

การศึกษาการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

THE STUDY OF STATE OF CHARGE ESTIMATION WITH OPEN
CIRCUIT VOLTAGE FOR LEAD-ACID BATTERY



นางสาวนันทรี แก้วเงินลาด

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๖

การศึกษาการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

THE STUDY OF STATE OF CHARGE ESTIMATION WITH OPEN
CIRCUIT VOLTAGE FOR LEAD-ACID BATTERY



นางสาวนันทิรี แก้วเงินลาด

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานคณะวิทยาศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นการคัดลอกและเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**THE STUDY OF STATE OF CHARGE ESTIMATION WITH OPEN
CIRCUIT VOLTAGE FOR LEAD-ACID BATTERY**

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two smaller, similar structures. The entire design is set against a background of stylized floral and geometric patterns. The Thai text "สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" is inscribed around the perimeter of the seal.

MISS NANSIRI KAEW-NGOENLAT

**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
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ACADEMIC YEAR 2556

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

THE STUDY OF STATE OF CHARGE ESTIMATION WITH
OPEN CIRCUIT VOLTAGE FOR LEAD-ACID BATTERY


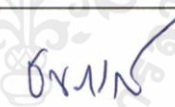

ชื่อนักศึกษา นางสาวนันทิรี แก้วเงินลาด

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กัจปัญญา สุวรรณสุขโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.วิชิต ศิริโชติ	
ผศ.ดร.ภัทรียา กิตติเดชาชาญ	
อ.ชนภรณ์ สีสาววัฒนานนท์	
อ.กัจปัญญา สุวรรณสุขโข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรมืดสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนันศิริ แก้วเงินลาด
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กัจปัญญา สุวรรณสุขโข

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการประมาณค่าสถานะการประจุ (State of charge; SOC) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด (Open circuit Voltage) โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 35 Ah ทำการศึกษาโดยการประจุที่อัตราการประจุ 0.1 C และคายประจุที่อุณหภูมิ 25°C ให้อัตราการคายประจุ 0.1C (3.5 A) และ 0.2C (7.0 A) จำนวน 10 ค่า นำค่าแรงดันพื้นตัว (Resting Voltage) ของแต่ละรอบของการคายประจุมาพิจารณาค่าสถานะการคายประจุ (State of discharge; SOD) จากการศึกษาพบว่าค่าสถานะการคายประจุที่ 100% ของแบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุ 0.1C มีค่า 12.0 V ที่อัตราการคายประจุ 0.2C มีค่า 12.1V และนำค่าสถานะการคายประจุมาคำนวณเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่ จากการศึกษาพบว่าค่าสถานะการประจุที่ 100% ของแบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุ 0.1C มีค่า 14.8 V และที่อัตราการคายประจุ 0.2 C มีค่า 14.2 V ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ: สถานะการประจุของแบตเตอรี่, สถานะการประจุของแบตเตอรี่, แรงดันไฟฟ้าวงจรมืดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด, และวงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่

Title	THE STUDY OF STATE OF CHARGE ESTIMATION WITH OPEN CIRCUIT VOLTAGE FOR LEAD-ACID BATTERY
Student	Miss Nansiri Kaew-ngoelrat
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Physics
Academic Year	2013
Advisor	Mr. Kajpanya Suwansukho

ABSTRACT

This special project was studied about how to state of charge estimation with open circuit voltage for lead-acid batteries. This experiment use lead-acid battery 12V 35Ah studied by charge in constant current rate 0.1C and discharge in constant current rate 0.1C 3.5A and 0.2C 7.0A take to discharge amount of 9 times. Applied resting time of each of discharge to find the state of discharge (SOD) in the study found that the state of discharge in 100% of battery at current rate of 0.1C is 12.0V current rate of 0.2C is 12.1V take the state of discharge to calculate for analyze the state of charge of battery in the results the state of charge in 100% of battery in at current rate of discharge 0.1C is 14.8V and at current rate of discharge 0.2C is 14.2 respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: State of charge, State of discharge, Open circuit voltage, and Equivalent circuit of

battery.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับคำปรึกษาความช่วยเหลืออย่างดี และเป็นกันเองจาก อาจารย์กัจปัญญา สุวรรณสุขโข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเรื่องนี้ ซึ่งอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษาทั้งทางด้านวิชาการและด้านความรับผิดชอบในหน้าที่ของตนเอง ตลอดจนข้อเสนอแนะ เพื่อให้ผู้จัดทำสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษและในการดำเนินชีวิต เพื่อให้ผู้จัดทำจบไปเป็นบุคคลที่มีคุณภาพในสังคม ขอขอบคุณคณาจารย์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือผู้จัดทำตลอดมา

ขอบคุณทุกคนในครอบครัว แม่ที่คอยเลี้ยงดู อบรม พ่อที่สนับสนุนเรื่องการศึกษาและเป็นตัวอย่างให้เรียนรู้เสมอ พี่สาวที่อดทนและเป็นตัวอย่างให้น้องเดินตาม และน้องชายที่เชื่อฟัง ขอขอบคุณนายเจษฎา สุขสัมฤทธิ์ นักศึกษาปริญญาโท ที่คอยอยู่เป็นเพื่อน ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ขอขอบคุณเพื่อนภาควิชาฟิสิกส์ที่คอยไถ่ถามให้กำลังใจกันและกันเสมอมา ขอขอบคุณกีตาร์ ที่ให้เล่นเวลาฟุ้งซ่าน ขอขอบคุณความทุกข์ที่ทำให้รู้ซึ่งถึงความสุข ขอขอบคุณความผิดพลาดที่ทำให้ได้เรียนรู้ ขอขอบคุณความผิดหวังที่สอนให้รู้จักความสมหวัง

นางสาวนันทิรี แก้วเงินลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	1
1.4 ขั้นตอนของโครงการพิเศษและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	3
2.2 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	3
2.3 แบตเตอรี่ตะกั่ว - กรดแบบเปียก (Flooded Type หรือ Wet Type)	6
2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด	7
2.5 คุณสมบัติของการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	10
2.5.1 อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	10
2.5.2 การวัดพฤติกรรมการคายประจุ	10
2.5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความจุไฟฟ้า	11
2.5.4 ผลของแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ข้อมูลข้างต้นไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5.5 ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน	13
2.5.6 ค่าความต้านทานภายในฟังก์ชันของสถานะการประจุ	14
2.5.7 ค่าความต้านทานภายในกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	14
2.5.8 ขอบเขตของการคายประจุ	15
2.6 คุณสมบัติของการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด	16
2.6.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ขณะที่มีการประจุ	16
2.6.2 การประจุที่เหมาะสม	18
2.6.3 ประเภทของการประจุ	20
2.7 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ	22
2.7.1 อุณหภูมิ (Ambient Temperature)	22
2.7.2 แรงดัน (Float Charge Voltage)	24
2.7.3 กระแส (Float & Charging Current)	26
2.7.4 จำนวนรอบของการคายประจุ (Discharge Cycle)	26
2.8 การประมาณค่าสถานการณ์ประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	27
2.8.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	27
2.8.1 ความแปรผันแบบไดนามิก ของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 สมมุติฐานสำหรับการทดลอง	35
3.1.1 คำจำกัดความของสถานะการคายประจุ, สถานะการประจุและเงื่อนไขการทดสอบ	35
3.1.2 การประจุแบตเตอรี่	36
3.1.3 การคายประจุแบตเตอรี่	36
3.2 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.1 อุปกรณ์	36
3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง	37
บทที่ 4 ผลการวิจัย และอภิปรายผล	
4.1 ผลการวิจัย	42
4.1.1 การทดลองการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด	42
บทที่ 5 สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลองที่การคายประจุ ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C และ 0.2 C	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
การศึกษาการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธี แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	2
3.1 แสดงเวลาในการกายประจุที่อัตราการกายประจุ 0.1 C และ 0.2 C	40
4.2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและสถานะการกายประจุ ที่อัตราการกายประจุ 0.1 C และ 0.2 C	44
4.3 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและสถานะการประจุ ที่อัตราการกายประจุ 0.1 C และ 0.2 C	45
5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าสถานะประจุ และสถานะการประจุที่อัตราการกายประจุต่างกัน	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด	4
2.2 โครงแผ่นธาตุ	5
2.3 แผ่นกั้น (Separator)	5
2.4 ปฏิกริยาขณะคายประจุ และประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	7
2.5 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	8
2.6 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	9
2.7 กระบวนการประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	9
2.8 กราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	11
2.9 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าคัตออฟ และแรงดันไฟฟ้าขณะพื้นตัว (V_B) ของแบตเตอรี่ขณะคายประจุ	11
2.10 Typical discharge capacity as a function of cell temperature	12
2.11 Effective No-load cell voltage versus state of charge	13
2.12 Effective internal resistance	13
2.13 Effect internal resistance versus cell life	14
2.14 Recommended average discharge cut-off voltage/cell	15
2.15 Battery discharge characteristics	15
2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสการประจุคงที่	17
2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับการประจุด้วยศักย์ไฟฟ้าคงที่	17
2.18 Effect of state of charge upon charge acceptance	18
2.19 Charge acceptance at various temperature	19
2.20 Acceptance at various charge rates	19
2.21 Typical charge of stabilized cell	21

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 ผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	23
2.22 แผ่นธาตุในน้ำกรดซัลฟิวริก	23
2.24 ผลของแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	24
2.25 แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูก	25
2.26 ช่วงเกิด Gassing และ Discharge	25
2.27 กราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่	27
2.28 วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด	28
2.29 แสดงเส้นโค้งของแรงดันเมื่อคายประจุและแรงดัน เมื่อมีการฟื้นตัวของแรงดัน	30
2.30 แสดงเส้นโค้งการฟื้นตัวของแรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง กระแสการคายประจุ	32
2.31 แสดงค่าสถานะคงที่ของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ ค่าสถานะการคายประจุค่าต่างๆ	32
2.32 แสดงเส้นโค้งการฟื้นตัวของแรงดันไฟฟ้า ที่ค่าสถานะการคายประจุต่างๆ	33
2.33 แสดงผลการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลง ทางกระแสการคายประจุ ใน เวลา 40 นาที	34
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.2 วงจรสำหรับประจุแบตเตอรี่	38
3.3 วงจรสำหรับการคายประจุแบตเตอรี่	40
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการประจุ และคายประจุกับแรงดันไฟฟ้า ของแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุ 0.1C	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
และที่ค่าสถานะการคายประจุ 100% (10.8V) 42
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการประจุ และคายประจุกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C และที่ค่าสถานะการคายประจุ 100% (10.8V)	42
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการคายประจุ กับแรงดันไฟฟ้าพื้นตัวของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C และที่ค่าสถานะการคายประจุ 10-100%	43
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการคายประจุ กับแรงดันพื้นตัว ของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C และที่ค่าสถานะการคายประจุ 10-100%	43
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าพื้นตัว กับสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C	44
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าพื้นตัว กับสถานะการคายประจุ ของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C	45
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอัดประจุ กับสถานะการประจุของแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C	46
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอัดประจุ กับสถานะการประจุของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นแบตเตอรี่ชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้งานด้านงานอุตสาหกรรม และเป็นแบตเตอรี่อีกชนิดที่ได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งทางด้านพลังงานทดแทน ด้านอุตสาหกรรมเครื่องยนต์ รวมทั้งการใช้ในเครื่องมือด้านการเกษตร เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุสูง จ่ายกระแสได้มาก ราคาไม่สูงมากและการบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก แต่ปัญหาหลักที่จะพบในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้คือ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่สั้นหรือเสื่อมก่อนเวลาที่เหมาะสม ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ผู้ใช้งานขาดทักษะในการใช้งาน การด้อยประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ขาดการบำรุงรักษา คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน หรือการควบคุมการประจุและการคายประจุไม่ดี ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะเมื่อนำแบตเตอรี่มาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากปัญหาข้างต้นเราจึงมีการทำการศึกษาในเรื่องสถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หาค่าสถานะการประจุเพื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เวลาและกระแสที่เหมาะสมในการประจุ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ประสิทธิภาพ และการจัดการการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วิธีการวัดค่าสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
3. เพื่อทราบถึงเวลาและกระแสของการประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

2. สามารถเข้าใจพฤติกรรมและคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
3. สามารถบอกค่าความเหมาะสมในการประจุและคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
4. สามารถเข้าใจถึงสถานะการประจุและสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.4 ขั้นตอนของโครงการพิเศษและวิธีการดำเนินงาน

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ทั้งการประจุและการคายประจุ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบวิธีการประจุและการคายประจุในแบตเตอรี่เพื่อให้ได้ลักษณะที่ต้องการและสามารถควบคุมพลังงานและการทำงานของแบตเตอรี่ได้ โดยกำหนดให้ขั้นตอนการประจุและคายประจุให้มีกระแสดังนี้

วิธีการศึกษาจะทำการประจุและคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยควบคุมกระแสการประจุและคายประจุให้คงที่ เพื่อเก็บค่าข้อมูลต่างๆ และรูปคลื่นกราฟของกระแสและแรงดันไฟฟ้า จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง และนำมาประยุกต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานแบตเตอรี่

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. สามารถทำการวัดและวิเคราะห์ค่าสถานะการประจุสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2. สามารถบอกถึงค่าเหมาะสมในการประจุและการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

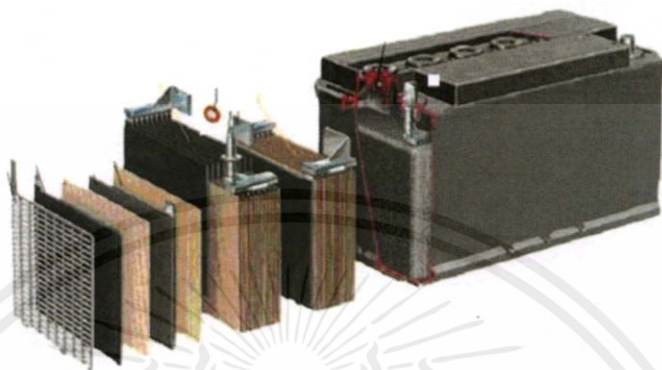
2.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็น แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกัน ประดิษฐ์ขึ้นมาโดยแกสตัน พลองด์ (Gaston Plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ.1859 เป็น แบตเตอรี่แบบทุติยภูมินชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้า และในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นอุปกรณ์จัดเก็บไฟฟ้าที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ในการจัดเก็บพลังงาน ข้อดีคือราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นและสามารถผลิตได้ง่าย มีการพัฒนามานานแล้วจึงมีความเชื่อถือได้และหาข้อมูลได้ง่าย ถ้าใช้อย่างถูกต้องจะทนทาน การคายประจุโดยตัวเองน้อย ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก โดยเฉพาะแบตเตอรี่แบบแห้ง สามารถให้กระแสการคายประจุมากและมีขนาดให้เลือกมาก ข้อดีคือความจุของพลังงานต่อน้ำหนักทำให้มีน้ำหนักมาก ไม่สามารถเก็บไว้ได้โดยแบตเตอรี่ไม่มีการประจุ เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็ว ตะกั่วและกรดซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม มีระเบียบที่เข้มงวดในการขนส่ง โดยเฉพาะแบตเตอรี่แบบเปียก เพราะอาจเกิดการหกหรือซึมของกรดออกจากเปลือก แบตเตอรี่ได้ แบบที่ต้องเติมน้ำกลั่นจะมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มขึ้น คือต้องคอยตรวจสอบระดับของน้ำกรด (สารอิเล็กโทรไลต์) เพื่อเติมน้ำกลั่นเมื่อระดับของน้ำกรดต่ำเกินไปและต้องหมั่นทำความสะอาดคราบต่างๆที่อาจจะเกิดเนื่องจากการกัดกร่อนของกรด อีกทั้งยังต้องระวังในเรื่องสถานที่ตั้งของแบตเตอรี่ด้วย ไม่ควรตั้งไว้ใกล้แหล่งความร้อนหรือประกายไฟเพราะในขณะที่ประจุไฟฟ้า จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นอาจทำให้ระเบิดได้

2.2 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญภายใน ดังรูปที่ 2.1 ประกอบไปด้วย แผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบ จุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการคายประจุ โมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่ว และปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเรื่อยๆ เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้า

ไปในสารอิเล็กโทรไลต์แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ ให้แรงดัน 2 โวลต์ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้

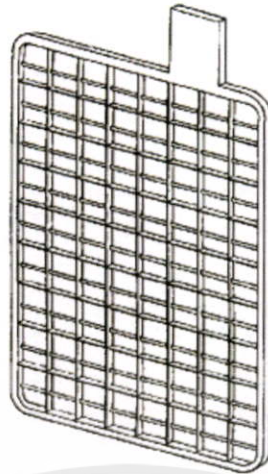


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด

โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อาจมีวัสดุที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทงานที่นำไปใช้งาน และการออกแบบของผู้ผลิต แต่จะโครงสร้างหลักที่เหมือนกัน ดังนี้

2.2.1.1 วัสดุทำปฏิกิริยา (Active Material) ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น แผ่นธาตุบวกจะเป็น PbO_2 ผงตะกั่วออกไซด์มีสีน้ำตาลฉาบอยู่ในโครงแผ่นธาตุ ในขณะที่ขั้วลบจะเป็น Pb ผงตะกั่วมีสีเทาฉาบบนโครงแผ่นธาตุเช่นกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและผิวสัมผัสระหว่างสารอิเล็กโทรไลต์กับวัสดุทำปฏิกิริยา และลดการตกลงของแรงดันอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์โพลาไรเซชัน (Polarization effect)

2.2.1.2 โครงแผ่นธาตุ (Support Grids) แสดงดังรูปที่ 2.2 จะทำจากตะกั่วผสมอาจเป็นพลวง(Antimony) ดีบุก(Tin) บิสมัท(Bismuth) แคลเซียม(Calcium) ซีลีเนียม(Selenium) ซึ่งตะกั่ว-พลวงเป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดแรกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของตะกั่วโดยใช้ประมาณ 1.5 – 1.8 เปอร์เซ็นต์แต่ทำให้เกิดผลเสียคือเพิ่มความต้านทานในเซลล์ ทำให้เกิดการคายประจุในตัวเองเร็วขึ้น และอายุการใช้งานสั้น ในระหว่างการประจุใหม่จะทำให้เกิดการก่อตัวของแก๊สพิษ SbH_3 (Stibine) จากการค้นคว้าทำให้ทราบว่า ตะกั่ว-แคลเซียม มีข้อได้เปรียบมากกว่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหล็กปนลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใบนี้ ตะกั่ว-พลวง ในกรณีแผ่นธาตุชนิดพลวงจะเจือซีลีเนียมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลเช่นกัน



รูปที่ 2.2 โครงแผ่นธาตุ

2.2.1.3 แผ่นกั้น (Separator) แสดงดังรูปที่ 2.3 มีหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นนั้นจะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลายต่ำ นั่นก็หมายถึงต้องมีความพรุนให้ไอออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบด้วยในช่วงแรกนั้นแผ่นกั้นจะทำจากวัสดุจำพวกไม้สนและต้นซีดาร์ (Cedars) โดยนำขางไม้ ออกก่อน ต่อมาก็ใช้ยางตามธรรมชาติอบซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์ที่เป็นรูพรุนอันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตจำพวกโพลีไวนิลคลอไรด์หรือโพลีเอทิลีน แต่แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่น แบตเตอรี่รถยนต์การใช้แผ่นกั้นที่เป็นกระดาษจะคุ้มทุนกว่า



รูปที่ 2.3 แผ่นกั้น (Separator)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.2.1.4 สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดการกำ
ไม่ว่ากร เป็นกรดซัลฟิวริก ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.210 – 1.300 แต่จะขึ้นอยู่กับการ
ออกแบบประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศ ถ้าใช้สารละลายที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมาก

เกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น การคายประจุในตัวเองและการผุกร่อนของแผ่นธาตุ แต่จะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศเขตนาว เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดต่ำลง ปกติถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กระแสสูงได้แก่แบตเตอรี่รถยนต์จะใช้กรดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงไม่ว่าจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงหรือต่ำ แต่ปริมาณไอออนที่อยู่ในสารละลายก็ต้องเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในสารละลาย นอกจากจะมีกรดซัลฟิวริกแล้วยังมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วยเช่น แมงกานีส เหล็ก สารหนูคลอไรด์ ไนโตรเจนออกไซด์ โดยที่มีปริมาณมากน้อยจะขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำกรด ถ้าเป็นน้ำกรดเกรดเอ จะมีสารเจือปนไม่เกิน 0.03665 %

2.2.1.5 หม้อแบตเตอรี่ (Container) หม้อแบตเตอรี่มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องจากไม้แก้ว เซรามิก พลาสติก ซึ่งปัจจุบันนิยมทำมาจากพลาสติกจำพวก PVC หรือไมก้าโพลีเอทิลีน และแบ่งออกเป็นช่องๆ ขึ้นกับการออกแบบโดยกำหนดให้หนึ่งช่องเซลล์มีความต่างศักย์ประมาณ 2 โวลต์ และต่อกันในอนุกรมกัน ในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยนต์ รถยนต์จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถังต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายต่างกัน

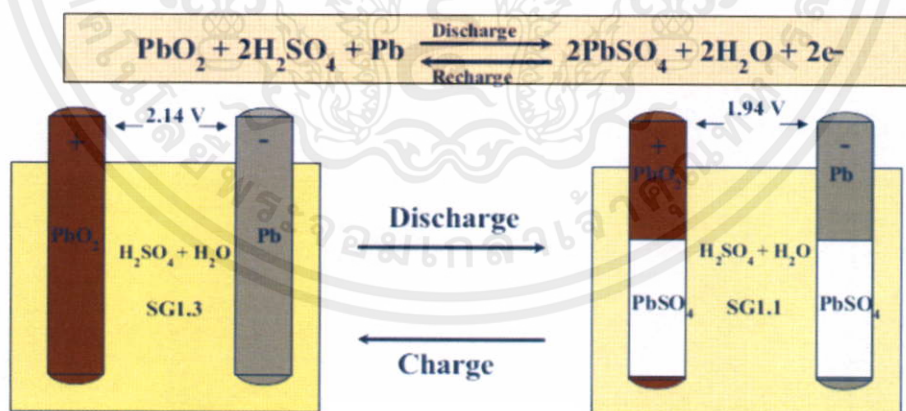
2.3 แบตเตอรี่ตะกั่ว - กรดแบบเปียก (Flooded Type หรือ Wet Type)

ในตอนแรกแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีเฉพาะที่เป็นแบตเตอรี่แบบเปียก ซึ่งในปัจจุบันแบตเตอรี่แบบเปียกยังคงเป็นที่นิยมใช้ในรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่อย่างแบตเตอรี่แบบแห้ง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป โดยแบตเตอรี่ประเภทนี้จะมีสารอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว ซึ่งจะต้องคอยเติมน้ำกลั่น เพื่อรักษาไม่ให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วเกินไป แบตเตอรี่แบบเปียกสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 แบบ คือ แบบที่ต้องเติม และดูแลน้ำกลั่นบ่อยๆ อย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง และแบบที่ไม่ต้องดูแลบ่อย (Maintenance Free) ซึ่งแบบนี้จะเปลืองน้ำกลั่นน้อยกว่าแบบแรกมาก โดยทั้ง 2 แบบนี้จะมีฝาปิด-เปิดสำหรับเติมน้ำกลั่น ในแบบแรกนี้จะมีอายุการใช้งานโดยประมาณ 1.5-2 ปี แต่ไม่ควรเกิน 3 ปี ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน และการดูแลรักษา ถ้ามีการดูแลรักษาอยู่เสมอสม่ำเสมอจะทำให้แบตเตอรี่รถยนต์มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น โดยทั่วไปแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีการปล่อยไฮโดรเจนและออกซิเจนขณะประจุ ซึ่งก๊าซเหล่านี้เป็นผลมาจากกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสในแบตเตอรี่ ซึ่งจะทำให้สารอิเล็กโทรไลต์ลดลงจนแบตเตอรี่แห้ง และจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบบเดิมนี้ไม่มีระบบที่จะตรวจวัดระดับของสารอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่แต่สามารถตรวจพบได้โดยการวัดค่าความต้านทานภายใน (Internal resistance) ค่าการนำกระแสไฟฟ้า หรือความต้านทานของเซลล์ การตรวจวัดระดับนั้นจำเป็นต้องทำเป็นประจำ และจะต้องเติมน้ำเข้าไปทดแทนที่ถูกใช้ไป การเติมน้ำนั้นจะต้องดำเนินการบ่อยครั้งพอที่จะหลีกเลี่ยงการแห้งของแบตเตอรี่ ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะทำให้เกิดอันตราย เนื่องจากก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจนที่ปล่อยออกมาจากเซลล์สามารถทำให้เกิดการระเบิดของแบตเตอรี่ จึงต้องมีการระบายอากาศ และการระเบิดจะทำให้สารอิเล็กโทรไลต์กระจายออกมานอกเซลล์แบตเตอรี่ได้ ซึ่งทำให้เกิดอันตรายได้เนื่องจากสารอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เป็นกรดซัลฟิวริก สารอิเล็กโทรไลต์จะกระจายออกมาสะสมบนตัวนำ ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนในแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วกว่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเพื่อลดขั้นตอนในการบำรุงรักษา ลดต้นทุนของแบตเตอรี่ และเพื่อให้การใช้งานแบตเตอรี่มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยทำให้สารอิเล็กโทรไลต์อยู่ในสถานะกึ่งของแข็ง หรือที่เรียกว่า แบตเตอรี่แบบแห้ง

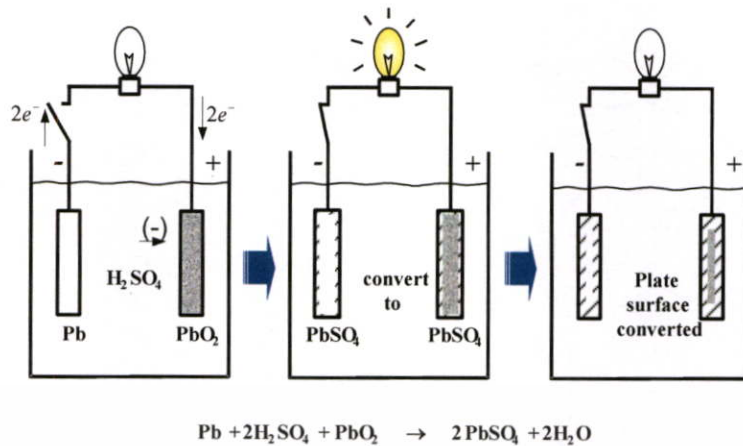
2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

พลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดนั้นอยู่ในรูปของปฏิกิริยาทางเคมี โดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อมีความต้องการ และสามารถประจุพลังงานเข้าไปใหม่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง จากรูปที่ 2.4 อธิบายถึงกระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาขณะคายประจุ และประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

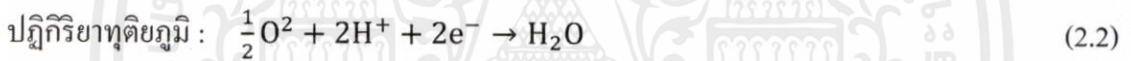
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



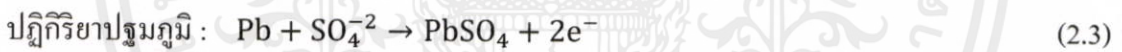
รูปที่ 2.5 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ในระหว่างที่มีการคายประจุแผ่นวัสดุทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก โดยมีสมการในการทำปฏิกิริยา ดังนี้

แผ่นบวก



แผ่นลบ

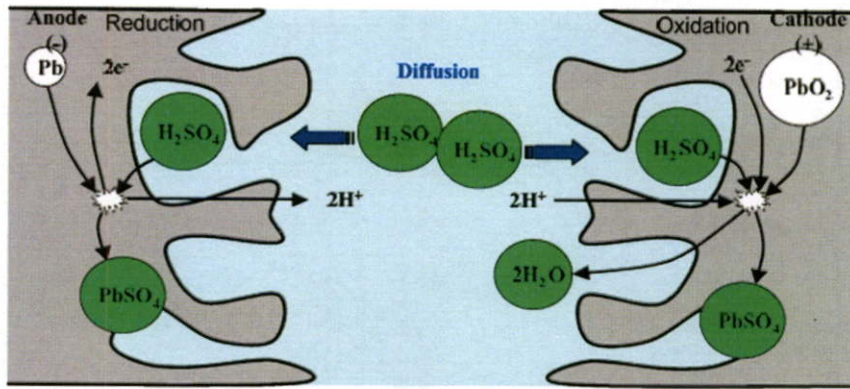


Cell:

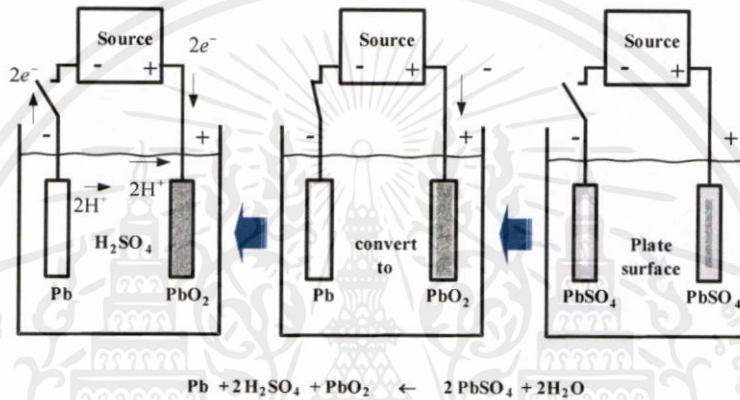


ที่ด้านบวกตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก (SO_4^-) เพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) ส่วนด้านลบตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟตและน้ำ 2 ส่วน ดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด



รูปที่ 2.7 กระบวนการประจุในแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

จากสมการข้างต้น กระบวนการประจุด้วยกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.7 คือตะกั่วซัลเฟตถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นกรดซัลฟิวริกและตะกั่วออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงส่วนเกินของการประจุ หลังจากการประจุที่สมบูรณ์แล้ว ทำให้เกิดกระบวนการแยกน้ำเป็นออกซิเจนและไฮโดรเจน (Electrolysis) ซึ่งจะเกิดก๊าซออกซิเจน (O₂) ที่แผ่นธาตุบวกและเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) ที่แผ่นธาตุลบ ก๊าซจะถูกปลดปล่อยออกจากแบตเตอรี่ ดังนั้นระดับสารอิเล็กโทรไลต์ ก็จะลดลงด้วยผลดังกล่าว จึงจำเป็นต้องเติมน้ำลงในแบตเตอรี่

ออกซิเจน (O₂) ถูกทำให้เกิดขึ้นบนแผ่นธาตุบวก ทำปฏิกิริยาตะกั่วพูน (Pb) ของแผ่นธาตุลบและถูกเปลี่ยนรูปเป็นตะกั่วมอนออกไซด์ (PbO) ซึ่งตะกั่วมอนออกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) อีกรอบหนึ่งกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (PbSO₄) เมื่อเกิดการคายประจุเกิดขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งออกซิเจน (O₂) ของแผ่นธาตุบวกถูกดูดซับโดยแผ่นธาตุลบ โดยไม่มีการรั่วไหลของออกซิเจน ไม่ว่าจะรั่วใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คืบแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาใช้

ออกมาภายนอก ผลก็คือแผ่นธาตุลบไม่ได้สร้างออกซิเจน (H_2) ก็คือน้ำที่ไม่ได้สูญเสียไปจากแบตเตอรี่

2.5 คุณสมบัติของการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

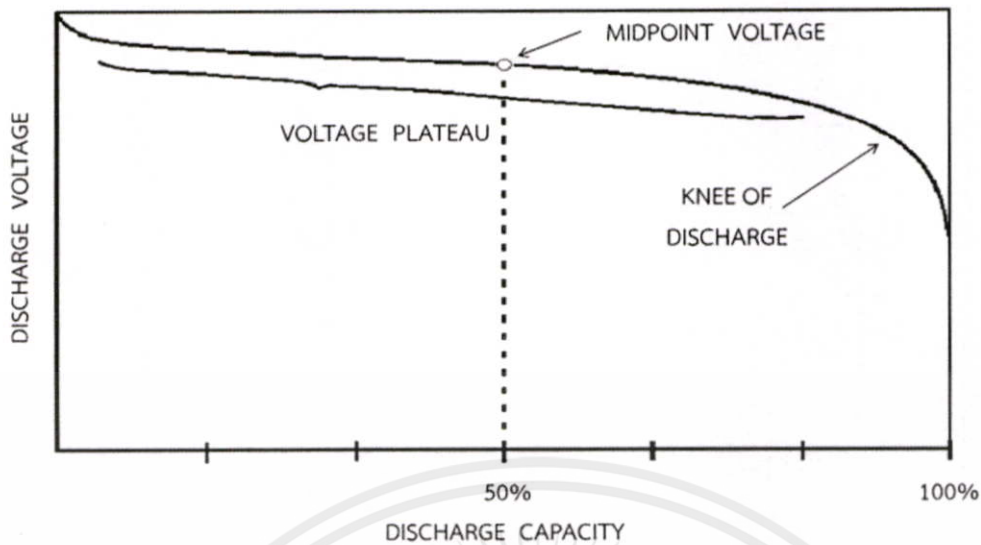
2.5.1 อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

โดยปกติแล้วแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีพฤติกรรมชอบการคายประจุด้วยกระแสต่ำจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานได้นานกว่าการคายประจุแบบอัตราการคายประจุที่กระแสสูง อัตราการคายประจุ (C-Rate) ไม่ควรมีค่าเกิน 0.2C หรือ 20% ของความจุของแบตเตอรี่ โดยถ้าอัตราการคายประจุมากขึ้น ประสิทธิภาพก็จะลดลง รอบของการทำงาน โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200-300รอบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความลึกของการคายประจุหรือเรียกย่อว่า DOD (Depth of discharge) การบำรุงรักษาและอุณหภูมิในการใช้งานเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่ มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง การกัดกร่อนที่แผ่นธาตุบวกจะมากขึ้น

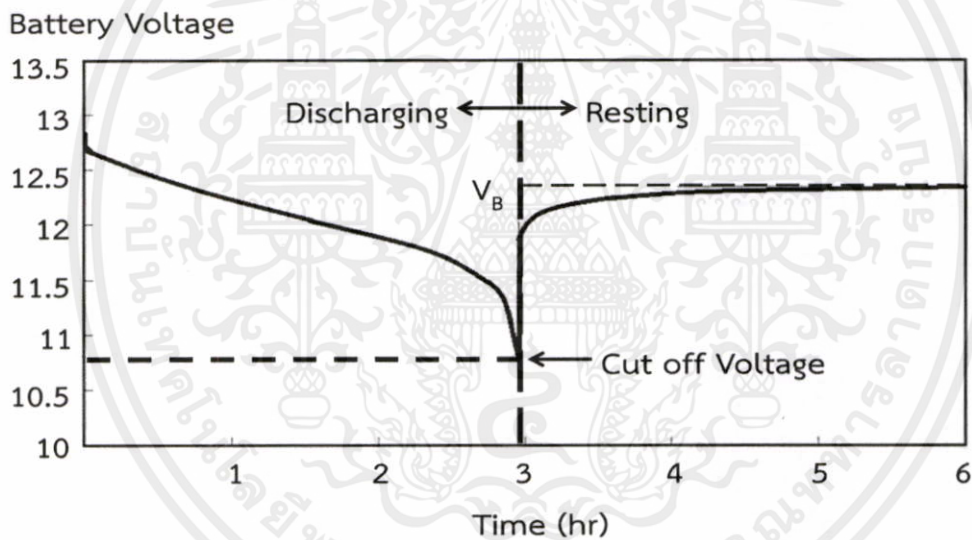
2.5.2 การวัดพฤติกรรมการคายประจุ

ตัวแปรสำหรับการคายประจุจะเกี่ยวข้องกับระดับแรงดันไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้า โดยทั่วไปกราฟระหว่างการคายประจุกับค่าความจุไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 2.8 ระดับแรงดันไฟฟ้าของการคายประจุเริ่มแรกจะค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่งจะลดลงอย่างรวดเร็ว พื้นที่ของความสัมพันธ์ที่ระดับแรงดันลดลงค่อนข้างคงที่เรียกว่า voltage plateau ซึ่งความกว้างของการคายประจุช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ จุดของระดับแรงดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วเรียกว่า knee of the curve ซึ่งแรงดันไฟฟ้าจะลดลงจนถึงแรงดันไฟฟ้าตัดออฟ (cut off voltage) โดยในแบตเตอรี่ 12 V 35 Ah มีแรงดันตัดออฟอยู่ที่ 10.8 V แสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าคัตออฟ และแรงดันไฟฟ้าขณะพื้นตัว (V_B) ของแบตเตอรี่ขณะคายประจุ

2.5.3 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความจุไฟฟ้า

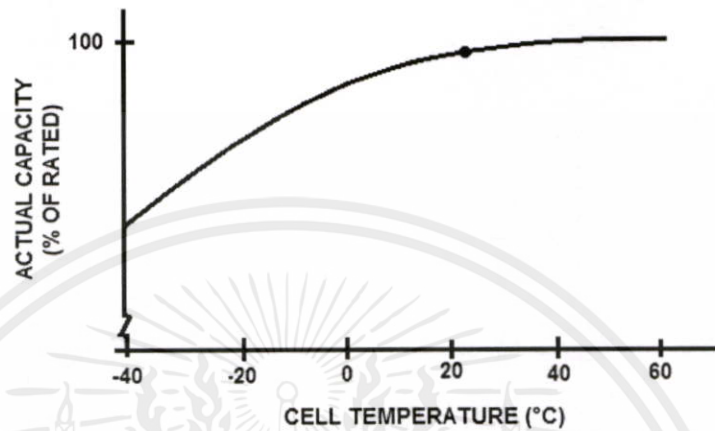
แบตเตอรี่จะสามารถคายประจุเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะแสดงพฤติกรรมที่

เหมาะสมในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิต่ำ และจะให้ค่าความจุไฟฟ้าสูงกว่าค่าความจุมาตรฐานที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในสภาพแวดล้อมที่สูงกว่า อุณหภูมิของการคายพลังงานจะเกี่ยวพันกับวัสดุที่นำมาใช้ภายใน แบตเตอรี่ ไม่ว่าจะเป็นชนิดใดทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่

ในรูปที่ 2.10 ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุและอุณหภูมิของเซลล์ ค่าความจุไฟฟ้าที่แท้จริงจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราความจุที่วัดที่อุณหภูมิที่ 23°C ปริมาณความจุลดลง ทำให้อัตราการคายประจุไม่มาตรฐานที่อุณหภูมิกายประจุ

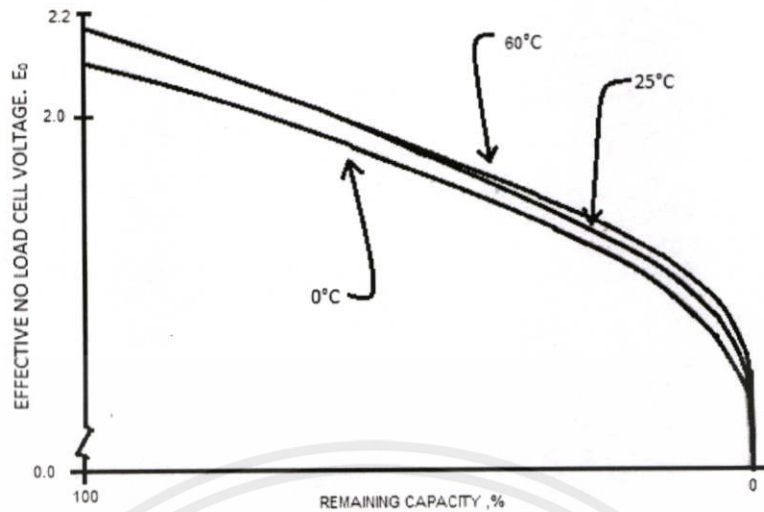


รูปที่ 2.10 Typical discharge capacity as a function of cell temperature

2.5.4 ผลของแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด

ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยของค่าความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิของกัมมะถันของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ เมื่อเซลล์ถูกอัดประจุจนเต็ม ค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าสูงสุดสอดคล้องกันกับแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดขณะที่เซลล์กำลังคายประจุค่าความถ่วงจำเพาะของสารอิเล็กโทรไลต์จะลดลง กรดจะค่อยๆ เจือจางจนเปลี่ยนเป็นน้ำ ระดับแรงดันที่ขณะไม่มีโหลดจะค่อยๆ ลดลง

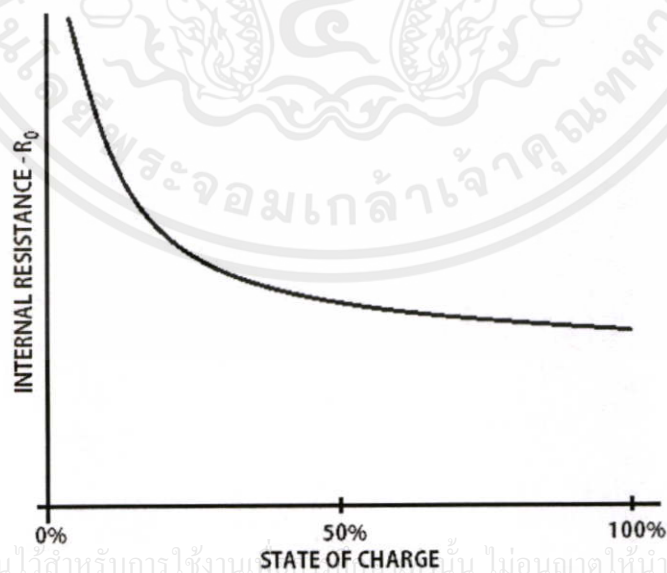
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Effective No-load cell voltage versus state of charge

2.5.5 ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน

ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน ค่านี้อาจไม่มีการลดลงค่านี้อาจเป็นปริมาณเล็กน้อยที่ปรากฏขึ้นในวงจรสมมูลไฟฟ้า[1] โดยสรุปได้ว่าเป็นผลมาจากแผ่นประจุ เสาตะกั่ว และหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นประจุ ซึ่งเป็นค่าส่วนหนึ่งของผลรวมค่าความต้านทานทั้งหมด อีกทางหนึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีเกิดกระบวนการออกซิเดชันภายในสารอิเล็กโทรไลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก... ออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 Effective internal resistance

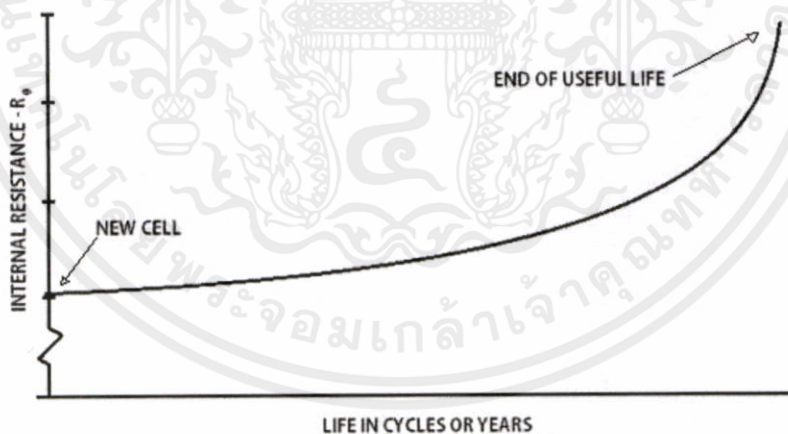
2.5.6 ค่าความต้านทานภายในฟังก์ชันของสถานะการประจุ

เมื่อมีการประจุเต็มที่สารอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าความเข้มข้นสูง เมื่อมีการคายประจุค่าความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนจะมีค่าลดลง มีผลกระทบที่เกิดขึ้นมากจนกระทั่งเซลล์ของสถานะการประจุตกลง 25% ค่าความต้านทานภายในจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่าประจุไฟฟ้าเข้าใกล้ศูนย์

2.5.7 ค่าความต้านทานภายในกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลกระทบกับค่าความต้านทานภายในคืออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น ผลของการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานภายในจะลดน้อยลงจนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดของการใช้งาน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังที่แสดงในรูปที่ 2.14

เมื่อเซลล์ถูกใช้งาน พื้นที่ผิวระหว่างการสะสมของกระแสและวัสดุที่ถูกกระตุ้นจะมีการลดลงของการออกซิเดชันของแผ่นตะกั่ว โดยแผ่นตะกั่วจะออกซิไดซ์เป็นตะกั่วออกไซด์ ทำให้ค่าความนำไฟฟ้าของ ตะกั่วออกไซด์จะมีค่าน้อยลง กระแสอิเล็กตรอนจะทะลุผ่านอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ขณะที่เซลล์ถูกใช้ค่าความต้านทานระหว่างแผ่นประจุและวัสดุกระตุ้นเพิ่มขึ้น ผลของการเติบโตของค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้งานมากขึ้น



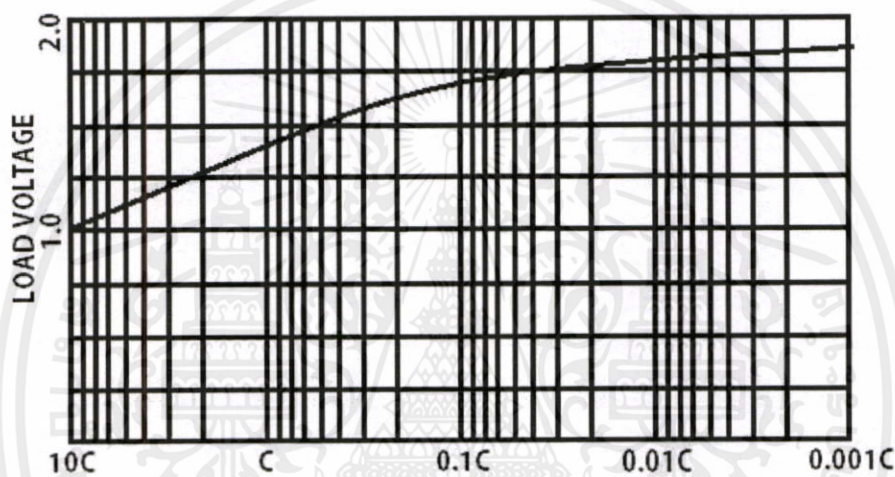
รูปที่ 2.13 Effect internal resistance versus cell life

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

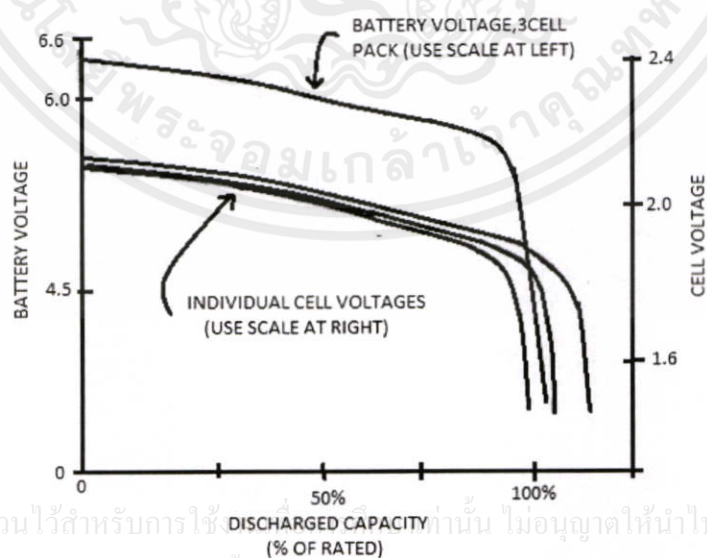
2.5.8 ขอบเขตของการคายประจุ

การจะทำให้แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานและจำนวนของรอบของการประจุและคายประจุมากขึ้น จะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายขณะการคายประจุที่การคายพลังงานสูงเกินไป ในการคายประจุด้วยกระแสมากจะทำให้ไอออนซัลเฟตของกรดสารอิเล็กโทรไลต์จะกลายเป็นน้ำ ซึ่งไอออนของซัลเฟตจะส่งผลให้ค่าอิมพีแดนซ์สูงขึ้น

ที่ระดับแรงดันที่ 100% ที่ค่าประจุไฟฟ้าจะเป็นไปตามอัตราการคายพลังงาน ดังรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 แสดงพฤติกรรมของแบตเตอรี่การคายประจุของค่าประจุไฟฟ้าที่ลดลงและระดับแรงดันที่ลดลง



รูปที่ 2.14 Recommended average discharge cut-off voltage/cell



รูปที่ 2.15 Battery discharge characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 คุณสมบัติของการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

จุดประสงค์ของแบตเตอรี่คือการจัดเตรียมพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ ในแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เมื่อใช้พลังงานจนหมด ก็จะไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้แต่ในแบตเตอรี่ทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ หากนำมาประจุเข้าไปอีกครั้ง หลังจากการใช้งาน ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้แบตเตอรี่ได้หลายๆครั้งตลอดอายุการใช้งาน

ความสำคัญของการประจุแบตเตอรี่ก็คือ ในแบตเตอรี่ทุติยภูมินั้นต้องการที่จะใช้งานได้ อย่างเต็มประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามการประจุที่เกินกว่าขอบเขตของแบตเตอรี่ อาจทำให้ แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการประจุที่เหมาะสม มีการควบคุมกระแส แรงดัน และเวลาในการประจุ

2.6.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ขณะที่มีการประจุ

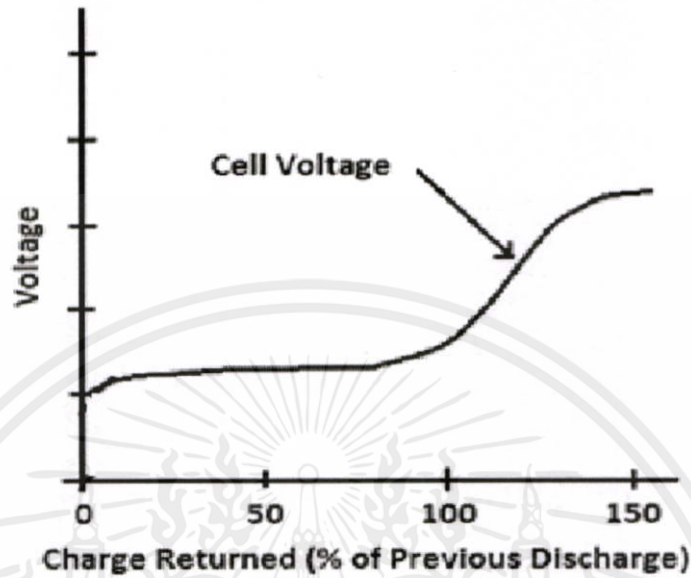
การประจุของแบตเตอรี่หากเปรียบเทียบแล้วก็จะคล้ายกับการสูบน้ำ ไปเก็บยังถังเก็บน้ำเพื่อใช้งาน จะต่างกันตรงที่การประจุแบตเตอรี่นั้น พลังงานที่ประจุเข้าไปจะมากกว่าพลังงานที่ได้รับ ออกจากแบตเตอรี่ เป็นเพราะว่าพลังงานในการประจุส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในแบตเตอรี่ เนื่องจากความต้านทานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดทำให้ประสิทธิภาพของการประจุไม่ถึง 100%

การเปลี่ยนแปลงของวัสดุภายในแบตเตอรี่เมื่อมีการประจุ จะมีปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูป พลังงานไฟฟ้าไปสู่การเก็บพลังงานในรูปพลังงานเคมี เช่น ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แผ่นตะกั่ว ภายในเมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากการประจุก็จะดึง Pb^{+} จากสารละลายมาเกาะที่ตัวแผ่นอีกครั้งหนึ่ง ปฏิกิริยานี้ก็จะทำให้เกิดความสูญเสียทางไฟฟ้าเช่นกัน

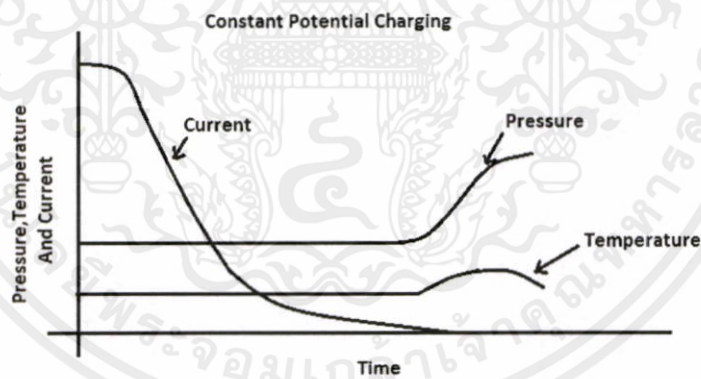
สิ่งที่ต้องพิจารณาอีกประการหนึ่งก็คือการประจุแบตเตอรี่จนเต็มนั้นเป็นการรักษาความ จุวิธีหนึ่ง ในแบตเตอรี่ที่ไม่ได้ต่อใช้งาน จะมีการคายประจุด้วยตนเอง หรือว่าในระบบสำรองไฟ ทั่วไป บางทีก็จะประจุได้ไม่เต็มความจุ การคายประจุตัวเองนั้นอาจใช้เวลาเป็นเดือนหรือเป็นปี หาก ปลดปล่อยให้คายประจุด้วยตนเองจนต่ำกว่าแรงดันสุดท้ายของแบตเตอรี่ จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้ งานลดลง หรือหากไม่มีการประจุเต็มประจุ ความจุของแบตเตอรี่ก็ลดลงเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องมีการ ประจุแบบเต็มปนช่วงเวลาไปแล้วแต่คุณลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่

ดังนั้นหากจะต้องการใช้แบตเตอรี่อย่างเต็มประสิทธิภาพ เราจึงจำเป็นที่จะต้องทำการประจุ จนถึงสถานะการประจุด้วยกระแสสูงมากกว่าปกติ (Over charge) คือสถานะการประจุของ แบตเตอรี่ใกล้เคียงกับ 100% เราไม่มีทางรู้ได้ว่า แบตเตอรี่จะถูกประจุจนเต็มหรือยัง แต่ก็แน่ใจได้ว่า มันใกล้เคียงที่จะเต็มมากที่สุด การประจุที่กระแสสูงมากกว่าปกติ นั้น จะทำให้มีความร้อนสูญเสีย

ผิดปกติรวมไปถึงความดันที่จะเกิดขึ้นจากก๊าซที่ผลิตภายในแบตเตอรี่ แต่ก็สามารถที่จะทำให้ใช้แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงต้องมีการควบคุมสถานะการประจุที่กระแสมากกว่าปกติ เพื่อที่จะป้องกันและควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระบวนการประจุครั้งที่



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับการประจุด้วยศักย์ไฟฟ้าคงที่

จากรูปที่ 2.16 และ 2.18 เป็นตัวอย่างแสดงแรงดันไฟฟ้าและกระแส ที่เกิดขึ้นของแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด เมื่อแบตเตอรี่ที่ประจุยังมีพลังงานอยู่ที่สถานะการประจูลงพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานเคมีในรูปของ PbO_2 ที่แผ่นประจุบวก ความดันในเซลล์ก็ยังคงต่ำอยู่ อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างช้าจนกระทั่งสถานะการประจุอยู่ที่ประมาณ 80% ความดันจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากจะเริ่มมีก๊าซผลิตออกมาจากแผ่นประจุทั้ง 2 (ออกซิเจนที่แผ่นประจุ + และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับกระใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเอาไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การคัดลอกหรือการนำ ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนที่แผ่นประจุ - นอกจากนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ยังทำให้มีความร้อนออกมาอีกด้วย จึงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนความร้อนจะเกิดขึ้นเท่าไรนั้นก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต

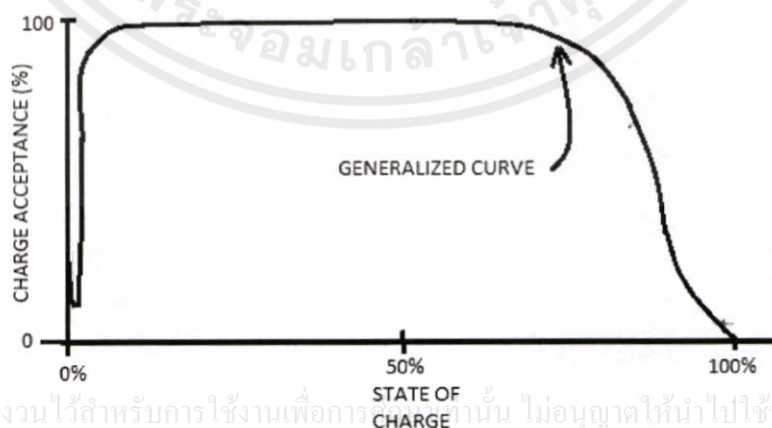
การประจูด้วยแรงดันคงที่จะได้ผลของอุณหภูมิและความดันต่างจากการประจุที่กระแสคงที่เล็กน้อยก็คือในการประจุแบบแรงดันคงที่กระแสประจุจะค่อยๆลดลง เมื่อเข้าสู่สภาวะ Over charge เมื่อกระแสลดลงปฏิกิริยาลดลงด้วย ทำให้แก๊สที่เกิดขึ้นก็ลดลงและอุณหภูมิก็น้อยกว่าแบบกระแสคงที่

2.6.2 การประจุที่เหมาะสม

การประจุที่เหมาะสมเป็นกระบวนการประจุที่จะทำให้การประจุเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แบตเตอรี่ที่ประจุได้ที่มีประสิทธิภาพ 100% ก็หมายความว่าพลังงานทั้งหมดที่ประจุเข้าสู่แบตเตอรี่สามารถคายประจูดอกมาใช้งานได้หมด แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ไม่มีแบตเตอรี่ชนิดไหนที่มีประสิทธิภาพถึง 100% ดังนั้นการพิจารณาหาจุดประจุที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะทำให้พลังงานที่ประจุไม่สูญเปล่าไปปัจจัยที่มีผลต่อการประจุมี่ดังนี้

2.6.2.1 ผลของสถานะการประจุ

สถานะการประจุของเซลล์เป็นตัวบ่งชี้ว่าการประจุนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ในกรณีที่แบตเตอรี่ถูกคายประจูดอกจนหมด หรือว่าแบตเตอรี่ยังเต็มอยู่จะไม่มี ความเหมาะสมในการประจุกี่คือ พลังงานในการประจุไม่ได้ถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานเคมี แต่จะเป็นความร้อนสูญเสีย ดังรูปที่ 2.19 แสดงความเหมาะสมของการประจุกับสถานะการประจุ



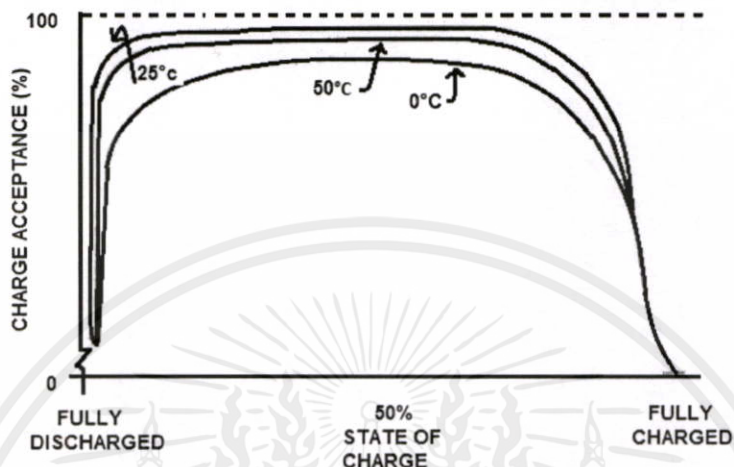
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขคัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 Effect of state of charge upon charge acceptance

2.6.2.2. ผลของอุณหภูมิ

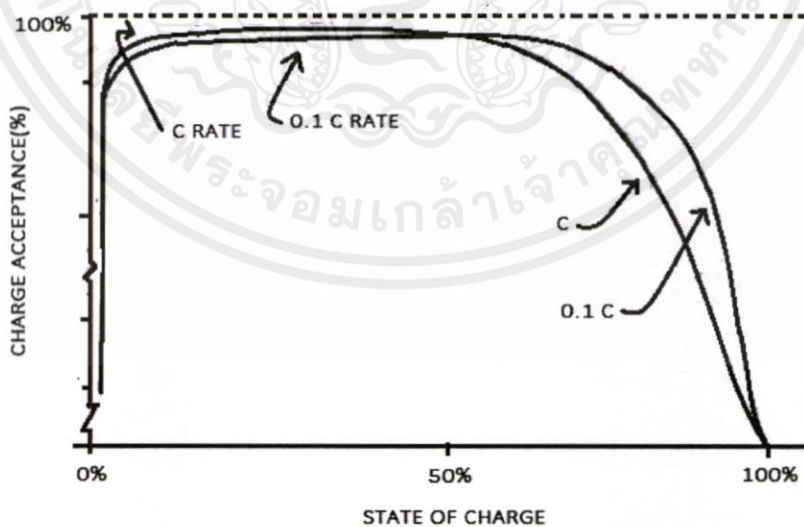
เช่นเดียวกันกับปฏิกิริยาเคมีโดยทั่วไป อุณหภูมิมีผลในการเร่งปฏิกิริยาการประจุให้ดีขึ้น การประจุที่อุณหภูมิสูงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการประจุที่อุณหภูมิต่ำดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 Charge acceptance at various temperature

2.6.2.3 ผลของระดับการประจุ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการประจุในระดับการประจุต่ำๆจะมีประสิทธิภาพดีกว่า การประจุที่ระดับสูงๆ



รูปที่ 2.20 Acceptance at various charge rates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 ประเภทของการประจุ

การประจุแบตเตอรี่ทุติยภูมินั้น มีอยู่หลายวิธี เป้าหมายของการประจุก็คือการจ่ายกระแสเข้าสู่แบตเตอรี่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับการคายประจุ การประจุแรงดันคงที่ที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่ก็ยังมีการประจุแบบกระแสคงที่ที่ใช้กันอยู่ รวมทั้งเครื่องประจุแบบแท็บ สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกเครื่องประจุคือ การถูกคายประจุ เวลาในการประจุ อุณหภูมิที่สูงขึ้น และจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่

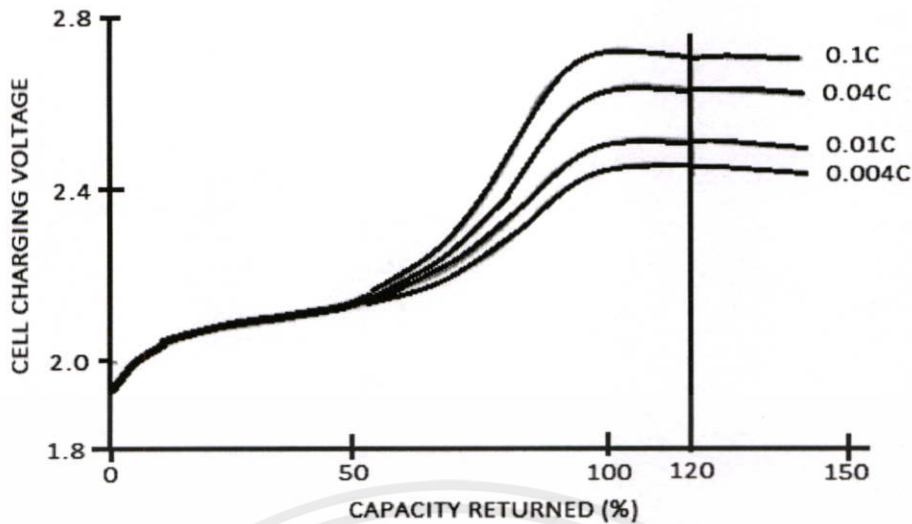
2.6.3.1 การประจุแบบแรงดันคงที่

การประจุแรงดันคงที่หมายถึง การประจุโดยค่านิ่งถึงแรงดันอย่างเดียว โดยไม่คำนึงถึงกระแสประจุ ปริมาณของกระแสประจุจะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างแรงดันเครื่องประจุ กับแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ ดังนั้นเมื่อเริ่มต้นชาร์จกระแสจึงค่อนข้างสูง และจะลดลงเมื่อแบตเตอรี่มีสถานะการประจุเข้าใกล้ 100% เนื่องจากแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่สูงขึ้น เครื่องประจุที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบก็คือแบบ Fast charge จะประจุที่แรงดันสูง กระแสที่ประจุจึงสูงตาม เวลาที่ใช้ประจุจะเร็วแต่ก็เสี่ยงต่อความเสียหายในเซลล์แบตเตอรี่ ทำให้อายุการใช้งานลดลง อีกแบบหนึ่งก็คือการประจุแบบ Float คือการประจุที่แรงดันสูงกว่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่เล็กน้อย กระแสประจุจึงไม่สูง แต่ก็ใช้เวลาในการประจุค่อนข้างนาน จะเห็นได้ว่ามีข้อดีข้อเสียที่ต่างกันดังนั้นจึงมีการประยุกต์ให้การประจุแบบแรงดันคงที่นี้ให้เป็นแบบ Dual step charging คือเริ่มแรกจะประจุแบบเร็ว ไปก่อนเพื่อแก้ไขจุดอ่อนในเรื่องเวลาในการประจุ เมื่อเวลาผ่านไปเมื่อ สถานะการประจุเริ่มสูงขึ้นก็ให้เปลี่ยนระดับแรงดันเป็นแบบ float เพื่อทำให้กระแสที่สถานะการประจุด้วยกระแสสูงมากกว่าปกติไม่สูงมากเพื่อยืดอายุการใช้งานให้สูงขึ้น การประจุแบบ Dual step charging จะมีประสิทธิภาพสูงมาก

2.6.3.2 การประจุแบบกระแสคงที่

การประจุแบบกระแสคงที่นั้นเป็นวิธีประจุที่ควรที่จะนำมาใช้งานมากที่สุดเพราะเป็นวิธีที่สิ้นพลังงานให้แก่แบตเตอรี่ได้เร็ว โดยไม่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การประจุแบบกระแสคงที่จะทำงานได้ดีกับการต่ออนุกรมกันของเซลล์แบตเตอรี่ที่ไม่สมดุลกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 Typical charge of stabilized cell

การประจุแบบกระแสคงที่นั้น เป็นการประจุที่ทำการรักษาระดับของกระแสไม่ได้คำนึงถึงสถานะการประจุ หรืออุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากรูปที่ 2.21 แสดงคุณลักษณะของกราฟแสดง ค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นเมื่อความจุในแบตเตอรี่สูงขึ้น และจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแบตเตอรี่เข้าสู่สภาวะการประจุด้วยกระแสสูงมากกว่าปกติ ดังนั้นในการประจูปแบบกระแสคงที่จึงต้องมีการควบคุมการประจุกรณีเกิดการประจุด้วยกระแสสูงมากกว่าปกติ

การเลือกระดับของกระแสประจุนั้น เป็นการตัดสินใจที่สำคัญมากเพราะว่ามันจะส่งผลไปยังอายุการใช้งาน โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่จะมีแต่ละชนิดก็จะมี ขีดจำกัดของกระแสสูงสุดที่ใช้ในการประจุนั้น โดยทั่วไปทางผู้ผลิตจะต้องบอกกระแสประจุสูงสุดไว้ เพื่อใช้ในการออกแบบหรือเลือกกระแสประจุ การใช้งานจริงนั้นก็จะมีทั้งแบบกระแสประจุนั้นเดียว และแบบกระแสประจุหลายระดับ ในแบบหลายระดับนั้นเริ่มแรกก็จะประจุที่ที่ประจุนั้นสูง หรือประจุนั้นกลางก่อน เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็มแล้วก็จะทำการเปลี่ยนกระแสประจุเป็นแบบ ประจุนั้นต่ำหลังจากนั้นก็ จะถอดวงจรในที่สุด

2.6.3.3 การประจุแบบแท็บ

การประจุแบบแท็บจะนิยมเป็นอย่างมากในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ใช้ในงานแบบพกพา เครื่องประจุแบบแท็บจะ ไม่มีการรักษาระดับแรงดันหรือระดับกระแส แต่จะอาศัยการเปลี่ยนแท็บของหม้อแปลงในการเปลี่ยนระดับแรงดันการประจุ ซึ่งวงจรของมันจะต้องมีวงจรเรียงกระแสจากไฟกระแสสลับ เป็นกระแสตรงเมื่อจะประจุนั้นทำการเปลี่ยนแท็บ ให้แรงดันของเครื่องประจุสูงกว่าที่ขั้ว

แบตเตอรี่ พอประจุไปซักพักเมื่อที่ขั้วแบตเตอรี่มีแรงดันสูงกว่าเครื่องประจุแล้วก็ให้เปลี่ยนแท็บจนแรงดันสูงกว่าแบตเตอรี่อีกที ทำอย่างนี้ไปจนแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่อยู่ที่แรงดันปกติของมัน

2.6.3.4 สถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

สถานะการประจุของแบตเตอรี่ไว้ใช้แสดงความจุของแบตเตอรี่ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของความจุสูงสุดที่มีอยู่ ทำให้เราสามารถทราบได้ว่าพลังงานได้คายประจุออกไปแล้วเท่าใดและใช้ในการเปรียบเทียบพลังงานเมื่อผู้ใช้งานจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ทำให้รู้ว่าเราสามารถจะใช้แบตเตอรี่ไปได้นานเท่าใดถึงควรที่จะประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ และรู้ว่าควรจะใช้ประจุเป็นเวลานานเท่าใดแบตเตอรี่ถึงจะเต็มเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอย่างอื่นแล้วสถานะการประจุของแบตเตอรี่ก็เหมือนกับเกจวัดปริมาณน้ำมันในถังเชื้อเพลิงของรถยนต์นั่นเอง

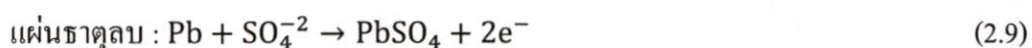
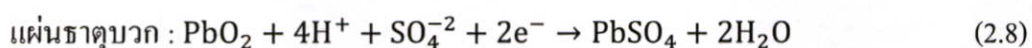
สถานะการประจุของแบตเตอรี่นั้นไม่สามารถที่จะใช้ปริมาณอ้างอิงได้เนื่องจากการประจุและคายประจุแต่ละรอบจะมีผลทำให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลง รวมไปถึงอายุการใช้งานของเซลล์ลดลงเนื่องจากผลของอุณหภูมิจากการคายประจุ การวัดสถานะการประจุที่ครั้งแรกสุดจึงจะได้พลังงานที่สูงสุด ในการวัดหาค่าของสถานะการประจุนั้นหากจะใช้ในการเปรียบเทียบจึงต้องเทียบกับการคายประจุครั้งแรกสุด แล้วจึงจะใช้ประเมินอายุรอบของการใช้งานครั้งต่อไป

2.7 ปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นปัญหาสำหรับผู้ใช้งาน มีปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ด้วยหลายสาเหตุ สาเหตุของการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่และวิธีการป้องกันการเสื่อมสภาพปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร

2.7.1 อุณหภูมิ (Ambient Temperature)

เนื่องมาจากแบตเตอรี่ที่เราใช้งานเป็นชนิด Valve Regulated Lead Acid ที่มีแผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วไดออกไซด์และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว โดยแหล่งในน้ำกรดซัลฟิวริกคังแสดงในรูปที่ 2.22 โดยมีสมการทางเคมีสำหรับแผ่นธาตุบวก, ลบดังนี้



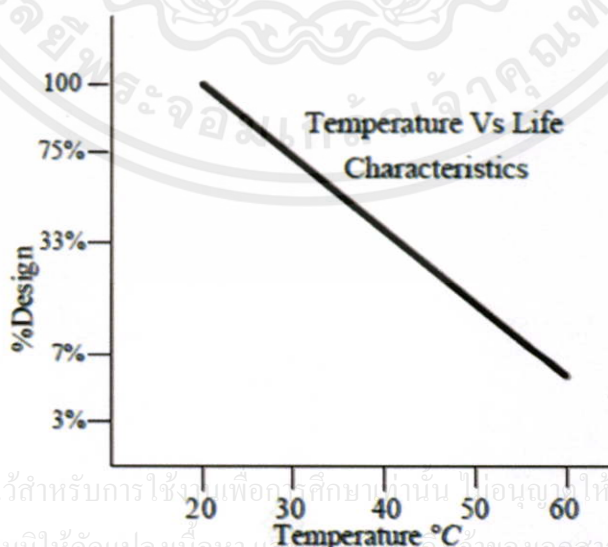
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CHARGED
1.300 Specific Gravity Electrolyte
2.05 Volts

รูปที่ 2.22 แผ่นธาตุในน้ำกรดซัลฟิวริก

การที่แผ่นธาตุได้ถูกแช่อยู่ในน้ำกรดซัลฟิวริกนั้นการผุกร่อนเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้โดยมีอุณหภูมิเป็นตัวเร่งการผุกร่อนของแผ่นธาตุโดยอัตราการเสื่อมสภาพจะแปรผันตามอุณหภูมิโดยมีข้อกำหนดว่า สำหรับแบตเตอรี่ใช้งานในลักษณะ Stand By เหมือนเช่นการใช้งานกับ UPS อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุก 10°C จากอุณหภูมิที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่งด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องพยายามรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ตามที่ผู้ผลิตแนะนำหรือติดตั้งให้แบตเตอรี่มีระยะห่างพอสมควรประมาณ 1.5 – 2 เซนติเมตร เพื่อให้มีการระบายอากาศที่ดี หลีกเลี่ยงไม่ให้แบตเตอรี่รับแสงแดดโดยตรงหรือแหล่งความร้อน เป็นต้น

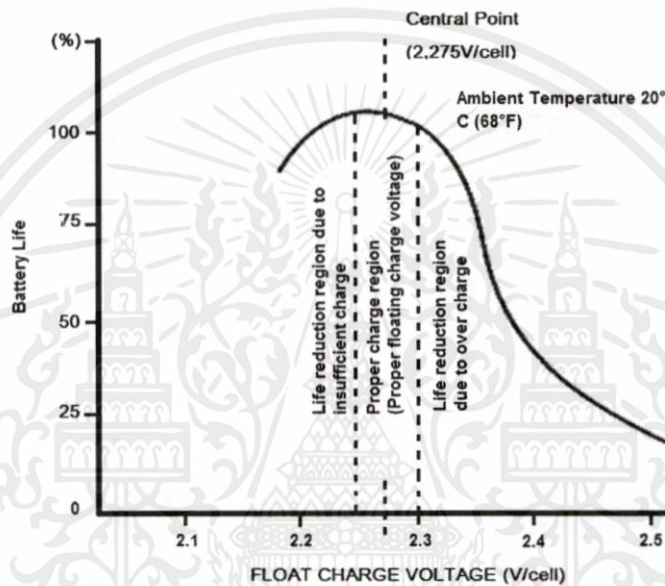


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตีพิมพ์ซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.23 ผลของอุณหภูมิกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.7.2 แรงดัน (Float Charge Voltage)

การประจุแบตเตอรี่ชนิด Valve Regulated Lead Acid มีแรงดันที่ 2.25 +/- 0.01 โวลต์ต่อเซลล์ โดยมีชื่อเรียกว่า Floating Voltage หรือ Charging Voltage ขึ้นอยู่กับสถานะของการประจุแบตเตอรี่ กล่าวคือ ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วนั้นเราเรียกแรงดันในการประจุขณะนั้นว่า Float Voltage และเมื่อมีการประจุแบตเตอรี่หลังจากการคายประจุเราเรียกว่า Charging Voltage จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่พบว่าแรงดันที่สูงหรือต่ำเกินไปกว่าขอบเขตที่กำหนดจะส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ดังรูปที่ 2.24

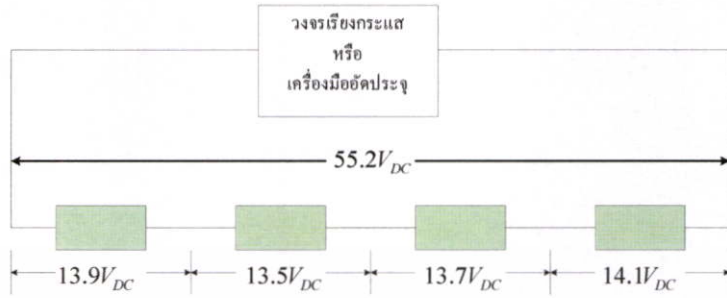


รูปที่ 2.24 ผลของแรงดันกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

เมื่อแรงดันอยู่นอกขอบเขตดังแสดงในรูปที่ 2.24 แรงดันคร่อมแบตเตอรี่ระหว่างประจุจะมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แรงดัน 2.275 โวลต์ต่อเซลล์ เป็นแรงดันที่เหมาะสมและแบตเตอรี่มีอายุสูงสุด หรือ ระหว่าง 2.23 – 2.3 ที่อุณหภูมิ เมื่อแรงดัน Float ต่ำก็จะมีผลทำให้ประจุไม่เต็มจนทำให้เกิด Sulfating บนแผ่นธาตุทั้งบวกและลบ และถ้าแรงดัน Float เกินกว่า 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ ก็จะมีผลทำให้เกิด Over Charging โดยแบตเตอรี่จะสูญเสียน้ำจนทำให้เกิดเสื่อมสภาพในที่สุด แต่เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้งานในระบบ นั้นเป็นการนำเอาแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ระดับแรงดันตามต้องการ ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่แรงดันตกคร่อมแบตเตอรี่ทุกๆ ลูกจะ

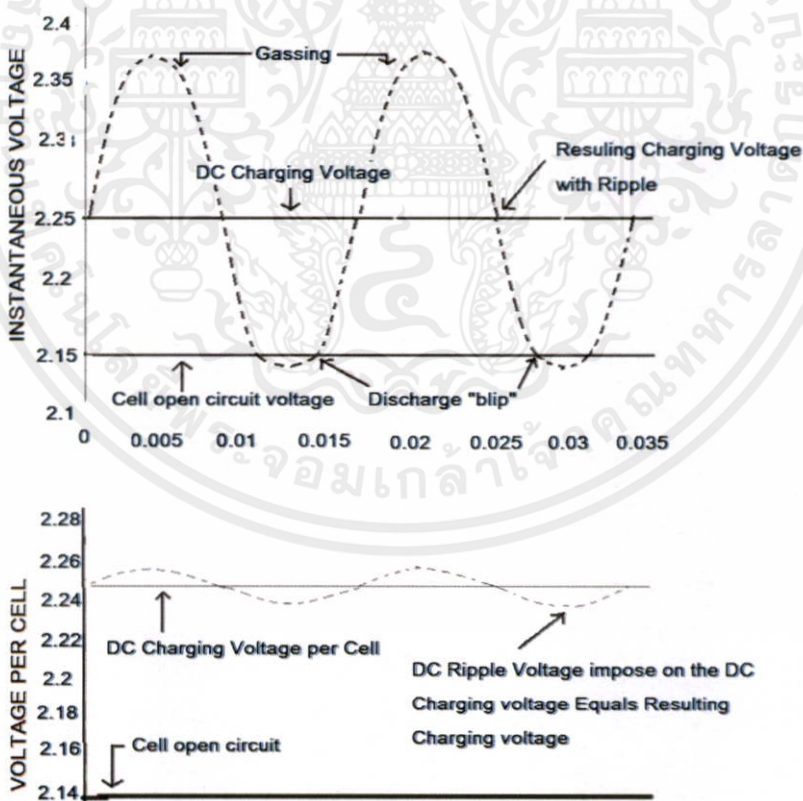
เท่ากันดังรูปที่ 2.25 นี้แสดงให้เห็นว่าแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูกจะไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันของแบตเตอรี่มีค่าเสมอกันที่สุด จึงจะต้องเลือกแบตเตอรี่ รุ่นและขนาดเดียวกัน ผลิตในระยะเวลาใกล้เคียงกัน และมีแรงดัน Float ไม่ต่างกันเกินกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดมาต่อร่วมกัน



รูปที่ 2.25 แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูก

แรงดันกระเพื่อมกระแสสลับ (AC Ripple Voltage) คร่อมแบตเตอรี่มีผลทำให้เกิดผลกระทบบ่อยารุนแรงและรวดเร็วที่สุดกว่าสาเหตุใดๆที่กล่าวมาเนื่องจากแรงดันกระเพื่อมกระแสสลับ (AC Ripple Voltage) สามารถทำให้เกิด Gassing และ Discharge ตลอดช่วง การประจุ ขึ้นอยู่กับความถี่ของ Charger ต่ำนั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.12 ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26 ช่วงเกิด Gassing และ Discharge

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

2.7.3 กระแส (Float & Charging Current)

กระแสที่ไหลในแบตเตอรี่ขณะ Float Charge ประกอบด้วย

2.7.3.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

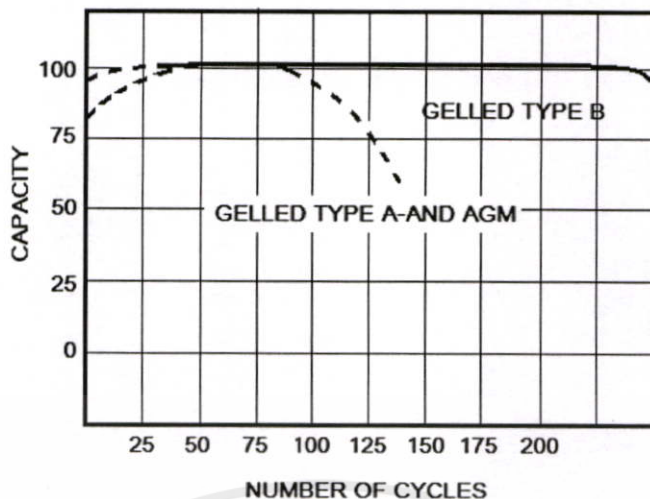
ไฟฟ้ากระแสตรงที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ เรียกว่า “Float Current” มีค่าประมาณ 0.3-2mA แอมแปร์ชั่วโมง ที่แรงดัน 2.30 โวลต์ต่อเซลล์ที่ 25 °C กระแสนี้ประมาณ 5% จะไปชดเชยการคายประจุภายในตัวเองของแบตเตอรี่ (Self-discharge) ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มพร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยที่อีกส่วนหนึ่งประมาณ 95 % จะเป็นตัวทำให้เกิดความร้อน ภายในแบตเตอรี่ในทางปฏิบัติการลดกระแส Float ก็จะสามารถช่วยลดความร้อนที่สะสมในแบตเตอรี่ลงได้ เช่น การติดตั้งตัววัดอุณหภูมิให้กับ Charger เพื่อปรับลดแรงดัน Float ให้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้น (Temperature Compensation)

2.7.3.2 กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

เป็นกระแสที่เกิดจาก Rectifier และ Inverter กระแสนี้ไม่มีประโยชน์แต่อย่างใด ทั้งยังก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพต่อแบตเตอรี่เมื่อค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าสูงเกิน กว่า 5 % ของความจุแบตเตอรี่ หรือ ประมาณ 5 A สำหรับแบตเตอรี่ 100 แอมแปร์-ชั่วโมงดังนั้นในการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ทุกครั้งจึงต้องตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ไม่ให้เกินกว่า 5 % ของความจุแบตเตอรี่ หากตรวจพบว่าค่ากระแสไฟฟ้ากระแสสลับ สูงเกิน ให้ตรวจสอบ Rectifier, Capacitors, UPS และ Load ว่าส่วนใดเป็นสาเหตุและให้แก้ไขโดยเร่งด่วน มิฉะนั้นจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

2.7.4 จำนวนรอบของการคายประจุ (Discharge Cycle)

จำนวนครั้งในการคายประจุก็เป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบให้ใช้งานในลักษณะ Stand By อย่างในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากโครงสร้างการออกแบบไม่ได้รองรับการคายประจุบ่อยครั้ง จากกรุปกราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่ การคำนวณว่าครั้งใดบ้างที่นับ อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 กราฟการทดสอบจำนวนครั้งของแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.27 เส้นประนั้นได้แสดงว่าแบตเตอรี่ เมื่อมีการประจุและคายประจุจนแบตเตอรี่หมดประจุ เป็นจำนวน 125 ครั้ง (Cycles) ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเหลือ 75% ของพิกัด นั่นคือแบตเตอรี่สามารถสำรองไฟฟ้ากับ UPS ได้ 125 ครั้งเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ แบตเตอรี่จะไม่ได้คายประจุจนหมด เพราะ UPS จะรับไฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในเวลาอันรวดเร็ว ด้วยสาเหตุนี้ตัวเลขของรอบชีวิต จึงมีค่ามากกว่าค่านี้ อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่า ทุกครั้งที่แบตเตอรี่มีการคายประจุจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุสั้นลง

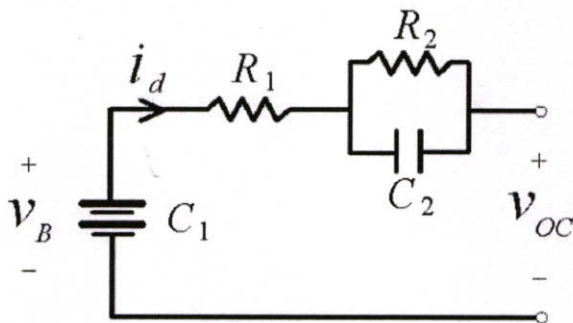
จากที่ได้กล่าวมาในหัวข้อสาเหตุของการเสื่อมสภาพทั้งหมดนี้เป็นการนำเสนอให้เห็นถึงปัจจัยที่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพได้แม้ว่าผู้ผลิตจะระบุว่าแบตเตอรี่มีอายุการใช้งาน 10 ปี แต่ก็สามารถใช้งานได้ไม่ถึง 10 ปี ก็เพราะสืบเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ประกอบกันนั่นเอง อย่างไรก็ตามยังมีสาเหตุอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวในที่นี้อีกมากหลายประการ

2.8 การประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

2.8.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

โดยทั่วไปจะใช้วงจรต้นแบบวงจรสมมูลสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แสดงดังรูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบที่จะใช้ข้อมูลในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

เมื่อ

V_B คือ แรงดันไฟฟ้าที่พลังงานศักย์สมมูล

R_1 คือ ความต้านทานทั้งหมดของรอยต่อเซลล์

R_2 คือ ความต้านทานการส่งผ่านประจุ

C_2 คือ ค่าปริมาตรลิมพ์ของแผ่นเซลล์

ในระหว่างคายประจุจะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากวงจรสมมูลดังนี้

$$V_{OC} = V_B - (R_1 - R_2)i_d + R_2i_d e^{(-t/C_2R_2)} - V_{OC}e^{(-t/C_2R_2)} \quad (3.5)$$

V_{OC} คือ ความแตกต่างระหว่างแรงดัน V_B กับ V_{R1}

เมื่อแบตเตอรี่ไม่ได้ทำการเชื่อมต่อกับโหลดจะได้สมการ

$$V_{OC} = V_B - V_{C_2}e^{-t/C_2R_2} \quad (3.6)$$

ในระยะแรกของการทดลองแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด แรงดันจะพุ่งตัวเป็นอัตราส่วนกับค่าสถานะการคายประจุหลังจาก 40 นาที ในทุกๆค่าสถานะการคายประจุของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่าความแตกต่างของกระแสการคายประจุจะมีค่าสูงขึ้นทีละน้อยจนเสถียร และความต่างของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเล็กน้อย จะเห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าคงที่เมื่อมีค่าความต่างของค่าสถานะการคายประจุ ความสัมพันธ์จะเป็นเส้นตรง และเมื่อปล่อยให้ป้อนไว้เป็นเวลานานการประมาณค่าสถานะการคายประจุจะแสดงผลอย่างง่าย โดยสามารถอธิบายได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $SOD = a_1 + a_2V_B$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.16) การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

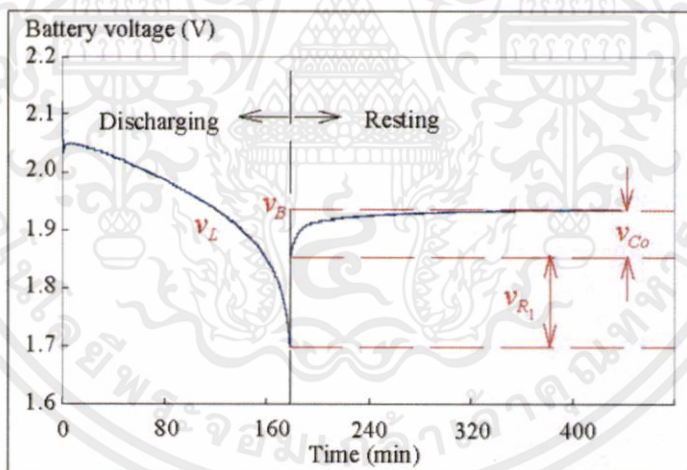
การประมาณค่าสถานะการประจุเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สำคัญ สำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านกำลังของแบตเตอรี่ การประมาณค่าสถานะการประจุจะทำให้สามารถนำกำลังของแบตเตอรี่มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และควบคุมกำลังของแบตเตอรี่ให้มีความเสถียรมากขึ้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถจัดระบบงานของแบตเตอรี่ที่เหลือได้ และสามารถคาดการณ์และหลีกเลี่ยงสิ่งที่ปรากฏขึ้นเมื่อเริ่มมีการอัดหรือคายประจุด้วยกระแสสูงมากกว่าปกติได้ ซึ่งจะส่งผลให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

ในทางปฏิบัติจากการสังเกตค่าสถานะการประจุจะมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่เต็ม ค่าความจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลง จากค่าหนึ่งไปสู่ค่าหนึ่งอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งค่าการปลดปล่อยความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการใช้งานและอาจขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของช่วงชีวิตที่เหมาะสมทางกายภาพของแบตเตอรี่ การเปลี่ยนแปลงของขั้วไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของสารอิเล็กโทรไลต์ และการประมาณค่าสถานะสภาพ(SOH) ของแบตเตอรี่ก็เป็นอีกส่วนที่สำคัญในการอธิบายค่าสถานะการประจุให้มีความแม่นยำมากขึ้น แต่จากการวิจัยจะให้ความสำคัญในการประมาณค่าสถานะคายประจุ โดยจะทำการสำรวจไดนามิกของแรงดันไฟฟ้าของขั้วของแบตเตอรี่

การประมาณค่าสถานะการประจุมีอีกหลายวิธีการ อย่างไรก็ตามวิธีการส่วนมากจะใช้ระบบวัดที่แม่นยำ ในการวัดคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณความจุของแบตเตอรี่ ดังนั้นการทดลองจึงเหมาะที่จะทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น โดยทั่วไปจะใช้วิธีการนับแบบแอมแปร์-ชั่วโมง วิธีการนับแบบนี้เป็นมาตรฐานและให้ค่าที่แน่นอนแม่นยำเชื่อถือได้ ซึ่งก่อนทำการวัดจะต้องวัดค่ามาตรฐานใหม่ทุกครั้ง การเพิ่มขึ้นของความคลาดเคลื่อนในระบบวัดจะทำให้ผลการทดลองไม่สามารถยอมรับได้ และทำให้ต้องทำการทดลองซ้ำหลายครั้งมากขึ้น

ในอีกทางหนึ่งจะทำการประมาณค่าสถานะการประจุโดยใช้พื้นฐานของแรงดันไฟฟ้าของขั้วแบตเตอรี่ แต่โชคไม่ดีที่วิธีการนี้ส่งผลให้การประมาณค่าสถานะการประจุผิดพลาด เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของขั้วแบตเตอรี่มีแนวโน้มที่จะปล่อยกระแสออก และยิ่งกว่านั้นการคิดค่าแรงดันไฟฟ้าของขั้วแบตเตอรี่ยังมีความยุ่งยาก เนื่องจากมีการคายประจุแบบกะทันหัน อย่างไรก็ตามถ้ากำหนดเวลาให้วงจรเปิดมีระยะเวลามากก็จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของขั้วแบตเตอรี่วงจรมีค่าเป็นศูนย์ จากความยุ่งยากในการกำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างแม่นยำ วิธีนี้ยังไม่เหมาะสมในการใช้งานกับชุดแบตเตอรี่ ซึ่งบางวิธีการจะสามารถประยุกต์ใช้กับแบตเตอรี่หลายประเภท การจัดเรียงแบบขนานจะทำให้ไม่ต้องใช้งานแบตเตอรี่ทั้งหมดให้ทำงานตลอดเวลาเพื่อให้แบตเตอรี่สามารถหยุดพักการทำงานชั่วคราวเพื่อทำการดำเนินการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าแปรผันตรงกับค่าสถานะคายประจุ ซึ่งจะได้มาจากค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่โดยตรงเมื่อไม่ได้ทำการเชื่อมต่อกับโหลด เป็นเวลานานกว่า 2 ชั่วโมง สำหรับแบตเตอรี่ที่มีสถานะสภาพดีค่าสถานะการประจุจะมีค่าแปรผันกับสถานะการคายประจุ อย่างไรก็ตามถ้าไม่ได้ทำการเชื่อมต่อกับโหลดเป็นเวลานานเกิน อาจจะทำให้ไม่สามารถดำเนินการต่อได้ อีกจุดที่ควรพิจารณาคือค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ซึ่งค่าจะเปลี่ยนแปลงในเวลาไม่กี่นาทีหลังจากการคายประจุหยุดลง เนื่องจากเกิดการกระจายตัวของสารอิเล็กโทรไลต์อย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่า การฟื้นตัวของแรงดันไฟฟ้า (Resting Voltage) ของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับกระแสในการคายประจุครั้งที่แล้วเสมอ ค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่ การประมาณค่าที่ให้ผลแม่นยำมากยิ่งขึ้นสามารถทำได้ภายในเวลาอันสั้น โดยการพิจารณาปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะช่วยเพิ่มความเป็นไปได้ของการประมาณค่าสถานะการประจุ ในการวิจัยครั้งนี้เน้นไปที่แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแต่วิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดอื่นได้



รูปที่ 2.29 แสดงเส้นโค้งของแรงดันเมื่อคายประจุและแรงดันเมื่อมีการฟื้นตัวของแรงดัน

รูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งที่ดีของแรงดันของขั้วแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ทำการคายประจุครั้งแรกด้วยกระแสคงที่ที่ 1 A และไม่ได้ทำการเชื่อมต่อกับโหลด แรงดันไฟฟ้าจะลดลงจนถึง 1.7 V ซึ่งแรงดันจะลดลงทันทีเมื่อเริ่มคายประจุและค่อยๆลดลงอย่างช้าๆ จากนั้นวงจรแบตเตอรี่จะเปิดมากขึ้นเนื่องจากแรงดันของขั้วแบตเตอรี่จะตกหายไปแรงดันของขั้วแบตเตอรี่จะหยุดที่ R_1

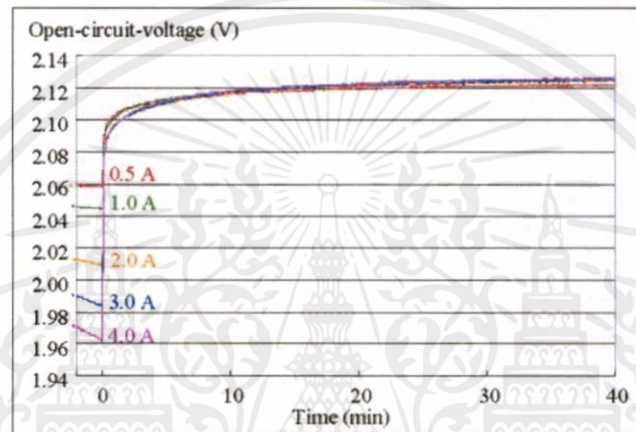
ขณะที่แรงดันเริ่มต้น V_{C_0} จะมีค่าตรงข้ามกับ C_2 และ R_2 โดยมีสาเหตุจากกระแสของการคายประจุ แรงดันไฟฟ้าจะลดลงไปอยู่ที่ 0 เมื่อเวลาคงที่ τ

$$\tau = C_2 R_2 \quad (6)$$

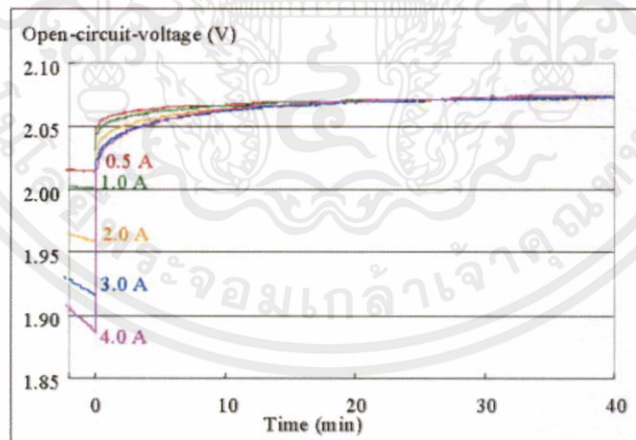
แบตเตอรี่จะอยู่ในสถานะคงที่ และแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะมีความเสถียร

2.8.1 ความแปรผันแบบไดนามิก ของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

เส้นโค้งการฟื้นตัวของแรงดันไฟฟ้า จะมีความแตกต่างเมื่อค่าสถานะคายประจุอยู่ที่ 0.5 Ah, 1.5 Ah และ 2.5 Ah แสดงดังรูปที่ 2.30

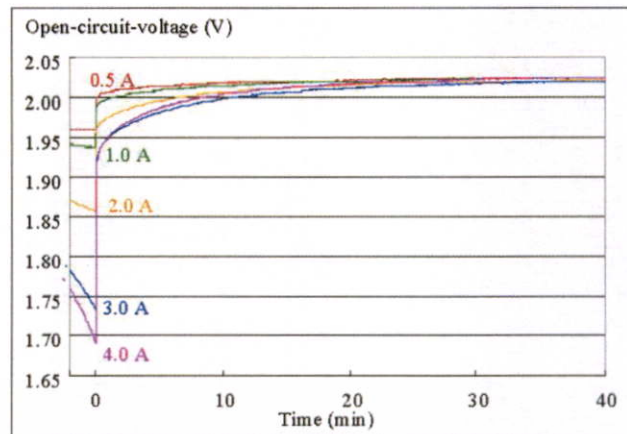


(a) ค่าสถานะคายประจุ = 0.5 Ah.



(b) ค่าสถานะการคายประจุ = 1.5 Ah.

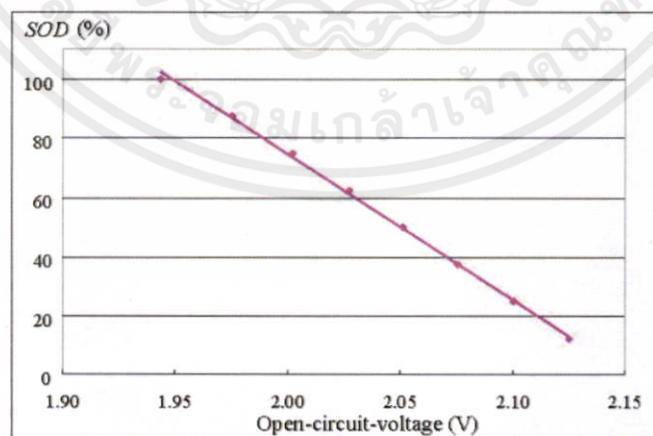
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c) ค่าสถานะการคายประจุ = 2.5 Ah.

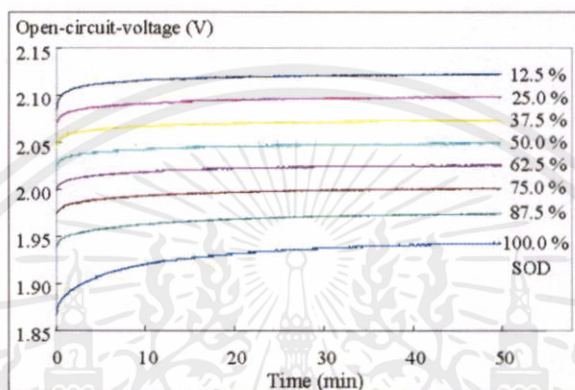
รูปที่ 2.30 แสดงเส้นโค้งการฟื้นตัวของแรงดัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสการคายประจุ ในระยะแรกของการทดลองแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด แรงดันจะฟื้นตัวเป็นอัตราส่วนกับค่าสถานะการคายประจุหลังจาก 40 นาที ในทุกๆค่าสถานะการคายประจุของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่าความแตกต่างของกระแสการคายประจุจะมีค่าสูงขึ้นทีละน้อยจนเสถียร และความต่างของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ในรูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าคงที่เมื่อมีค่าความต่างของค่าสถานะการคายประจุ ความสัมพันธ์ระหว่าง V_B กับค่าสถานะการคายประจุ จะเป็นเส้นตรง และเมื่อปล่อยไว้เป็นเวลานานการประมาณค่าสถานะการคายประจุจะแสดงผลอย่างง่าย โดยสามารถอธิบายได้จากสมการ

$$SOD = a_1 + a_2 V_B \quad (7)$$



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.31 แสดงค่าสถานะคงที่ของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ค่าสถานะการคายประจุค่าต่างๆ ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

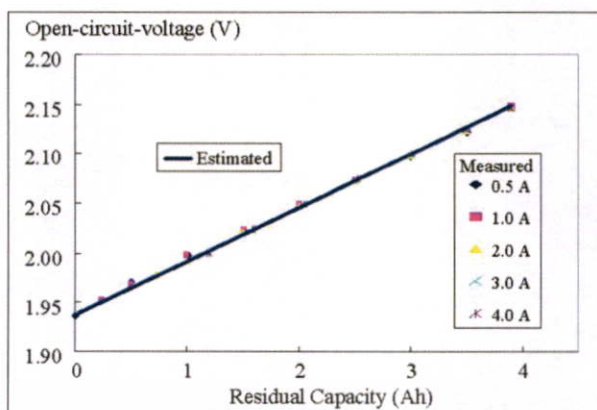
เมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่พื้นตัว เส้นโค้งของแรงดันไฟฟ้าจะปรากฏ ในรูปที่ 2.32 สามารถวัดความต่างของค่าสถานะการคายประจุด้วยค่ากระแสเท่าเดิม คือ 0.5 A เมื่อการคายประจุ ลึกลงก็จะให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลง เนื่องจากสารอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่มีความเข้มข้นลดลง แรงดันไฟฟ้าในระยะแรกของวัฏจักรการคายประจุจะพื้นตัวเร็วเมื่อคายประจุ ลึกลง ค่าความต่างของ อัตราการพื้นตัวของแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าสถานะประจุ หมายความว่าค่าของ τ จะ ขึ้นอยู่กับความลึกของการคายประจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.32 แสดงเส้นโค้งการพื้นตัวของแรงดันไฟฟ้าที่ค่าสถานะการคายประจุต่างๆ

ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิดที่เสถียร กับค่าสถานะการคายประจุ ทำให้การประมาณค่าสถานะการคายประจุสามารถหาค่าได้สะดวกขึ้น อย่างไรก็ตามก็ยังคงต้องใช้เวลาพอสมควรสำหรับขั้นตอนการประมาณค่าสถานะการคายประจุ เนื่องจากแรงดันกำลังพื้นตัวในระยะแรก แรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิดจะมีค่าขึ้นอยู่กับกระแสของการคายประจุครั้งที่แล้ว และค่าสถานะการคายประจุ หมายความว่าค่า R_2 และ C_2 สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากค่ากระแสของการคายประจุครั้งที่แล้วและค่าสถานะการคายประจุ ค่า R_2 และ C_2 มีผลต่อการพิจารณาในการประมาณค่าสถานะการคายประจุ รูปที่ 2.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิด, อัตราการปล่อยประจุ และเวลาในการเปิดวงจรถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 แสดงผลการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงทางกระแสการคายประจุ ใน เวลา 40 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สมมุติฐานสำหรับการทดลอง

จากทฤษฎีการประจุและคายประจุด้วยกระแสต่างกันจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ต่างกัน ในการทดลองนี้จึงมีการกำหนดค่าการประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยจะประจุและคายประจุด้วยกระแสคงที่ กระแสที่ใช้ในการประจุ คือ 0.2C และกระแสสำหรับการคายประจุกำหนดสองค่า คือ 0.1C และ 0.2C ที่อุณหภูมิห้อง 25°C โดยที่ขนาดของกระแสหาได้จากสมการ

$$\text{Current magnitude} = \frac{\text{Current(A)}}{\text{Rated Capacity(Ah)}} \quad (3.1)$$

3.1.1 คำจำกัดความของสถานะการคายประจุ, สถานะการประจุและเงื่อนไขการทดสอบ

ในงานวิจัยมีการนิยามค่าสถานะการคายประจุและสถานะการประจุโดยที่สถานะการคายประจุ คือ ร้อยละของความจุการคายประจุของแบตเตอรี่ ขณะที่แบตเตอรี่เต็ม ก่อนที่จะทำการคายประจุ

$$\text{SOD} = \left(\frac{Q_d}{Q_{\text{rated}}} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

เมื่อ Q_d คือ ความจุการคายประจุของแบตเตอรี่ (Ah)

Q_{rated} คือ อัตราความจุของแบตเตอรี่ (Ah)

ค่าสถานะประจุก็คือค่าความจุของแบตเตอรี่ส่วนที่เหลือ จะได้ว่า

$$\text{SOC} = \left(\frac{Q_r}{Q_{\text{rated}}} \right) \times 100\% \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{SOC} = \left(\frac{Q_{\text{rated}} - Q_d}{Q_{\text{rated}}} \right) \times 100\% = 1 - \text{SOD} \quad (3.4)$$

3.1.2 การประจุแบตเตอรี่

จะใช้ Switching DC power supply เป็นเครื่องประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่จะถูกประจุด้วยกระแสคงที่จนกระทั่งถูกประจุไฟจนเต็ม ซึ่งจะถูกกำหนดโดยจำนวนของกระแสและระยะเวลาในการคายประจุ จำนวนพลังงานของการประจุไฟอยู่ที่ประมาณ 130% ของจำนวนพลังงานในการคายประจุ

3.1.3 การคายประจุแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการคายประจุ จะต้องถูกประจุจนเต็ม ใช้ตัวต้านทานแท้เป็นโหลด โดยจะทำการคายประจุด้วยกระแสคงที่ถึงแรงดันคัตออฟ ที่แบตเตอรี่ 12V 35Ah มีแรงดันคัตออฟอยู่ที่ 10.8V จะกำหนดเปอร์เซ็นต์การคายประจุที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆทั้งหมด 9 ค่า คือ 20% ถึง 100% เพิ่มเปอร์เซ็นต์การคายประจุครั้งละ 10% เพื่อดูแรงดันพื้นตัวของแรงดันที่สถานะการประจุต่างกัน

3.2 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์



1. คอมพิวเตอร์เพื่อทำการทดลอง



2. แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด 12V 35Ah



3. ตัวต้านทานชนิดแท้ 10 Ω 40 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปสอนภาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. Digital multimeter



5. agilent 34401A multimeter



6. Switching DC power supply

รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

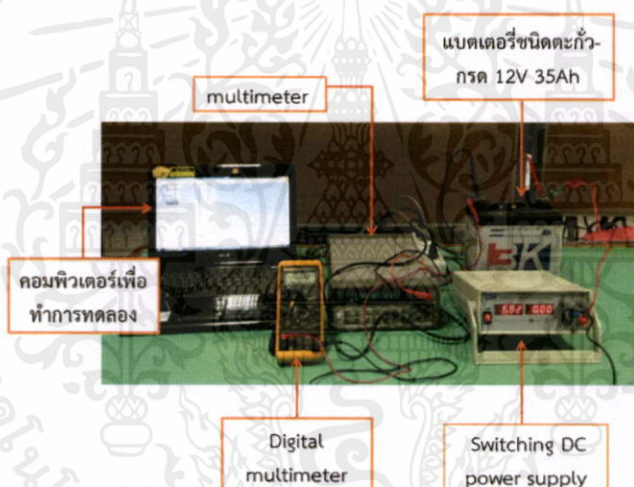
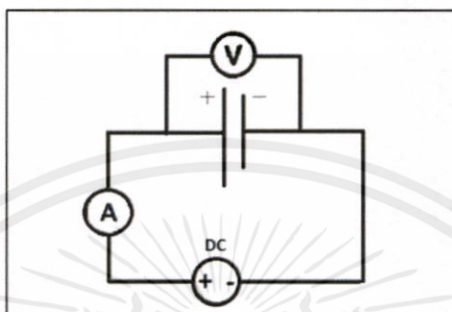
3.2.2.1 การทดสอบการประจุด้วยกระแสคงที่

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมของการประจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้เห็นลักษณะของกราฟจากการประจุแบตเตอรี่ ทำการประจุจนถึงค่าแรงดันสุดท้าย โดยกำหนดแรงดันสุดท้ายที่ 130% (15.6 V) ของแรงดันปกติ การทดสอบนี้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบแรงดันสุดท้ายกับค่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการประจุแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสคงที่ทั้งหมดจำนวน 2 ค่า และบันทึกแรงดันแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยการบันทึกค่าแรงดัน เราได้ทำการใช้โปรแกรม LABVIEW ทำการออกแบบคำสั่งสำหรับการบันทึกค่าข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยในการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 35 Ah ในการทดสอบจะใช้กระแสไฟฟ้าในการประจุ คือ 0.2C สังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกผล

ทำการต่อวงจรสำหรับการประจุดังรูปที่ 3.2 switching DC power supply เป็นเครื่องประจุไฟฟ้า ตู้แบตเตอรี่ ทำการคายประจุที่ค่ากระแส 0.2 C โดยคำนวณจากสมการ 3.1 โดยใช้เวลาในการบันทึกเป็น 10 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 วงจรสำหรับประจุแบตเตอรี่

ทำการบันทึกผลการทดลองโดยการบันทึกค่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ โดยการบันทึกนั้นเราทำการเขียนคำสั่งการบันทึกจากโปรแกรม LABVIEW โดยเราใช้เครื่อง Digital multimeter Agilent 34401A ทำการอินเทอร์เฟสเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการบันทึกค่าทุก 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การทดสอบการคายประจุด้วยกระแสคงที่

สำหรับการทดสอบนี้จะทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ ที่ความลึกของการคายประจุต่างกัน ค่าแรงดันของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการคายประจุขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของการคายประจุที่ได้กำหนดไว้ก่อนการทำการทดลอง โดยการคายประจุแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสคงที่ทั้งหมดจำนวน 2 ค่า คือ 0.1C และ 0.2C ที่เปอร์เซ็นต์การคายประจุต่างกันอีก 10 ค่า แสดงดังตารางที่ 3.1 บันทึกแรงดันแล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยการบันทึกค่าแรงดันและเวลา เพื่อหาแรงดันพื้นตัวของแบตเตอรี่ที่เปอร์เซ็นต์การคายประจุต่างกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของการคายประจุกับแรงดันพื้นตัวเพื่อหาค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่ เราได้ทำการใช้โปรแกรม LABVIEW ทำการออกแบบคำสั่งสำหรับการบันทึกค่าข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยในการทดสอบจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 35 Ah คือ ซึ่งในการทดสอบจะใช้กระแสไฟฟ้าในการคายประจุทั้งหมด 2 ค่า คือ 0.1C และ 0.2C สังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ทำงาน

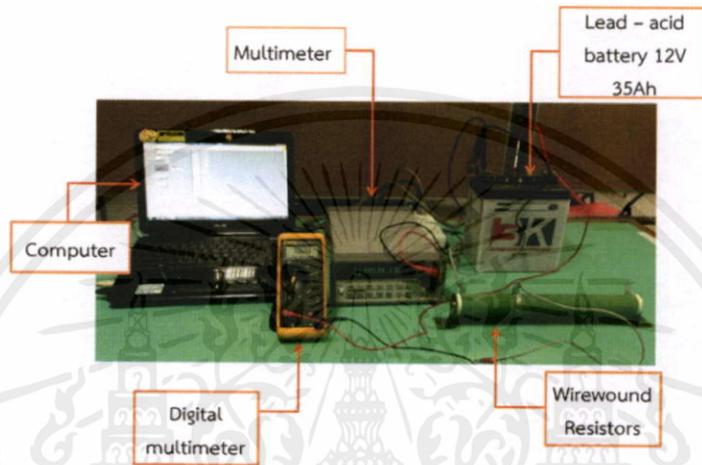
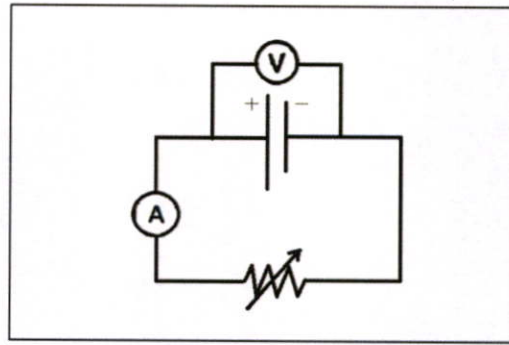
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกผล

ทำการต่อวงจรสำหรับการคายประจุดังรูปที่ 3.5 โดยใช้ตัวต้านทานเป็นโหลดเพื่อทำการคายประจุจากแบตเตอรี่ ทำการคายประจุที่ค่ากระแส 2 ค่า คือ 0.1C และ 0.2C โดยคำนวณจากสมการ 3.1 โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การคายประจุที่คำนวณไว้ในการกำหนดระยะเวลาในการทดลอง ตารางที่ 3.1 แสดงเวลาในการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.1 C และ 0.2 C

SOD (%)	V (V)	Time (hr)	
		0.1C	0.2C
0	13.2	-	-
10	13.0	-	-
20	12.7	0.2	0.1
30	12.5	1.0	0.2
40	12.2	1.5	0.5
50	12.0	1.7	0.9
60	11.8	2.0	1.3
70	11.5	3.2	1.5
80	11.3	3.0	1.7
90	11.0	3.8	1.8
100	10.8	4.5	2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรสำหรับการคายประจุแบตเตอรี่

โดยการบันทึกนั้นเราทำการเขียนคำสั่งการบันทึกจากโปรแกรม LABVIEW โดยเราใช้เครื่อง Digital multimeter Agilent 34401A ทำการอินเทอร์เฟสเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วทำการบันทึกค่าทุก 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

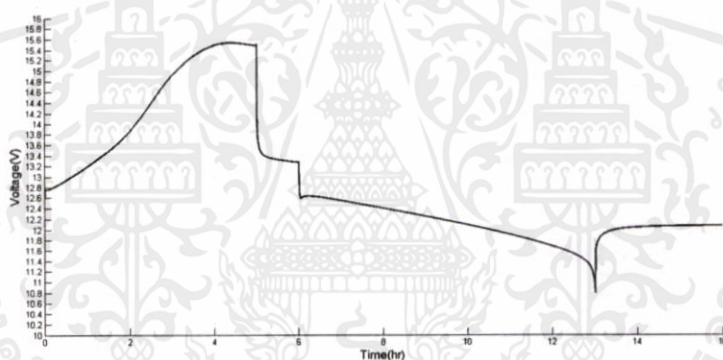
บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

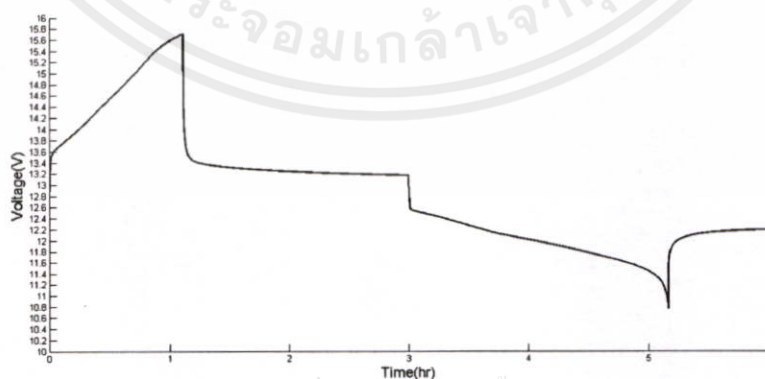
จากทฤษฎีของการประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเราสามารถทำการทดลองเพื่อหาสถานะการประจุของแบตเตอรี่ได้ จากการทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบว่าพฤติกรรมของแบตเตอรี่เป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ ซึ่งจากการทดสอบผลปรากฏว่า มีผลใกล้เคียงกัน โดยได้ทำการทดลองการประจุและคายประจุในแบตเตอรี่ด้วยการออกแบบอย่างง่าย จากทฤษฎีของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ค่าแรงดันสุดท้ายของขั้วแบตเตอรี่ควรมีค่า 10.8 โวลต์

4.1 ผลการวิจัย

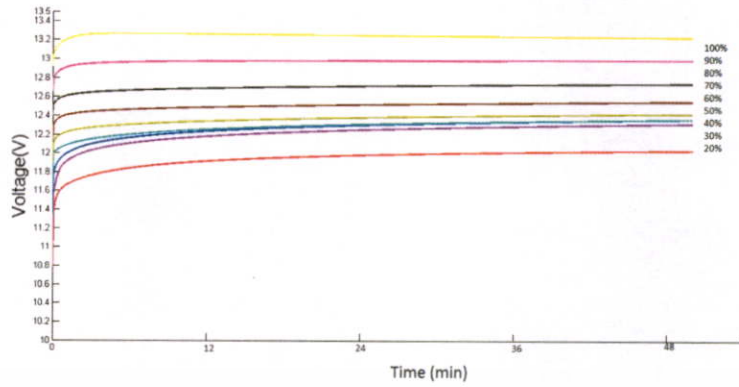
4.1.1 การทดลองการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด



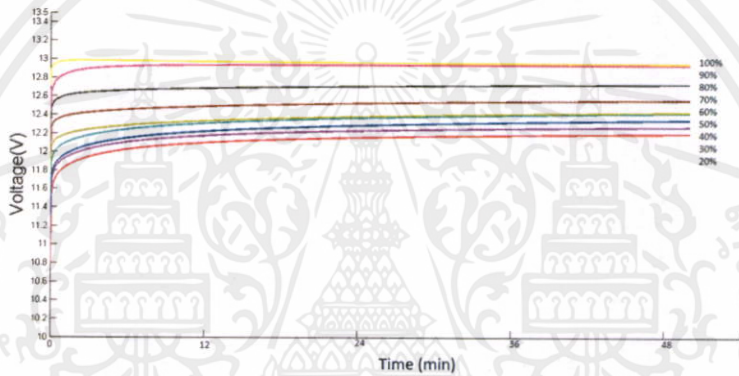
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำกรประจุและคายประจุกับแรงดันไฟฟ้า ของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.1C และที่ค่าสถานะการคายประจุ 100% (10.8V)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำกรประจุและคายประจุกับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C และที่ค่าสถานะการคายประจุ 100% (10.8V)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการคายประจุกับแรงดันไฟฟ้าพื้นตัวของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C และที่ค่าสถานะการคายประจุ 10-100%

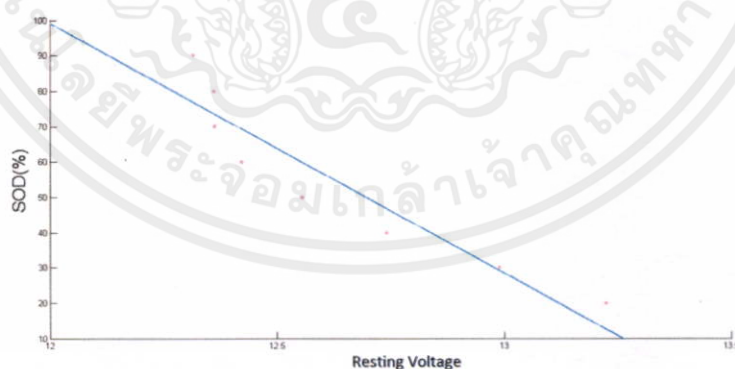


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการคายประจุ แรงดันไฟฟ้าพื้นตัวของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C และที่ค่าสถานะการคายประจุ 10-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองเราจะได้อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าในตัวการคายประจุในแต่ละค่า นำความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับสถานะการคายประจุ โดยจากการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและสถานะการคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.1 C และ 0.2 C

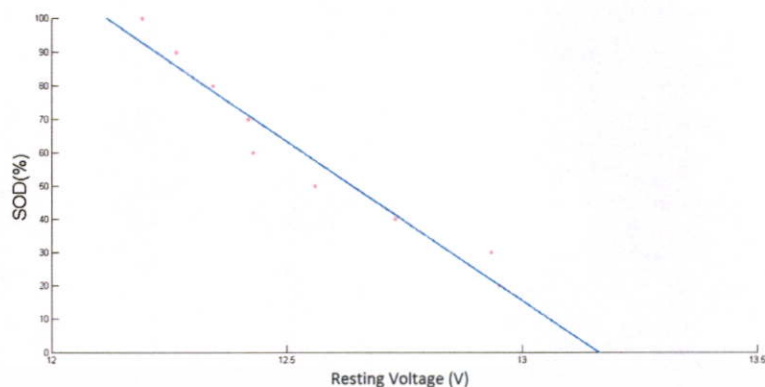
SOD (%)	Resting Voltage (V)	
	0.1 C	0.2 C
20	13.2	12.9
30	13.0	12.9
40	12.7	12.7
50	12.5	12.6
60	12.4	12.4
70	12.3	12.4
80	12.3	12.3
90	12.3	12.2
100	12.0	12.1



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าในตัว กับสถานะการคายประจุของ

แบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



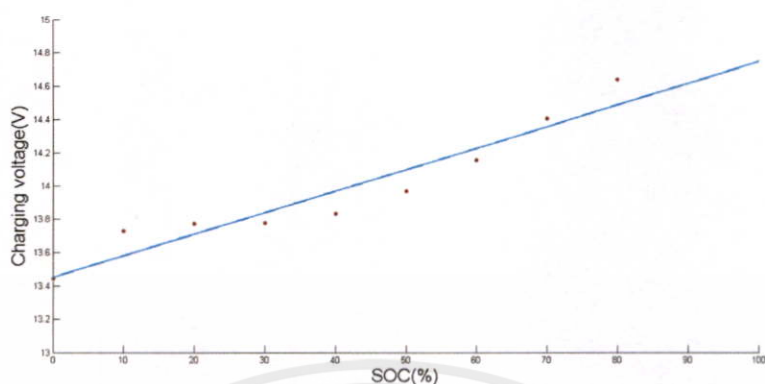
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าพื้นตัว กับสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C

จากกราฟจะสามารถหาค่าสถานะการคายประจุ (SOD) ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ได้จากสมการเส้นตรง โดยที่ค่า $SOD = a_1 + a_2 V_R$ โดยจากการทดลองที่อัตราการคายประจุ 0.1 C จะได้ค่า $a_1 = 947.7$, $a_2 = -70.7$, $R^2 = 0.90$ และที่อัตราการคายประจุ 0.2 C จะได้ค่า $a_1 = 1257.7$, $a_2 = -95.5$, $R^2 = 0.97$ และจากสมการที่ (3.4) $SOC = 1 - SOD$ ดังนั้นจะสามารถหาค่าสถานะการประจุได้จากผลการทดลอง โดยที่ค่าสถานะการประจุแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

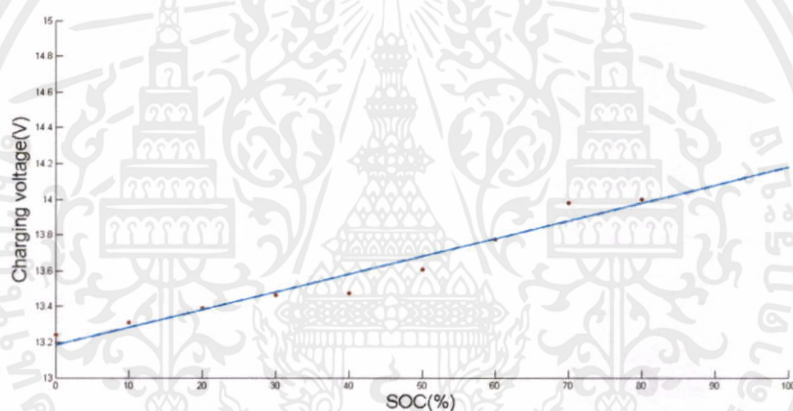
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและสถานะการประจุที่อัตราการคายประจุ 0.1 C และ 0.2 C

SOC (%)	Charging Voltage (V)	
	0.1 C	0.2 C
0	13.4	13.2
10	13.6	13.3
20	14.1	13.4
30	13.6	13.5
40	13.7	13.5
50	13.8	13.6
60	13.9	13.7
70	14.4	13.9
80	14.6	14.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอัดประจุกับสถานะการประจุของแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอัดประจุกับสถานะการประจุของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C

จากการทดลองการทำการประจุและการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยอัตราการคายประจุต่างกัน พบว่าในการคายประจุที่อัตราการคายประจุสูงจะใช้เวลาในการคายประจุน้อยกว่าประจุและการคายประจุด้วยกระแสต่ำ แต่ค่าสถานะการประจุที่อัตราการคายประจุต่ำจะมีค่ามากกว่าอัตราการคายประจุสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองที่การคายประจุที่อัตราการคายประจุ 0.1 C และ 0.2 C

จากการทดลองทำการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการคายประจุ 0.1C และ 0.2C จะได้เป็นกระแส 3.5 A และ 7.0 A จากแบตเตอรี่ขนาด 12V 35Ah โดยทำการเก็บข้อมูลแรงดันและเวลาในการคาย และพื้นผิวของแบตเตอรี่จำนวน 9 ค่า จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าพื้นผิวกับสถานะการคายประจุดังนี้ $SOD_{0.1C} = 947.71 - 70.7V_B$ และ $SOD_{0.2C} = 1257.7 - 95.5V_B$ และเมื่อนำค่าสถานะการคายประจุที่ได้มาพิจารณาสถานะการประจุของแบตเตอรี่พบว่า มีสถานะการประจุที่ 100% สำหรับการคายประจุ 0.1C จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อการอัดประจุเท่ากับ 14.7 V ขณะที่การคายประจุ 0.2C จะเท่ากับ 14.2 V ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 5.1 ผลการทดลองทำให้ทราบว่าที่อัตราการคายประจุ 0.1C มีค่าสถานะประจุที่ 100% มากกว่าอัตราการคายประจุ 0.2C อยู่ประมาณ 0.6 V แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการคายประจุด้วยอัตรา 0.1C ต้องประจุแบตเตอรี่ถึงแรงดัน 14.8 V และเมื่อคายประจุด้วยอัตรา 0.2 C จะต้องประจุแบตเตอรี่ถึงแรงดันไฟฟ้า 14.2 V จึงจะได้ค่าสถานะการประจุ 100% ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ควรประจุแบตเตอรี่ และไม่ควรประจุแบตเตอรี่เกินสถานะประจุ 100% เพราะจะทำให้เกิดการประจุที่กระแสมากเกินไป จนทำให้แบตเตอรี่อายุการใช้งานสั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าสถานะประจุและสถานะการประจุที่อัตราการคายประจุต่างกัน

SOD (%)	Open circuit voltage of SOD (V)		SOC (%)	Open circuit voltage of SOC (V)	
	0.1 C	0.2 C		0.1 C	0.2 C
0	-	-	100	14.8	14.2
10	-	-	90	14.6	14.1
20	13.2	12.9	80	14.6	14.0
30	13.0	12.9	70	14.4	13.9
40	12.7	12.7	60	14.1	13.7
50	12.5	12.6	50	13.9	13.6
60	12.4	12.4	40	13.8	13.5
70	12.3	12.4	30	13.7	13.5
80	12.3	12.3	20	13.6	13.4
90	12.3	12.2	10	13.6	13.3
100	12.0	12.1	0	13.4	13.2

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองควรมีการกำหนดเงื่อนไขการทดลองอย่างชัดเจน เช่น กรดซัลฟูริกในแบตเตอรี่ ระยะเวลาในการฟื้นตัวและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ เพราะสิ่งเหล่านี้มีผลต่อผลการทดลองทั้งสิ้น

เมื่อทำการประมาณค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่ออกมาได้แล้ว สามารถที่จะนำไปต่อยอดและนำไปประยุกต์ใช้ หรืออาจเขียนเป็นโปรแกรมตรวจสอบสถานะการประจุของแบตเตอรี่เพื่อไปตรวจสอบค่าสถานะการประจุในแบตเตอรี่ที่มีเงื่อนไขการใช้งานต่างกันได้อย่างคร่าวๆ โดยที่ใช้ระยะเวลาในการตรวจสอบไม่นาน เพื่อหาเวลาและกระแสการประจุที่เหมาะสม และยังคงส่งผลให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. C. S. Moo¹, K. S. Ng¹, Y. P. Chen¹, Y. C. Hsieh² “State of Charge Estimation with Open Circuit Voltage for Lead-Acid Batteries”¹Department of Electrical Engineering National Sun Yat-sen University ²Department of Electrical Engineering National Dong Hwa University,2007
2. D.Jaya Deepti, V.Ramanarayanan “State of Charge of Lead Acid Battery” Department of Electrical Engineering Indian institute of science ,2006
3. Shuo Pang, Jie Du, Matthew Barth “Battery State of Charge Estimation” Department of Electrical Engineering University of California, 2001
4. นพรุจ ฤทธานนท์¹, กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์¹, บุญยัง ปลั่งกลาง¹, วารุณี อริยวิริยะนันท์² “การวิเคราะห์วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน” วิทยานิพนธ์¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า² ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553
5. เจษฎา สุขสัมฤทธิ์ “การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด” วิทยานิพนธ์สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

นันทิรี แก้วเงินลาด และ กางปัญญา สุวรรณสุขโข

ฟิสิกส์-โซลิตสเททและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการประมาณค่าสถานะการประจุ (State of charge; SOC) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit Voltage) โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 35 Ah ทำการศึกษาโดยการประจุและคายประจุ ที่อุณหภูมิ 25 °C ให้กระแสคงที่ 0.1C (3.5 A) และ 0.2C (7.0 A) จำนวน 9 ค่า ใช้เวลาในการประจุ 10 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ นำค่าแรงดันพื้นตัว (Resting Voltage) ของแต่ละรอบของการคายประจุมาพิจารณาค่าสถานะการคายประจุ (State of discharge; SOD) จากการศึกษาพบว่าค่าสถานะการคายประจุที่ 100% ของแบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุ 0.1C มีค่า 12.0 V ที่อัตราการคายประจุ 0.2C มีค่า 12.1V และนำค่าสถานะการคายประจุมาคำนวณเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่ จากการศึกษาพบว่าค่าสถานะการประจุที่ 100% ของแบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุ 0.1C มีค่า 14.7 V และที่อัตราการคายประจุ 0.2 C มีค่า 14.2 V ตามลำดับ

คำสำคัญ: State of charge, State of discharge, Open circuit voltage, and Equivalent circuit of battery

1. บทนำ

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นแบตเตอรี่ชนิดแรกที้นำมาใช้ทางด้านอุตสาหกรรม ในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นอุปกรณ์จัดเก็บไฟฟ้าที่ใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่ผันกลับได้ในการจัดเก็บพลังงาน ข้อดีคือราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น และสามารถผลิตได้ง่าย มีการพัฒนามานานแล้วจึงมีความเชื่อถือได้และหาข้อมูลได้ง่าย ถ้าใช้อย่างถูกต้องจะทนทาน การคายประจุด้วยตัวเอง (Self discharge) น้อย ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนักโดยเฉพาะแบตเตอรี่แบบแห้ง สามารถให้กระแสการคายประจุมาก และมีขนาดให้เลือกหลายขนาด เป็นแบตเตอรี่อีกชนิดที่ได้รับความนิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งทางด้านพลังงานทดแทน ด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ รวมทั้งการใช้ในเครื่องมือด้านการเกษตร แต่ปัญหาหลักที่พบในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้คือ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่สั้นหรือเสื่อมก่อนเวลาที่ควรจะเป็น ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ผู้ใช้งานขาดทักษะในการใช้

งาน แบตเตอรี่ขาดการบำรุงรักษา ใช้แบตเตอรี่ไม่เหมาะสมกับงาน และที่สำคัญคือการควบคุมการประจุและการคายประจุที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง[1]

จากปัญหาข้างต้นเราจึงทำการศึกษาในเรื่องสถานะการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด หาค่าสถานะการประจุเพื่อนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์เวลาและกระแสที่เหมาะสมในการประจุ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานและประสิทธิภาพให้แก่แบตเตอรี่

2. หลักการและทฤษฎี

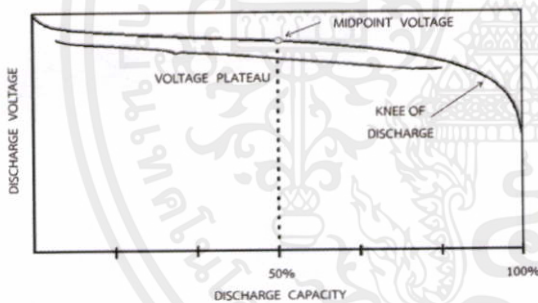
2.1 คุณสมบัติของการคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

โดยปกติแล้วแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีพฤติกรรมคายประจุด้วยกระแสต่ำซึ่งทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานได้นานกว่าการคายประจุแบบ

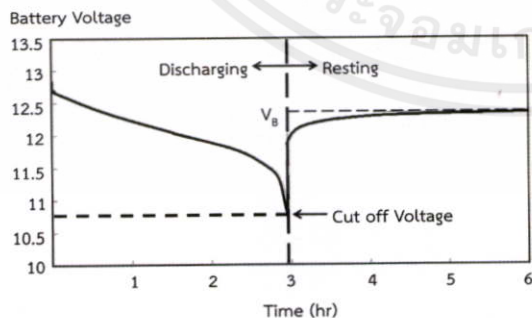
อัตราการคายประจุที่กระแสสูง อัตราการคายประจุไม่ควรเกิน 0.2C หรือ 20% ของความจุของแบตเตอรี่ โดยถ้าอัตราการคายประจุมากขึ้น ประสิทธิภาพก็จะลดลง รอบของการใช้งานโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200-300 รอบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน [2]

2.1.1 การวัดพฤติกรรมการคายประจุ

ตัวแปรสำหรับการคายประจุจะเกี่ยวข้องกับระดับแรงดันไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้า โดยทั่วไปกราฟระหว่างการคายประจุกับค่าความจุไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 1 ระดับแรงดันไฟฟ้าของการคายประจุเริ่มแรกจะค่อนข้างคงที่ จนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่งจะลดลงอย่างรวดเร็ว พื้นที่ของความสัมพันธ์ที่ระดับแรงดันลดลงค่อนข้างคงที่ เรียกว่า voltage plateau ซึ่งความกว้างของการคายประจุช่วงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ จุดของระดับแรงดันที่ลดลงอย่างรวดเร็วเรียกว่า knee of the curve ซึ่งแรงดันไฟฟ้าจะลดลงจนถึงแรงดันไฟฟ้าคัตออฟ (cut off voltage) โดยในแบตเตอรี่ 12 V 35 Ah มีแรงดันคัตออฟอยู่ที่ 10.8 V แสดงในรูปที่ 2 [1]



รูปที่ 1 กราฟแสดงพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด



รูปที่ 2 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าคัตออฟ และแรงดันไฟฟ้าขณะพัก (V_B) ของแบตเตอรี่ขณะคายประจุ

2.2 คุณสมบัติการประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

จุดประสงค์ของแบตเตอรี่คือการจัดเตรียมพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ ในแบตเตอรี่

ทุติยภูมิ จะสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ หากนำมาประจุเข้าไปอีกครั้งหลังจากการใช้งาน ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้แบตเตอรี่ได้หลายๆ ครั้งตลอดอายุการใช้งาน

สิ่งที่จะต้องพิจารณาอีกประการหนึ่งก็คือ หากต้องการใช้แบตเตอรี่อย่างเต็มประสิทธิภาพ เราจำเป็นต้องทำการประจุด้วยกระแสที่สูงมากกว่าปกติ (Over charge) เพื่อให้มีสถานะการประจุของแบตเตอรี่ใกล้เคียงกับ 100% ซึ่งเราไม่มีทางรู้ได้ว่าแบตเตอรี่จะถูกประจุจนเต็มหรือยัง การประจุที่กระแสสูงมากกว่าปกติ นั้น จะทำให้มีความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นมากกว่าปกติ รวมไปถึงความดันที่เกิดขึ้นจากก๊าซที่เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ แต่ก็สามารถที่จะทำให้ใช้แบตเตอรี่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมสถานะการประจุที่กระแสสูงกว่าปกตินี้ และต้องทราบสถานะประจุที่ 100% เพื่อที่จะป้องกันและควบคุมไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับแบตเตอรี่

2.3 การประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

การประมาณค่าสถานะการประจุเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สำคัญ เนื่องจากจะทำให้สามารถนำกำลังของแบตเตอรี่มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และควบคุมกำลังของแบตเตอรี่ให้มีความเสถียรมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถจัดระบบงานของแบตเตอรี่ที่เหลือได้ สามารถคาดการณ์และหลีกเลี่ยงสิ่งที่ปรากฏขึ้นเมื่อเริ่มมีการอัดหรือคายประจุด้วยกระแสสูงมากกว่าปกติได้ ซึ่งจะส่งผลให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

ในทางปฏิบัติจากการสังเกตค่าสถานะการประจุจะมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่เต็ม ค่าความจุไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการใช้งาน การเปลี่ยนแปลงของช่วงชีวิตที่เหมาะสมทางกายภาพของแบตเตอรี่ การเปลี่ยนแปลงของขั้วไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของสารอิเล็กโทรไลต์ สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดมีค่าแปรผันตรงกับค่าสถานะการคายประจุ ในขณะที่ค่าสถานะการประจุจะมีค่าแปรผกผันกับสถานะการคายประจุ[3] การฟื้นตัวของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าในการคายประจุก่อนหน้านี้เสมอ

2.4 สมมติฐานสำหรับการทดลอง

ในการทดลองนี้จะมีการกำหนดค่าการประจุ และการคายประจุของแบตเตอรี่ โดยจะประจุและคายประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุ คือ 0.1C และกระแสสำหรับการคายประจุ กำหนดสองค่า คือ 0.1C และ 0.2C โดยที่ขนาดของกระแสหาได้จากสมการ

$$\text{current magnitude} = \frac{\text{Current(A)}}{\text{Rated Capacity(Ah)}} \quad (1)$$

ในการทดลองมีการนิยามค่าสถานะการคายประจุและสถานะการประจุ โดยที่สถานะการคายประจุคือ ร้อยละของความจุการคายประจุของแบตเตอรี่ขณะที่แบตเตอรี่เต็ม ก่อนที่จะทำการคายประจุ ซึ่งสถานะการคายประจุพิจารณาได้ดังนี้

$$\text{SOD} = \left(\frac{Q_d}{Q_{\text{rated}}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ Q_d คือ ความจุการคายประจุของแบตเตอรี่ (Ah)

Q_{rated} คือ อัตราความจุของแบตเตอรี่ (Ah)

จากกราฟรูปที่ 2 สามารถหาค่าสถานะการคายประจุได้จากแรงดันพื้นตัวที่แต่ละเปอร์เซ็นต์การคายประจุ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับแรงดันไฟฟ้าพื้นตัวดังนี้

$$\text{SOD} = a_1 + a_2 V_B \quad (3)$$

ในขณะที่ค่าสถานะการประจุคือค่าความจุของแบตเตอรี่ส่วนที่เหลือ จะได้ว่า

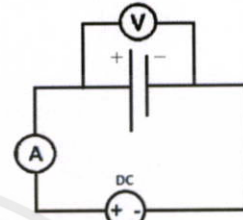
$$\text{SOC} = \left(\frac{Q_r}{Q_{\text{rated}}} \right) \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ Q_r คือความจุที่เหลือจากการคายประจุของแบตเตอรี่ (Ah)

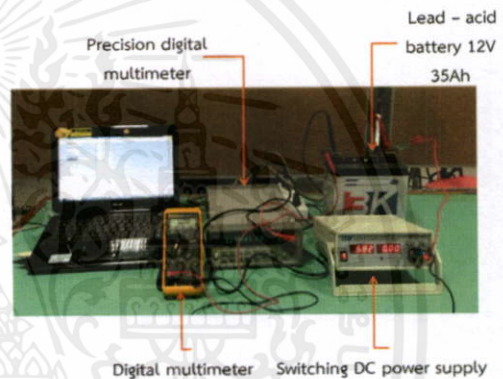
เพราะฉะนั้นเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการประจุและสถานะการคายประจุ ดังสมการที่ (5)

$$\text{SOC} = \left(\frac{Q_{\text{rated}} - Q_d}{Q_{\text{rated}}} \right) \times 100\% = 1 - \text{SOD} \quad (5)$$

ในการศึกษาเราจะทำการประจุแบตเตอรี่จนถึงค่าแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย โดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายที่ 130% ของแรงดันไฟฟ้าปกติ [2] เมื่อถึงแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดจะทำการคายประจุ โดยการประจุแบตเตอรี่จะต้องจรรดงรูปที่ 3 (ก) และรูปที่ 3 (ข) แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าการประจุแบตเตอรี่ ใช้เวลาในการบันทึก 10 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 (ก) แผนภาพการต่อวงจรเพื่อการประจุแบตเตอรี่
(ข) ภาพแสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อการประจุแบตเตอรี่

3.2 การคายประจุแบตเตอรี่

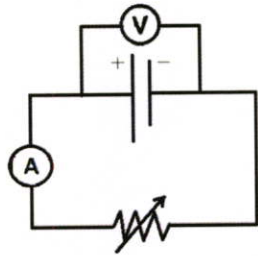
สำหรับการทดลองนี้จะศึกษาพฤติกรรมการคายประจุของแบตเตอรี่ ที่ความลึกของการคายประจุต่างกันคือ 20%, 30%, 40%, ..., 100% ของแรงดันไฟฟ้าคัตออฟตามลำดับ โดยการคายประจุแบตเตอรี่ที่ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ ทั้งหมดจำนวน 2 ค่า คือ 0.1C และ 0.2C บันทึกแรงดันไฟฟ้าและเวลาแล้วนำมาวิเคราะห์หาสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ พิจารณาแรงดันไฟฟ้าพื้นตัว (Resting Voltage) ตัวของแบตเตอรี่ที่เปอร์เซ็นต์การคายประจุต่างกัน เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของการคายประจุกับระดับแรงดันไฟฟ้าพื้นตัว ตามสมการที่ (3)

โดยวงจรสำหรับการคายประจุแสดงดังรูปที่ 4 (ก) ซึ่งจะใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้เป็นโหลดเพื่อทำการคายประจุจากแบตเตอรี่ รูปที่ 4 (ข) แสดงภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อวัดการคายประจุของแบตเตอรี่

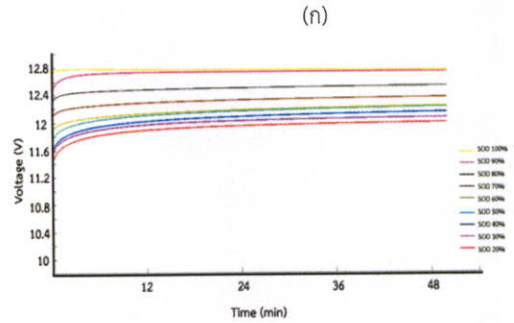
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โดยวงจรถ่ายภาพและข้อมูลทั้งหมดนี้เป็นลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

3. การทดลอง

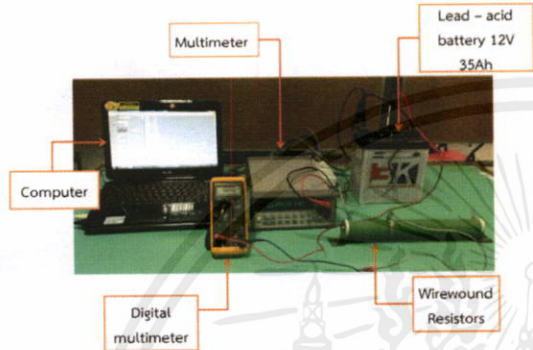
3.1 การประจุแบตเตอรี่



(ก)



(ข)

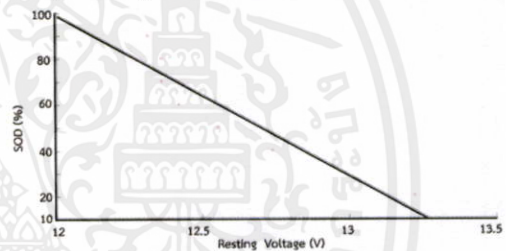


(ค)

รูปที่ 4 (ก) แผนภาพการต่อวงจรเพื่อการคายประจุแบตเตอรี่
(ข) ภาพแสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อการคายประจุแบตเตอรี่

รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำ
การคายประจุกับ แรงดันไฟฟ้าพื้นตัวของแบตเตอรี่
(ก) การคายประจุที่กระแสไฟฟ้า 0.1C (ข) การคาย
ประจุที่กระแสไฟฟ้า 0.2 C

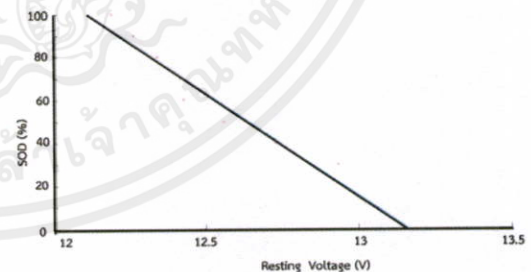
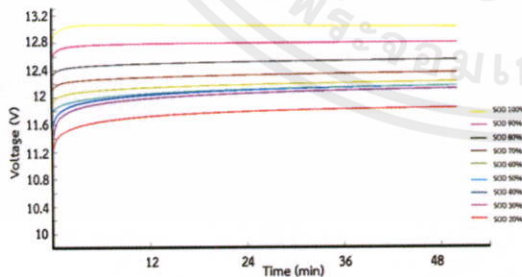
และจากการทดลองเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง
แรงดันไฟฟ้าพื้นตัวกับเปอร์เซ็นต์ของสถานะการคาย
ประจุแสดงดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
แรงดันไฟฟ้าพื้นตัว กับสถานะการคายประจุ (%)
ของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C

4. อภิปรายผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด
รูปที่ 5 (ก) และ (ข) แสดงแรงดันไฟฟ้าพื้นตัว
ของแบตเตอรี่เมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที ที่อัตราการคาย
ประจุ 0.1C และ 0.2 C ที่เปอร์เซ็นต์การคายประจุ
ต่างกัน ตามลำดับ จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าพื้นตัวจะ
เพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การคายประจุ

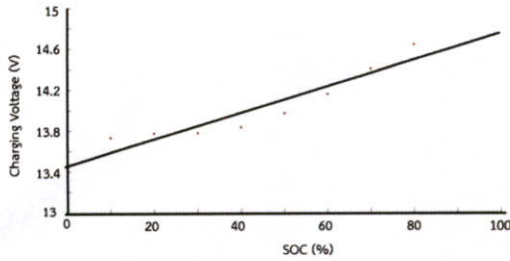


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า
พื้นตัว กับสถานะการคายประจุ (%) ของแบตเตอรี่ ที่
อัตราการคายประจุ 0.2 C

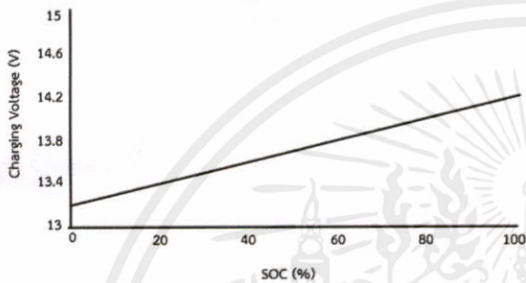
จากกราฟสามารถหาค่าสถานะการคายประจุ
ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ได้ตามสมการที่ (3) โดยอัตรา
การคายประจุ 0.1 C จะได้ค่า $a_1 = 947.71$, และ $a_2 = -67.7$
และที่อัตราการคายประจุ 0.2 C จะได้ค่า
 $a_1 = 1257.7$, และ $a_2 = -95.5$ และจากสมการที่ (5) เรา
จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์สถานะการประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของสถาบันที่ทำการนี้ไว้

กับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดหรือแรงดันไฟฟ้าอัดประจุ (charging voltage) แสดงดังรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอัดประจุ กับสถานะการประจุ (%) ของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.1 C



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอัดประจุ กับสถานะการประจุ (%) ของแบตเตอรี่ ที่อัตราการคายประจุ 0.2 C

จากการศึกษาการประจุและการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ด้วยอัตราการคายประจุต่างกัน พบว่าในการคายประจุที่อัตราการคายประจุสูงจะใช้เวลาในการคายประจุน้อยกว่าประจุและการคายประจุด้วยกระแสต่ำ แต่ค่าสถานะการประจุที่อัตราการคายประจุต่ำจะมีค่ามากกว่าอัตราการคายประจุสูง

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำการประมาณค่าสถานะการประจุด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดโดยเปรียบเทียบระหว่างอัตราการคายประจุ 0.1C และ 0.2C จะได้เป็นกระแส 3.5 A และ 7.0 A จากแบตเตอรี่ขนาด 12V 35Ah โดยทำการเก็บข้อมูลแรงดันและเวลาในการคายประจุและพื้นผิวของแบตเตอรี่จำนวน 9 ค่า จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าพื้นผิวกับสถานะการคายประจุดังนี้ $SOD_{0.1C} = 947.71 - 70.7V_B$ และ $SOD_{0.2C} = 1257.7 - 95.5V_B$ และเมื่อนำค่าสถานะการคายประจุที่ได้มาพิจารณาสถานะการประจุของแบตเตอรี่พบว่าสถานะการประจุที่ 100% สำหรับการคายประจุ 0.1C จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อ

การอัดประจุเท่ากับ 14.7 V ขณะที่การคายประจุ 0.2C จะเท่ากับ 14.2 V ผลการทดลองทำให้ทราบว่าที่อัตราการคายประจุ 0.1C มีค่าสถานะประจุที่ 100% มากกว่าอัตราการคายประจุ 0.2C อยู่ประมาณ 0.5 V แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการคายประจุด้วยอัตรา 0.1C ต้องประจุแบตเตอรี่จะถึงแรงดัน 14.7 V และเมื่อคายประจุด้วยอัตรา 0.2 C จะต้องประจุแบตเตอรี่ถึงแรงดันไฟฟ้า 14.2 V จึงจะได้ค่าสถานะการประจุ 100% ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ควรประจุแบตเตอรี่และไม่ควรประจุแบตเตอรี่เกินสถานะประจุ 100% เพราะจะทำให้เกิดการประจุที่กระแสมากเกินไป จนทำให้แบตเตอรี่อายุการใช้งานสั้นลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] นพจร ฤทธานนท์¹, กฤษณชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์¹, บุญยัง ปลั่งกลาง¹, วาภูมิ อริยวิริยะนันท์² “การวิเคราะห์วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน” วิทยานิพนธ์¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า² ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553
- [2] เจษฎา สุขสัมพันธ์ “การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด” วิทยานิพนธ์สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2555
- [3] C. S. Moo¹, K. S. Ng¹, Y. P. Chen¹, Y. C. Hsieh² “State of Charge Estimation with Open Circuit Voltage for Lead-Acid Batteries”¹Department of Electrical Engineering National Sun Yat-sen University²Department of Electrical Engineering National Dong Hwa University,2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการใดก็ตามที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้