hardware-in-the-loop hybrid simulation”, Universidad carlos III de Madrid, Leganes, 2009
- [7] นิพนธ์ เกตุจ้อย, อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์, “เทคโนโลยีพลังงานลม,” **Naresuan University Journal**, 2004, 12(2):57-73
- [8] สมจิต ชินะใจ, การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมแกนตั้งโดยใช้กรอบเสริมกันบังคับลมเข้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- [9] จิระเดช สิงคลีประภา, การศึกษาความเป็นไปได้การเกิดกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลมโดยใช้พัดลมระบายอากาศติดหลังคา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2548.
- [10] Shalini Rodrigues , N. Munichandraiah , A.K. Shukla “A review of state-of-charge indication of batteries by means of a.c. impedance measurements” Journal of power Sources 87 (2000)
- [11] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, โครงการสาธิตระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน, กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยและพัฒนา, 2552.
- [12] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Online), 2553 Available: <http://www2.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm> (4 พฤษภาคม 2553).

- [13] สมจิต ชินะใจ, การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของกังหันลมแกนตั้งโดยใช้กรอบเสริมกัน  
บังคับลมเข้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- [14] Shane Duryea, Syed Islam, and William Lawrance, “A Batteries Management System for  
stand-alone Photovoltaic Energy System,” **IEEE Industry Applications Magazine**, pp.67-72,  
May/June, 2001.
- [15] Lalit P. Mandal and Robert W. Cox “A Transient-Based Approach to Estimation of the  
Electrical Parameters of a Lead-Acid Battery Model” IEEE 978-1-4244-5287-3/10/2010
- [16] Min Chen and Gabriel A. “Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime  
and  $I - V$  Performance” IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.21, No.2, JUNE 2006
- [17] Manwell, J. F. and McGwan, J.G., 1994, **A combined probabilistic / time series model for  
wind diesel systems simulation**, Solar Energy, Vol. 53, No. 6, pp. 481-490.
- [18] บุญยัง ปลั่งกลาง, เอกสารประกอบการสอนรายวิชา **Energy Technology**. ภาควิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- [19] บริษัทลีโอนิกส์, **ชนิดของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์** (Online), 2009.  
Available: <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php> (4 เมษายน 2553).
- [20] Henrik Bindner, Tom Cronin, Per Lundsager, James F. Manwell, Utama Abdulwahid, Ian  
Baring-Gould “Lifetime Modelling of Lead Acid Batteries” ENK6-CT-2001-80576
- [21] G.J. Markle, “Battery Impedance Monitoring...An Added Value”, AVO International Tech.  
Conf., Dallas Tx, Aug 13-16, 1995.
- [22] E. Davis and D. Funk, Edan Engineering Corp., “New Industry Guidelines for the Maintenance  
of Stationary Valve-Regulated Lead Acid Batteries”, AVO International Tech. Conf., Dallas  
Tx, July 14-17., 1996.
- [23] ธนวัฒน์ คุรุทใจกล้า, การศึกษา ทดสอบ และวิเคราะห์การใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด, วิทยานิพนธ์  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,  
2553.



ภาคผนวก ก

IEC 60896-21



## มาตรฐานการทดสอบ

### 1) มาตรฐานในการทดสอบ

ในการทดสอบ คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการตรวจวัดทดสอบตามมาตรฐาน IEC 60896-21 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION) : Valve regulated type Methods of test ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในการทดสอบแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ชนิดVRLA

### 2) สภาพะในการทดสอบ (ตามมาตรฐาน IEC 60896-21)

มีการทดสอบ 21 หัวข้อ แบ่งตามลักษณะดังนี้

ตารางที่ ก.1 ลักษณะการทำงานที่ปลอดภัย (Safe operation characteristics)

ข้อที่	การทดสอบ	วัตถุประสงค์
6.1	การปล่อยแก๊ส	เพื่อตรวจสอบปริมาณการคลายแก๊ส
6.2	ความทนทานที่กระแสสูง	เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของกระแสเกินพิกัด
6.3	กระแสลัดวงจรและไฟฟ้ากระแสตรงภายในตัวต้านทาน	เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการใช้หาขนาดของฟิวส์ในวงจรภายนอก
6.4	การป้องกันการเผาไหม้ภายในที่เกิดจากประกายไฟของแหล่งจ่ายไฟภายนอก	เพื่อประเมินความเหมาะสมของคุณสมบัติการป้องกัน
6.5	การป้องกันการเกิดลัดวงจรลงกราวด์	เพื่อประเมินความเหมาะสมของคุณสมบัติการออกแบบ
6.6	เนื้อหาและความทนทานของเครื่องหมายที่กำหนด	เพื่อประเมินคุณภาพของเครื่องหมายและเนื้อหาของข้อมูล
6.7	เอกลักษณ์ของวัสดุ	เพื่อรับรองเครื่องหมายของวัสดุ
6.8	การทำงานของวาล์ว	เพื่อความถูกต้องในการเปิดของวาล์วที่ปลอดภัย
6.9	ระดับการติดไฟของวัสดุ	เพื่อตรวจสอบระดับความอันตรายจากไฟที่มีผลต่อวัสดุของแบตเตอรี่
6.10	ประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อของเซลล์	เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิที่ฟิวส์สูงสุดของการเชื่อมต่อในการ Discharge ที่อัตราสูงๆ

ตารางที่ ก.2 ลักษณะประสิทธิภาพ (Performance characteristics)

ข้อที่	การทดสอบ	วัตถุประสงค์
6.11	การคายประจุ	เพื่อตรวจสอบความจุที่มีอยู่ตามอัตราการ Discharge หรือเวลาที่ใช้ในการ Discharge
6.12	การ Charge ระหว่างการเก็บแบตเตอรี่	เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเก็บแบตเตอรี่
6.13	การดูแลในการทำการ Discharge รายวัน	เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของวงจร ภายใต้เงื่อนไขการ Discharge
6.14	พฤติกรรมในการ Recharge	เพื่อตรวจสอบการกลับสู่สภาพเดิมของความจุหรือปล่อยแบตเตอรี่ทิ้งไว้เฉยๆ หลังจากหยุดการทำงาน

ตารางที่ ก.3 ลักษณะความทนทาน (Durability characteristics)

ข้อที่	การทดสอบ	วัตถุประสงค์
6.15	การดูแลในการปฏิบัติงานที่มีอุณหภูมิ 40 °C	เพื่อตรวจสอบการปฏิบัติงาน ณ ที่มีอุณหภูมิสูง
6.16	ผลกระทบจากความเครียดของอุณหภูมิ ณ ที่ อุณหภูมิ 55 °C หรือ 60 °C	เพื่อตรวจสอบอิทธิพลความเครียดของอุณหภูมิในแบตเตอรี่
6.17	ความไม่เหมาะสมในการ Discharge ที่ กระแสเกิน	เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมที่คาดหวังเมื่อมีการ Discharge ที่ความจุมาก
6.18	การตอบสนองในการทำงานที่มีความ ร้อน	เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของเวลามีผลมาจากเงื่อนไขการเพิ่มของกระแสไฟและอุณหภูมิ
6.19	การตอบสนองเมื่อมีอุณหภูมิต่ำ	เพื่อตรวจสอบการตอบสนองต่อความเสียหายที่เกิดจากการแข็งตัวของสารอิเล็กโทรไลต์
6.20	ความสำคัญของเสถียรภาพที่ความดันสูง และอุณหภูมิสูง	เพื่อตรวจสอบแนวโน้มของแบตเตอรี่ที่ผิดปกติที่เกิดจากความดันภายในและอุณหภูมิสูง
6.21	เสถียรภาพในการต่อต้านทางกลใน ระหว่างการติดตั้ง	เพื่อตรวจสอบแนวโน้มของแบตเตอรี่ที่อาจเกิดการแตกร้าวหรือรอยร้าวให้ลดลง

### 3) การทดสอบ

การทดสอบครั้งนี้จะปฏิบัติตามหัวข้อที่ 6.11 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- Discharge Capacity (การคายประจุ)

1.1 การทดสอบควรจะทำ การทดสอบ 5 ครั้ง ต่อ 6 cells หรือ 5 ครั้ง ต่อ 6 monobloc ของแบตเตอรี่

1.2 การทดสอบแบตเตอรี่ควรเลือกเตรียมให้สอดคล้องกับในข้อที่ 5.2

1.3 การทดสอบค่าความจริง ( $C_a$ ), ก่อนที่นำไปทำการ Discharge จะต้องทำการชาร์จให้เต็มทั้ง 6 units ค่าความจริงจะพิจารณาจากอัตราของค่าความจริง ( $C_a$ ) ของบริษัทผู้ผลิต โดยมีค่าแรงดันสุดท้ายของการ Discharge ดังนี้

$C_{10}$  กำหนดที่ 10 ชั่วโมง ด้วยกระแส ด้วยกระแส  $I_{10}$

แล้วจะได้  $U_{final} = 1.80 V_{PC}$  ( $\lambda = 0.006$ )

$C_8$  กำหนดที่ 8 ชั่วโมง ด้วยกระแส ด้วยกระแส  $I_8$

แล้วจะได้  $U_{final} = 1.75 V_{PC}$  ( $\lambda = 0.006$ )

$C_3$  กำหนดที่ 3 ชั่วโมง ด้วยกระแส ด้วยกระแส  $I_3$

แล้วจะได้  $U_{final} = 1.70 V_{PC}$  ( $\lambda = 0.006$ )

$C$  กำหนดที่ 1 ชั่วโมง ด้วยกระแส ด้วยกระแส  $I_1$

แล้วจะได้  $U_{final} = 1.60 V_{PC}$  ( $\lambda = 0.01$ )

$C_{0.25}$  กำหนดที่ 0.25 ชั่วโมง ด้วยกระแส ด้วยกระแส  $I_{0.25}$

แล้วจะได้  $U_{final} = 1.60 V_{PC}$  ( $\lambda = 0.01$ )

(เมื่อ  $\lambda$  คือปัจจัยตัวประกอบอุณหภูมิของอัตราที่เกี่ยวข้องกับความจุ)

1.4 การทดสอบจะต้องมีการ Charge แบตเตอรี่ให้เต็มและต้องอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิระหว่าง  $18^\circ\text{C}$  และ  $27^\circ\text{C}$  ก่อนที่นำไปทำการ Discharge

1.5 การ Discharge จะเริ่มหลังจากการ Charge เสร็จแล้ว ภายใน 1 ชั่วโมง จนถึง 24 ชั่วโมง และมีกระแสที่ใช้ในการ Discharge ( $I_{dis}$ ) คงที่คลาดเคลื่อนไม่เกิน 1% ตลอดระยะเวลาของการ Discharge

1.6 แรงดันที่ขั้วของแต่ละ unit จะต้องถูกบันทึกค่าโดยอัตโนมัติหรือถ้าเป็นการอ่านค่าด้วยตนเองจากโวลต์มิเตอร์ควนจะอ่านค่าที่ 25%, 50% และ 80% ของเวลาที่ได้จากการคำนวณในสมการ

$$t = C_{rt} / I_{rt} \text{ (h)}$$

และเป็นเวลาที่มีความเหมาะสม ซึ่งอนุญาตให้ใช้ในการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสุดท้าย ( $U_{\text{final}}$ ) ของการ Discharge

1.7 ในการกำหนดของการทดสอบของค่าความจริง ( $C_a$ ) ขณะที่มีการ Discharge จะต้องบันทึกข้อมูลเก็บไว้ โดย:

$$t_{\text{disch}} = \text{เวลาที่ใช้ในการ Discharge ของแบตเตอรี่}$$

$$n = \text{จำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่}$$

แรงดันสุดท้ายก็จะได้:  $U_{\text{final}} = n \times U_{\text{final}} \text{ (V)}$

1.8 ข้อมูลค่าความจุทั้งหมด ปกติจะเก็บค่าความจุที่อุณหภูมิ 20 °C และ 25 °C ที่ใช้ในการทดสอบการ Discharge จำนวน 5 ครั้ง

1.9 ในการกำหนดของการทดสอบของค่าความจริง ( $C_a$ ) ทั้งที่กำหนดไว้ล่วงหน้าและกำหนดไว้เป็นประจำ การ Discharge จะถูกยกเลิก ถ้าไม่ได้ระบุอย่างอื่นไว้ เมื่อเวลาที่ใช้ในการ Discharge ( $t_{\text{disch}}$ ) ผ่านไปของแต่ละ unit จะต้องบันทึกข้อมูลจากจำนวน  $n$  ของเซลล์แบตเตอรี่ และแรงดันสุดท้ายของการ Discharge ในแต่ละเซลล์ แล้วก็จะได้แรงดันสุดท้าย ( $U_{\text{final}}$ )

$$U_{\text{final}} = n \times U_{\text{final}} \text{ (V)}$$

1.10 การยอมรับในการทดสอบการ Discharge ต้องมีค่าเวลาการคายประจุเพียงค่าเดียว ควรจะการสิ้นสุดลงในตามค่าเวลาที่ใช้ในการทดสอบการ Discharge ( $t_{\text{disch}}$ ) ตามที่กำหนด แล้วบันทึกค่า

$$t_{\text{disch}} = \text{เวลาที่ใช้ในการ Discharge ของแบตเตอรี่}$$

$$n = \text{จำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่}$$

แรงดันสุดท้ายก็จะได้:

$$U_{\text{final}} = n \times U_{\text{final}} \text{ (V)}$$

หรือ

$$t_{\text{disch}} = \text{เวลาที่ใช้ เมื่อใน unit แรกในชุดแรงดันของ}$$

$$U = (U_{\text{final}} - \sqrt{n} \times 0.2) \text{ in volts}$$

ค่าที่ปรากฏในตาราง ( $\sqrt{n} \times 0.2$ ) หรือที่มีการตกตกลงกันระหว่างผู้ผลิต แบตเตอรี่กับผู้ใช้งานแบตเตอรี่ แรงดันในแต่ละ unit สามารถนำไปประเมินค่าความเปลี่ยนแปลงใน ชุคนั้นได้

ตารางที่ ก.4 ปัจจัยของการยกเลิกกำหนดแรงดันสุดท้ายที่เป็นที่ยอมรับในการทดสอบ

Unit	Voltage(V)	$\sqrt{n} \times 0.2$
2		$1.000 \times 0.20V = 0.20$
4		$1.411 \times 0.20V = 0.20$
6		$1.732 \times 0.20V = 0.20$
8		$2.000 \times 0.20V = 0.20$
10		$2.236 \times 0.20V = 0.20$
12		$2.449 \times 0.20V = 0.20$
16		$2.828 \times 0.20V = 0.20$
48		$4.898 \times 0.20V = 0.20$

1.11 การวัดค่าความจุ  $C_a$  (Ah) ที่อุณหภูมิเริ่มต้น  $\theta$  จะได้มาจากการคำนวณ จากกระแส ที่ใช้ในการ Discharge (A) ของผลิตภัณฑ์ และเวลาที่ใช้ในการ Discharge ( $t_{disch}$ )

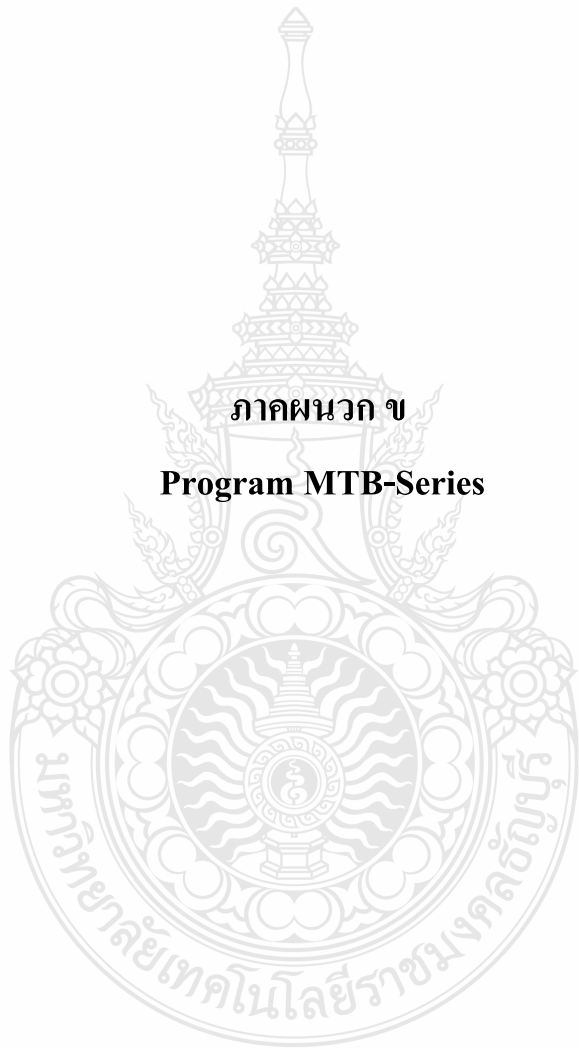
1.12 ถ้ามีอุณหภูมิเริ่มต้น  $\theta$  ที่ต่างจากอุณหภูมิอ้างอิงที่  $20^\circ\text{C}$  หรือ  $25^\circ\text{C}$  ควรจะมีการ แก้ไขการวัดค่าความจุ โดยใช้สมการต่อไปนี้ เพื่อหาค่าความจุจริง ( $C_a$ ) โดยเลือกที่อุณหภูมิอ้างอิงดังนี้

$$C_{a,20^\circ\text{C}} = C / [1 + \lambda (\theta - 20)] \text{ in Ah} \quad \text{or} \quad C_{a,25^\circ\text{C}} = C / [1 + \lambda (\theta - 25)] \text{ in Ah} \quad (2.10)$$

ค่าสัมประสิทธิ์  $\lambda$  ควรจะนำมาจากในข้อ 1.3 และมีความสอดคล้องกับ ความสัมพันธ์ของอัตราการ Discharge


ภาคผนวก ข

**Program MTB-Series**



## โปรแกรม MTB - Series

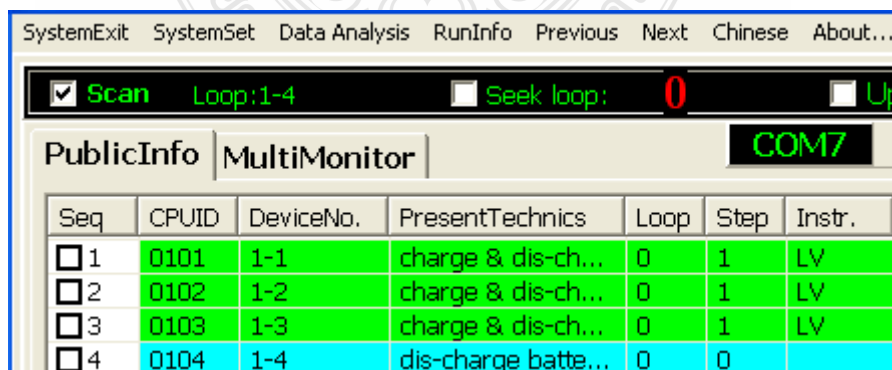
วิธีการตั้งค่า ของ โปรแกรม MTB-series ในการทดสอบ

1. เริ่มต้น : คลิกที่โปรแกรม MTB-series ที่  บนหน้าจอ desktop



รูปที่ ข.1 หน้าต่างของโปรแกรม MTB-series

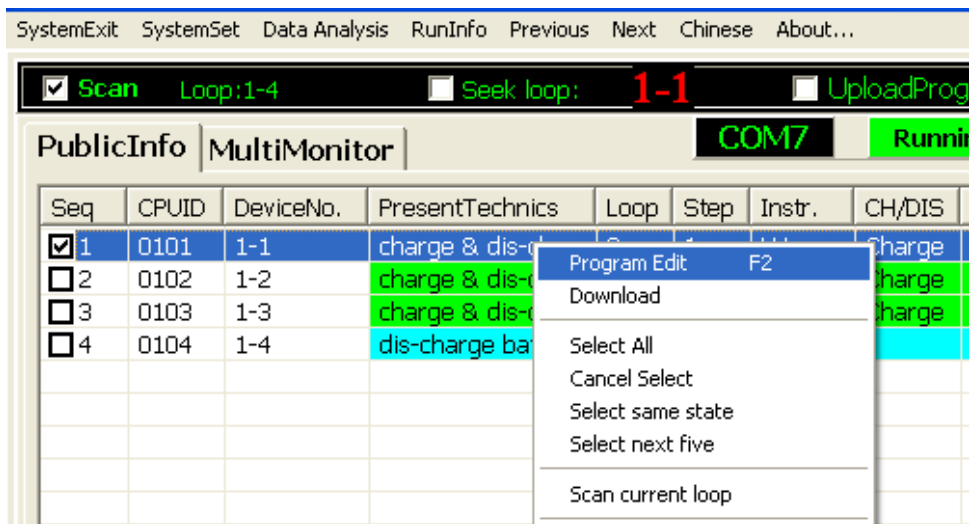
2. การตั้งค่า : ให้กดเลือกที่ “Public Info” เพื่อเข้าหน้าของการตั้งค่าของการทำงาน
  - a. เลือกทำเครื่องหมายหน้า “Scan” เพื่อการสืบค้นข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยข้อมูลจะทำการ Uploads โดยอัตโนมัติ



รูปที่ ข.2 การสืบค้นข้อมูล



- b. เลือกช่องที่ต้องการใช้งาน โดยคลิกซ้าย และคลิกขวาเพื่อเข้าไปที่เมนูการทำงาน
- c. เลือกคลิกที่ Program Edit จากเมนูการทำงาน เพื่อเข้าไปแก้ไขและเซฟข้อมูลที่ตั้งค่าการทำงาน

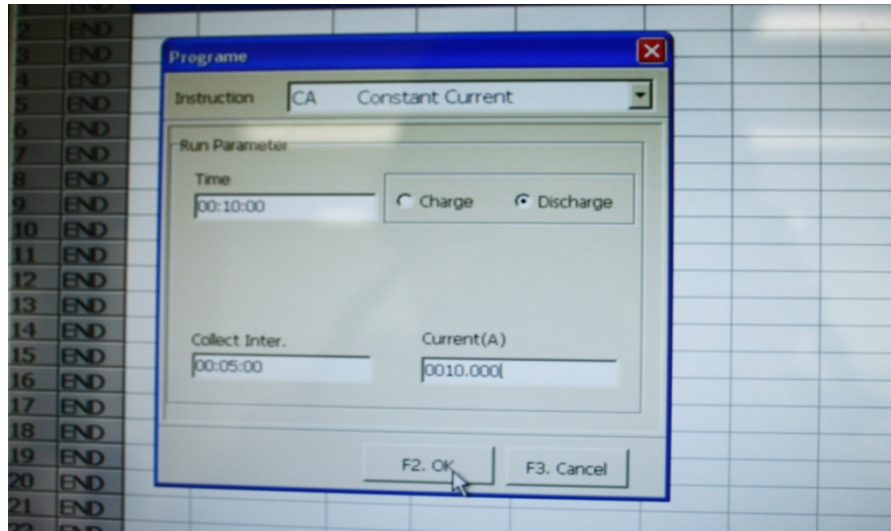


รูปที่ ข.3 เมนูการทำงาน

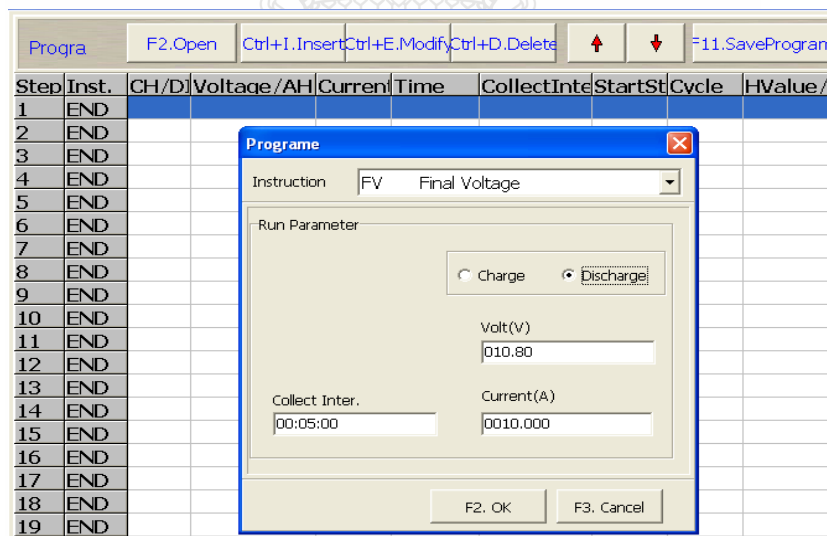


รูปที่ ข.4 หน้าต่างเมนู Program Edit

d. เลือก Double click ในช่อง Instruction แล้วเซตค่าที่ต้องการ แล้วกด OK.



รูปที่ ข.5 เมนูคำสั่ง CA

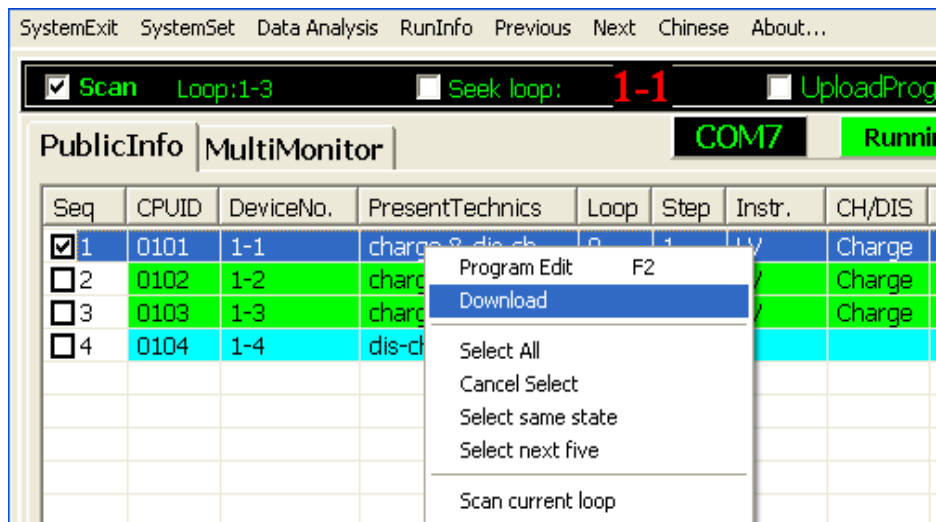


รูปที่ ข.6 เมนูคำสั่ง FV

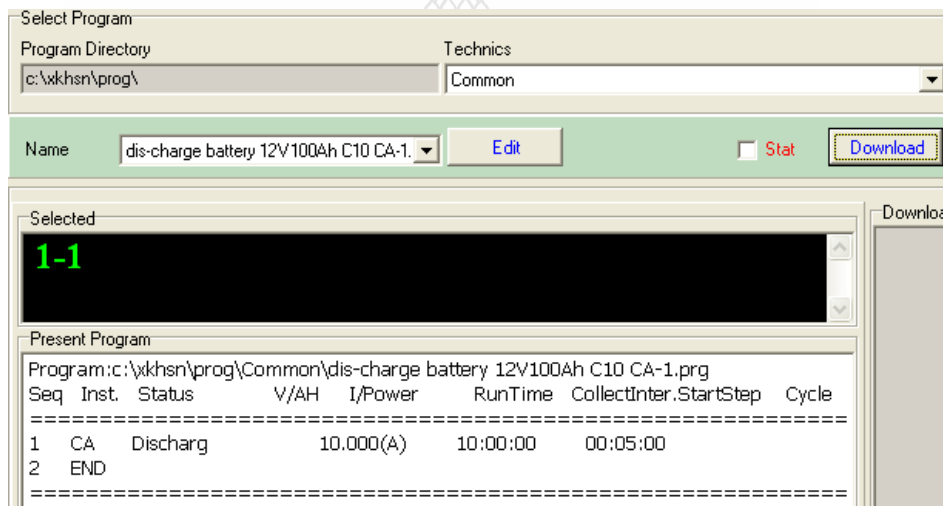
e. Save Program; คลิกที่ปุ่ม Save program เพื่อ save ข้อมูลที่ตั้งค่า

f. Download Program

- เลือกช่องที่ต้องการทำงานแล้วคลิกขวาเพื่อเลือกเมนู “Download Program”
- เลือกข้อมูลที่เราบันทึกไว้ขึ้นมา แล้วทำการ Download ข้อมูลลงช่องที่เราต้องการทำงาน

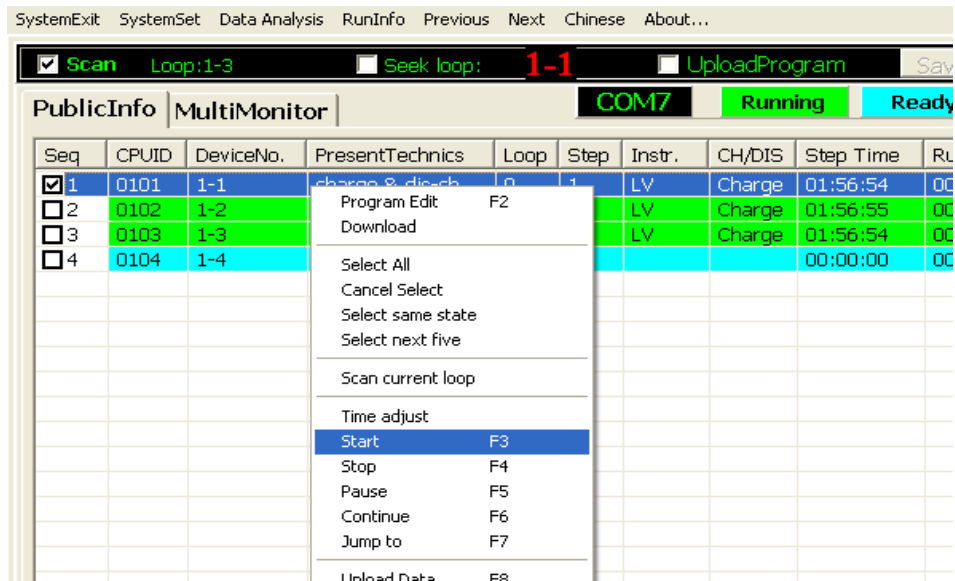


รูปที่ ข.7 เมนูการทำงาน



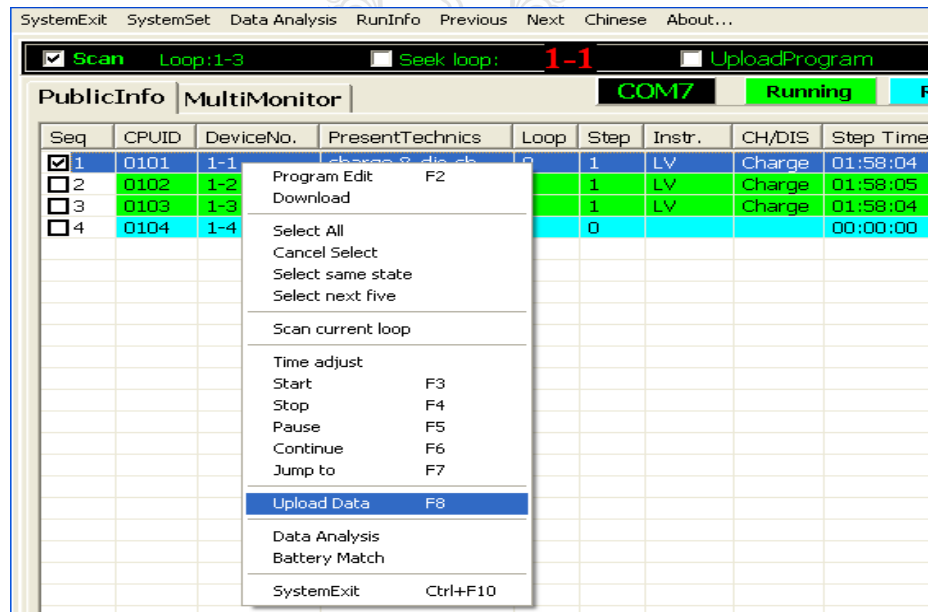
รูปที่ ข.8 หน้าต่างเมนูการ Download Program

3. เริ่มการทำงาน : โดยคลิกขวาในช่องที่เราได้ทำการ Download ข้อมูลไว้ แล้วคลิกขวา เพื่อเพื่อเลือกเมนู “ Start ”



รูปที่ ข.9 การทำการ Start

4. เมื่อทำงานเสร็จ แล้วก็ทำการ Upload ข้อมูลการทำงาน



รูปที่ ข.10 การ Upload ข้อมูล



# การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ ครั้งที่ 3 “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย”

3<sup>rd</sup> Thailand Renewable Energy for Community Configuration Conference

15-17 ธันวาคม 2553

กลุ่มของสาขาบทความ

กลุ่มที่ 1 เทคโนโลยีพลังงานชุมชน

กลุ่มที่ 2 การจัดการพลังงานชุมชน

กลุ่มที่ 3 ธุรกิจพลังงานชุมชน

กลุ่มที่ 4 กลยุทธ์การพัฒนาพลังงานชุมชน

ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี





**ภาคผนวก ก**  
**ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่**



# บทคัดย่อ

การประชุมวิชาการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3

“การพัฒนาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคเศรษฐกิจสร้างสรรค์”



24 - 26 พฤศจิกายน 2553  
ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ

3<sup>rd</sup> RMUTCON



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายนพรุจ ฤทธานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	26 มีนาคม 2517
ที่อยู่	2345/5 ม.ชุมชนเทพประทานคลองเตย ถนนพระรามที่4 แขวง คลองเตย เขตคลองเตย จังหวัดกรุงเทพฯ รหัสไปรษณีย์10110
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ปี 2545
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2537 - 2540	ทำงานที่บริษัทเครื่องอัญมณีตรางู : ตำแหน่งช่างเทคนิค ลักษณะงาน งานบริการซ่อมบำรุง และ ต่อเติม งานระบบภายในพื้นที่ หรือ ร้านค้า ที่ทางบริษัทได้เช่าซื้อภายในห้างต่างๆกว่า 30 จุด ทั่ว กทม. และ ต่างจังหวัด ตำแหน่งสุดท้ายหัวหน้าช่างเทคนิค
พ.ศ. 2540 - 2544	ทำงานบริษัท NCC Consultants Co.,Ltd. (ศูนย์ประชุมสิริกิตต์) ตำแหน่งช่างเทคนิค ดูแลระบบไฟฟ้าและเครื่องกล อาคารสูง ประกอบด้วย ตึกตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย กรมสรรพากร พหลโยธินซอย 7 (ซอยอารีย์)
พ.ศ. 2546 - 2549	ทำงาน บริษัท ผู้รับเหมา ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า ดูแล และ ประสานงานกับนายจ้าง ทั่วไป
พ.ศ. 2550 - 2553	ทำงาน บริษัท Maa Consultants Co.,Ltd. ดูแล Site Central Chonburi ตำแหน่งผู้ช่วยวิศวกรงานระบบ ตำแหน่งสุดท้ายวิศวกรไฟฟ้า ดูแล BTS 5.25km Sukhumvit Line Extension Project
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์	
	นพรุจ ฤทธานนท์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, บุญยัง ปลั่งกลาง, วารุณี อริยวิริยะนันท์ แบบจำลองแบบเตอริตะกั้ว-กรดที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทน, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่3 ณ.ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ วันที่24-26 พฤศจิกายน 2553
	นพรุจ ฤทธานนท์, กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, บุญยัง ปลั่งกลาง, วารุณี อริยวิริยะนันท์, การวิเคราะห์วงจรสมมูลของแบบเตอริตะกั้ว-กรดสำหรับประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน, การ ประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3 วันที่ 15 - 17 ธันวาคม 2553 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

นพรุจ ฤทธานนท์, กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, บุญยัง ปลั่งกลาง, วารุณี อริยวิริยะนันท์,  
การวิเคราะห์ผลกระทบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การประชุมเครือข่าย  
วิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 วันที่ 9-11 มีนาคม พ.ศ. 2554 ณ  
อาคารวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ เขตเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ  
ศูนย์นนทบุรี

