

การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

THE STUDY OF ANALYTICAL METHOD OF ELECTRICAL
EQUIVALENT CIRCUIT OF LEAD ACID BATTERY



นายเจษฎา สุขสัมพันธ์

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

THE STUDY OF ANALYTICAL METHOD OF ELECTRICAL
EQUIVALENT CIRCUIT OF LEAD ACID BATTERY



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คณะวิทยาศาสตร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

**THE STUDY OF ANALYTICAL METHOD OF ELECTRICAL
EQUIVALENT CIRCUIT OF LEAD ACID BATTERY**



Mr.Jessada Suksumrit

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS**

FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆที่ **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** ใช้

ACADEMIC YEAR 2012

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

THE STUDY OF ANALYTICAL METHOD OF ELECTRICAL
EQUIVALENT CIRCUIT OF LEAD ACID BATTERY

ชื่อนักศึกษา นายเจษฎา สุขสัมฤทธิ์

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.วิจิต สิริโชติ	
ดร.วรการ นียากร	
อ.ธนภรณ์ สีสาววัฒนานนท์	
อ.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด
ชื่อนักศึกษา	นายเจษฎา สุขสัมฤทธิ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาแนวทางวิเคราะห์สมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด 12V 35Ah โดยทำการศึกษาการคายประจุและประจุแบตเตอรี่ที่กระแสคงที่ ที่ 0.1C(3.5A) และ 0.2C(7A) เป็นระยะเวลา 10 และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ และทำการวิเคราะห์หาตัวแปรของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด นั่นคือ ค่าความต้านทานภายใน (R_1) ค่าต้านทานภายในที่ตอบสนองต่อค่าตัวเก็บประจุ (R_2) และค่าตัวเก็บประจุ (C) จากผลการทดสอบพบว่าค่าตัวแปรของวงจรสมมูลที่ทำการทดลองคายประจุที่กระแส 0.1C จะได้ $R_1 = 0.1080 \Omega$, $R_2 = 0.0282 \Omega$ และ $C = 6382 \text{ F}$ ที่กระแส 0.2C จะได้ $R_1 = 0.0662 \Omega$, $R_2 = 0.0018 \Omega$ และ $C = 16530 \text{ F}$ เมื่อมาวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ทำการทดลองที่ 0.1C และ 0.2C จะได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ 74.6874% และ 70.4954% ตามลำดับ

คำสำคัญ : วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด, แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	THE STUDY OF ANALYTICAL METHOD OF ELECTRICAL EQUIVALENT CIRCUIT OF LEAD ACID BATTERY
Students	Mr. Jessada Suksumrit
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Applied Physics
Academic Year	2012
Advisor	Mr. Kajpanya Suwansukho

ABSTRACT

This special project was designed to study the electrical equivalent circuit of 12V 35Ah of lead-acid battery. This project was discharged and charged the battery at constant current rate of 0.1C(3.5A) and 0.2C(7A) with 10 and 5 hours respectively. The internal resistance (R_1), the internal resistance (R_2) correspond to the capacitance and a capacitance (C) were determined. The result shown that the parameters of the electrical equivalent circuit which discharged at 0.1C have $R_1 = 0.1080 \Omega$, $R_2 = 0.0282 \Omega$ and $C = 6382 \text{ F}$ and ,we have $R_1 = 0.0662 \Omega$, $R_2 = 0.0018 \Omega$ and $C = 16530 \text{ F}$ for 0.2C. Finally, the parameters of the battery at the rate of 0.1C and 0.2C are 74.6874% and 70.4954% respectively.

Keywords : Equivalent circuit of battery, Lead-acid battery, State of charge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์กาญจปัญญา สุวรรณสุขโข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ซึ่งให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ ตลอดจนข้อเสนอแนะและวิธีแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อให้ผู้จัดทำมีความรู้ความเข้าใจและแนวทางนำไปประยุกต์ใช้สำหรับจัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้ แล้วยังได้สอนและให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวคิดการใช้ชีวิตในสังคม โดยเฉพาะการให้ความช่วยเหลือสังคมในด้านต่างๆ เพื่อที่ผู้จัดทำจะได้จบออกไปเป็นคนดีและเป็นกำลังหลักในการพัฒนาของสังคม ผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำช่วยเหลือผู้จัดทำด้วยดีตลอดมา

และขอขอบคุณเพื่อนนิสิตนักศึกษานักเล่าปริญญาสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจให้กันและกัน และยังคงช่วยเหลือเกื้อกูลกันในหลายๆเรื่อง ทั้งยังฝ่าฟันกับปัญหามาพร้อมๆกัน จนทำให้ผู้จัดทำสามารถมาอยู่ ณ จุดนี้ได้

สุดท้ายนี้ ขอน้อมระลึกถึงพระคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัวที่อบรมเลี้ยงดู คอยให้กำลังใจเมื่อยามท้อและเหนื่อย และยังคงสนับสนุนการศึกษาจนสามารถทำให้ผู้จัดทำมาวันนี้ได้ ขอขอบพระคุณยิ่งนัก

นายเจษฎา สุขสัมฤทธิ์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของโครงการพิเศษและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่	4
2.2 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	7
2.2.1 แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI)	7
2.2.2 แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery)	7
2.2.3 แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery)	7
2.3 ชนิดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	8
2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	8
2.3.2 แบตเตอรี่ ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)	10
2.3.3 แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม	12
2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	13
2.5 คุณสมบัติของการคายประจุ	15
2.5.1 อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	15
2.5.2 การวัดพฤติกรรมการคายประจุ	16
2.5.3 ค่าความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่	17
2.5.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้าที่ชาร์จเต็ม	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่และอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.5 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความจุไฟฟ้า	18
2.5.6 ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	18
2.5.7 Equivalent discharge circuit	19
2.5.8 ผลของแรงดันไฟฟ้าขณะ No-load	20
2.5.9 ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน	20
2.5.10 ค่าความต้านทานภายในฟังก์ชันของ state of charge	20
2.5.11 ค่าความต้านทานภายในกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	20
2.5.12 Discharge Limits	21
2.6 การชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่	22
2.6.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ขณะที่มีการประจุ	22
2.6.2 การประจุที่เหมาะสม	24
2.6.3 ประเภทของการชาร์จ	25
2.7 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ	27
2.7.1 อุณหภูมิ (Ambient Temperature)	28
2.7.2 แรงดัน (Float Charge Voltage)	29
2.7.3 กระแส (Float & Charging Current)	30
2.7.4 จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 การสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่	32
3.1.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	32
3.1.2 การเพิ่มแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล	33
3.2 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	34
3.2.1 อุปกรณ์	34
3.2.2 อุปกรณ์และสมมติฐานสำหรับการคายประจุ	35
3.2.3 อุปกรณ์และสมมติฐานสำหรับการประจุ	36
3.2.4 ขั้นตอนการทดลอง	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 การทดสอบหาค่าพลังงานของแบตเตอรี่	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่มีเหตุผลเป็นอย่างอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การหา Equivalent circuit ภายในแบตเตอรี่	44
4.2.1 การหาค่าความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่	45
4.2.2 การหาค่าความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่	49
4.2.3 การหาค่าตัวเก็บประจุภายใน C_b ของแบตเตอรี่	52
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลองภายในแบตเตอรี่ขนาด 35 Ah	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารอ้างอิง	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ	13
ตารางที่ 4.1 แสดงผลเฉลี่ยค่าความต้านทานภายใน R_1	49
ตารางที่ 4.2 แสดงผลเฉลี่ยค่าความต้านทานภายใน R_2	53
ตารางที่ 4.3 แสดงผลเฉลี่ยของค่าตัวเก็บประจุภายใน C_b	59
ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าภายในวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด	5
รูปที่ 2.2 โครงแผ่นธาตุ	6
รูปที่ 2.3 แผ่นกั้น (Separator)	6
รูปที่ 2.4 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	8
รูปที่ 2.5 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA)	10
รูปที่ 2.6 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส	11
รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA	11
รูปที่ 2.8 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery)	12
รูปที่ 2.9 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM)	12
รูปที่ 2.10 ปฏิกริยาขณะคายประจุ และประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	13
รูปที่ 2.11 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	14
รูปที่ 2.12 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	15
รูปที่ 2.13 กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	15
รูปที่ 2.14 nominal discharge performance	16
รูปที่ 2.15 typical discharge time	18
รูปที่ 2.16 Typical discharge capacity as a function of cell temperature	18
รูปที่ 2.17 Typical cell capacity during its life	19
รูปที่ 2.18 Equivalent circuit diagram of cell	19
รูปที่ 2.19 Effective No-load cell voltage versus state of charge	19
รูปที่ 2.20 Effective internal resistance	20
รูปที่ 2.21 Effect internal resistance versus cell life	21
รูปที่ 2.22 Recommended average discharge cut-off voltage/cell	21
รูปที่ 2.23 Battery discharge characteristics	22
รูปที่ 2.24 Typical relationship of cell voltage pressure and temperature during constant current charge	23
รูปที่ 2.25 Typical relationship of cell voltage pressure and temperature during constant voltage charge	24
รูปที่ 2.26 Effect of state of charge upon charge acceptance	25

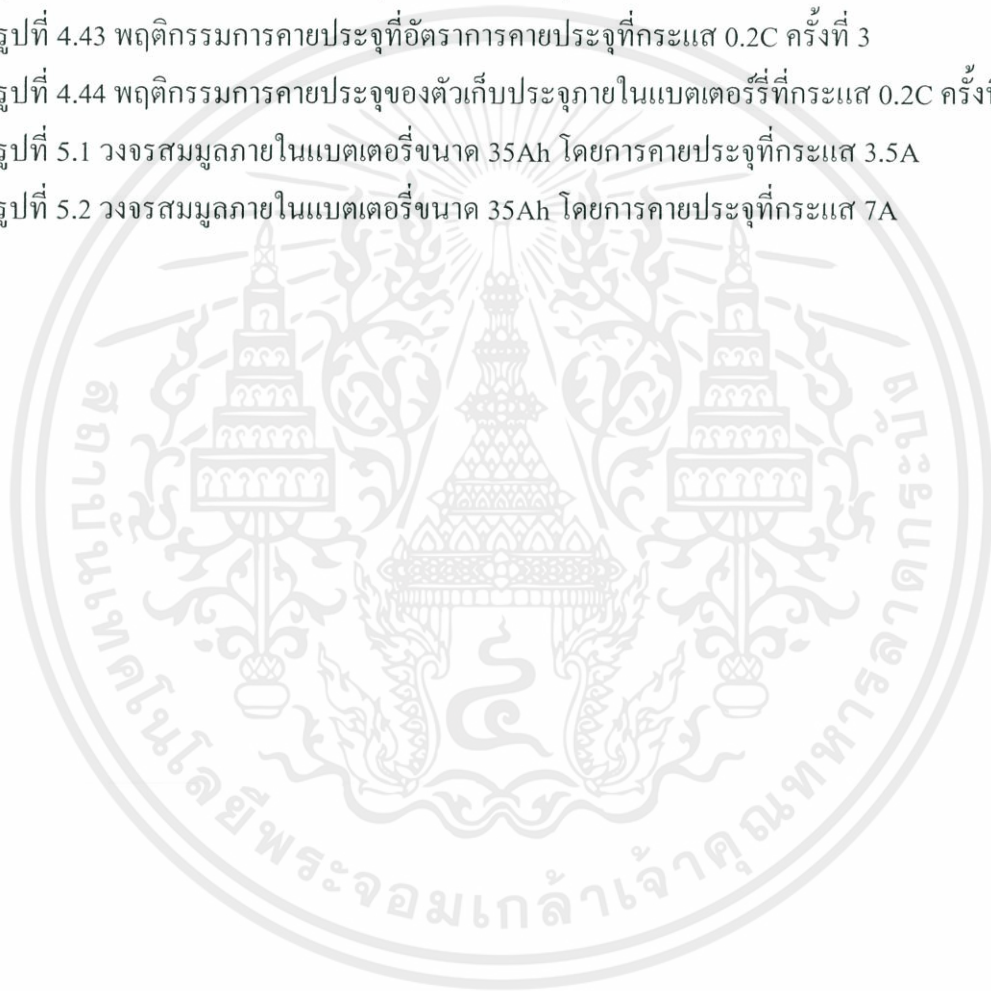
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น กรุณาแจ้งขอคืนเอกสารและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.27 Charge acceptance at various temperature	25
รูปที่ 2.28 Acceptance at various charge rate	25
รูปที่ 2.29 Typical charge of stabilized cell	27
รูปที่ 2.30 แผ่นธาตุในน้ำกรดซัลฟูริก	29
รูปที่ 2.31 ผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	29
รูปที่ 2.32 ผลของแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	30
รูปที่ 2.33 แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูก	30
รูปที่ 2.34 ช่วงเกิด Gassing และ Discharge	31
รูปที่ 2.35 กราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่	32
รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	33
รูปที่ 3.2 ค่าคงที่ R_1 และ R_2 ของวงจรสมมูล	34
รูปที่ 3.3 แสดงวงจร RC	34
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่า V_c กับ t การเก็บประจุของวงจร RC	35
รูปที่ 3.5 วงจรสำหรับการคายประจุแบตเตอรี่	38
รูปที่ 3.6 หน้าต่างคำสั่งโปรแกรม LABview สำหรับการบันทึกผลการทดลอง	38
รูปที่ 3.7 ภาพการทดลองตอนทำการคายประจุแบตเตอรี่	38
รูปที่ 3.8 วงจรสำหรับประจุแบตเตอรี่	39
รูปที่ 3.9 ภาพการทดลองตอนทำการประจุแบตเตอรี่	39
รูปที่ 4.1 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C	40
รูปที่ 4.2 กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C	41
รูปที่ 4.3 พลังงานของแบตเตอรี่ขณะประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C	41
รูปที่ 4.4 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการคายประจุแบตเตอรี่กระแส 0.1C	41
รูปที่ 4.5 กระแสที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C	41
รูปที่ 4.6 พลังงานของแบตเตอรี่ขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C	42
รูปที่ 4.7 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C	43
รูปที่ 4.8 กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C	43
รูปที่ 4.9 พลังงานของแบตเตอรี่ขณะประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C	43
รูปที่ 4.10 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C	44

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.39 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 1	56
รูปที่ 4.40 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 1	57
รูปที่ 4.41 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 2	57
รูปที่ 4.42 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 2	57
รูปที่ 4.43 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 3	58
รูปที่ 4.44 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 3	58
รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ขนาด 35Ah โดยการคายประจุที่กระแส 3.5A	61
รูปที่ 5.2 วงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ขนาด 35Ah โดยการคายประจุที่กระแส 7A	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนมีบทบาทสำคัญกับประเทศที่กำลังพัฒนา แต่พลังงานหลายรูปแบบได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ และ พลังงานลม ยังคงมีปัญหาการกักเก็บพลังงานที่เหลือใช้หรือกักเก็บเพื่อนำไปใช้ในเวลาอื่นๆ อุปกรณ์กักเก็บพลังงานจึงมีบทบาทสำคัญไม่น้อยไปกว่าอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานทดแทนเป็นพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าปัจจุบันประกอบไปด้วย เซลล์เชื้อเพลิง แบตเตอรี่และตัวเก็บประจุความจุสูง เซลล์เชื้อเพลิงและแบตเตอรี่มีหลักการทำงานที่คล้ายกันคือเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า แต่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็น น้ำบริสุทธิ์ พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า จึงมีราคาที่สูง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ที่ต้องการเพียงพลังงานไฟฟ้า

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้านั้นเป็นเรื่องที่จำเป็นต่อระบบพลังงานทดแทน ไม่ว่าจะเป็นพลังงานในรูปแบบแสงอาทิตย์หรือแรงลมก็ตาม แบตเตอรี่คือหัวใจของระบบพลังงานทดแทนที่จะคอยเก็บรักษาพลังงาน แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายโหลดได้โดยทันทีเมื่อต้องการ ในปัจจุบันนวัตกรรมด้านพลังงานทดแทนมีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก แต่สำหรับในที่ห่างไกลที่สายส่งของโรงไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง ระบบนี้ก็สามารถแข่งขันในด้านราคากับระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดีจึงทำให้มีการติดตั้งและการใช้งานกันอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นระบบสูบน้ำหรือระบบที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในชนบทที่ห่างไกล เพราะไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษ อีกทั้งยังสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายระบบในกรณีที่มีสายส่งจากโรงไฟฟ้าเข้ามาได้ในภายหลัง ระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในชนบทจึงจำเป็นต้องมีระบบแบตเตอรี่สะสมพลังงานร่วมอยู่ด้วย ซึ่งตอนหลังได้พัฒนานำแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดมาใช้ แบตเตอรี่ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีความจุสูง เป็นแบตเตอรี่ที่สร้างเพื่อใช้งานในระบบที่ต้องการไฟเลี้ยง เช่น ระบบขยายสัญญาณสื่อสาร ใหลูกฉิ่ง เป็นต้น จนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่เพื่อใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และ พลังงานลมโดยเฉพาะ แต่เป็นแบตเตอรี่ที่นำเข้าจากต่างประเทศ จากการที่แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลม มีความพิเศษและต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาและวิเคราะห์หาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ดังกล่าว ปัญหาที่สำคัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ อายุการใช้งานสั้นด้วยสาเหตุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของผู้ใช้งานที่ขาดความรู้ที่แท้จริงหรือคุณภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดไม่ดีพอ นำแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มาใช้งานผิดประเภท แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ถูกออกแบบมาใช้งานด้านพลังงานทดแทนมากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Discharge Battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้

อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย สามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย (แบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการคิดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้ ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานลมจะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์และเติมน้ำในเวลาที่เป็นได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open Cell หรือ Unsealed หรือ Flooded Cell Battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุงเรียกว่า แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance Free หรือ Sealed Battery) ปัญหาเหล่านี้ เป็นผลกระทบต่อการนำแบตเตอรี่มาใช้งาน ทำให้อายุการใช้งานสั้นกว่าปกติที่ควรจะเป็น ในการนำแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดมาใช้งานด้านพลังงานทดแทนทั้งสิ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
2. เพื่อให้เข้าใจถึงเทคนิคการวิเคราะห์และจัดการพลังงานในแบตเตอรี่
3. เพื่อศึกษาอายุการใช้งานและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สามารถที่จะเข้าใจพฤติกรรมและคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่
2. สามารถที่จะออกแบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
3. สามารถเข้าใจปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.4 ขั้นตอนของโครงการพิเศษและวิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้เป็นการศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่ทั้งขณะการประจุและคายประจุ แบตเตอรี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบวิธีการประจุและการคายแบตเตอรี่เพื่อให้ได้ลักษณะที่ต้องการและสามารถควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ได้ โดยกำหนดทั้งขณะประจุและคายประจุให้มีกระแสไฟฟ้าคงที่

วิธีการศึกษาจะทำโดยจะประจุและคายประจุแบตเตอรี่โดยควบคุมกระแสประจุและกระแสคายประจุให้คงที่ เพื่อเก็บข้อมูลเป็นค่าต่างๆ และรูปคลื่นกราฟของกระแสและความต่างศักย์

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง และนำมาออกแบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ไม่ว่ากรณีใด แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการดำเนินการ	มี.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
เสนอ Project										
ศึกษาหาข้อมูล										
รวบรวมข้อมูล										
จัดเตรียมหาอุปกรณ์										
ออกแบบชุดทดลอง										
ทดสอบการทำงาน										
วิเคราะห์ข้อมูล										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถทำวิเคราะห์จรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้
- 2.มีความเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์และการจัดการพลังงานในแบตเตอรี่
- 3.สามารถที่จะบอกถึงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

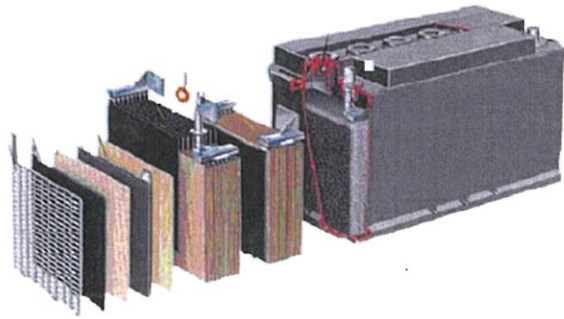
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกันและเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการชาร์จ ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นมา โดยแกสตัน พลองด์ (Gaston Plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสตั้งแต่ปี พ.ศ.2402 และปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและด้านพลังงานทดแทน เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีความจุ (Capacity) สูง ซึ่งทำให้จ่ายกระแสได้มากและเมื่อเทียบกับต้นทุนต่อการกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่ชนิดนี้จึงมีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆที่นิยมใช้กันในรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ เช่น 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 คือใช้วัสดุอุดซับน้ำกรดเอาไว้ จากนั้นทำการผนึกปิดให้ปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและแก๊ส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำกรด แบตเตอรี่จึงไม่มีการสูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากแบตเตอรี่ดังนั้นระบบกักเก็บหรือสะสมพลังงาน โดยส่วนใหญ่แล้วนิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดกันอย่างแพร่หลายในด้านอุตสาหกรรมและด้านพลังงานทดแทน เนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ และโครงสร้างของแบตเตอรี่

2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเก็บรักษาพลังงานไฟฟ้าเอาไว้ใช้งาน เนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดและคุณสมบัติที่หลากหลายสามารถเลือกใช้ได้ตามคุณสมบัติที่ต้องการ นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานได้สะดวกอีกด้วย ในปัจจุบันแบตเตอรี่ก็ยังมีใช้งานอย่างแพร่หลายและยังเป็นที่ต้องการของตลาด

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เก็บรักษาพลังงานไฟฟ้าโดยการชาร์จประจุ โดยแบตเตอรี่จะเปลี่ยนไฟฟ้าและเก็บรักษาในรูปของพลังงานเคมี เมื่อนำไปใช้งานแบตเตอรี่จะคายประจุจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่ใช้งาน โดยแบตเตอรี่จะเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วนำไปใช้งาน



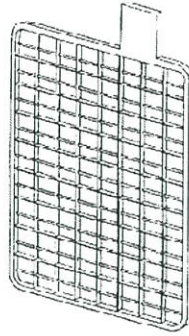
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด[8]

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญภายใน ดังรูปที่ 2.1 ประกอบไปด้วย แผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวก และลบล้อมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุ โมเลกุลของซัลเฟตจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมาย เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ ต่อเซลล์แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด วัสดุภายในที่นำมาใช้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทงานที่นำไปใช้งาน และการออกแบบของผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกัน ดังนี้

1. วัสดุทำปฏิกิริยา (Active Material) ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น แผ่นธาตุบวกจะเป็น PbO_2 ผงตะกั่วออกไซด์มีสีน้ำตาลลาบอยู่ในโครงแผ่นธาตุ ในขณะที่ขั้วลบจะเป็น Pb ผงตะกั่วมีสีเทาลาบบนโครงแผ่นธาตุเช่นกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับวัสดุทำปฏิกิริยาและลดการตกลงของแรงดันอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์โพลาไรเซชัน (Polarisation effect)

2. โครงแผ่นธาตุ (Support Grids) โครงแผ่นธาตุ ดังรูปที่ 2.2 จะทำจากตะกั่วผสมอาจเป็นพลวง (Antimony) ดีบุก (Tin) บิสมัท (Bismuth) แคลเซียม (Calcium) ซีลีเนียม (Selenium) ซึ่งตะกั่ว-พลวงเป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดแรกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของตะกั่วโดยใช้ประมาณ 1.5 – 1.8 % เปอร์เซนต์แต่ทำให้เกิดผลเสียคือเพิ่มความต้านทานในเซลล์ ทำให้เกิดการคายประจุในตัวเองเร็วขึ้น และอายุการใช้งานสั้น ในระหว่างการประจุใหม่จะทำให้เกิดการก่อตัวของแก๊สพิษ SbH_3 จากการค้นคว้าทำให้เราทราบว่า ตะกั่ว-แคลเซียม มีข้อได้เปรียบมากกว่าตะกั่ว-พลวง ในกรณีแผ่นธาตุชนิดพลวงจะเจือซีลีเนียมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล เช่นกัน



รูปที่ 2.2 โครงแผ่นธาตุ[8]

3. แผ่นกั้น (Separator) แผ่นกั้นดังรูปที่ 2.3 มีหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นนั้นจะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลายต่ำ นั่นก็หมายถึงต้องมีความพรุนให้ไอออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบด้วยในช่วงแรกนั้นแผ่นกั้นจะทำจากวัสดุจำพวกไม้ fir และ Cedar โดยนำขี้ไม้ออกก่อน ต่อมาก็ใช้ยางตามธรรมชาติอบซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์ที่เป็นรูพรุนอันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตจำพวก โพลีไวนิลคลอไรด์หรือ โพลีเอทิลีน แต่แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่น แบตเตอรี่รถยนต์การใช้แผ่นกั้นที่เป็นกระดาษจะคุ้มทุนกว่า



รูปที่ 2.3 แผ่นกั้น (Separator) [8]

4. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นกรดซัลฟิวริก ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.210 – 1.300 แต่จะขึ้นอยู่กับกรดด่างและประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศ ถ้าใช้สารละลายที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น การคายประจุในตัวเองและการผุกร่อนของแผ่นธาตุ แต่จะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศเขตกึ่งหนาว เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดต่ำลง ปกติถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กระแสสูงได้แก่แบตเตอรี่รถยนต์จะใช้กรดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงไม่ว่าจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงหรือต่ำ แต่ปริมาณไอออนที่อยู่ในสารละลายก็เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในสารละลายนอกจากจะมีกรดซัลฟิวริกแล้วยังมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วยเช่น แอมโมเนีย เหล็ก สารหนู คลอไรด์ ไนโตรเจนออกไซด์ โดยที่มีปริมาณมากน้อยจะขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำกรด ถ้าเป็นน้ำกรดเกรดเอ จะมีสารเจือปนไม่เกิน 0.03665 %

5. หม้อแบตเตอรี่ (Container) หม้อแบตเตอรี่มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องจากไม้ แก้ว เซรามิก พลาสติก ซึ่งปัจจุบันนิยมทำมาจากพลาสติกจำพวก PVC หรือไม้กึ่งโพลีเอทิลีน และแบ่งออกเป็นช่องๆ ขึ้นกับการออกแบบโดยกำหนดให้หนึ่งช่องเซลล์มีความต่างศักย์ประมาณ 2 โวลต์ และต่ออนุกรมกัน ในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยนต์ จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถังต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายต่างกัน

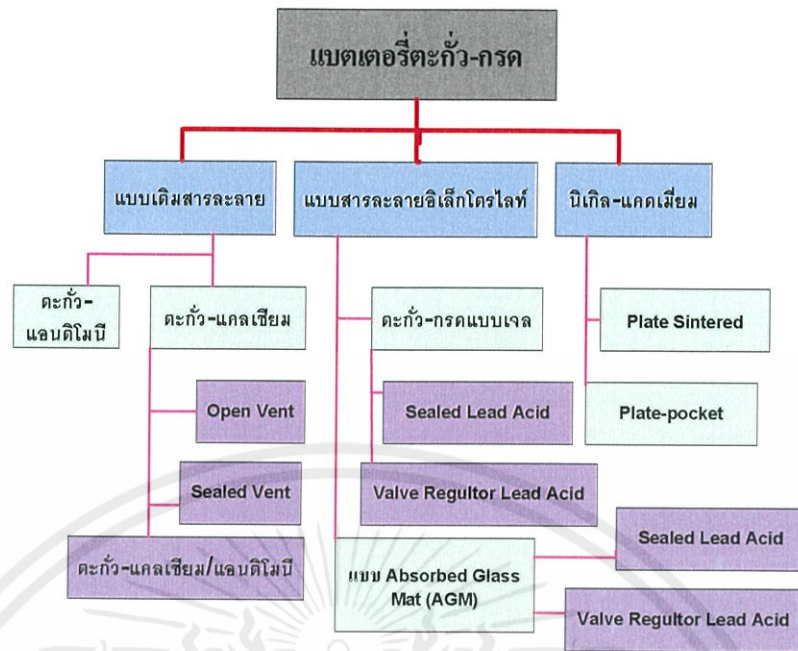
2.2 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

2.2.1 แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI) เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ ลักษณะการออกแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยา การที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (Deep Cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ก็ยังมีนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนาที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจใช้งานได้ถึงสองปีกับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20 % DOD ต่อวัน และจำกัดไว้มากที่สุด ไม่เกิน 40-60 % DOD

2.2.2 แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถไฟฟ้ารถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่าวัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆ จะใช้ตะกั่ว-แอนติโมนี เพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดี และมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (Deep Cycle) อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

2.2.3 แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า และจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก



รูปที่ 2.4 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด[8]

2.3 ชนิดแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมี 3 ชนิดแสดงดังรูปที่ 2.4 คือ

- ก) แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery)
- ข) แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (VRLA Battery)
- ค) นิกเกิล-แคดเมียม

2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริด ได้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดาและทำให้สามารถใช้งานคายประจุมาก หรือที่เรียกว่า ประจวบลึก และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี กริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนี ยังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยาทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียมเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง

ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูงและจากที่ต้องการการประจวบสั้นบ่อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจวบ

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายแก๊สเป็นเกลียวเปิด สำหรับเปิดเติมน้ำ แบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจาก

ความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะ โดยการใช้ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยน สารละลายจากด้านนอกการเช็ควัดความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความ ถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเพลาหนาและการออกแบบที่แข็งแรง ส่วนใหญ่แล้ว จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า เพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการ คายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลทเหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกันการใช้ส่วนผสม แคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสีย ส่วนที่เป็นข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงของ แผ่นกริดเพลท มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการเกิดแก๊ซ ซึ่งทำให้มีการสูญเสีย น้ำน้อยลง การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสียของการผสมแคลเซียมคือ มีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีใน สภาวะที่คายประจุมากๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูง หรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25 % DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลง มี 3 ชนิด

1. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent แบตเตอรี่ชนิดนี้ มักจัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับ ระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกกละ 2 โวลต์ มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000แอมแปร์- ชั่วโมง แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียน้ำน้อยและอาจ มีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรอง สำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์ แสงอาทิตย์ ยังมีประสิทธิภาพไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่อง ปฏิกิริยาการแยกชั้นและ ปฏิกิริยาการแยกชั้นของสารละลาย (Stratification)

2. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ Maintenance Free ใช้กับรถยนต์มีความจุในช่วง 50 แอมแปร์-ชั่วโมง ถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ขนาด 12 โวลต์ และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดา คือทนต่อการ ประจุเกินสภาวะแวลลุ่มอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของ การไม่มีการบำรุงรักษา คือ การไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้น การออกแบบแบตเตอรี่จะมีการสำรองสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เช่นระบบที่ใช้ในบ้าน ระบบแสงสว่าง แต่ต้องระมัดระวังในการประจุเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่สุด ถึงแม้จะมีราคาถูก แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย(Shallow Cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม ไฮบริด แบตเตอรี่ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่น มีความจุถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียม เป็นกริดแบบแห้งในขั้วบวก และใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รวมข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด คือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุมาก มีการสูญเสียเล็กน้อย และอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสูญเสียเล็กน้อย และอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในระบบขนาดใหญ่

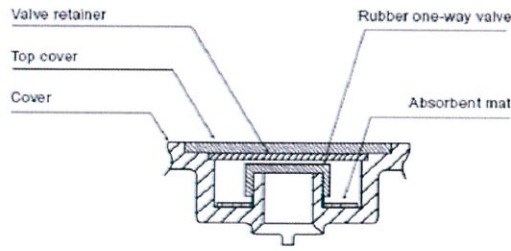
2.3.2 แบตเตอรี่ ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) ดังรูปที่ 2.5 เป็นแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด อีกชนิดหนึ่ง โดยสารอิเล็กโทรไลต์ จะถูกอิมโมบิลิซ (Immobilized) และปิดผนึกในภาชนะบรรจุ ถ้าเกิดสถานะประจุเกิน ช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายใน ดังรูปที่ 2.6 แบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องไม่ทำการประจุเกินแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลิตไฟฟ้า เพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่ง และที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เกิดการเสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือการประจุเกิน

ทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมักเกิดในสถานะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสถานะประจุเกิน (Over Charging)

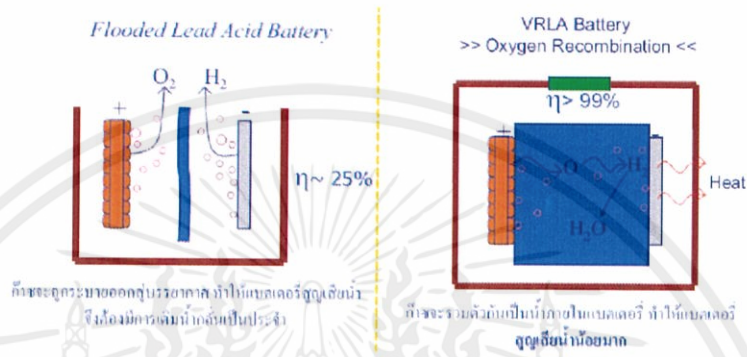


รูปที่ 2.5 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA) [8]

เป็นแบตเตอรี่ที่ปิดผนึกโดยรอบยกเว้นวาล์ว (วาล์วทางเดียว) ที่จะเปิดออกเองในบางครั้ง เพื่อลดความดันในแบตเตอรี่ ในกรณีที่เกิดการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันที่เกินกว่าค่าที่แนะนำของบริษัทผู้ผลิต หรืออุณหภูมิที่ใช้งานสูงผิดปกติ โดยแก๊สที่ระบายออกมานั้นจะมีส่วนของไฮโดรเจนและออกซิเจน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส[8]

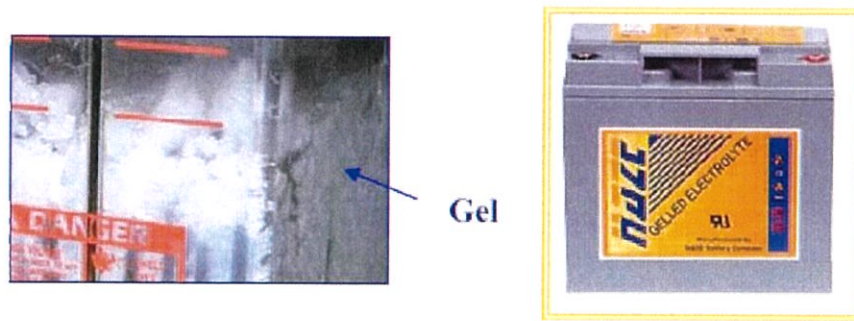


รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA[8]

จากรูปที่ 2.7 ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเติมสารละลาย (Flooded) กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดแห้ง (VRLA) ขณะเกิดการสูญเสียภายในขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางกายภาพเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบต่อสถานะการประจุ โดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิ การประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตถ้าไม่มีข้อมูล ไม่ควรประจุเกิน 14.2 โวลต์ ที่ สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ข้อแนะนำสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิคงที่เพื่อป้องกันการประจุเกิน ยังแบ่งได้อีก 2 ชนิด คือ 25°C

1. แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) ดังรูปที่ 2.8 แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียมแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายใน เพื่อลดการเกิดแก๊สและลดการสูญเสีย แบตเตอรี่แบบเจลบางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery) [8]

2. แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) ดังรูปที่ 2.9 แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจล คือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลทแต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้

AGM VRLA Battery Construction



รูปที่ 2.9 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) [8]

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายในเมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบ ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอกทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทน แต่ใน AGM แบตเตอรี่โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดขึ้นในเพลทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลทลบและรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและแก๊สที่เกิดขึ้นภายใน

2.3.3 แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิสามารถนำมาประจุใหม่ได้ และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตเอกรนี้เป็นไฟฟ้าแบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาน้อย สามารถทนต่ออุณหภูมิได้ การประจุที่ผิดพลาดได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุ ข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เล็กใช้งานน้อย

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุ แบบลึก(Dep cycle)	การ บำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลาย (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
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
1. เจลแบตเตอรี่(Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
2. Absorbed Glass Mat(AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

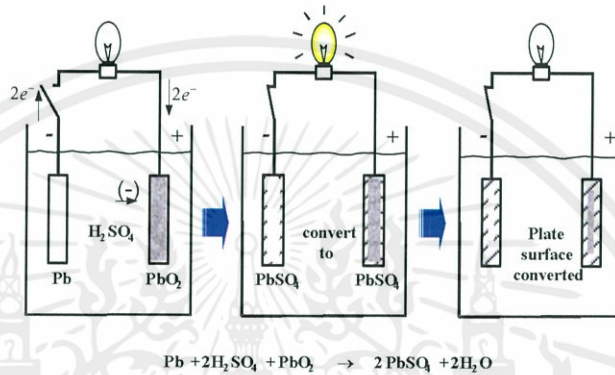
2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด[8]



รูปที่ 2.10 ปฏิกริยาขณะคายประจุ และประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด[8]

พลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่นั้นอยู่ในรูปของปฏิกิริยาทางเคมี โดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อมีความต้องการ และสามารถประจุพลังงานเข้าไปใหม่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่นิยมบรรจุไว้ในภาชนะที่ทำมาจาก Polypropylene เจือจางด้วยกรดซัลฟิวริก (SO_4^-) ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ ภายในบรรจุขั้วไฟฟ้าลบและบวก ซึ่ง

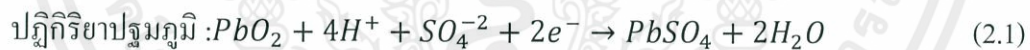
แวนอีคติดอยู่กับตัวถัง ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันดังนี้ สำหรับแผ่นบวก (Cathode) ที่มีลักษณะเป็นแบบตาข่าย แบบช่อง แบบท่อ ฯลฯ ซึ่งเติมตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ลงไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุน (ซึ่งจะทำให้ได้พื้นที่ผิวที่มากกว่า) ในระหว่างการประจุ แผ่นลบ (Anode) ทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายมีไว้สำหรับรองรับการขยายตัวของพื้นผิว และส่วนที่เป็นตาข่ายนี้เติมตะกั่วบริสุทธิ์ในระหว่างการประจุ และระหว่างแผ่นทั้งสองจะมีกรดเป็นตัวป้องกันการลัดวงจรระหว่างแผ่นทั้งสอง และสามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้ จากรูปที่ 2.11 อธิบายถึงกระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



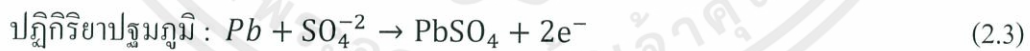
รูปที่ 2.11 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด[8]

ในระหว่างที่มีการคายประจุแผ่นวัสดุทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก โดยมีสมการในการทำปฏิกิริยา ดังนี้

แผ่นบวก



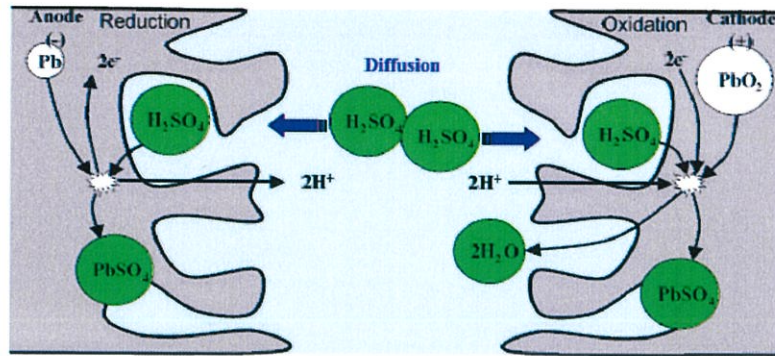
แผ่นลบ



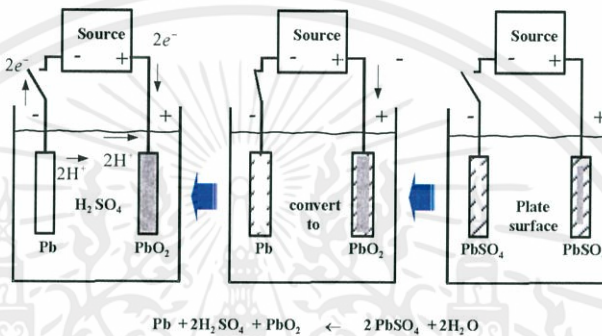
Cell:



เอกสารนี้เป็นที่ด้านบวกตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก (SO_4) เพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟต ถ้าไม่ว่ากรณีใด $PbSO_4$ ส่วนด้านลบตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟตและน้ำ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด[8]



รูปที่ 2.13 กระบวนการอัดประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด[8]

จากสมการที่ 2.10 กระบวนการประจุด้วยกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.13 คือ ตะกั่วซัลเฟตถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นกรดซัลฟิวริกและตะกั่วออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงส่วนเกินของการประจุ หลังจากการประจุที่สมบูรณ์แล้ว ทำให้เกิดกระบวนการแยกน้ำ เป็นออกซิเจนและไฮโดรเจน (Electrolysis) ซึ่งจะเกิดการออกซิเจน (O_2) ที่แยกแผ่นธาตุบวกและเกิดก๊าซออกซิเจน (H_2) ที่แผ่นธาตุลบ ก๊าซจะถูกปลดปล่อยออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้นระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ก็จะลดลงด้วยผลดังกล่าว จึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในแบตเตอรี่

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

2.5 คุณสมบัติของการดิสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.5.1 อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มอนูญาตีให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น โดยปกติแล้วแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีพฤติกรรมชอบการคายประจุด้วยกระแสต่ำจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานได้นานกว่าการคายประจุแบบอัตราการคายประจุที่กระแสสูง

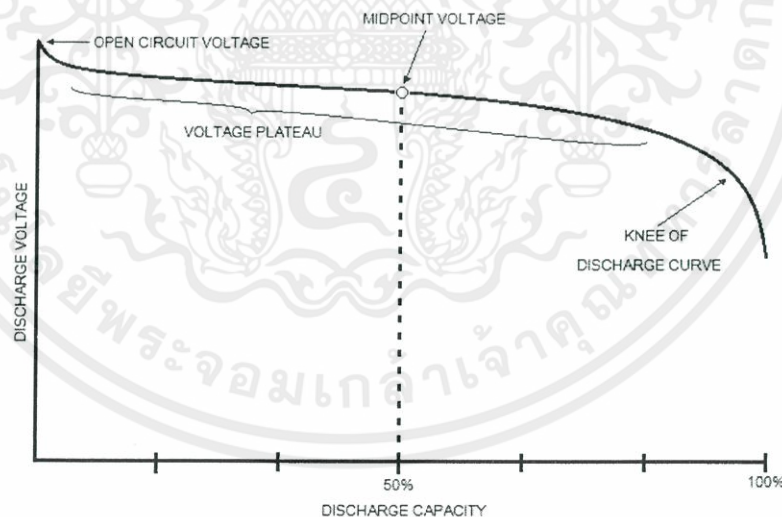
อัตราการคายประจุ (C-Rate) ไม่ควรมีค่าเกิน 0.2C หรือ 20% ของความจุของแบตเตอรี่ โดยถ้าอัตราการคายประจุมากขึ้น ประสิทธิภาพก็จะลดลง แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ควรคายประจุ แบตเตอรี่ต่ำกว่า-กรด ด้วยอัตราการคายประจุเกิน 1C เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมประสิทธิภาพ

รอบของการใช้งาน (Cycle) โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200-300รอบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความลึกของการคายประจุหรือเรียกว่า DOD (Depth of discharge) การชาร์จการบำรุงรักษา และอุณหภูมิในการใช้งานสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่ อายุการใช้งานลดลงก็คือการกักครอนที่แผ่นธาตุบวก ซึ่งการกักครอนนี้จะมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

2.5.2 การวัดพฤติกรรมการคายประจุ

ค่าพารามิเตอร์สำหรับการคายประจุเกี่ยวข้องกับระดับแรงดันและค่าความจุไฟฟ้า ค่าพารามิเตอร์ของสองค่านี้เป็นฟังก์ชันของตัวเลขซึ่งสัมพันธ์กัน โดยทั่วไปรูปร่างกราฟของการคายประจุ ฟังก์ชันแรงดันของค่าความจุไฟฟ้า ดังรูป 2.14 ระดับแรงดันของการคายประจุเริ่มแรกจะค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งลดลงอย่างรวดเร็ว พื้นที่ของความสัมพันธ์ที่ระดับแรงดันคงที่เรียกว่า voltage plateau ซึ่งความกว้างของการคายประจุขึ้นอยู่กับแบตเตอรี่ จุดของระดับแรงดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วเรียกว่า knee of the curve

จากกราฟการคายประจุ เมื่อสเกลถูกพิจารณาผลกระทบของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งขึ้นกับการออกแบบ โครงสร้างภายนอก เงื่อนไขตามการใช้จริงที่มีอิทธิพลต่อแบตเตอรี่ เป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของพฤติกรรมที่เกิดจากระดับแรงดันและค่าความจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.14 nominal discharge performance[6]

2.5.3 ค่าความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่

การส่งค่าความจุไฟฟ้าแต่ละเซลล์ คือ ผลรวมของกระแสที่ซึ่งไม่มีการลดจำนวนของแหล่งจ่ายอิเล็กทรอนิกส์จนถึงวงจรภายนอก จำนวนของอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเซลล์จะจัดเป็นฟังก์ชันของวิธีการใช้และสิ่งแวดล้อม ขณะใช้งานการกระทำของอุณหภูมิ ในหัวข้อนี้จะให้คำจำกัดความของค่าความจุไฟฟ้าซึ่งบรรยายถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าที่เซลล์สามารถจ่ายได้โดยทั่วไป

ค่าความจุไฟฟ้าจะจัดเป็น ampere-hour ความรู้ถึงพฤติกรรมของระดับแรงดันแต่ละเซลล์ภายในการคายประจุ ค่าความจุนี้จะแปลให้ง่ายก็คือ watt-hour ,volt-ampere-minute หรือวัตต์พลังงานที่ซึ่งเซลล์สามารถจ่ายให้กับโหลด

2.5.4 การวัดค่าความจุไฟฟ้าที่ชาร์จเต็ม

ค่าความจุของเซลล์หรือแบตเตอรี่ โดยปกติการวัดค่าจะสมบูรณ์ในการคายประจุขณะที่ผลรวมของกระแสเกินในคาบเวลาของการคายประจุ ความหลากหลายของการวัดค่าความจุไฟฟ้าจะให้ผลที่ไม่ตรงกัน

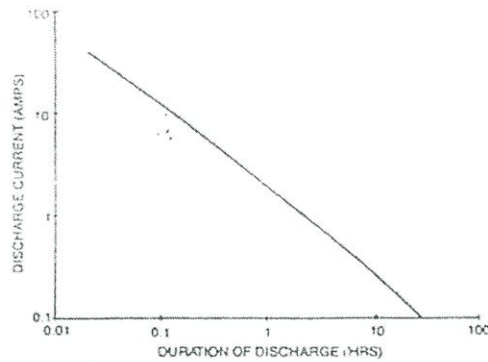
วิธีการโดยทั่วไปของการวัดค่าความจุของแบตเตอรี่คือการหาการคายพลังงานด้วยวิธีการ constant current ซึ่งค่าวงจร โหลดจะต้องปรับให้อัตราการคายพลังงานคงที่ซึ่งจะทำให้ระดับแรงดันลดลง การคำนวณของการคายพลังงานแบตเตอรี่นำค่าที่ได้มาคูณด้วยเวลาที่ก่อนถึงค่า end of discharge voltage ความหลากหลายของ โหลดที่ออกแบบพิเศษสำหรับการคายประจุกระแสคงที่ที่เหมาะสมสำหรับการวัดค่าความจุไฟฟ้า

ในแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งาน วิธีการวัดค่าความจุไฟฟ้าจะกำหนดค่าความต้านทานวัดสำหรับผลที่แม่นยำในการวัดค่าความจุไฟฟ้ารวม แรงดันปลายที่ใช้ในการคายประจุควรต่ำกว่า โหลดที่ขั้วแบตเตอรี่และแสดงแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต่ำลง การบันทึกค่าจะใช้ค่าที่บันทึก ระดับแรงดันที่ลดค่าความต้านทาน การบันทึกค่าการคายประจุของระดับแรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านทานจะแสดงทั้งกระแสและระยะเวลา จะสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าจากการคายประจุ การคายประจุซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าความจุของแบตเตอรี่จะมีค่าหลากหลายของกระบวนการคายประจุซึ่งมาจากผลของความเสถียรภาพของอุปกรณ์ที่สมบูรณ์

การวัดค่าความจุของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน end of discharge ที่ใช้ในการ knee of discharge ความหมายง่ายๆ คือ end of discharge จะปรากฏหลังจากแบตเตอรี่มีความเรียบของ discharge curve และระดับแรงดันตกลงอย่างรวดเร็ว

ค่าที่สูงกว่า end of discharge voltage เมื่อใช้ในกระบวนการวัดค่าจะทำให้เกิดผลในความแม่นยำลดลง เช่น ระดับแรงดันตกคร่อมจะลดลง เกิดความผิดพลาดเล็กน้อยในการวัดระดับแรงดันส่งผลต่อสัญญาณเวลาถึงค่า end of discharge ส่วนหนึ่งมาจากค่าระดับแรงดันตกอย่างรวดเร็ว และยังคงมีผลต่อค่าความจุไฟฟ้าเล็กน้อยในความแตกต่างของ end of discharge voltage ในแต่ละเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

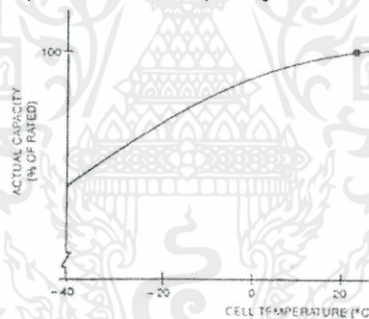


รูปที่ 2.15 typical discharge time[6]

2.5.5 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความจุไฟฟ้า

แบตเตอรี่จะสามารถคายประจุเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะแสดงพฤติกรรมที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิต่ำ และจะให้ค่าความจุไฟฟ้าสูงกว่าค่าความจุมาตรฐานที่ใช้ในสภาพแวดล้อมที่สูงกว่า อุณหภูมิของการคายพลังงานจะเกี่ยวพันกับวัสดุที่นำมาใช้ภายในแบตเตอรี่

ในรูปที่ 2.16 ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุและอุณหภูมิของเซลล์ ค่าความจุไฟฟ้าที่แท้จริงจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราความจุที่วัดที่อุณหภูมิที่ 23° ปริมาณความจุลดลง ทำให้อัตราการคายประจุไม่มาตรฐานที่อุณหภูมิคายประจุ



รูปที่ 2.16 Typical discharge capacity as a function of cell temperature[6]

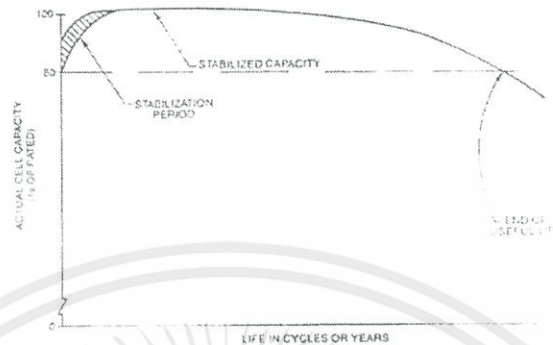
2.5.6 ค่าความจุไฟฟ้าระหว่างอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้มานานแล้ว ส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่า อัตราค่าความจุมาตรฐานของแบตเตอรี่ ถึงแม้ว่าระหว่างชีวิตของแบตเตอรี่ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าจริงจะเพิ่มจนถึงค่าคงที่ ซึ่งจะอยู่ที่อัตราค่าความจุไฟฟ้า ตัวเลขของ cycle ของการอัดประจุและคายประจุหรือระยะเวลาการใช้งานบนการอัดประจุปกติต้องการพัฒนาความจุของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ที่เป็นลักษณะพิเศษเฉพาะการใช้งาน ทางเลือกหนึ่งถ้าแบตเตอรี่ถูกอัดประจุที่ค่า 0.1C จะทำให้อายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 300% กระบวนการควรจะทำอัดประจุและคายที่อัตราต่ำๆ

ภายใต้การดำเนินการที่ภาวะปกติ เงื่อนไขของค่าความจุแบตเตอรี่จะยังคงอยู่ใกล้กับค่ามาตรฐานสำหรับอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะเริ่มพบว่าค่าความจุลดลง เนื่องจากอายุ

ภาระหน้าที่ที่ทำงาน คือความสูญเสียถาวรที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ด้วยอายุจนกระทั่งค่าความจุไฟฟ้าจะตกลงกว่า 80% ของอัตราค่าความจุไฟฟ้าซึ่งเป็นค่าที่หมดอายุการใช้งาน

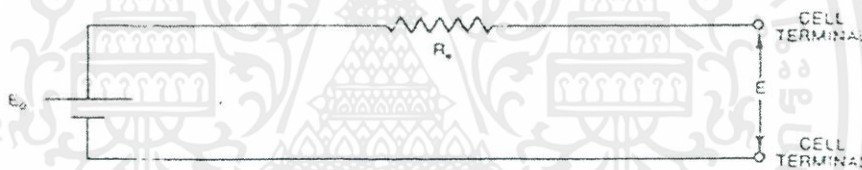
รูปที่ 2.17 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงชีวิตรอบของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความจุไฟฟ้าลดลง



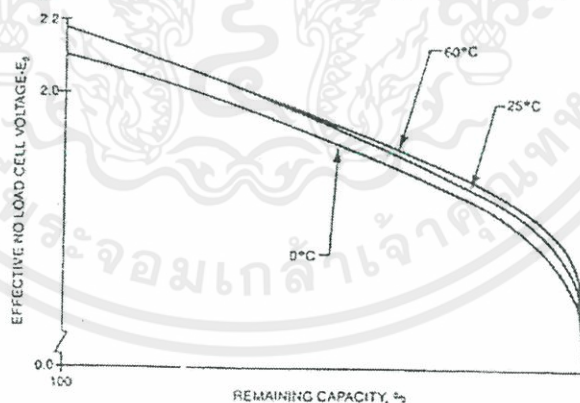
รูปที่ 2.17 Typical cell capacity during its life[6]

2.5.7 Equivalent discharge circuit

แบตเตอรี่ไม่เหมือนกับแหล่งจ่ายไฟชนิดอื่นๆ มีความหลากหลายของระดับแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความสูญเสียภายในซึ่งจะกระทบกับความเหมาะสมของระดับแรงดันถึงวงจรภายนอก



รูปที่ 2.18 Equivalent circuit diagram of cell[6]



รูปที่ 2.19 Effective No-load cell voltage versus state of charge[6]

2.5.8 ผลของแรงดันไฟฟ้าขณะ No-load

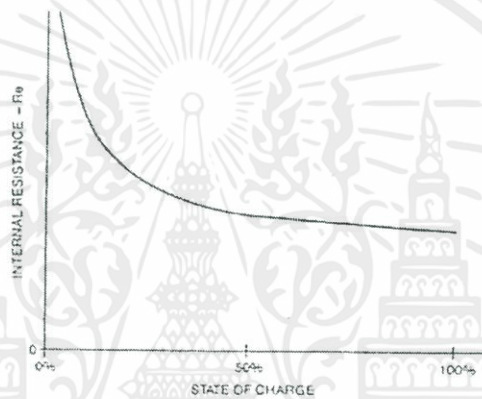
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยของค่าความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิของกัมมะถันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ เมื่อเซลล์ถูกอัดประจุจนเต็ม ค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าสูงสุดสอดคล้องกันกับแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดขณะที่

เซลล์กำลังคายประจุค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะลดลง กระจกจะค่อยๆเงาจนเปลี่ยนเป็นน้ำ ระดับแรงดันที่ขณะไม่มีโหลดจะค่อยๆลดลง

แรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดที่อธิบายในที่นี้จะต่างจากระดับแรงดัน open circuit ของเซลล์ ผลกระทบของระดับแรงดันที่กล่าวมานี้ คือวงจร The'vanin ที่มีการพล็อต ระดับแรงดันของการคายประจุที่ state of charge อัตราการต่อต้านของการคายประจุและคาดว่าจะมีอัตราเป็นศูนย์

2.5.9 ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน

ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน ค่านี้อาจจะไม่มีการลดลง ค่านี้อาจเป็นปริมาณเล็กน้อยที่ปรากฏขึ้นในวงจร equivalent โดยสรุปได้ว่าเป็นผลมาจากแผ่นประจุ เสาตะกั่ว และหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นประจุ ซึ่งเป็นค่าส่วนหนึ่งของผลรวมค่าความต้านทานทั้งหมด อีกทางหนึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีเกิดกระบวนการออกซิเดชันภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 2.20 Effective internal resistance[6]

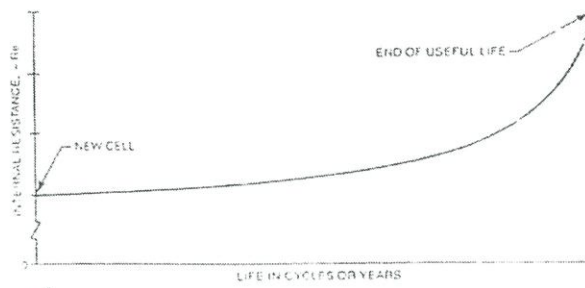
2.5.10 ค่าความต้านทานภายในฟังก์ชันของ state of charge

เมื่อมีการอัดประจุเต็มทีอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าความเข้มข้นสูง เมื่อมีการคายประจุ ค่าความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนจะมีค่าลดลง มีผลกระทบที่เกิดขึ้นมากจนกระทั่งเซลล์ของ state of charge ตกลง 25% ค่าความต้านทานภายในจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่าประจุไฟฟ้าเข้าใกล้ศูนย์

2.5.11 ค่าความต้านทานภายในกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลกระทบกับค่าความต้านทานภายในคืออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น ผลของการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานภายในจะลดน้อยลงจนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดของการใช้งาน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังที่แสดงในรูปที่ 2.21

เมื่อเซลล์ถูกใช้งาน พื้นที่ผิวระหว่างการสะสมของการะแสและวัสดุที่ถูกกระตุ้นจะมีการลดลงของการออกซิเดชันของแผ่นตะกั่ว โดยแผ่นตะกั่วจะออกซิไดส์เป็น PbO_2 ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของ PbO_2 จะมีค่าน้อยลง กระแสอิเล็กตรอนจะทะลุผ่านอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ขณะที่เซลล์ถูกใช้ค่าความต้านทานระหว่างแผ่นประจุและวัสดุกระตุ้นเพิ่มขึ้น ผลของการเติบโตของค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้งานมากขึ้น

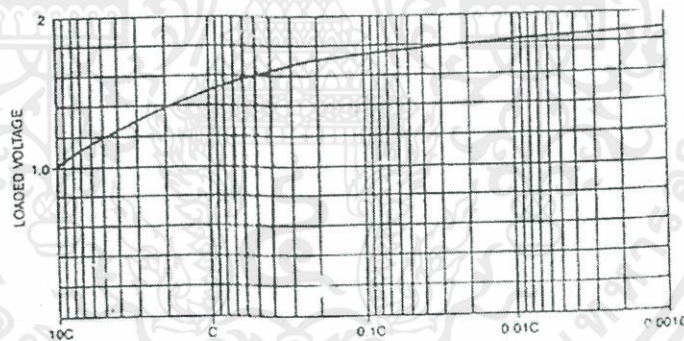


รูปที่ 2.21 Effect internal resistance versus cell life[6]

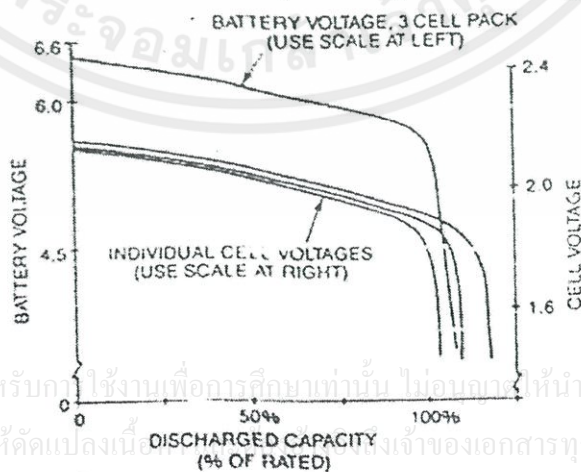
2.5.12 Discharge Limits

การจะทำให้แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานและจำนวนของไซเคิลของการประจุและคายประจุขึ้นอยู่กับ end of voltage ที่ขณะการคายประจุที่การคายพลังงานสูงเกินไป ใน over discharge ไอออนซัลเฟตของกรดดีกโทโรไลต์จะกลายเป็นน้ำ ซึ่งไอออนของซัลเฟตจะเป็นสาเหตุถึงค่าอิมพีแดนซ์ที่สูงขึ้น เพราะการอัดประจุที่เกินเวลา อีกประการหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาของ Over discharge ปรากฏขึ้นเพราะ การเพิ่มขึ้นของสารละลายของ lead sulfate ที่ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายกรดเพิ่มขึ้น

ที่ระดับแรงดันที่ 100% ที่ค่าประจุไฟฟ้าจะเป็นไปตามอัตราการคายพลังงาน ดังรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23 แสดงพฤติกรรมของแบตเตอรี่การคายประจุของค่าประจุไฟฟ้าที่ลดลงและระดับแรงดันที่ลดลง



รูปที่ 2.22 Recommended average discharge cut-off voltage/cell[6]



รูปที่ 2.23 Battery discharge characteristics[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับค่าใช้จ่ายเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่

จุดประสงค์ของแบตเตอรี่ใดๆก็ตามก็คือการจัดเตรียมพลังงานไฟฟ้า ให้เพียงพอกับความ ต้องการ ในแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เมื่อใช้พลังงานจนหมด ก็จะไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้แต่ใน แบตเตอรี่ทุติยภูมิ เช่น lead acid battery หรือ Li-on battery จะสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ หากนำมาชาร์จประจุเข้าไปอีกครั้งหลังจากการใช้งาน ดังนั้นมันจึงสามารถที่จะใช้สำหรับการจ่าย พลังงานได้หลายๆครั้งตลอดอายุการใช้งาน

ความสำคัญของการชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ก็คือ ในแบตเตอรี่ทุติยภูมินั้น เราต้องการที่ จะใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามการชาร์จที่เกินกว่าลิมิตของแบตเตอรี่ อาจทำ ให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการชาร์จประจุที่เหมาะสม มีการควบคุม กระแส แรงดัน เวลาในการชาร์จดังจะได้อีกกล่าวต่อไป

2.6.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ขณะที่มีการประจุ

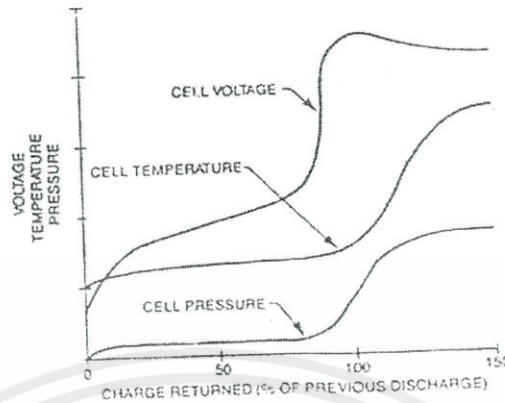
การชาร์จของแบตเตอรี่หากเปรียบเทียบแล้วก็จะคล้ายกับการสูบน้ำไปเก็บยังถังเก็บน้ำเพื่อ ใช้งาน จะต่างกันก็ตรงที่การชาร์จแบตเตอรี่นั้น พลังงานที่เราชาร์จเข้าไป จะมากกว่าพลังงานที่เรา ได้รับออกมาจากแบตเตอรี่นั้น เป็นเพราะว่าพลังงานในการชาร์จส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปใน แบตเตอรี่ เนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่ และการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ใช่การเปลี่ยนรูป พลังงานไปสู่พลังงานเคมี เช่นการเกิดแก๊สใน lead- acid battery ทำให้ประสิทธิภาพของการชาร์จ จึงไม่ถึง 100%

การเปลี่ยนแปลงของวัสดุภายในแบตเตอรี่เมื่อมีการชาร์จ จะมีปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูป พลังงานไฟฟ้าไปสู่การเก็บพลังงานในรูปพลังงานเคมี เช่น ใน lead acid battery แผ่นตะกั่ว ภายใน เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากการชาร์จก็จะดึง Pb^+ จากสารละลายมาเกาะที่ตัวแผ่นอีกครั้งหนึ่ง ปฏิกิริยานี้ก็จะทำให้เกิดความสูญเสียทางไฟฟ้าเช่นกัน

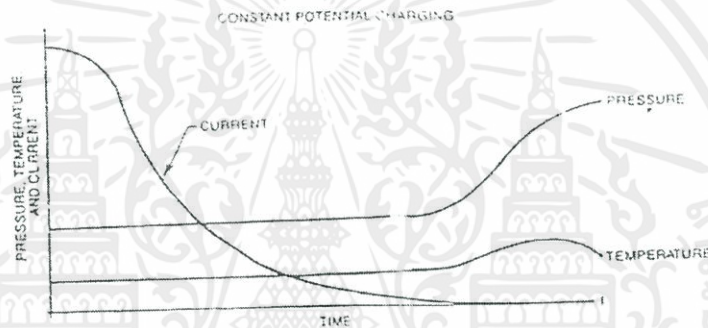
สิ่งที่จะต้องพิจารณาอีกประการหนึ่งก็คือการชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มนั้นเป็นการรักษาความ จุริวิธีหนึ่ง ในแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ต่อใช้งาน จะมีการคายประจุด้วยตนเอง หรือว่าในระบบสำรองไฟ ทัวไป บางทีก็จะชาร์จได้ไม่เต็มความจุ การคายประจุตัวเองนั้นอาจใช้เวลาเป็นเดือนหรือเป็นปี หาก ปลอ่ยให้คายประจุด้วยตนเองจนต่ำกว่าแรงดันสุดท้ายของแบตเตอรี่ จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้ งานลดลง หรือหากไม่มีการชาร์จเต็มประจุ ความจุของแบตเตอรี่ก็ลดลงเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องมีการ ชาร์จแบบเต็มปนช่วงเวลาไปแล้วแต่คุณลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่

ดังนั้นหากจะต้องการใช้แบตเตอรี่อย่างเต็มประสิทธิภาพ เราจึงจำเป็นที่จะต้องทำการชาร์จ จนถึงสถานะ overcharge คือสถานะที่ state of charge ของแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับ 100% เราไม่มีทาง รู้ได้ว่า แบตเตอรี่จะถูกชาร์จจนเต็มหรือยัง แต่ก็แน่ใจได้ว่ามันใกล้เคียงที่จะเต็มมากที่สุด การชาร์จ ที่สถานะ overcharge นั้น จะทำให้มีความร้อนสูญเสียจากปกติ รวมไปถึงความดันที่จะเกิดขึ้นจาก

แก๊สที่ผลิตภายในแบตเตอรี่ แต่ก็สามารถที่จะทำให้ใช้แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงต้องมีการควบคุมสถานะการชาร์จที่ overcharge เพื่อที่จะป้องกันและควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น



รูปที่ 2.24 Typical relationship of cell voltage pressure and temperature during constant current charge[6]



รูปที่ 2.25 Typical relationship of cell voltage pressure and temperature during constant voltage charge[6]

จากกราฟเป็นตัวอย่างแสดงกระแส อุณหภูมิ ความดันที่เกิดขึ้นของ lead acid battery เมื่อแบตเตอรี่ที่ชาร์จยังมีพลังงานอยู่ที่ state of charge อยู่พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเคมีในรูปของ PbO_2 ที่แผ่นประจุบวก ความดันใน Cell ก็ยังคงต่ำอยู่ อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าจนกระทั่ง state of charge อยู่ที่ประมาณ 80% ความดันจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจะเริ่มมีแก๊สผลิตออกมาจากแผ่นประจุทั้ง 2 (ออกซิเจนที่แผ่นประจุ + และไฮโดรเจนที่แผ่นประจุ -) นอกจากนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นยังทำให้มีความร้อนออกมาอีกด้วย จึงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนความร้อนจะเกิดขึ้นเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผลิต

การชาร์จด้วยแรงดันคงที่จะได้ผลของอุณหภูมิและความดันต่างจากการชาร์จที่กระแสคงที่เล็กน้อยก็คือในการชาร์จแบบแรงดันคงที่กระแสชาร์จจะค่อยๆ ลดลง เมื่อเข้าสู่สถานะ overcharge เมื่อกระแสลดลงปฏิกิริยาลดลงด้วย ทำให้แก๊สที่เกิดขึ้นก็ลดลงและอุณหภูมิก็น้อยกว่าแบบกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 การประจุที่เหมาะสม

การชาร์จที่เหมาะสมเป็นกระบวนการชาร์จที่จะทำให้การชาร์จเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แบตเตอรี่ที่ชาร์จได้ที่มีประสิทธิภาพ 100% ก็หมายความว่าพลังงานทั้งหมดที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สามารถคายประจุออกมาใช้งานได้หมด แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ไม่มีแบตเตอรี่ชนิดไหนที่มีประสิทธิภาพถึง 100% ดังนั้นการพิจารณาหาจุดชาร์จที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะทำให้พลังงานที่ชาร์จไม่สูญเปล่าไปปัจจัยที่มีผลต่อการชาร์จมีดังนี้

1. ผลของ state of charge

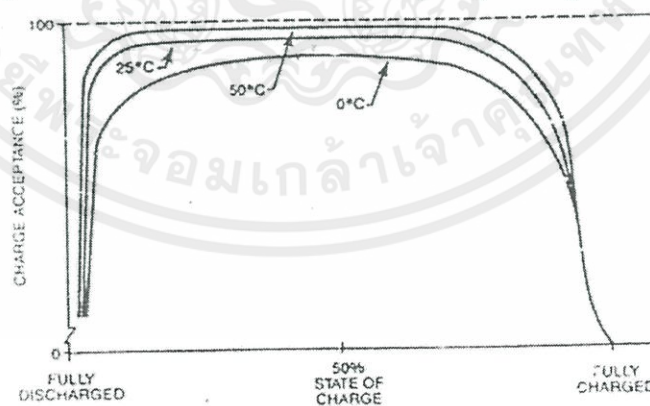
State of charge ของ cell เป็นตัวบ่งชี้ว่าการชาร์จนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ในกรณีที่แบตเตอรี่ถูกคายประจุออกจนหมด หรือว่าแบตเตอรี่ยังเต็มอยู่จะไม่มี ความเหมาะสมในการชาร์จก็คือ พลังงานในการชาร์จไม่ได้ถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเคมี แต่จะเป็นความร้อนสูญเสีย ดังรูปที่ 2.26 แสดงความเหมาะสมของการชาร์จกับ state of charge



รูปที่ 2.26 Effect of state of charge upon charge acceptance[6]

2. ผลของอุณหภูมิ

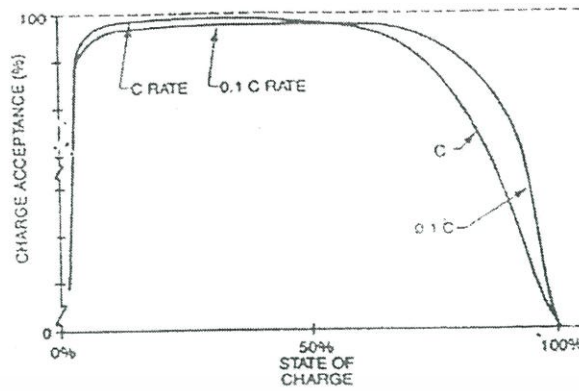
เช่นเดียวกับกับปฏิกิริยาเคมีโดยทั่วไป อุณหภูมิมีผลในการเร่งปฏิกิริยาการชาร์จให้ดีขึ้น การชาร์จที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการชาร์จที่อุณหภูมิต่ำดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 Charge acceptance at various temperature[6]

3. ผลของระดับการชาร์จ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการชาร์จในระดับการชาร์จต่ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่า การชาร์จที่ระดับสูงๆ



รูปที่ 2.28 Acceptance at various charge rate[6]

2.6.3 ประเภทของการชาร์จ

การชาร์จแบตเตอรี่ทุติยภูมิ นั้น มีอยู่หลายวิธี เป้าหมายของการชาร์จก็คือการจ่ายกระแสเข้าสู่แบตเตอรี่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการคายประจุ การชาร์จแรงดันคงที่ที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่ก็ยังมีวิธีการชาร์จแบบกระแสคงที่ที่ใช้กันอยู่ รวมทั้งเครื่องชาร์จแบบแท็บ สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกเครื่องชาร์จคือ การถูกคายประจุ เวลาในการชาร์จ อุณหภูมิที่สูงขึ้น และจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่

ในการชาร์จแบบ float จะใช้ในการชาร์จแบบต่อเนื่องเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สำรองไฟต่างๆ เช่น UPS ไฟฉุกเฉิน การใช้รูปแบบการชาร์จแรงดันคงที่ จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดผลของ overcharge มีน้อย

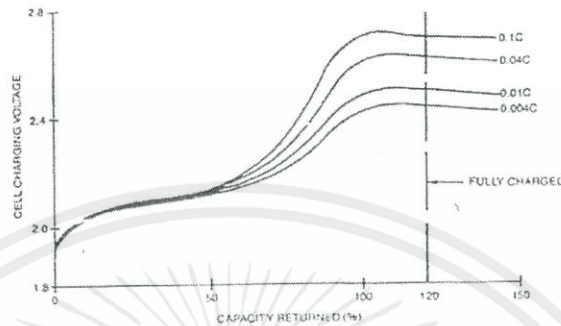
ทั้งเครื่องชาร์จแบบกระแสคงที่และแบบแรงดันคงที่ล้วนแต่มีราคาแพง เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่มีราคาสูง ในอุปกรณ์ที่มีราคาต่ำนั้นจะใช้เครื่องชาร์จแบบแท็บ

1.การชาร์จแบบแรงดันคงที่

การชาร์จแรงดันคงที่หมายถึง การชาร์จโดยค่านิ่งถึงแรงดันอย่างเดียวน โดยไม่คำนึงถึงกระแสชาร์จ ปริมาณของกระแสชาร์จจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างแรงดันเครื่องชาร์จ กับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ ดังนั้นเมื่อเริ่มชาร์จกระแสจึงค่อยข้างสูง และจะลดลงเมื่อแบตเตอรี่มี state of charge เข้าใกล้ 100% เนื่องจากแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่สูงขึ้น เครื่องชาร์จที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบก็คือแบบ fast charge จะชาร์จที่แรงดันสูง กระแสที่ชาร์จจึงสูงตาม เวลาที่ใช้ชาร์จจะเร็วแต่ก็เสี่ยงต่อความเสียหายในเซลล์แบตเตอรี่ ทำให้อายุการใช้งานลดลง อีกแบบหนึ่งก็คือการชาร์จแบบ float คือการชาร์จที่แรงดันสูงกว่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่เล็กน้อย กระแสชาร์จจึงไม่สูงแต่ก็จะใช้เวลาในการชาร์จค่อนข้างนาน จะเห็นได้ว่ามีข้อดีข้อเสียที่ต่างกันดังนั้นจึงมีการประยุกต์ให้การชาร์จแบบแรงดันคงที่นี้ให้เป็นแบบ Dual step charging คือเริ่มแรกจะชาร์จแบบเร็ว ไปก่อน เพื่อแก้ไขจุดอ่อนในเรื่องเวลาในการชาร์จ เมื่อเวลาผ่านไปเมื่อ state of charge เริ่มสูงขึ้นก็ให้เปลี่ยนระดับแรงดันเป็นแบบ float เพื่อทำให้กระแสที่สถานะ overcharge ไม่สูงมากเพื่อยืดอายุการใช้งานให้สูงขึ้น การชาร์จแบบ Dual step charging จะมีประสิทธิภาพสูงมาก

2. การชาร์จแบบกระแสคงที่

การชาร์จแบบกระแสคงที่นั้นเป็นวิธีการที่ควรที่จะนำมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นวิธีที่สิ้นพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ได้เร็ว โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การชาร์จแบบกระแสคงที่ที่ทำงานได้ดีกับการต่ออนุกรมกันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ไม่สมดุลกัน



รูปที่ 2.29 Typical charge of stabilized cell[6]

การชาร์จแบบกระแสคงที่นั้น เป็นการชาร์จที่ทำการรักษาระดับของกระแสไม่ได้คำนึงถึง state of charge หรืออุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกราฟแสดงคุณลักษณะของกราฟแสดง ค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นเมื่อความจุในแบตเตอรี่สูงขึ้น และจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแบตเตอรี่เข้าสู่ภาวะ overcharge ดังนั้นในการชาร์จรูปแบบกระแสคงที่จึงต้องมีการควบคุมการชาร์จกรณีเกิด overcharge

การเลือกระดับของกระแสชาร์จนั้น เป็นการตัดสินใจที่สำคัญมากเพราะว่ามันจะส่งผลไปยังอายุการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่จะมีแต่ละชนิดก็จะมีขีดจำกัดของกระแสสูงสุดที่ใช้ในการชาร์จอยู่ โดยทั่วไปทางผู้ผลิตจะต้องบอกกระแสชาร์จสูงสุดไว้ เพื่อใช้ในการออกแบบหรือเลือกกระแสชาร์จ การใช้งานจริงนั้นก็จะมีทั้งแบบกระแสชาร์จระดับเดียว และแบบกระแสชาร์จหลายระดับ ในแบบหลายระดับนั้นเริ่มแรกก็จะชาร์จที่ high charge หรือ medium charge ก่อน เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็มแล้วก็จะทำการเปลี่ยนกระแสชาร์จเป็นแบบ low charge หลังจากนั้นก็จะถอดวงจรในที่สุด

3. การชาร์จแบบแท็บ

การชาร์จแบบแท็บจะนิยมเป็นอย่างมากในแบตเตอรี่ lead acid ที่ใช้งานแบบพกพา เครื่องชาร์จแบบแท็บจะไม่มีมารักษาระดับแรงดันหรือระดับกระแส แต่จะอาศัยการเปลี่ยนแท็บของหม้อแปลงในการเปลี่ยนระดับแรงดันการชาร์จ ซึ่งวงจรของมันจะต้องมีวงจรเรียงกระแส AC เป็น DC เมื่อจะชาร์จก็ทำการเปลี่ยนแท็บ ให้แรงดันของเครื่องชาร์จสูงกว่าที่ขั้วแบตเตอรี่ พอชาร์จไปซักพักเมื่อที่ขั้วแบตเตอรี่มีแรงดันสูงกว่าเครื่องชาร์จแล้วก็ให้เปลี่ยนแท็บจนแรงดันสูงกว่าแบตเตอรี่อีกที ทำอย่างนี้ไปจนแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่อยู่ที่แรงดันปกติของมัน

4.state of charge battery

State of charge ของแบตเตอรี่ไว้ใช้แสดงความจุของแบตเตอรี่ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของความจุสูงสุดที่มีอยู่ ทำให้เราสามารถทราบได้ว่าพลังงานได้ คิซาร์จออกไปแล้วเท่าใดและใช้ในการเปรียบเทียบพลังงานเมื่อผู้ใช้งานจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ทำให้รู้ ว่าเราสามารถจะใช้แบตเตอรี่ไปได้นานเท่าใดถึงควรที่จะจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ และรู้ว่าควรจะชาร์จ เป็นเวลานานเท่าใดแบตเตอรี่ถึงจะเต็มเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอย่างอื่นแล้ว state of charge ของแบตเตอรี่ก็เหมือนกับเกจวัดปริมาณน้ำมันในถังเชื้อเพลิงของรถยนต์นั่นเอง

SOC ของแบตเตอรี่นั้น ไม่สามารถที่จะใช้ปริมาณอ้างอิงได้เนื่องจากในการชาร์จและ คิซาร์จแต่ละรอบจะมีผลทำให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลง รวมไปถึงอายุการใช้งานของเซลล์ลดลง เนื่องจากผลของอุณหภูมิจากการคิซาร์จ การวัด state of charge ที่ครั้งแรกสุดจึงจะได้พลังงานที่ สูงสุด ในการวัดค่าของ state of charge นั้นหากจะใช้ในการเปรียบเทียบจึงต้องเทียบกับการ คิซาร์จครั้งแรกสุด แล้วจึงจะใช้ประเมินอายุรอบของการใช้งานครั้งต่อไป

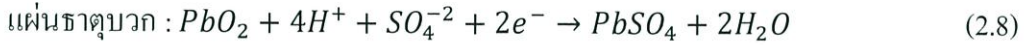
2.7 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบพลังงานทดแทน เป็นปัญหาของผู้ใช้งาน และมีมักจะสงสัยกันว่าทำไมแบตเตอรี่จึงเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันสมควรแม้ว่าจะเลือกซื้อแบตเตอรี่ ที่มีอายุการใช้งานที่นานก็ตามเช่น แบตเตอรี่ที่ออกแบบให้มีอายุ 5 ปีแต่กลับใช้งานได้เพียง 3 ปีกว่า เท่านั้นหรือบางครั้งก็เลยเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีอายุ 10 ปี แต่ก็ยังพบว่าสามารถใช้งานได้เพียง 5-8 ปี เท่านั้นในส่วนของผู้ใช้งานแล้วจำเป็นต้องเข้าใจในการกำหนดอายุของแบตเตอรี่ ว่าเป็น 5 ปี หรือ 10 ปี นั้นเป็นการกำหนดโดยการนำแบตเตอรี่ไปทดสอบในห้องทดลองในห้องที่มีการควบคุมให้มี อุณหภูมิสูงจนทำให้มีการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ส่งผลให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพโดยทำ ให้แผ่นธาตุมีสภาพผุกร่อนเร็วขึ้น (IEEE 535) แล้วนำสภาพการผุกร่อนของแผ่นธาตุที่ได้จากการ ทดสอบไปกำหนดอายุ จึงเป็นที่มาอายุของแบตเตอรี่ หรือพอจะกล่าวได้ว่าอายุแบตเตอรี่เป็นเพียง การแบ่งระดับแบตเตอรี่ โดยใช้ข้อมูลจากห้องทดลองมาเป็นเกณฑ์ในการเลือกใช้แบตเตอรี่ ในทาง ปฏิบัติแล้วพบว่าแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบพลังงานทดแทน มีปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ ด้วยหลายสาเหตุ ในบทความนี้จะได้กล่าวถึงสาเหตุของการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่และวิธีการ ป้องกันการเสื่อมสภาพปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควรพอจะรวบรวมได้ ดังต่อไปนี้

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

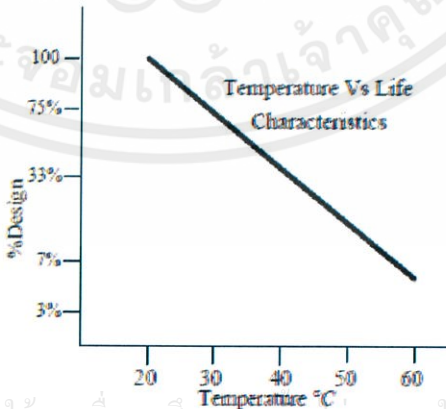
2.7.1 อุณหภูมิ (Ambient Temperature)

เนื่องจากแบตเตอรี่ที่เราใช้งานเป็นชนิด Valve Regulated Lead Acid ที่มีแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว โดยแช่ลงในน้ำกรดซัลฟูริกดังแสดงในรูปที่ 2.30 [12] โดยมีสมการทางเคมีสำหรับแผ่นธาตุบวก, ลบดังนี้



รูปที่ 2.30 แผ่นธาตุในน้ำกรดซัลฟูริก[8]

การที่แผ่นธาตุได้ถูกแช่อยู่ในน้ำกรดซัลฟูริกนั้นการสุกร้อนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งการสุกร้อนของแผ่นธาตุ โดยอัตราการเสื่อมสภาพจะแปรผันตามอุณหภูมิโดยมีข้อกำหนดตาม IEEE 1184 ระบุว่า สำหรับแบตเตอรี่ใช้งานในลักษณะ Stand By เหมือนเช่นการใช้ 2 งานกับ UPS อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุก 10 จากอุณหภูมิที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ และในอเมริกาจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง $^{\circ}C$ 20 $^{\circ}C$ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องพยายามรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ (หรือ) ติดตั้งให้แบตเตอรี่มีระยะห่างพอสมควรประมาณ 1.5 – 2 เซนติเมตร เพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดี หลีกเลี่ยงไม่ให้แบตเตอรี่รับแสงแดดโดยตรงหรือแหล่งความร้อน เป็นต้น

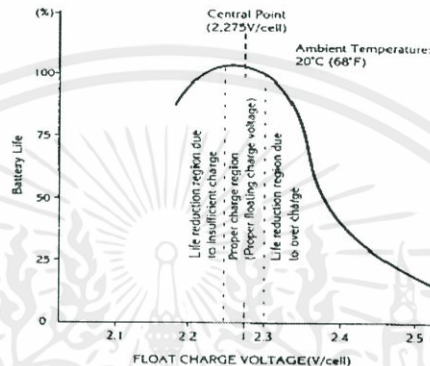


รูปที่ 2.31 ผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 แรงดัน (Float Charge Voltage)

การประจุแบตเตอรี่ชนิด Valve Regulated Lead Acid มีแรงดันที่ 2.25 ± 0.01 โวลต์ต่อเซลล์ โดย มีชื่อเรียกว่า Floating Voltage หรือ Charging Voltage ขึ้นอยู่กับสถานะของการประจุแบตเตอรี่ กล่าวคือ ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วนั้นเราเรียกแรงดันในการประจุขณะนั้นว่า Float Voltage และ เมื่อมีการประจุแบตเตอรี่หลังจากการคายประจุเราเรียกว่า Charging Voltage จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่พบว่าแรงดันที่สูงหรือต่ำเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดจะส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.32 ผลของแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่[8]

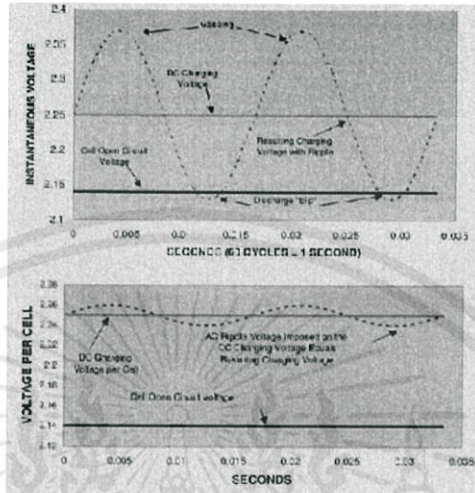
เมื่อแรงดันอยู่นอกจากขอบเขตดังแสดงในกราฟข้างบนนี้ แรงดันคร่อมแบตเตอรี่ระหว่างประจุจะมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แรงดัน 2.275 โวลต์ต่อเซลล์ เป็นแรงดันที่เหมาะสมและแบตเตอรี่มีอายุสูงสุด หรือ ระหว่าง 2.23 – 2.3 ที่อุณหภูมิ เมื่อแรงดัน float ต่ำก็จะมีผลทำให้เกิดประจุไม่เต็มจนทำให้เกิด Sulfating บนแผ่นธาตุทั้งบวกและลบ และถ้าแรงดัน Float เกินกว่า 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ ก็จะมีผลทำให้เกิด Over Charging โดยแบตเตอรี่จะสูญเสียน้ำจนทำให้เกิดเสื่อมสภาพในที่สุด แต่เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบ นั้นเป็นการนำเอาแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ระดับแรงดันตามต้องการ ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ทุกๆ ลูกจะเท่ากันดังรูปที่ 2.33 นี้แสดงให้เห็นว่าแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูกจะไม่เท่ากัน 20°C ดังนั้นเพื่อให้แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าเสมอกันที่สุด จึงจะต้องเลือกแบตเตอรี่ รุ่นและขนาดเดียวกัน ผลิตในระยะเวลาใกล้เคียงกัน และมีแรงดัน Float ไม่ต่างกันเกินกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดมาต่อร่วมกัน



รูปที่ 2.33 แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูก[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีการนำไปใช้

แรงดันคั่นกระแสเพื่อกระแสสลับ (AC ripple Voltage) เครื่องแบตเตอรี่มีผลทำให้เกิดผลกระทบบ่อยอย่างรุนแรงและรวดเร็วที่สุดกว่าสาเหตุใดๆที่กล่าวมาเนื่องจากแรงดันคั่นกระแสเพื่อกระแสสลับ (AC Ripple Voltage) สามารถทำให้เกิด Gassing และ Discharge ตลอดช่วง การประจุขึ้นอยู่กับความถี่ของ Charger ตัวนั้นๆ



รูปที่ 2.34 ช่วงเกิด Gassing และ Discharge[8]

ตามข้อกำหนดของผู้ผลิตแบตเตอรี่กำหนดให้แรงดันคั่นกระแสเพื่อกระแสสลับ (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

2.7.3 กระแส (Float & Charging Current)

กระแสที่ไหลในแบตเตอรี่ขณะ Float Charge ประกอบด้วย

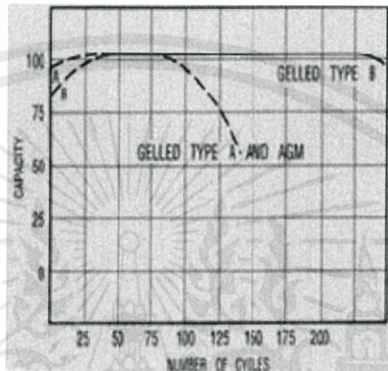
1) ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ เรียกว่า “Float Current” มีค่าประมาณ 0.3-2mA แอมแปร์ชั่วโมง ที่แรงดัน 2.30 โวลต์ต่อเซลล์ที่ 25 °C กระแสนี้ประมาณ 5% จะไปชดเชยการคายประจุภายในตัวเองของแบตเตอรี่ (Self-discharge) ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มพร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยที่อีกส่วนหนึ่งประมาณ 95 % จะเป็นตัวทำให้เกิดความร้อน ภายในแบตเตอรี่ ในทางปฏิบัติการลดกระแส Float ก็จะสามารถช่วยลดความร้อนที่สะสมในแบตเตอรี่ลงได้ เช่น การติดตั้งตัววัดอุณหภูมิให้กับชาร์จเจอร์ 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 หากตรวจพบว่าค่า

กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ สูงเกิน ให้ตรวจสอบ Rectifier, Capacitors, UPS และ Load ว่าส่วนใด เป็นสาเหตุและให้แก้ไขโดยเร่งด่วนมิฉะนั้นจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

2.7.4 จำนวนครั้งในการคายประจุ (Discharge Cycle)

จำนวนครั้งในการคายประจุก็เป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับแบตเตอรี่ที่ถูก ออกแบบมาให้ใช้งานในลักษณะ Stand By อย่างในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจาก โครงสร้างการ ออกแบบไม่ได้รองรับการคายประจุบ่อยครั้ง ดูจากกราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่ ด้านล่างนี้



รูปที่ 2.35 กราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่[8]

จากรูปที่ 2.35 เส้นประนั้นได้แสดงว่าแบตเตอรี่แบบ AGM เมื่อมีการประจุและคายประจุ จนแบตเตอรี่หมดประจุ เป็นจำนวน 125 ครั้ง (Cycles) ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเหลือ 75% ของ พิกัด นั่นคือแบตเตอรี่สามารถสำรองไฟฟ้ากับ UPS ได้ 125 ครั้งเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงเมื่อ เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ แบตเตอรี่จะไม่ได้คายประจุจนหมด เพราะ UPS จะรับไฟจากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าภายในเวลาอันรวดเร็ว ด้วยสาเหตุนี้ตัวเลขของ Cycle life จึงมีค่ามากกว่าค่านี้ อย่างไรก็ตาม อาจกล่าวได้ว่า ทุกครั้งที่แบตเตอรี่มีการคายประจุจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุสั้นลง

- จากที่ได้กล่าวมาในหัวข้อสาเหตุของการเสื่อมสภาพทั้งหมดนี้เป็นกรนำเสนอมให้เห็นถึง ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพได้แม้ว่าผู้ผลิตจะระบุว่าแบตเตอรี่มีอายุการใช้งาน 10 ปี แต่ก็ สามารถใช้งานได้ไม่ถึง 10 ปี ก็เพราะสืบเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ประกอบกันนั่นเอง อย่างไรก็ตาม ยังมีสาเหตุอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้อีกมากหลายประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

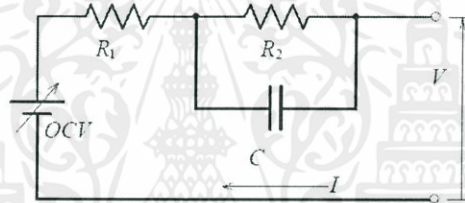
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่

3.1.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 I หมายถึงกระแสของแบตเตอรี่ OCV หมายถึงแรงดันเปิดวงจรซึ่งเป็นแรงดันที่แท้จริงของแบตเตอรี่ V หมายถึงแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ R_1 แสดงถึงการภายในของแบตเตอรี่อย่างรวดเร็วของความต้านทานภายใน R_2 แสดงถึงความต้านทานภายในที่ตอบสนองต่อค่าตัวเก็บประจุ C ซึ่ง C จะเชื่อมต่อแบบขนานกับ R_2 โดยที่ R_2 และ C จะมีค่าเวลาคงที่ (Time Constant) เป็นตัวแปรพร้อมกัน ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นมาของแบตเตอรี่สามารถอธิบายได้โดยใช้ R_2 และ C เพราะฉะนั้น V จะไม่เท่ากับ OCV ในระหว่างการดำเนินงานต่างๆ เพราะค่าตัวแปรเหล่านี้ R_1, R_2, C



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด[3]

ในรูปที่ 3.2 แสดงถึงวิธีการคำนวณค่าตัวแปรของวงจรสมมูล รูปนี้จะแสดงถึงแบบจำลองข้อมูลของแรงดันตอนเริ่มต้นการคายประจุด้วยกระแสที่ R_1 สามารถคำนวณได้จากแรงดันที่ตกลงอย่างฉับพลันซึ่งหมายถึง V_{R1} สมการที่ 3.1 แสดงถึงการคำนวณ R_1

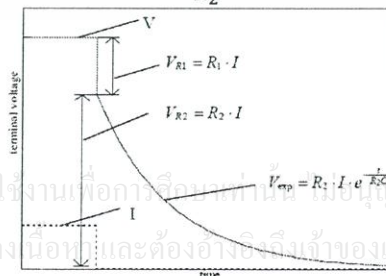
$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I} \quad (3.1)$$

R_2 สามารถคำนวณได้จากความแตกต่างของแรงดัน V_{R2} R_2 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 เช่นเดียวกัน

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I} \quad (3.2)$$

จากค่า Time Constant ของ CR_2 C สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$C = \frac{T}{R_2} \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.2 ค่าคงที่ R_1 และ R_2 ของวงจรสมมูล[3]

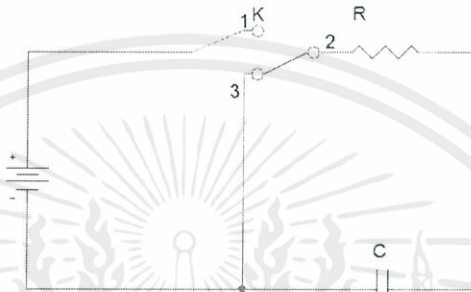
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเพิ่มแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

การประจุและการคายประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุในวงจร RC เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่มีการเพิ่มและลดแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของปริมาณในทางฟิสิกส์กับการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นของตัวแปรนั้น

3.2.1 การเก็บประจุในตัวเก็บประจุ

พิจารณาวงจร RC ในรูปที่ 3.3 ตัวเก็บประจุ C ต่อเป็นวงจรกับตัวต้านทาน แหล่งจ่ายไฟ กระแสตรง E และสวิตช์ K



รูปที่ 3.3 แสดงวงจร RC

เมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่งที่ 1 จะมีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากแหล่งไฟฟ้า กระแสตรงผ่านตัวต้านทาน R ไปเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและจะหยุดที่ปริมาณคงที่ค่าหนึ่ง ให้ q เป็นประจุไฟฟ้าที่ถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ C ณ เวลาใดๆ (transient charge) หลังจากสับสวิตช์ K ไปอยู่ที่ตำแหน่งที่ 3 ให้ความต่างศักย์ที่คร่อมตัวเก็บประจุขณะใดๆ เท่ากับ V_c เมื่อมีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทประจุไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน R จะมีกระแสไฟฟ้า i ไหลผ่านตัวต้านทาน ซึ่งกระแส i จะมีค่าเท่ากับ dq/dt เราจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\begin{aligned} E &= V_c + iR \\ E &= \frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt} \\ \frac{dq}{dt} &= \frac{E - q/C}{R} = \frac{CE - q}{RC} \\ \frac{dq}{CE - q} &= \frac{dt}{RC} \end{aligned}$$

เมื่อเริ่มสับสวิตช์ $t=0, q=0$ เมื่อเวลาผ่านไปเป็น t วินาที ประจุที่ตัวเก็บประจุ C มีค่า q ทำให้ได้ว่า

$$\begin{aligned} \int_0^q \frac{dq}{CE - q} &= \int_0^t \frac{dt}{RC} \\ \int_{CE}^{CE-q} \frac{du}{u} &= -\frac{1}{RC} \int_0^t dt \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\ln(CE - q) - \ln(CE) &= -\frac{1}{RC} \\ \ln\left[\frac{CE - q}{CE}\right] &= -\frac{t}{RC} \\ CE - q &= CEe^{-t/RC} \\ q &= CE(1 - e^{-t/RC}) \\ V_c &= E(1 - e^{-t/RC})\end{aligned}\quad (3.4)$$

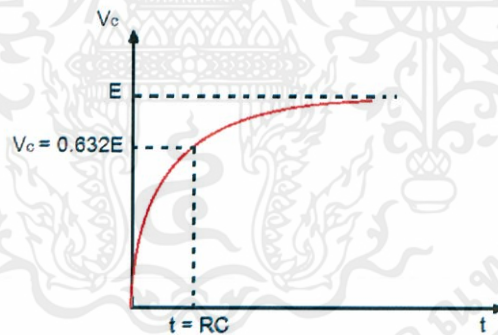
จากสมการที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า RC มีหน่วยในเทอมของเวลา สำหรับเวลาเป็นวินาที ค่า R จะมีหน่วยเป็น โอห์ม และ C มีหน่วยเป็นฟารัด (Farad) แต่โดยปกติมีหน่วยเป็นฟารัด เป็นหน่วยที่ใหญ่เกินไปไม่เป็นที่ยอมรับ มักจะใช้เป็นไมโครฟารัดหรือพิโคฟารัด ค่า RC จะมีค่าคงที่สำหรับวงจรไฟฟ้าแต่ละวงจร เรานิยามเขียนแทนค่า RC ด้วย T และเรียกว่า *time constant*

$$T = RC \quad (3.5)$$

เราจะได้ว่า $V_c = E(1 - e^{-1})$

$$\begin{aligned}V_c &= \frac{E(e - 1)}{e} \\ V_c &= 0.632E\end{aligned}\quad (3.6)$$

สมการที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่า เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนผ่านตัวต้านทาน R มาออกันอยู่ในตัวเก็บประจุเป็นเวลา $t = RC$ จะมีตัวเก็บประจุสะสมอยู่โดยที่ทำให้ความต่างศักย์คร่อม C มีค่าเป็น $0.632E$ รูปที่ 3.4 เป็นรูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของ V_c กับเวลา t ใดๆ



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงค่า V_c กับ t การเก็บประจุของวงจร RC

3.2 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์

1. Battery NS40Z 12V 35Ah



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.Multimeter Fluke 73III



3.Agilent 34401A Multimeter



4.M10-LSS3010 Switching DC power supply



5.Resistor 50W 0.1Ω



6.Resistor tapping 400W 10Ω



3.2.2 อุปกรณ์และสมมติฐานสำหรับการคายประจุ

ตัวต้านทานจะถูกใช้เป็นโหลดสำหรับการคายประจุของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะถูกคายประจุด้วยกระแสคงที่จนกระทั่งแรงดันมาอยู่ที่ 10.8V กระแสที่ใช้สำหรับคายประจุ คือ 0.1C ,0.2C ขนาดของกระแส(C)ที่ใช้ในการคายประจุนี้จะหาได้จากสมการที่ 3.7

$$\text{Current magnitude} = \frac{\text{Current(A)}}{\text{Rated Capacity(Ah)}} \quad (3.7)$$

3.2.3 อุปกรณ์และสมมติฐานสำหรับการประจุ

M10-LSS3010 Switching DC power supply ถูกใช้เป็นเครื่องประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่จะถูกประจุไฟด้วยกระแสคงที่จนกระทั่งถูกประจุไฟจนเต็ม ซึ่งจะถูกกำหนดโดยจำนวนของกระแสและระยะเวลาในการคายประจุ จำนวนพลังงานของการประจุไฟอยู่ที่ประมาณ 130% ของจำนวนพลังงานในการคายประจุ กระแสคงที่ที่ใช้สำหรับการประจุไฟคือ 0.1C ,0.2C

3.2.4 ขั้นตอนการทดลอง

สำหรับการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 การทดสอบ คือ

1. การทดสอบการคายประจุด้วยกระแสคงที่

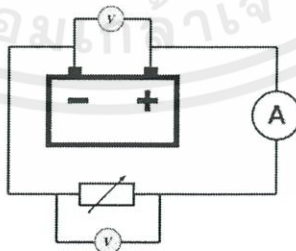
สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้เห็นถึงเวลาที่ใช้ในการคายประจุจนถึงค่าแรงดันสุดท้าย ค่าแรงดันสุดท้ายของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการคายประจุเท่ากับ 10.8V ทำการคายประจุเพื่อดูเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่ การทดสอบนี้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบแรงดันสุดท้ายกับค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการคายประจุแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสคงที่ ทั้งหมดจำนวน 2 ค่า และบันทึกแรงดันแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยการบันทึกค่าแรงดันและกระแส เราได้ทำการใช้โปรแกรม LABview ทำการออกแบบคำสั่งสำหรับการบันทึกค่าข้อมูลแบบเรียลไทม์

โดยในการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 35 Ah คือ รุ่น NS40Z ยี่ห้อ 3K battery มีขนาด 12V 35Ah

ซึ่งในการทดสอบจะใช้กระแสไฟฟ้าในการคายประจุทั้งหมด 2 ค่า คือ 0.1C และ 0.2C สังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่ยานแบตเตอรี่ทำงาน

- การบันทึกผล

ทำการต่อวงจรสำหรับการคายประจุดังรูปที่ 3.5 โดยใช้ตัวต้านทานเป็นโหลดเพื่อทำการคายประจุจากแบตเตอรี่ ทำการคายประจุที่ค่ากระแส 2 ค่า คือ 0.1C ,0.2C โดยคำนวณจากสมการ 3.7 โดยใช้เวลาในการบันทึกเป็น 10 กับ 5 ชั่วโมงตามลำดับ



รูปที่ 3.5 วงจรสำหรับการคายประจุแบตเตอรี่

ทำการบันทึกผลการทดลองโดยการบันทึกค่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่และบันทึกค่ากระแสด้วย โดยทำการบันทึกค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานเพื่อนำมาคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าจากสมการที่ 3.8

$$V=IR \quad (3.8)$$

โดยการบันทึกนั้นเราทำการเขียนคำสั่งการบันทึกจากโปรแกรม LabVIEW โดยเราใช้เครื่อง Digital multimeter Agilent 34401A ทำการอินเทอร์เฟซเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการบันทึกค่าทุก 1 วินาที



รูปที่ 3.6 หน้าต่างคำสั่งโปรแกรม LabVIEW สำหรับการบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.7 ภาพการทดลองตอนทำการคายประจุแบตเตอรี่

2. การทดสอบการประจูดัวยกระแสคงที่

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมของการประจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้เห็นลักษณะของกราฟจากการประจุแบตเตอรี่ ทำการประจุนถึงค่าแรงดันสุดท้าย โดยกำหนดแรงดันสุดท้ายที่ 130% ของแรงดันปกติ การทดสอบนี้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบแรงดันสุดท้ายกับค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการประจุแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสคงที่ ทั้งหมดจำนวน 2 ค่า และบันทึกแรงดันแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยการบันทึกค่าแรงดันและกระแส เราได้ทำการใช้โปรแกรม LABview ทำการออกแบบคำสั่งสำหรับการบันทึกค่าข้อมูลแบบเรียลไทม์

โดยในการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 35 Ah คือ

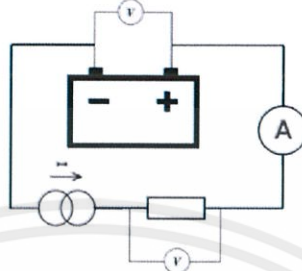
- รุ่น NS40Z ยี่ห้อ 3K battery มีขนาด 12 V 35 Ah

ซึ่งในการทดสอบจะใช้กระแสไฟในการประจุทั้งหมด 2 ค่า คือ 0.1C และ 0.2C สังเกต

พฤติกรรมมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาทีแบตเตอรี่ทำงาน

- การบันทึกผล

ทำการต่อวงจรสำหรับการประจุรูปที่ 3.8 โดยใช้ตัวต้านทานเป็นโหลดเพื่อทำการคายประจุจากแบตเตอรี่ ทำการคายประจุที่ค่ากระแส 2 ค่า คือ 0.1C ,0.2C โดยคำนวณจากสมการ 3.7 โดยใช้เวลาในการบันทึกเป็น 10 กับ 5 ชั่วโมงตามลำดับ



รูปที่ 3.8 วงจรสำหรับประจุแบตเตอรี่

ทำการบันทึกผลการทดลองโดยการบันทึกค่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่และบันทึกค่ากระแสด้วย โดยทำการบันทึกค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานเพื่อนำมาคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าจากสมการที่ 3.8

โดยการบันทึกนั้นเราทำการเขียนคำสั่งการบันทึกจากโปรแกรม LabVIEW โดยเราใช้เครื่อง Digital multimeter Agilent 34401A ทำการอินเตอร์เฟซเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการบันทึกค่าทุก 1 วินาที



รูปที่ 3.9 ภาพการทดลองตอนทำการประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

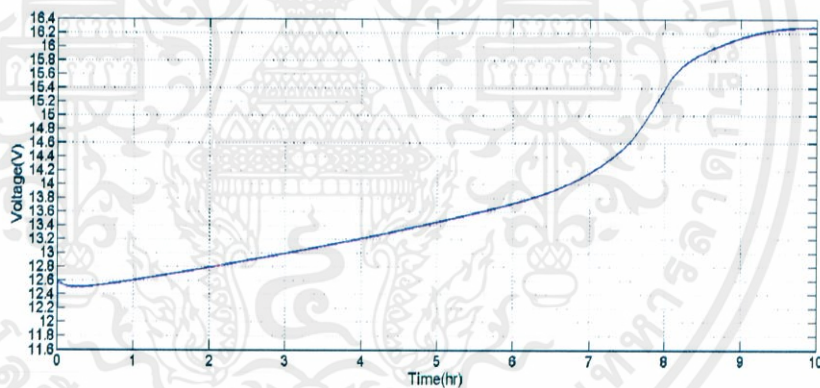
4.1 การทดสอบหาค่าพลังงานของแบตเตอรี่

จากทฤษฎีเบื้องต้นของการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ เราสามารถทำการทดสอบหาค่าพลังงานที่สะสมในแบตเตอรี่ได้ และทดสอบพฤติกรรมว่ามีลักษณะคล้ายกันกับทฤษฎีหรือไม่ ซึ่งการทดสอบผลปรากฏว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งทำการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ด้วยการออกแบบวงจรอย่างง่าย ตามลำดับการทำงาน

$$Energy = \int P dt \quad (4.1)$$

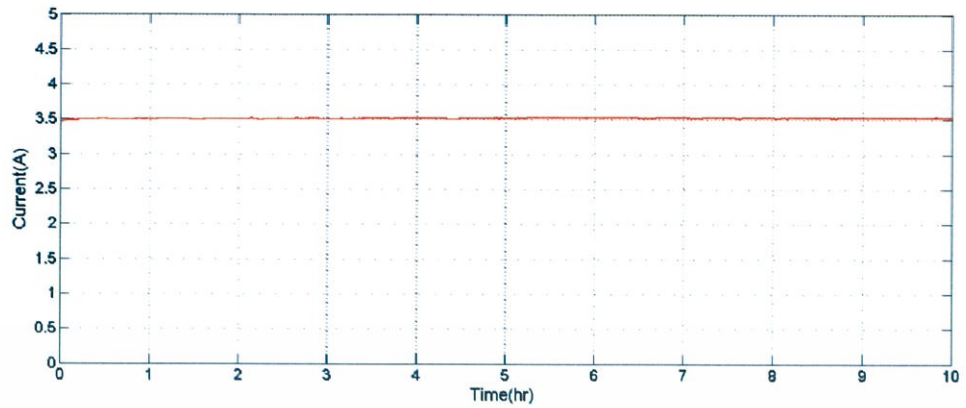
ค่าพลังงานของแบตเตอรี่จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันสุดท้ายของขั้วแบตเตอรี่ตามข้อกำหนดของแต่ละชนิด โดยแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด ที่ทำการศึกษาพบว่าแรงดันสุดท้ายที่ขั้วของแบตเตอรี่ควรมีค่า 10.8 โวลต์

4.1.1 การทดสอบหาค่าพลังงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด ขนาดความจุ 35 Ah

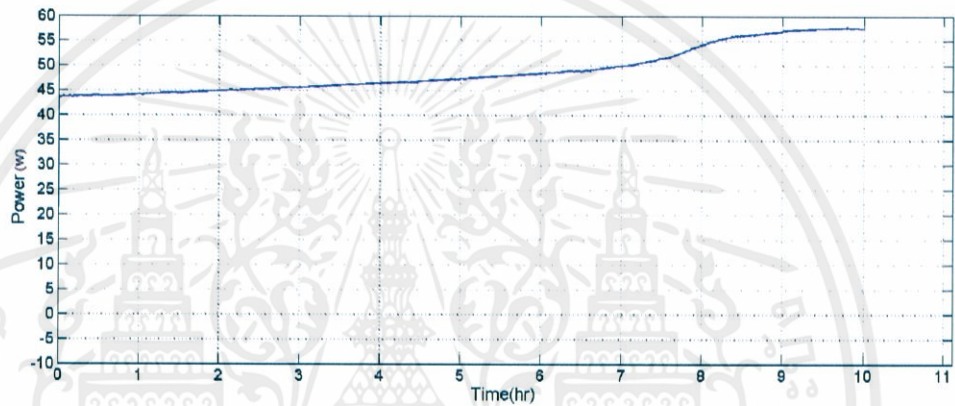


รูปที่ 4.1 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C

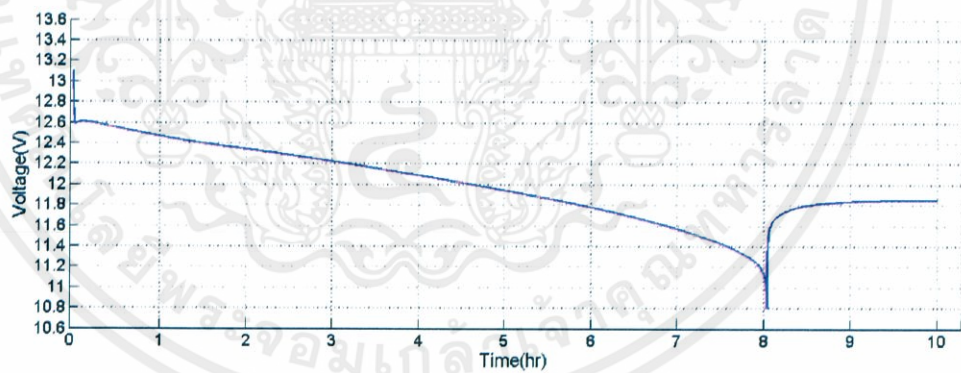
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C

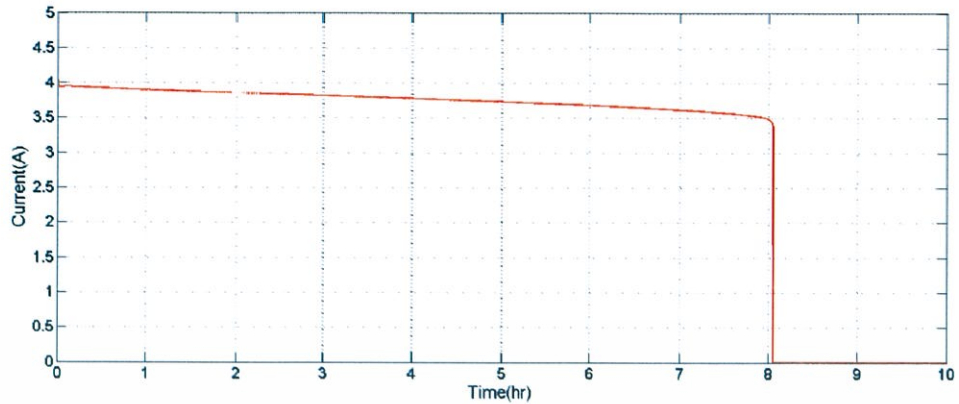


รูปที่ 4.3 พลังงานของแบตเตอรี่ขณะประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C

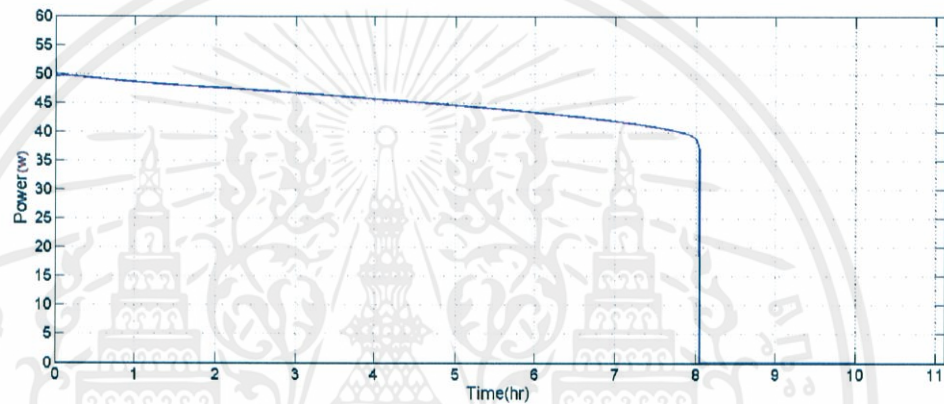


รูปที่ 4.4 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการคายประจุแบตเตอรี่กระแส 0.1C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กระแสที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C



รูปที่ 4.6 พลังงานของแบตเตอรี่ขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C

จากรูปที่ 4.3 เราสามารถนำกราฟที่ได้จากการวาดกราฟค่าพลังงานขณะประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 3.5A มาคำนวณหาค่าพลังงานจากการประจุแบตเตอรี่โดยการหาได้จากสมการที่ 4.1

จากสมการที่ 4.1 จะได้ พลังงานที่ใช้ในการประจุมีค่าเท่ากับ 1.586 MJ

และเช่นเดียวกันจากรูปที่ 4.6 เราสามารถนำกราฟที่ได้จากการวาดกราฟค่าพลังงานขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 3.5A มาคำนวณหาค่าพลังงานจากการประจุแบตเตอรี่โดยการหาได้จากสมการที่ 4.1

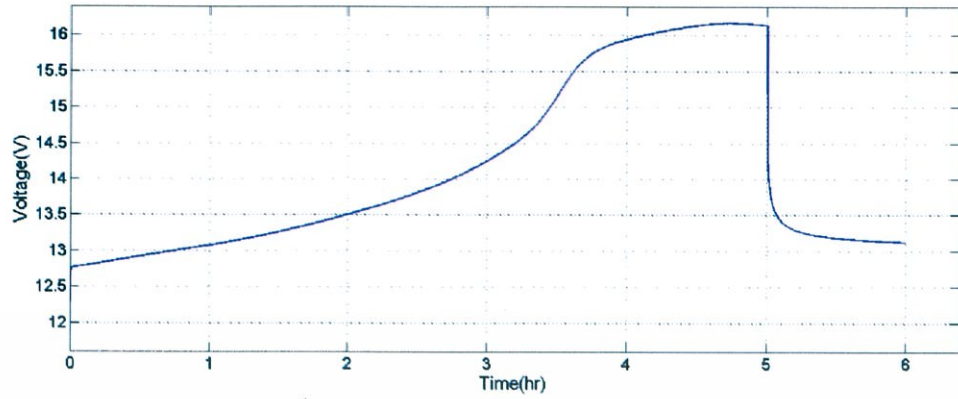
จากสมการที่ 4.1 จะได้ พลังงานที่ได้จากการคายประจุมีค่าเท่ากับ 1.17 MJ

เมื่อเราได้พลังงานที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่และพลังงานที่ได้จากการคายประจุแบตเตอรี่แล้ว เราสามารถนำพลังงานที่เราได้มา มาคำนวณหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้จาก

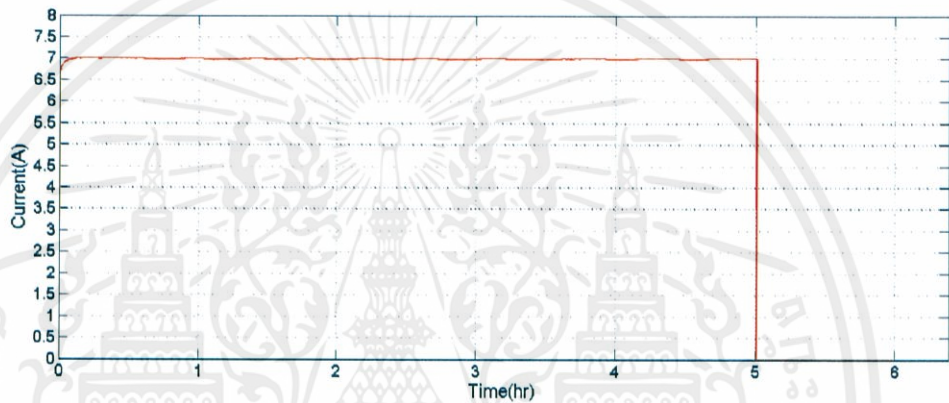
$$\text{ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่} = (\text{พลังงานที่คายประจุ} / \text{พลังงานที่ประจุ}) * 100\% \quad (4.2)$$

$$\text{จากสมการที่ 4.2 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่} = 74.6874\%$$

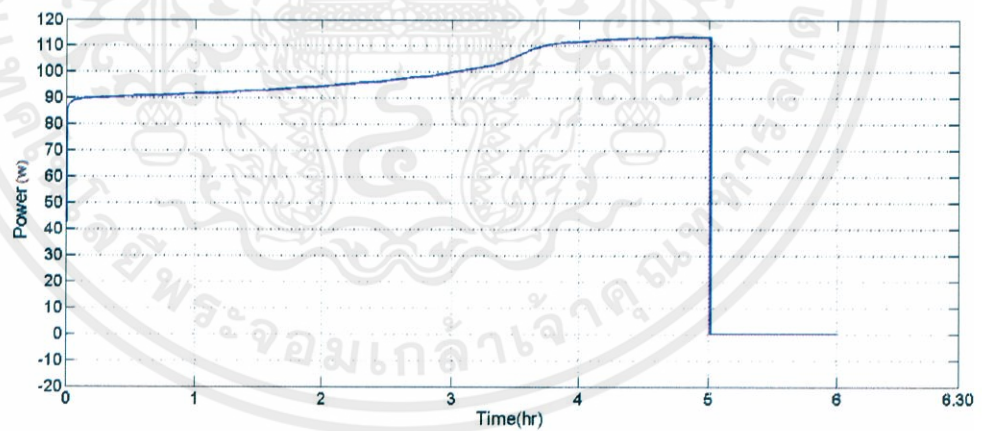
จากนั้นได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยการทำการประจุไฟเข้าแบตเตอรี่และทำการคายประจุไฟแบตเตอรี่ด้วยกระแส 0.2C เพื่อคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ พลังงานที่ได้จากการคายประจุของแบตเตอรี่และหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ว่า จะมีความแตกต่างจากการอัดประจุไฟและการคายประจุที่กระแส 0.1C หรือไม่



รูปที่ 4.7 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C

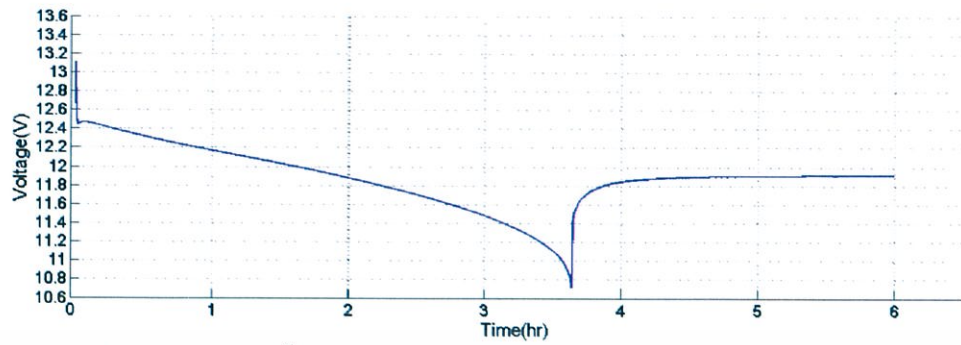


รูปที่ 4.8 กระแสที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C

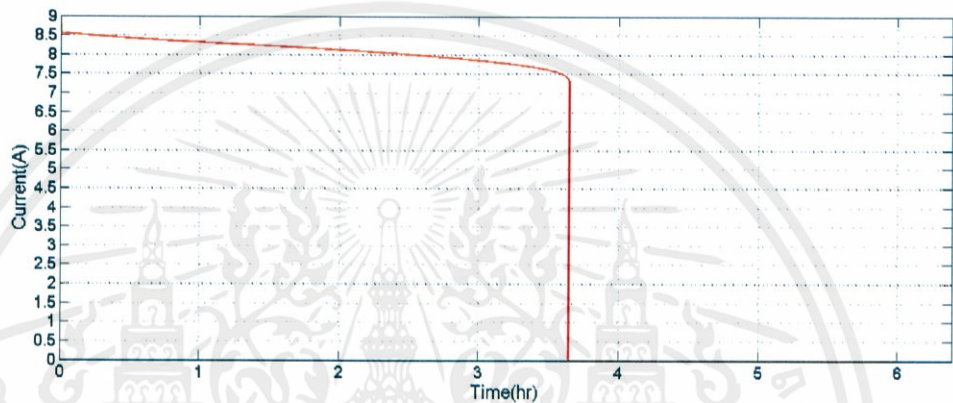


รูปที่ 4.9 พลังงานของแบตเตอรี่ขณะประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C

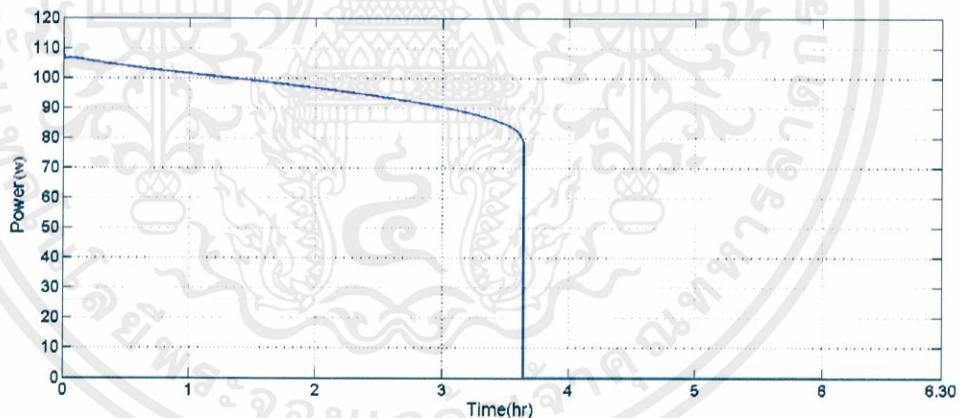
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จากการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C



รูปที่ 4.11 กระแสที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C



รูปที่ 4.12 พลังงานของแบตเตอรี่ขณะประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C

จากรูปที่ 4.9 เราสามารถนำกราฟที่ได้จากการวาดกราฟค่าพลังงานขณะประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C มาคำนวณหาค่าพลังงานจากการประจุแบตเตอรี่โดยการหาได้จากสมการที่ 4.1

จากสมการที่ 4.1 จะได้ พลังงานที่ใช้ในการประจุมีค่าเท่ากับ 1.797 MJ

และเช่นเดียวกันจากรูปที่ 4.12 เราสามารถนำกราฟที่ได้จากการวาดกราฟค่าพลังงานขณะ

คายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C มาคำนวณหาค่าพลังงานจากการคายประจุแบตเตอรี่โดยการหาได้จากสมการที่ 4.1

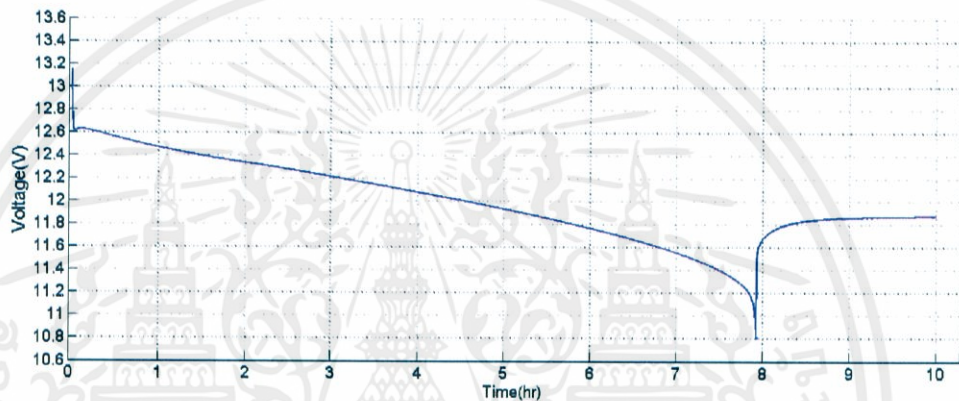
จากสมการที่ 4.1 จะได้ พลังงานที่ใช้ในการคายประจุมีค่าเท่ากับ 1.267 MJ

จากสมการที่ 4.2 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ = 70.4954 %

จากการทดสอบพลังงานในการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยอัตราการประจุและอัตราการคายประจุที่ต่างกันแล้ว พบว่าในการใช้อัตราการอัดประจุและคายประจุที่สูงจะทำให้แบตเตอรี่ใช้พลังงานในการอัดประจุและคายประจุมากกว่าการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ที่อัตราต่ำกว่า แต่ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่นั้นจะมีค่าน้อยกว่าแบตเตอรี่ที่อัดประจุและคายประจุในอัตราที่ต่ำกว่า

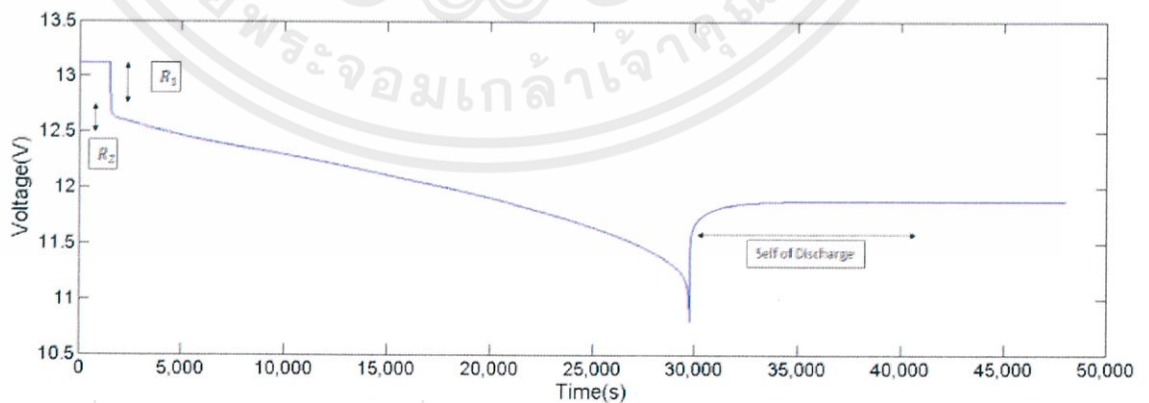
4.2 การหา Equivalent circuit ภายในแบตเตอรี่

จากการศึกษาทฤษฎี คุณสมบัติ และพฤติกรรมของแบตเตอรี่ ซึ่งพฤติกรรมในขณะที่มีการคายประจุจากการทดลองจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.13



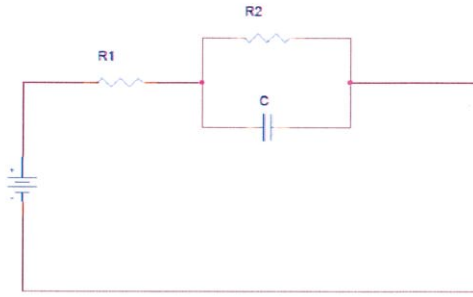
รูปที่ 4.13 แสดงพฤติกรรมของแรงดันการคายประจุที่กระแสดังที่

จากภาพแสดงพฤติกรรมของแรงดันขณะการคายประจุจะพบว่า มีลักษณะผลของค่าความต้านทาน และค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในซึ่งสมมติฐานของวงจรสมมูลที่ได้ในช่วงแรงดันที่มีการตกอย่างรวดเร็วจะเป็นผลของค่าความต้านทานที่เกิดขึ้น ในช่วงเริ่มต้นของการคายประจุ และจะแสดงพฤติกรรมของค่าความจุไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาถัดมา เมื่อสิ้นสุดการคายประจุของตัวเก็บประจุไฟฟ้าเอง



รูปที่ 4.14 แสดงพฤติกรรมของความต้านทานและตัวเก็บประจุขณะการคายประจุจากพฤติกรรม

ข้างต้น เราสามารถทำนายวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ได้ตามรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่

4.2.1 การหาค่าความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่

เราสามารถหาค่าความต้านทานภายใน R_1 ได้จาก

กฎของโอห์ม

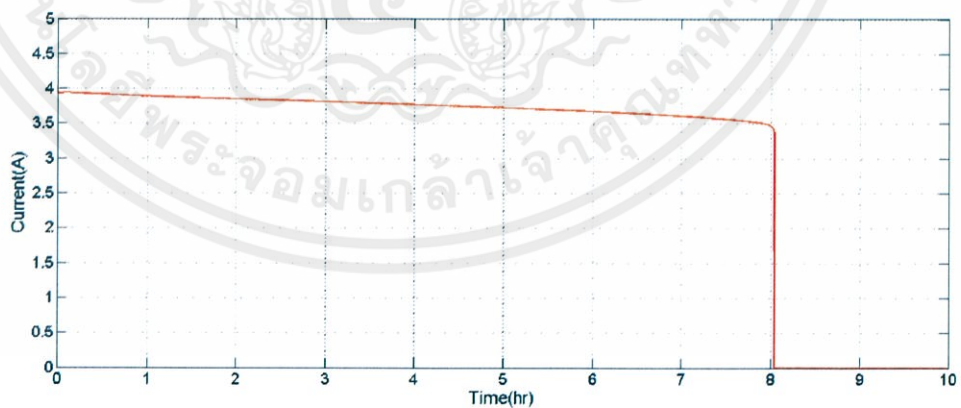
$$V = IR \tag{4.3}$$

$$R = \frac{V}{I} \tag{4.4}$$

4.2.1.1. ความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่ขนาด 35 Ah ที่อัตราการคายประจุ 0.1C

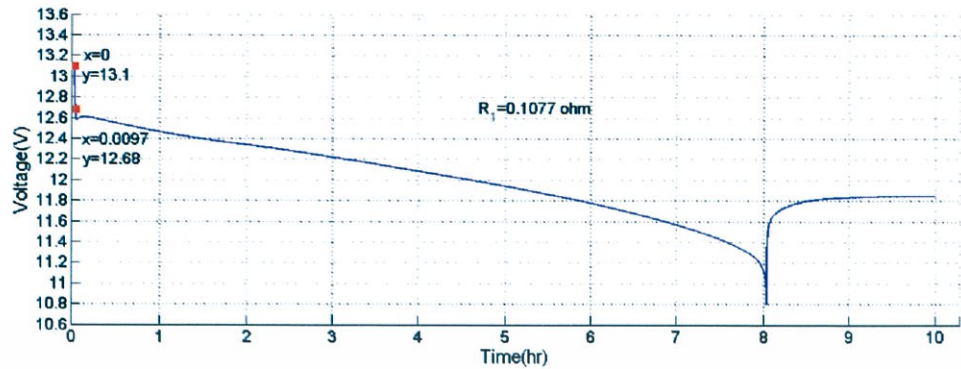
จากพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะพบได้ว่าในช่วงแรกของการคายประจุ กราฟแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ของการประจุมักจะมีพฤติกรรมที่ว่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานว่าเกิดจากการลัดวงจรภายในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดค่าความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่ โดยสามารถหาค่า R_1 ได้จากกราฟ

โดยได้ทำการวาดกราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C ทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำค่าที่ได้ในแต่ละครั้งมาทำการเปรียบเทียบและนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.16 กระแสที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C

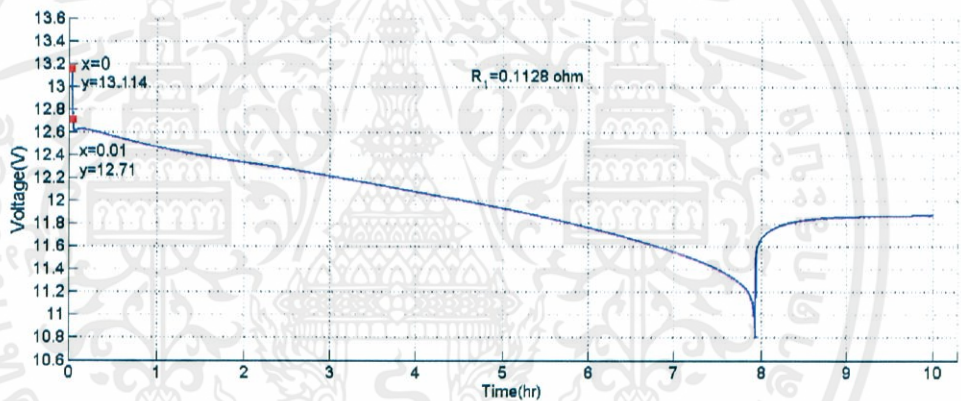
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C ครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการคายประจุ แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะคายประจุจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลของค่าความต้านทานภายใน R_1 ในแบตเตอรี่ ซึ่งเราสามารถหาค่า R_1 ได้จากสมการที่ 4.4

$$\text{ค่าความต้านทาน } R_1 = 0.1094 \text{ โอห์ม}$$



รูปที่ 4.18 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C ครั้งที่ 2

$$\text{ค่าความต้านทาน } R_1 = 0.1087 \text{ โอห์ม}$$



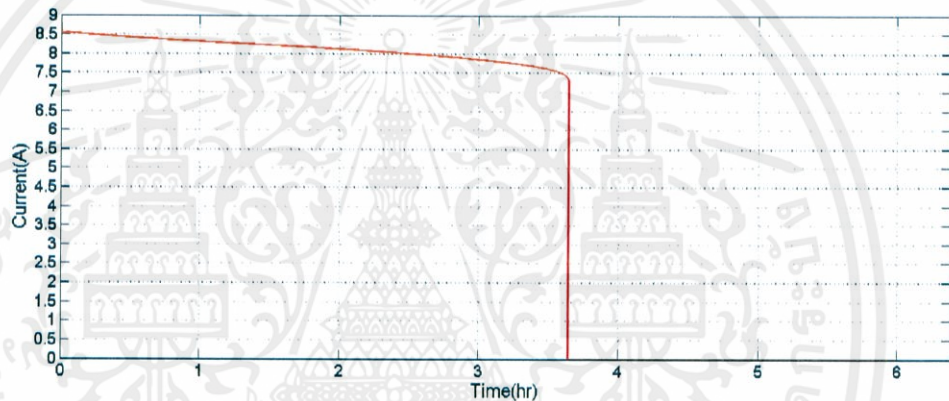
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.19 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C ครั้งที่ 3 ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดค่าความต้านทาน $R_1 = 0.1072$ โอห์ม เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2. ความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่ขนาด 35 Ah ที่อัตราการคายประจุ 0.2C

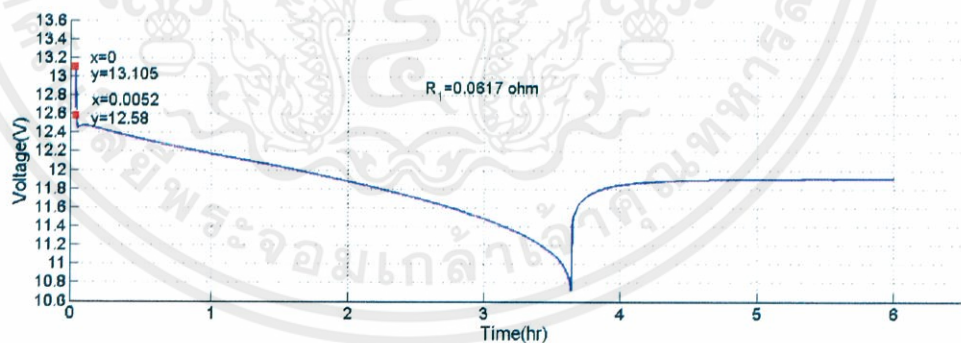
หลังจากได้วาดกราฟพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C แล้ว ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.2C ด้วย

โดยได้ทำการศึกษากราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ด้วยกระแส 0.2C เพื่อศึกษาถึงค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ว่าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการคายประจุหรือไม่

ในการศึกษาพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ด้วยกระแส 0.2C เราได้ทำการวาดกราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำค่าความต้านทานภายใน R_1 ในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบและหาค่าเฉลี่ย



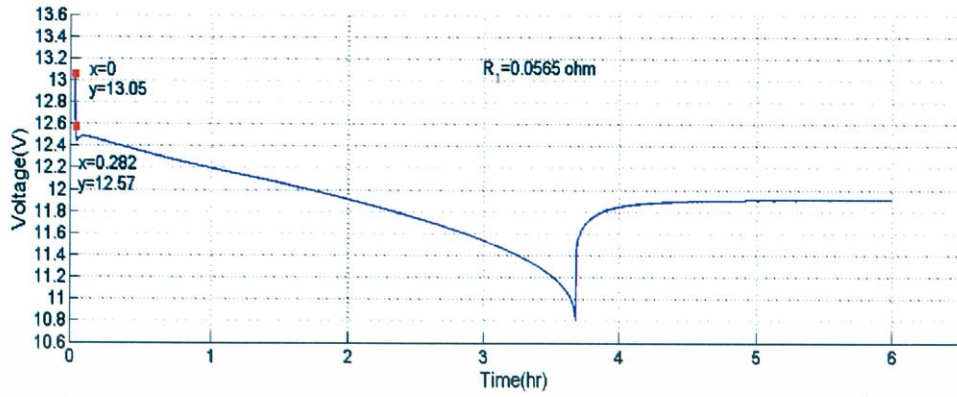
รูปที่ 4.20 กระแสที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C



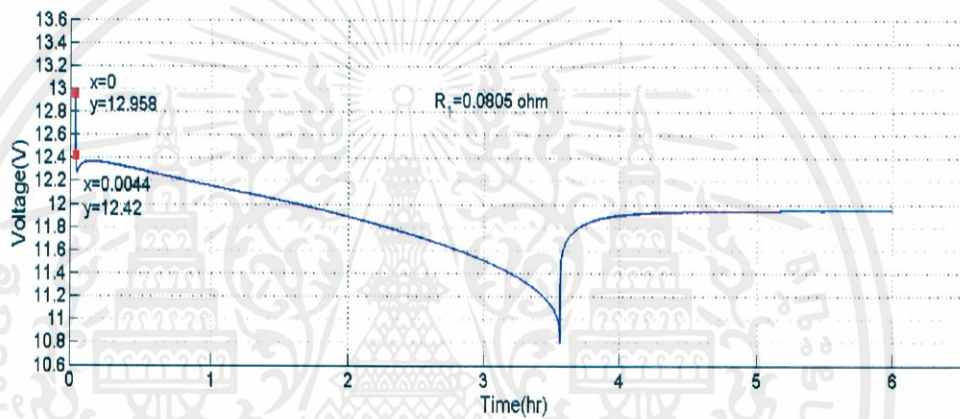
รูปที่ 4.21 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.2C ครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.21 พฤติกรรมของการคายประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแส 0.2C โดยศึกษาจากกราฟแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะคายประจุ พบว่าในช่วงแรกของการคายประจุ นั้นแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าเป็นผลของค่าความต้านทานภายใน R_1 ในแบตเตอรี่ โดยสามารถหาค่าความต้านทานภายใน R_1 ได้จากสมการที่ 4.4

ค่าความต้านทาน $R_1 = 0.061$ โอห์ม



รูปที่ 4.22 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.2C ครั้งที่ 2
ค่าความต้านทาน $R_1 = 0.0565$ โอห์ม



รูปที่ 4.23 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.2C ครั้งที่ 3
ค่าความต้านทาน $R_1 = 0.0805$ โอห์ม

ผลเฉลี่ยของค่า R_1 จากการทดสอบ

จากผลการทดลองรูปที่ 4.16 – 4.23 จะได้ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ R_1 ของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C และ 0.2C ตารางที่ 4.1 แสดงผลเฉลี่ยค่าความต้านทานภายใน R_1

การทดสอบ	อัตราการคายประจุ	
	0.1C	0.2C
ครั้งที่ 1	0.1077 Ω	0.0617 Ω
ครั้งที่ 2	0.1128 Ω	0.0565 Ω
ครั้งที่ 3	0.1035 Ω	0.0805 Ω
เฉลี่ย	0.1080 Ω	0.0662 Ω
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0047	0.0126

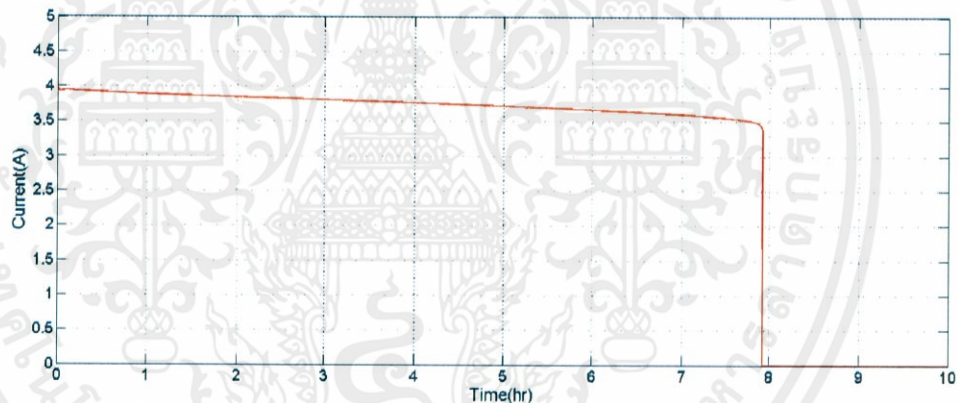
4.2.2. การหาค่าความต้านทานภายใน R_2 ของแบตเตอรี่

เมื่อเกิดการคายประจุไปช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งหมดค่าผลของค่า C ภายในแล้วจะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงก็เพราะกระแสที่ไหลผ่านจะผ่านความต้านทานทั้ง R_1 และ R_2 ซึ่งในช่วงนี้พฤติกรรมของตัวเก็บประจุจะไม่ปรากฏให้เห็น ค่าความต้านทาน R_2 จะปรากฏ ในช่วงแรงดันที่เกิดผลของค่าตัวเก็บประจุจนกระทั่งกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือไม่ปรากฏผลของค่าตัวเก็บประจุ

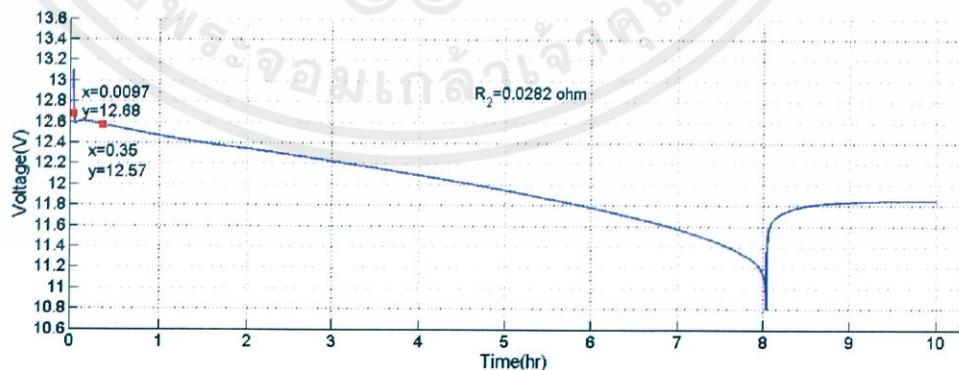
4.2.2.1. ความต้านทานภายใน R_2 ของแบตเตอรี่ขนาด 35 Ah ที่อัตราการคายประจุ 0.1C

จากข้างต้นที่กล่าวแล้ว สามารถหาค่าความต้านทานภายใน R_2 ของแบตเตอรี่ได้จากช่วงกราฟของแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ที่เป็นผลของค่าตัวเก็บประจุ โดยสามารถคำนวณหาค่า R_2 ได้จากสมการที่ 4.4

โดยนำกราฟจากการทดลองมาแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C เป็นจำนวน 3 ครั้ง จากข้างต้นที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่ มาทำการคำนวณหาค่าความต้านทานภายใน R_2 ของแบตเตอรี่ด้วย

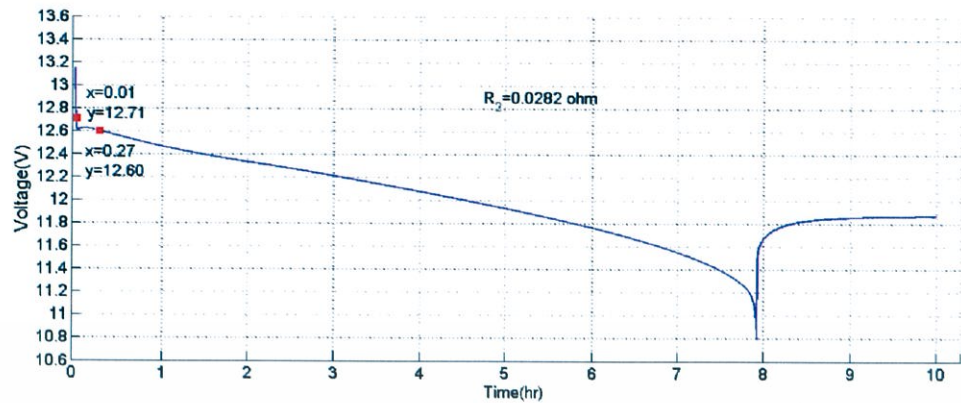


รูปที่ 4.24 กระแสที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C

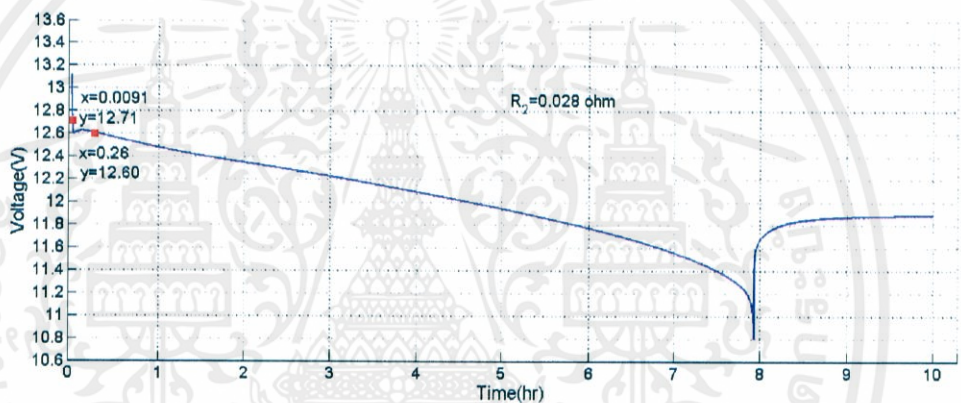


รูปที่ 4.25 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.1C ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งงานนี้เป็นการศึกษาวิจัยของศูนย์วิจัยโซลาร์เซลล์ การคำนวณค่าความต้านทาน $R_2 = 0.0540$ โอห์ม



รูปที่ 4.26 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.1C ครั้งที่ 2
ค่าความต้านทาน $R_2 = 0.0390$ โอห์ม



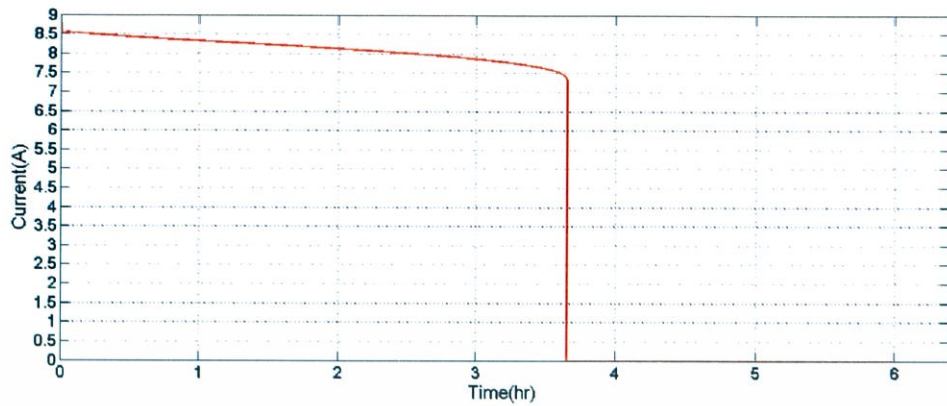
รูปที่ 4.27 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.1C ครั้งที่ 3
ค่าความต้านทาน $R_2 = 0.0375$ โอห์ม

4.2.2.2. ความต้านทานภายใน R_2 ของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.2C

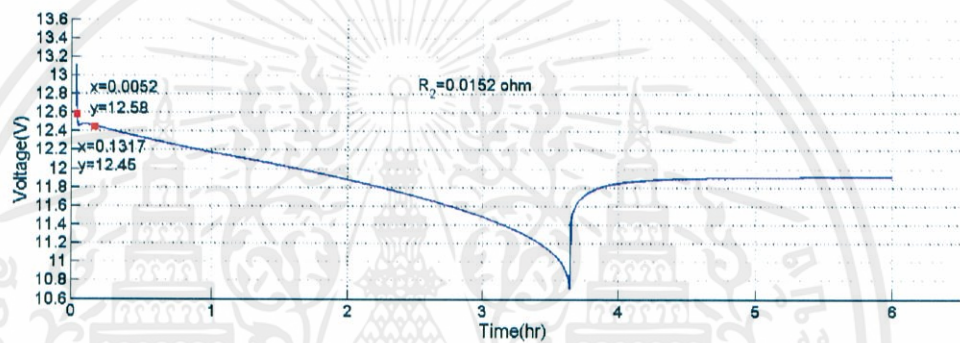
หลังจากได้วาดกราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด ที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C แล้ว ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C

โดยได้ทำการศึกษากราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C เพื่อศึกษาถึงค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ว่าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการคายประจุหรือไม่

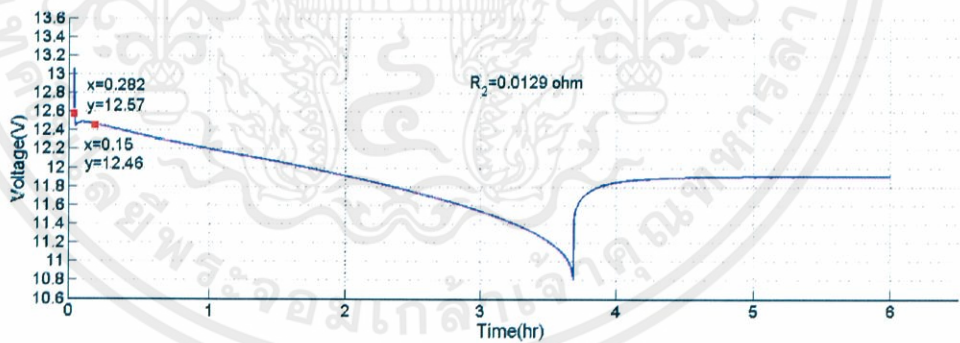
ในการศึกษาพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C เราได้ทำการวาดกราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำค่าความต้านทานภายใน R_2 ในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบและหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.28 กระแสที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C

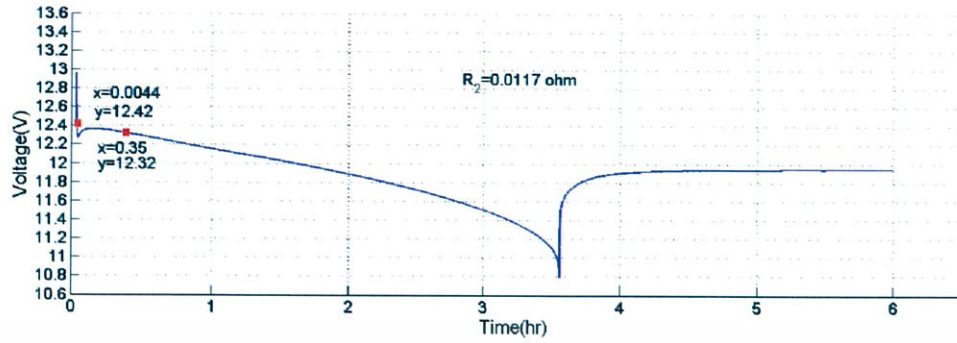


รูปที่ 4.29 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.2C ครั้งที่ 1
ค่าความต้านทาน $R_2 = 0.0152$ โอห์ม



รูปที่ 4.30 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.2C ครั้งที่ 2
ค่าความต้านทาน $R_2 = 0.0129$ โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.2C ครั้งที่ 3

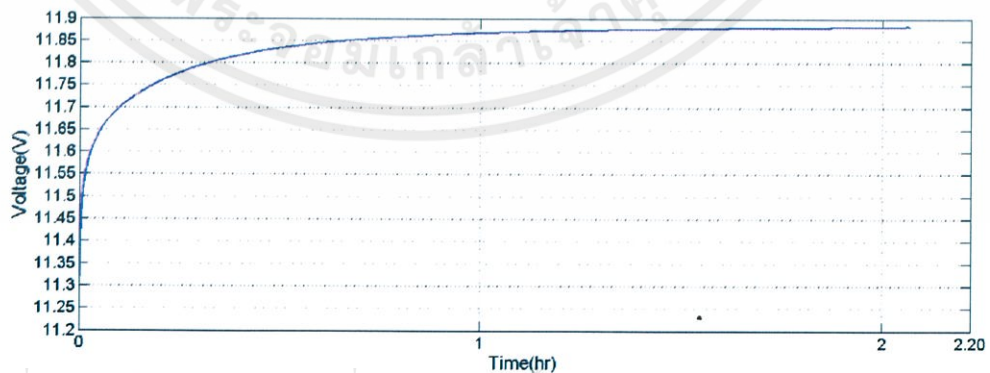
ค่าความต้านทาน $R_2 = 0.0117$ โอห์ม

ผลเฉลี่ยของค่า R_2 จากการทดสอบ

จากผลการทดลองรูปที่ 4.30 – 4.39 จะได้ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ R_2 ของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.1C และ 0.2C ตารางที่ 4.2 แสดงผลเฉลี่ยค่าความต้านทานภายใน R_2

การทดสอบ	อัตราการคายประจุ	
	0.1C	0.2C
ครั้งที่ 1	0.0282 Ω	0.0152 Ω
ครั้งที่ 2	0.0282 Ω	0.0129 Ω
ครั้งที่ 3	0.0282 Ω	0.0117 Ω
เฉลี่ย	0.0282 Ω	0.0132 Ω
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0	0.0018

4.2.3 การหาค่าตัวเก็บประจุภายใน C_b ของแบตเตอรี่



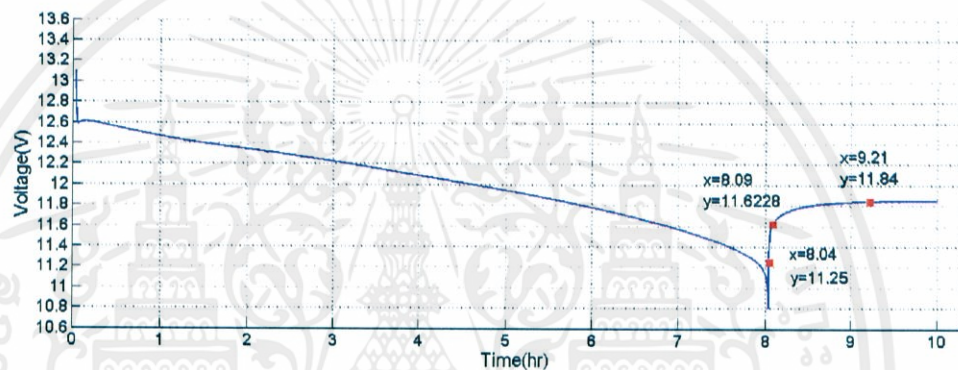
รูปที่ 4.32 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

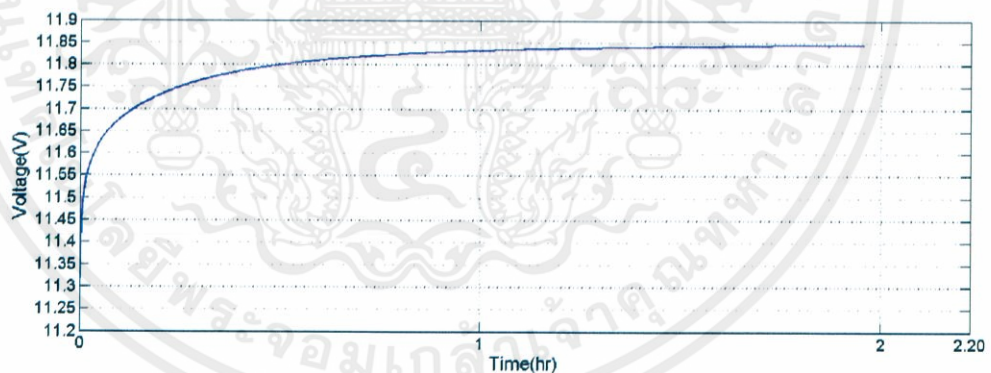
จากกราฟแรงดันมีลักษณะเป็นแบบเพิ่มขึ้นแบบ Exponential ตามทฤษฎีของ RC Time Constant โดยแรงดันจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาใดๆ โดยที่ที่ความต้านทานโหลดต่ำจะเกิดการคายประจุเร็วกว่าที่ความต้านทานโหลดสูง

4.2.3.1. ตัวเก็บประจุภายใน C_b ของแบตเตอรี่ขนาด 35 A.H. ที่อัตราการคายประจุ 0.1C

จากกราฟของพฤติกรรมการคายประจุเมื่อได้ทำการคายประจุจนกระทั่งโวลต์ที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าถึงแรงดันสุดท้ายแล้ว ได้ทำการปลดโหลดที่ใช้ในการคายประจุออก จากกราฟจะเห็นได้ว่าหลังจากแรงดันสุดท้ายที่ได้ทำการปลดโหลดออกกราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุไฟฟ้าจะปรากฏว่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นแบบ exponential และกราฟช่วงนี้เราสามารถนำมาคำนวณหาค่า C_b ในแบตเตอรี่ได้



รูปที่ 4.33 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.1C ครั้งที่ 1



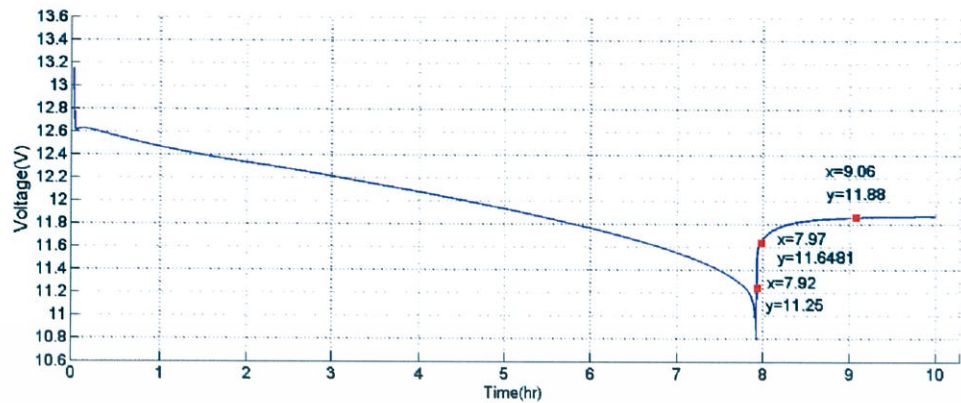
รูปที่ 4.34 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C ครั้งที่ 1

จากทฤษฎี RC Time Constant และกราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุดังรูปที่ 4.32 จะสามารถคำนวณหาค่า Time Constant (T) และค่า V_c โดยค่า Time Constant (T) จะสามารถนำไปคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่

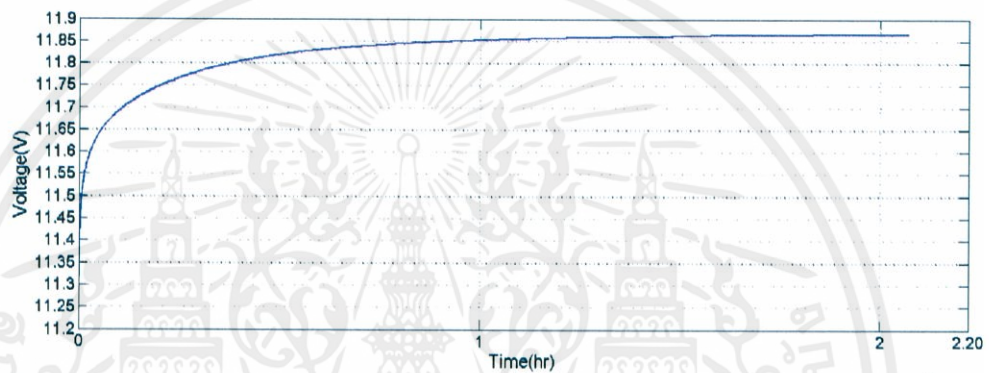
เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.34 มาพิจารณาหาค่าตัวเก็บประจุโดยใช้สมการที่ 3.6 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ $V_c = 0.3728 V$ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แล้วนำค่า V_c ที่ได้ไปหาค่า T (Time constant) จากรูปที่ 4.34 จะได้ $T = 8.09 \text{ hr}$ แล้วใช้สมการที่ 3.5
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลเบื้องหลังเนื้อหา และต้องขออภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้
เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุ C_b

$$C_b = 6028 F$$



รูปที่ 4.35 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C ครั้งที่ 2

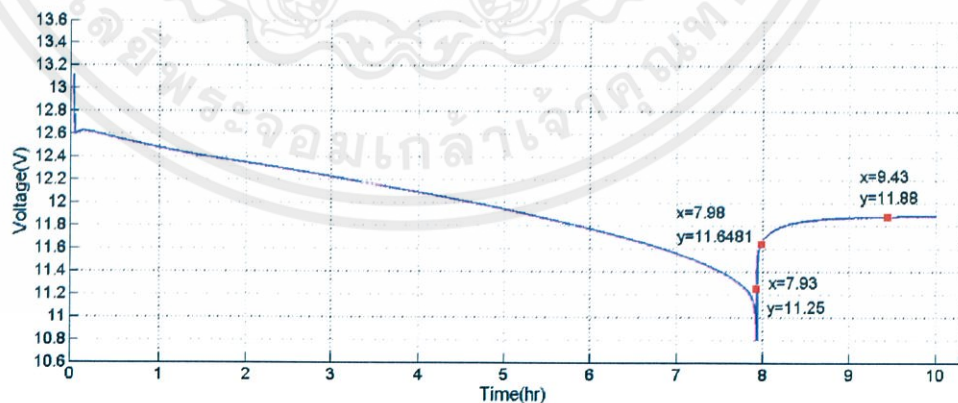


รูปที่ 4.36 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C ครั้งที่ 2 เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.36 มาพิจารณาหาค่าตัวเก็บประจุโดยใช้สมการที่ 3.6 จะได้

$$V_c = 0.3855 V$$

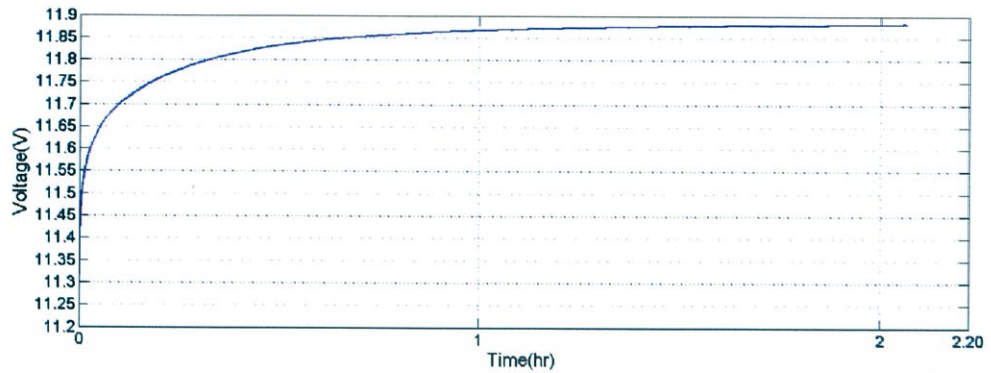
แล้วนำค่า V_c ที่ได้ไปหาค่า T (Time constant) จากรูปที่ 4.36 จะได้ $T = 7.97 \text{ hr}$ แล้วใช้สมการที่ 3.5 เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุ C_b

$$C_b = 6312 F$$



รูปที่ 4.37 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุด้วยกระแส 0.1C ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.1C ครั้งที่ 3 เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.38 มาพิจารณาหาค่าตัวเก็บประจุโดยใช้สมการที่ 3.6 จะได้

$$V_c = 0.3981 V$$

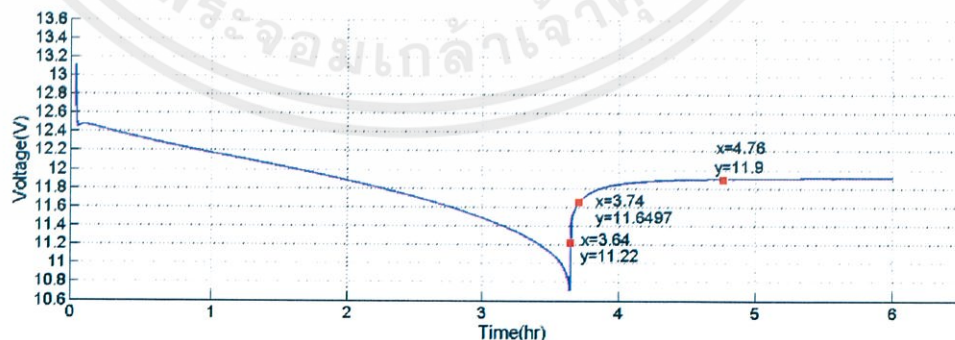
แล้วนำค่า V_c ที่ได้ไปหาค่า T (Time constant) จากรูปที่ 4.38 จะได้ $T = 7.98 \text{ hr}$ แล้วใช้สมการที่ 3.5 เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุ C_b

$$C_b = 6808 F$$

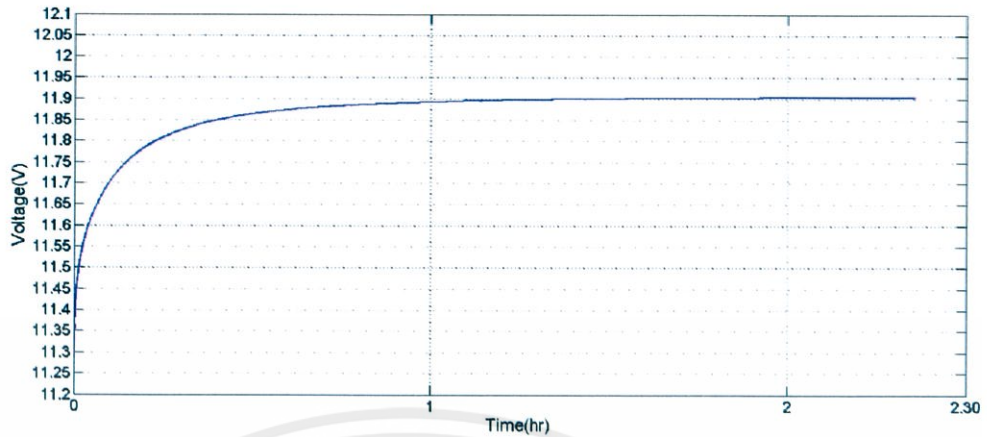
4.2.3.2. ตัวเก็บประจุภายใน C_b ของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C

จากกราฟของพฤติกรรมการคายประจุเมื่อได้ทำการคายประจุจนกระทั่งโวลต์ที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าถึงแรงดันสุดท้ายแล้ว ได้ทำการปลดโหลดที่ใช้ในการคายประจุออก จากกราฟจะเห็นว่าหลังจากแรงดันสุดท้ายที่ได้ทำการปลดโหลดออกกราฟพฤติกรรมการคายประจุไฟฟ้าจะปรากฏว่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นแบบ exponential และจากกราฟช่วงนี้เราสามารถนำมาคำนวณหาค่า C_b ในแบตเตอรี่ได้

จากการทดลองได้ทำการเก็บพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah ที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C เป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อศึกษาว่าค่าของตัวเก็บประจุในแบตเตอรี่ที่คายประจุด้วยอัตราแตกต่างกันนั้นมีความแตกต่างกันหรือไม่



รูปที่ 4.39 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในทรัพย์สินทางปัญญา ซึ่งผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้ได้นำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

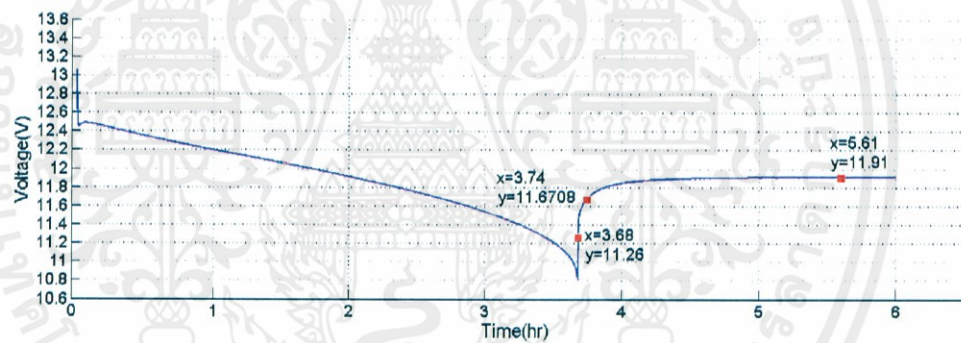


รูปที่ 4.40 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 1 เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.40 มาพิจารณาหาค่าตัวเก็บประจุโดยใช้สมการที่ 3.6 จะได้

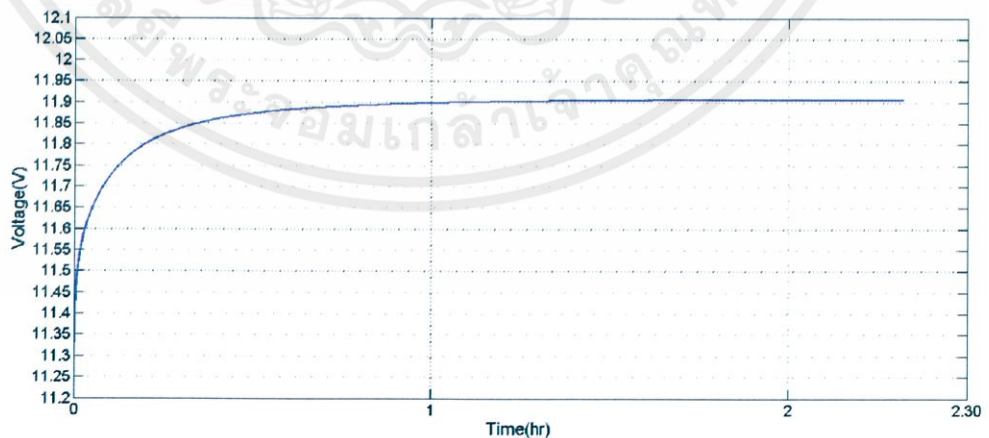
$$V_c = 0.4297 V$$

แล้วนำค่า V_c ที่ได้ไปหาค่า T (Time constant) จากรูปที่ 4.40 จะได้ $T = 3.70$ hr แล้วใช้สมการที่ 3.5 เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุ C_b

$$C_b = 15000 F$$



รูปที่ 4.41 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 2

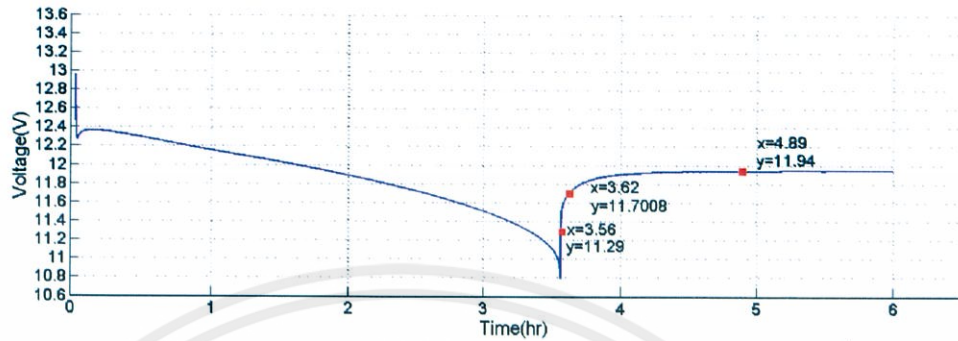


รูปที่ 4.42 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส 0.2C ครั้งที่ 2 เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.42 มาพิจารณาหาค่าตัวเก็บประจุโดยใช้สมการที่ 3.6 จะได้

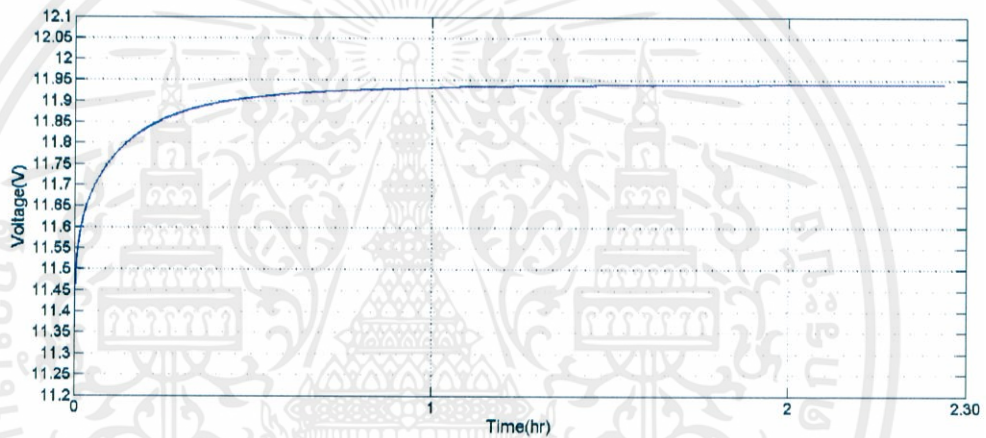
$$V_c = 0.4108 V$$

แล้วนำค่า V_c ที่ได้ไปหาค่า T(Time constant) จากรูปที่ 4.42 จะได้ $T = 3.74$ hr แล้วใช้สมการที่ 3.5 เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุ C_b

$$C_b = 16899 F$$



รูปที่ 4.43 พฤติกรรมการคายประจุที่อัตราการคายประจุที่กระแส $0.2C$ ครั้งที่ 3



รูปที่ 4.44 พฤติกรรมการคายประจุของตัวเก็บประจุภายในแบตเตอรี่ที่กระแส $0.2C$ ครั้งที่ 3 เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.44 มาพิจารณาหาค่าตัวเก็บประจุโดยใช้สมการที่ 3.6 จะได้

$$V_c = 0.4108 V$$

แล้วนำค่า V_c ที่ได้ไปหาค่า T(Time constant) จากรูปที่ 4.44 จะได้ $T = 3.62$ hr แล้วใช้สมการที่ 3.5 เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุ C_b

$$C_b = 17692 F$$

ผลเฉลี่ยของค่า Time Constant จากการทดสอบ

จากผลการทดลองรูปที่ 4.41 – 4.50 จะได้อัตราการคายประจุภายใน C_b ของแบตเตอรี่ขนาด 35 Ah ที่อัตราการคายประจุที่กระแส $0.1C$ และ $0.2C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลเฉลี่ยของค่าตัวเก็บประจุภายใน C_b

การทดสอบ	อัตราการคายประจุ	
	0.1C	0.2C
ครั้งที่ 1	6028 F	15000 F
ครั้งที่ 2	6312 F	16899 F
ครั้งที่ 3	6808 F	17692 F
เฉลี่ย	6382 F	16530 F
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	394.8	1383



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองภายในแบตเตอรี่ขนาด 35 Ah

จากการตั้งสมมติฐานวงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ โดยได้ทดลองหาวงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่จากการวาดกราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นพบว่าที่แบตเตอรี่ขนาด 35 Ah ที่อัตราการคายประจุแตกต่างกันนั้นจะสามารถเปรียบเทียบค่าในวงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ได้ดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าภายในวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah

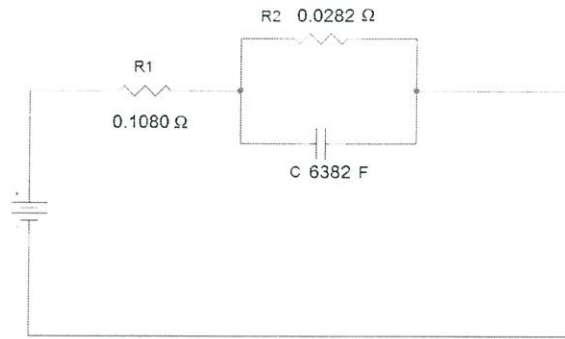
การทดสอบ	กระแสดอนคายประจุ					
	0.1C			0.2C		
	R_1	R_2	C_b	R_1	R_2	C_b
1	0.1077 Ω	0.0282 Ω	6028 F	0.0617 Ω	0.0152 Ω	15000 F
2	0.1128 Ω	0.0282 Ω	6312 F	0.0565 Ω	0.0129 Ω	16899 F
3	0.1035 Ω	0.0282 Ω	6808 F	0.0805 Ω	0.0117 Ω	17692 F
ค่าเฉลี่ย	0.1080 Ω	0.0282 Ω	6382 F	0.0662 Ω	0.0018 Ω	16530 F
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0047	0	394.8	0.0126	0.0018	1383

จากตารางที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบค่าภายในวงจรสมมูลภายในของแบตเตอรี่ขนาด 35Ah สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าค่าความต้านทานภายใน R_1 ของแบตเตอรี่มีค่า 0.0662 - 0.1080 Ω ขึ้นกับอัตราการคายประจุไฟฟ้า ซึ่งในแบตเตอรี่ถูกเดียวกันที่อัตราการคายประจุไฟฟ้าที่มากกว่า จะส่งผลให้ค่าความต้านทานภายใน R_1 มีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นผลที่เกิดมาจากปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ ในขณะที่เดียวกันค่าความต้านทานภายใน R_2 ของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุต่างกัน ค่าความต้านทานภายใน R_2 ของแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 0.0018 - 0.0282 Ω

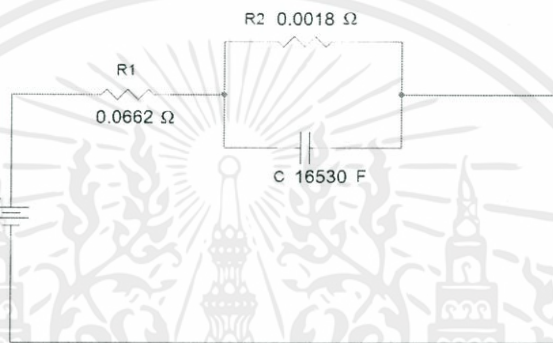
ส่วนค่าตัวเก็บประจุ C_b ภายในแบตเตอรี่นั้นที่อัตราการคายประจุต่างกันนั้น เมื่อดูจากค่า Time constant (T) แล้วถึงแม้ว่าแบตเตอรี่จะมีอัตราการคายประจุที่แตกต่างกันแล้ว แต่ค่า Time constant จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่สิ่งที่มีผลต่อค่าตัวเก็บประจุนั้นคือ R_2 ตามหลักการของวงจร RC ยิ่ง R_2 มีค่าน้อย ค่าตัวเก็บประจุก็จะมีค่ามากขึ้นตามสมการ $T = RC$

ดังนั้น ณ ที่อัตราการคายพลังงานต่าง ๆ กันค่าพารามิเตอร์ของความต้านทานภายในและค่าตัวเก็บประจุที่แสดงให้เห็นตามวงจรสมมูลที่ได้ทำนายไว้มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ขนาด 35Ah โดยการคายประจุที่กระแส 3.5A



รูปที่ 5.2 วงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ขนาด 35Ah โดยการคายประจุที่กระแส 7A

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดสอบนี้ทดสอบกับแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว คือ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ดังนั้นหากนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อ ควรที่จะทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น หรือทำการเก็บผลพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่เพิ่มเติมในแบตเตอรี่ที่มีขนาดแตกต่างกันออกไป เพื่อพิจารณาว่าแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมเหมือนกันหรือไม่

โดยเมื่อเราได้ทำการวิเคราะห์หาวงจรมูลของแบตเตอรี่ออกมาได้แล้ว เราสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าตัวแปรอื่นๆของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kouta Janine; El-Ali Ali; Dernayka Hala; Outbib Rachid “Parameter identification of the lead-acid battery model” Photovoltaic Specialists Conference, 2008. PVSC '08. 33rd IEEE Page(s): 1 - 6

[2] Sato Shinya, Kawamura Atsuo “A new estimation method of state of charge using terminal voltage and internal resistance for lead acid battery” Power Conversion Conference, 2002. PCC-Osaka 2002. Volume: 2 Page(s): 565 - 570 vol.2

[3] Tanaami Atsushi, Morimoto Masayuki “On-line estimation of SOH for lead-acid battery” Power Electronics and Drive Systems, 2009. PEDS 2009. Page(s): 1552 - 1555

[4] Moo Chin-Sien, Ng Kong-Soon Soon; Chen Ying-Pei P, Hsieh Yao-Ching C. “State-of-Charge Estimation with Open-Circuit-Voltage for Lead-Acid Batteries” Power Conversion Conference - Nagoya, 2007. PCC '07 Page(s): 758 - 762

[5] นพรุจ ฤทธานนท์, กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, บุญยัง ปลั่งกลาง, วารุณี อริยวิริยะนันท์ “การวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553

[6] ไมตรี ริยะอุด, วัชรินทร์ สายทองอินทร์, วัฒนะ ปูนจีน”เทคนิคการทดสอบสำหรับค่าความจุของแบตเตอรี่ทุติยภูมิ” ปรียญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2551

[7] กฤตชัย ไควานิสัยสุขกุล, ปรัชญาพร สุขวัฒนกุล, ปิยรัตน์ อินทร์ตลาดชุม “การศึกษาวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ทุติยภูมิ” ปรียญานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,2552

[8] นพรุจ ฤทธานนท์”การศึกษาแบบจำลองพลวัตของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับ

ประยุกต์ใช้กับกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก”วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ,2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้