# การศึกษาการสลายซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด

# A STUDY OF DESULFATION IN LEAD-ACID BATTERY

นายชมฤทธิ์ อินทร์แก้ว

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2537

# การศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด

# A STUDY OF DESULFATION IN LEAD-ACID BATTERY

นายอมฤทธิ์ อินทร์แก้ว

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# A STUDY OF DESULFATION IN LEAD-ACID BATTERY

MR. AMMARIT INKAEW

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED PHYSICS DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อโครงงานพิเศษ** | การศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด<br>A STUDY OF DESULFATION IN LEAD-ACID BATTERY |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายอมฤทธิ์ อินทร์แก้ว รหัสนักศึกษา 54050635 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ |
| **ภาควิชา** | ฟิสิกส์ |
| **ปีการศึกษา** | 2557 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข |

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ผศ.ดร.ภัทรียา ดำรงศักดิ์ | |
| ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก | |
| ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี | |
| ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

| | |
|---|---|
| **หัวข้อโครงงานพิเศษ** | การศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด |
| **ชื่อนักศึกษา** | นายอมฤทธิ์ อินทร์แก้ว รหัสนักศึกษา 54050635 |
| **ปริญญา** | วิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์ |
| **ภาควิชา** | ฟิสิกส์ |
| **ปีการศึกษา** | 2557 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข |

## บทคัดย่อ

การศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทราบถึงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับความคิดที่ผิดของการเติมน้ำกลั่นว่าแท้ที่จริงแล้วการเติมน้ำกลั่นนั้นจะยิ่งส่งเสริมการเกิดผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่และลดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ทางออกที่ดีนั้นควรเติมน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่เพื่อให้น้ำกรดภายในนั้นเป็นสารละลายอิเล็กทรอไลต์ที่ดี การใช้เครื่องอัดประจุแบบสัญญาณพัลส์นั้นช่วยในการสลายผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยไม่ส่งผลทำร้ายแก่แผ่นเซลล์ของแบตเตอรี่ ซึ่งจากการทดลองนั้นสามารถเพิ่มระยะเวลาในการคายประได้ถึง 22.9% แต่ในการล้างแบตเตอรี่ด้วยน้ำร้อนที่เทใส่ลงในแต่ละช่องของแบตเตอรี่และทำการเขย่าจากภายนอกนั้นแม้จะช่วยในการลดค่าความต้านทานภายในหรือช่วยในการสลายผลึกซัลเฟต แต่ก็มีผลข้างเคียงคือทำให้เกิดความเสียหายภายในของแบตเตอรี่ และในการใช้เครื่องอัดประจุแบบธรรมดาทั่วไปนั้น จากการทดลองทำให้เกิดความเสียหายแล้วช่วงเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ลดลง 87.0%

**คำสำคัญ** : การเก็บประจุ การคายประจุ การปรับสภาพน้ำกรด การอัดประจุ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Title** | A STUDY OF DESULFATION IN LEADACID BATTERY |
| **Students** | Mr.Ammarit Inkaew Student ID 54050635 |
| **Degree** | Bachelor of Science in Applied Physics |
| **Department** | Physics |
| **Academic Year** | 2557 |
| **Advisor** | Dr.Kajpanya Suwansukho |


## Abstract

The study of crystals disintegrate sulfate on the battery lead - acid. In this study the facts about a misinterpretation of the fact that distilled water to a level that will promote the crystallization of sulfate within the battery and reduce battery performance. The ideal solution for battery acid should be added to the acid solution is electrolyzed at best. Using a pulse charger that helps to break sulfate crystals inside the battery lead - acid. Performed without harming the cells of the battery plates. The trials can increase the duration of the discharge of up to 22.9%, but in clearing battery with hot water, pour into each box of batteries and a jolt from the outside, it will even help to reduce the internal resistance. or the breakdown sulfate crystals. It has the side effect is damage inside the battery. And in the conventional charger. The experiments cause damage over time and discharging of the battery down 87.0%.



**Keywords :** Charge discharge pretreatment acid battery charging lead – acid



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้จะไม่ประผลสำเร็จได้หากขาดซึ่งผู้ชี้แนะผู้ให้คำแนะนำ รวมทั้งผู้ที่คอยให้กำลังใจเพื่อจะก้าวข้ามอุปสรรคและปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทำโครงงานพิเศษนี้ ขอขอบคุณ ดร.กาจปัญญา สุวรรณสุโข ที่ให้คำชี้แนะและแนวทางในการแก้ปัญหาคอยให้กำลังใจให้มีแรงผลักดันในการทำโครงงานพิเศษ และที่คอยสนับสนุนปัจจัยในการทำโครงงานนี้จนเกิดผลสำเร็จ

"การเดินบนทางที่สว่างเต็มไปด้วยแสงไฟเพียงคนเดียวมิอาจรู้สึกดี สู้การเดินบนทางที่มืดมนกับคนร่วมทางที่รู้ใจ" ขอขอบคุณ นายอิทธิ อินทวัฒกุล นายวรวรรธน์ เสมาทัศน์ นายโชติพัฒน์ นิวัฒน์เดชบดินท์ และ นางสาววิราภานต์ แซ่เจี่ย ที่คอยอยู่เป็นเพื่อนในยามค่ำคืน และที่คอยให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้ ขอบคุณครับ

นายอมฤทธิ์ อินทร์แก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญ(ต่อ) | จ |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| สารบัญรูป | ช |
| คำย่อ/สัญลักษณ์ | ซ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | 3 |
| 2.1 ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ | 4 |
| 2.1.1 ความหมายของค่าความต้านทาน | 4 |
| 2.1.2 ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน | 4 |
| 2.1.3 ค่าความต้านทานภายในกับอายุการใช้งานแบตเตอรี่ | 5 |
| 2.2 การเกิดผลึกซัลเฟตหรือการเกิดซัลเฟตภายในแบตเตอรี่ | 5 |
| 2.2.1 การอัดประจุครั้งแรก | 5 |
| 2.2.2 ขณะจ่ายประจุ | 6 |
| 2.2.2 การอัดประจุครั้งต่อไป | 7 |
| 2.3 ข้อสังเกตเมื่อเกิดการสะสมของซัลเฟต | 8 |
| 2.4 วงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด | 8 |
| 2.5 การคายประจุของแบตเตอรี่ | 11 |
| 2.6 สารละลายอิเล็กทรอไลต์ | 11 |
| 2.7 การปรับสภาพน้ำกรดภายในแบตเตอรี่ | 11 |
| 2.7.1 การตรวจวัดสภาพน้ำกรดภายในแบตเตอรี่ | 12 |
| 2.7.2 การเติมน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่ | 13 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


**บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย** 15

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 15

3.2 การทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบให้สัญญาณพัลส์ Repower ขนาด 3Ah-200Ah 16

3.3 การทำงานของเครื่อง Auto Battery Analyzer (BA100) 17

3.4 ขั้นตอนการทดลอง 18

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์วงจรสมมูล 21

3.5.1 การชาร์จ 21

3.5.2 การดิสชาร์จแบตเตอรี่ 23

**บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล** 24

4.1 การวิเคราะห์หาค่า $R_1R_2$ 24

4.2 อภิปรายผลการวิจัย 26

**บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ** 33

5.2 ข้อเสนอแนะ 34

เอกสารอ้างอิง 35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 3.1 กำหนดสถานะเงื่อนไขการศึกษาของแบตเตอรี่ | 20 |
| 4.1 แสดงค่า$R_1$และ$R_2$ ที่ได้จากการวิเคราะห์ | 26 |
| 4.2 ผลการทดลองของNS40Z | 26 |
| 4.3 ผลการทดลองของ38B19L(3) | 27 |
| 4.4 ผลการทดลองของNS60 | 28 |
| 4.5 ผลการทดลองของ38B19L(2) | 30 |
| 4.6 ผลการทดลองของ38B19L(1) | 31 |
| 4.7 ผลการทดลองของNS40L | 32 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 แสดงวงจรความต้านทานภายในของแบตเตอรี่อย่างง่าย | 4 |
| 2.2 แสดงการอัดประจุครั้งแรก | 6 |
| 2.3 ขณะที่เซลล์แบตเตอรี่จ่ายประจุ | 6 |
| 2.4 เมื่ออัดประจุครั้งต่อไป | 7 |
| 2.5 วงจรสมมูลภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด | 8 |
| 2.6 กราฟแสดงการคายประจุของแบตเตอรี่ | 9 |
| 2.7 ค่าคงที่ $R_1$ และ $R_2$ ของวงจรสมมูล | 9 |
| 2.8 น้ำกลั่นแบตเตอรี่ | 12 |
| 2.9 แสดงการใช้ไฮโดรมิเตอร์ | 13 |
| 2.10 น้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่ | 14 |
| 3.1 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ Repower ขนาด 3Ah-200Ah | 16 |
| 3.2 เครื่อง Auto Battery Analyzer (BA100) | 17 |
| 3.3 สภาพน้ำร้อนที่เทออกจากแบตเตอรี่หลังจากการเขย่า | 18 |
| 3.4 แสดงการวัดสภาพน้ำกรดภายในแบตเตอรี่ | 19 |
| 3.5 การทำงานของเครื่อง Repower | 19 |
| 3.6 การทำงานของเครื่องธรรมดาทั่วไป | 20 |
| 3.7 วิธีชาร์จแบตเตอรี่ในวงจรสมมูล | 21 |
| 3.8 กราฟขณะชาร์จแบตเตอรี่ในวงจรสมมูล | 22 |
| 3.9 วิธีการดิสชาร์จแบตเตอรี่ | 22 |
| 3.10กราฟการคายประจุของวงจรสมมูล | 23 |
| 4.1 การคายประจุของแบตเตอรี่ | 24 |
| 4.2 กราฟช่วงแรงดันลดลงอย่างต่อเนื่อง | 25 |
| 4.3 การคายประจุของNS40Zทุกการทดลอง | 27 |
| 4.4 การคายประจุของ38B19L(3)ทุกการทดลอง | 28 |
| 4.5 การคายประจุของNS60ทุกการทดลอง | 39 |
| 4.6 การคายประจุของ38B19L(2)ทุกการทดลอง | 30 |
| 4.7 การคายประจุของ38B19L(1)ทุกการทดลอง | 31 |
| 4.8 การคายประจุของNS40Lทุกการทดลอง | 32 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำย่อ/สัญลักษณ์

NS40Zคือแบตเตอรี่ขนาด12V35Ah

38B19L(1)คือแบตเตอรี่ขนาด12V35Ahลูกที่1

38B19L(2)คือแบตเตอรี่ขนาด12V35Ahลูกที่2

38B19L(3)คือแบตเตอรี่ขนาด12V35Ahลูกที่3

NS60คือแบตเตอรี่ขนาด12V45Ah

NS40Lคือแบตเตอรี่ขนาด12V32Ah

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนเป็นที่นิยมโดยทั่วไป แต่มักพบปัญหาการกักเก็บพลังงานที่ต้องการเก็บไว้ใช้ในเวลาอื่นๆ ในที่นี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการกักเก็บพลังงานคือ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดแรกที่นำมาใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมและเป็นที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวาง แต่ปัญหาหลักที่พบในตัวของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ อายุการใช้งานที่สั้นหรือเสื่อมก่อนเวลาที่ควรจะเป็นซึ่งอาจเกิดจากการด้อยประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ขาดการบำรุงรักษา สภาพอากาศอุณหภูมิก็คืออีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดนั้นเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดนั้นมีหลากหลายสาเหตุ เช่น การแตกหักของแผ่นเซลล์ในแบตเตอรี่ และที่พบมากที่สุดคือการเกิดผลึกซัลเฟตที่แผ่นเซลล์ของแบตเตอรี่ซึ่งจะทำให้เกิดความต้านทานภายในสูงและเก็บไฟได้น้อย เนื่องจากแบตเตอรี่มีหลักการทำงานคือเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือเรียกว่าเซลล์ไฟฟ้าเคมี การทำงานของแบตเตอรี่ ใช้หลักการการทำปฏิกิริยาทางเคมีของแผ่นธาตุ (ตะกั่ว) กับ กรด เวลาที่แบตเตอรี่คายไฟฟ้าออกมาเพื่อให้เราใช้งาน สิ่งที่ตามมาคือกรดจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟต(ขี้เกลือ)เป็นผลึกเกาะตามแผ่นธาตุ ทำให้หน้าสัมผัสของแผ่นธาตุกับน้ำกรดลดลง เป็นผลให้แบตเตอรี่หมดไฟ ในแบตเตอรี่ใหม่ๆ ที่ยังไม่เสื่อมสภาพ ผลึกซัลเฟต (ขี้เกลือ) เป็นผลึกนิ่มๆไม่แข็งมาก ผลึกซัลเฟตที่เกิดขึ้นในกระบวนการดังกล่าว จะมีผลึกซัลเฟตตกค้างที่ไม่ยอมหลุดขณะชาร์จไฟ และจะเกาะที่แผ่นธาตุ แน่นและแข็งขึ้นเรื่อยๆ และจะสะสมเพิ่มมากขึ้น มากขึ้นจนพื้นที่แผ่นธาตุ ลดน้อยลง ทำให้แบตเตอรี่มีกำลังไฟและความจุลดน้อยลง นี่แหละคือ การเสื่อมของแบตเตอรี่ ทำให้การไหลของกระแสไฟฟ้าไม่เป็นไปตามที่ควรจะเป็น เนื่องจากเกิดความต้านทานทางไฟฟ้าในแบตเตอรี่มาก

จากปัญหานี้จึงได้มีการศึกษาในการทำความสะอาดเซลล์ที่มีการยึดเกาะของผลึกซัลเฟตโดยการใช้แรงดันไฟฟ้าจ่ายเป็นสัญญาณพัลส์ให้แก่โครงแผ่นธาตุเมื่อเกิดการสั่นที่แผ่นเซลล์หรือโครงแผ่นธาตุจะทำให้ผลึกซัลเฟตหลุดออก และทำการวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงสภาพของแบตเตอรี่และอายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

1.2.2 เพื่อศึกษาความต้านทานภายในแบตเตอรี่ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดด้วยวิธีที่แตกต่างกันและทำการวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เพื่อตรวจสอบว่าแบตเตอรี่มีสภาพที่ดีขึ้นมากน้อยเพียงใดในแต่ละวิธี ทั้งนี้ในแต่ละวิธีไม่ได้นำมาทำการเปรียบเทียบกันเนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้มีชนิดและขนาดที่แตกต่างกันในแต่ละวิธีที่ทำการศึกษา

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ในการสลายผลึกซัลเฟตเพื่อประหยัดต้นทุนในการซื้อแบตเตอรี่ลูกใหม่

1.4.2 ได้แบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง

1.4.3 สามารถนำแนวทางในการศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดในครั้งนี้ใช้เพื่อศึกษาถึงวิธีที่ดีกว่าในภายภาคหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่รีตะกั่ว-กรด โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกันและเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อชาร์จ ซึ่งประดิษฐ์ขึ้นมา โดย แกสตัน พลองด์ นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสตั้งแต่ปี พ.ศ. 2402 และปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและด้านพลังงานทดแทน เนื่องจากมีความจุที่สูง จึงทำให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มาก และเนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆที่นิยมใช้ในรถยนต์และยานพาหนะต่างๆ และปัจจุบันนิยมนำมาใช้กับอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน แบตเตอรี่คือเซลล์ไฟฟ้าหลายๆ เซลล์ต่อกันเป็นอนุกรม แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ โดยประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า 6 เซลล์ แต่ละเซลล์จะมีศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ดังนั้นแบตเตอรี่ในรถยนต์มีศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ ในปัจจุบันได้มีการผลิตแบตเตอรี่ชนิดแห้งที่มีการปิดผนึกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำและแก๊ส โดยการใช้วัสดุดูดซับเอาไว้ แบตเตอรี่จึงไม่สูญเสีย อิเล็กโทรไลท์ออกไปจากแบตเตอรี่ และเนื่องจากการปิดผนึกจึงทำให้แบตเตอรี่ชนิดแบตเตอรี่แห้งนั้นสามารถติดตั้งได้หลายรูปแบบ ถึงทำให้เป็นที่แพร่หลายในด้านอุตสาหกรรมและด้านพลังงานทดแทน

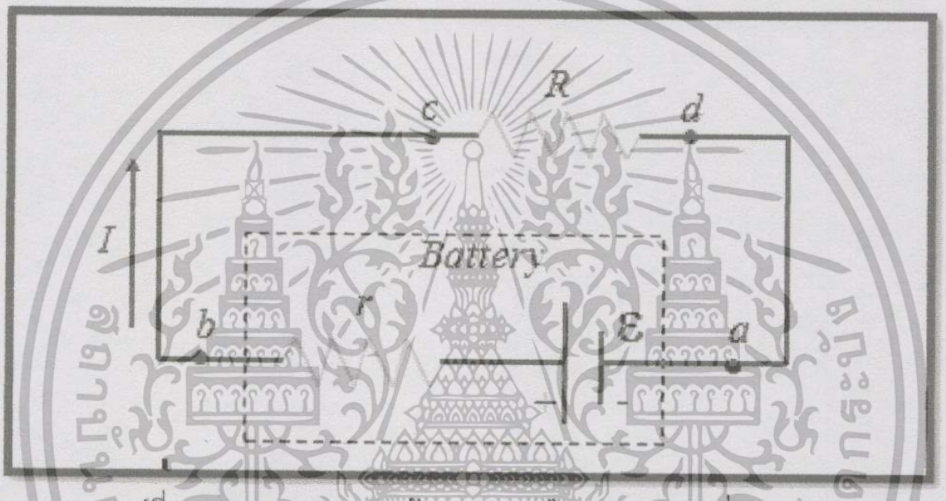
แต่ปัญหาของแบตเตอรี่ก็ยังไม่หมดไปเนื่องจากผลกระทบต่างๆที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพอายุการใช้งานของแบตเตอรี่จึงลดลง การเกิดผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่คือปัญหาที่สำคัญที่ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นลดลงเนื่องจากการเกิดผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่จะทำให้เกิดความต้านทานภายในแบตเตอรี่สูงจึงมีผลทำให้ค่าความจุ ค่าแรงดันไฟฟ้าและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่

### 2.1.1 ความหมายของค่าความต้านทาน

หมายถึง ค่าความต้านทานที่ต้านทานการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าโดยที่รวมถึงความต้านทาน โอห์มมิค และความต้านทานต่อการแบ่งขั้ว ความต้านทานขั้ว โดยค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้ ว่าแบตเตอรี่นั้นจะมีอายุการใช้งานที่เหมาะสมหรือไม่ โดยทั่วไปค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั้นเกิดจาก การเกิดผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ ซึ่งผลึกซัลเฟตนั้นได้ไปเกาะที่แผ่นธาตุภายในแบตเตอรี่ทำให้เกิดความต้านทานภายในแผ่นเซลล์ขัดขวางการไหลเวียนของกระแสไฟฟ้า




รูปที่ 2.1 แสดงวงจรความต้านทานภายในของแบตเตอรี่อย่างง่าย

### 2.1.2 ผลกระทบของความต้านทานภายใน

ผลกระทบของค่าความต้านทานภายใน ค่านี้จะไม่มีการลดลง ค่านี้เป็นปริมาณเล็กที่ ปรากฏขึ้นในวงจร สมมูล โดยสรุปได้ว่าเป็นผลมาจากแผ่นประจุ เสาตะกั่ว และหน้าสัมผัสระหว่างแผ่นประจุ ซึ่งเป็นค่าส่วนหนึ่งของผลรวมของค่าความต้านทานทั้งหมด อีกทางหนึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาเคมีเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อมีการอัดประจุเต็มที่สารละลายจะมีค่าความเข้มข้นสูงเมื่อมีการคายประจุ ค่าความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนจะมีค่าลดลงมีผลกระทบเกิดขึ้นมากจนกระทั่งเซลล์ของสถานการณ์ประจุ ตกลง 25% ค่าความต้านทานภายในจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่าประจุไฟฟ้าเข้าใกล้ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 ค่าความต้านทานภายในกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลกระทบกับค่าความต้านทานภายในคือ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้น ผลของการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานภายในจะลดน้อยลงจนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดของการใช้งานและจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อเซลล์ถูกใช้งาน พื้นที่ผิวระหว่างการสะสมของกระแสและวัสดุที่ถูกกระตุ้นจะมีการลดลงของการออกซิเดชั่นของแผ่นตะกั่ว โดยแผ่นตะกั่วจะออกซิไดส์เป็น $PbO_2$ทำให้ค่านำไฟฟ้าของ $PbO_2$จะมีค่าน้อยลง กระแสอิเล็กตรอนจะทะลุผ่านอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ขณะที่เซลล์ถูกใช้ค่าความต้านทานระหว่างแผ่นประจุและวัสดุกระตุ้นเพิ่มขึ้น ผลของการเติบโตของค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้งานมากขึ้น

## 2.2 การเกิดผลึกซัลเฟตหรือการเกิดซัลเฟตภายในแบตเตอรี่

ก่อนที่จะรู้จักการเกิดผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่เราควรรู้ถึงการทำงานของแบตเตอรี่และสมการทางเคมีของแบตเตอรี่ สามารถที่จะอธิบายการเกิดผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ได้สมการทางเคมีของเซลล์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ สามารถแบ่งออกได้เป็น3ขั้นตอน

- เมื่ออัดประจุครั้งแรก
- เมื่อทำการจ่ายประจุ
- เมื่ออัดประจุครั้งต่อไป

### 2.2.1 การอัดประจุครั้งแรก

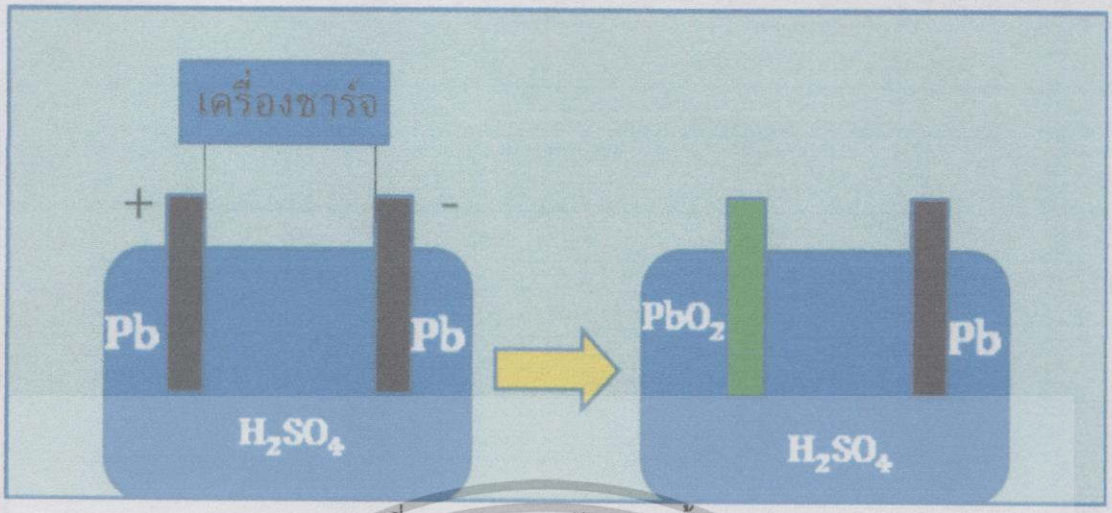
แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด จะประกอบด้วยอิเลคโทรดซึ่งก็คือแผ่นตะกั่ว (Pb) และสารละลายอิเลคโทรไลต์ซึ่งก็คือกรดซัลฟิวริก ($H_2SO_4$) โดยเมื่อมีการอัดไฟครั้งแรกแผ่นตะกั่วที่ต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่(แอโนด)จะถูกออกซิไดซ์เป็นตะกั่วไอออน ได้ดังสมการ

$$Pb(s) \rightarrow Pb^{2+}(aq) + 2e^- \qquad (2.1)$$

จากนั้น $Pb^{2+}(aq) + 2e^-$ จะรวมตัวกับ $O_2$ ได้เป็น $PbO_2$ ได้ดังสมการ

$$Pb^{2+}(aq) + O_2(g) \rightarrow PbO_2(s) \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.2 แสดงการอัดประจุครั้งแรก

2.2.2 ขณะจ่ายประจุ

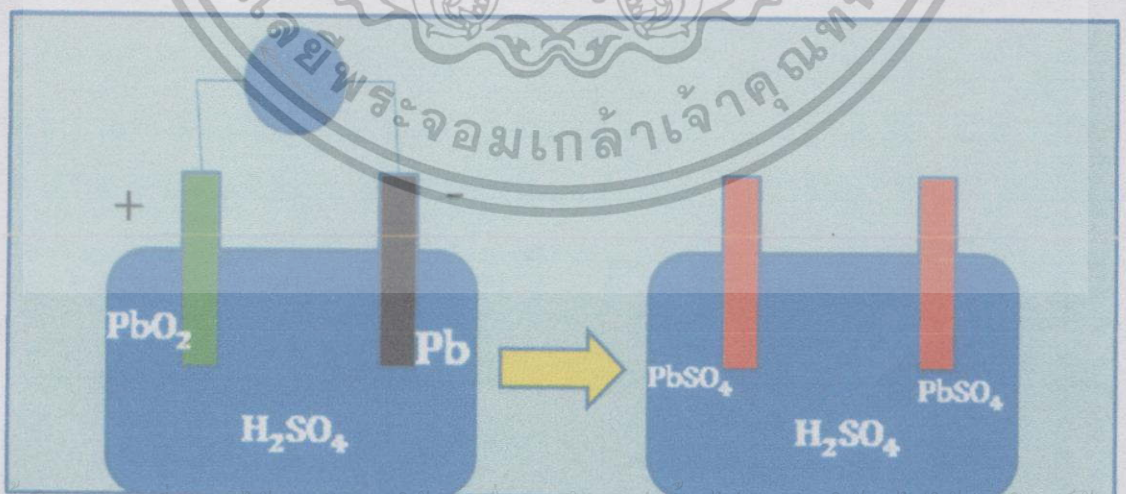
ดังนั้นที่ขั้วแอโนด(ขั้วบวก)แผ่นตะกั่วจะถูกเปลี่ยนเป็น $PbO_2$ ซึ่งแตกต่างจากขั้วแคโทด(ขั้วลบ)ซึ่งเป็น Pb จึงทำให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้ดังสมการ

ขั้วแอโนด-ขั้วลบ

$$Pb(s) + SO_4^{-2} \rightarrow PbSO_4(s) + 2e^- \quad (2.3)$$

ขั้วแคโทด-ขั้วบวก

$$PbO_2(s) + SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \quad (2.4)$$




รูปที่ 2.3 ขณะที่เซลล์แบตเตอรี่จ่ายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การอัดประจุครั้งต่อไป

อิเลคตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดหรือขั้วลบไปยังขั้วแคโทดหรือขั้วบวก จากสมการจะเห็นได้ว่าทั้ง2สมการจะได้ผลิตภัณฑ์คือ $PbSO_4$ เกิดขึ้นซึ่งหากใช้งานไปได้สักระยะหนึ่งความต่างศักย์จะลดลงและจะลดไปเรื่อยจนกระทั่งเป็นศูนย์ เนื่องจากขั้วไฟฟ้าของทั้งสองขั้วเหมือนกันจึงไม่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสอง

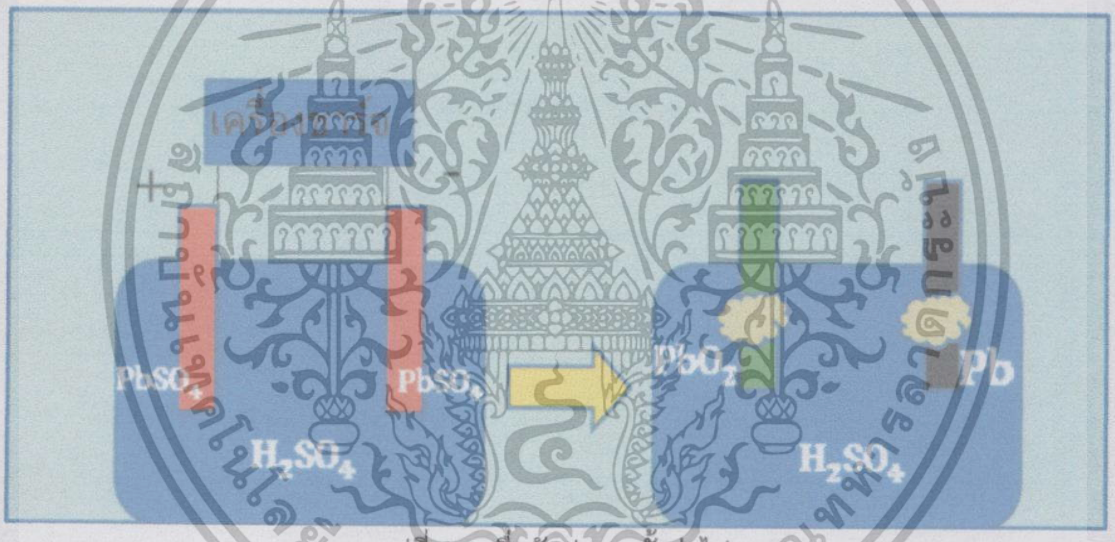
เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีของเซลล์แบตเตอรี่นั้นเป็นแบบผันกลับดังนั้นถ้าต้องการให้เกิดการผันกลับจึงต้องทำการอัดไฟฟ้าเข้าไปใหม่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ดังสมการต่อไปนี้

ขั้วแอโนด-ขั้วลบ

$$PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \rightarrow PbO_2(s) + SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \quad (2.5)$$

ขั้วแคโทด-ขั้วบวก

$$PbSO_4(s) + 2e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{-2} \quad (2.6)$$




รูปที่ 2.4 เมื่ออัดประจุครั้งต่อไป

จากปฏิกิริยาเคมี ในขณะที่ทำการชาร์จไฟอยู่นั้น จะเกิดปฏิกิริยาผันกลับของเซลล์ไฟฟ้าเคมีซึ่งจะทำให้เซลล์ไฟฟ้ากลับมาใช้งานใหม่ได้อีกครั้งอย่างสมบูรณ์ แต่จากกฎข้อที่2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ คือ ไม่มีขบวนการใดๆในโลกที่ย้อนกลับได้ 100% ดังนั้นปฏิกิริยาย้อนกลับของ $PbSO_4$ จึงย้อนกลับได้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยที่แผ่นธาตุจึงเป็นที่มาของการเกิดผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่

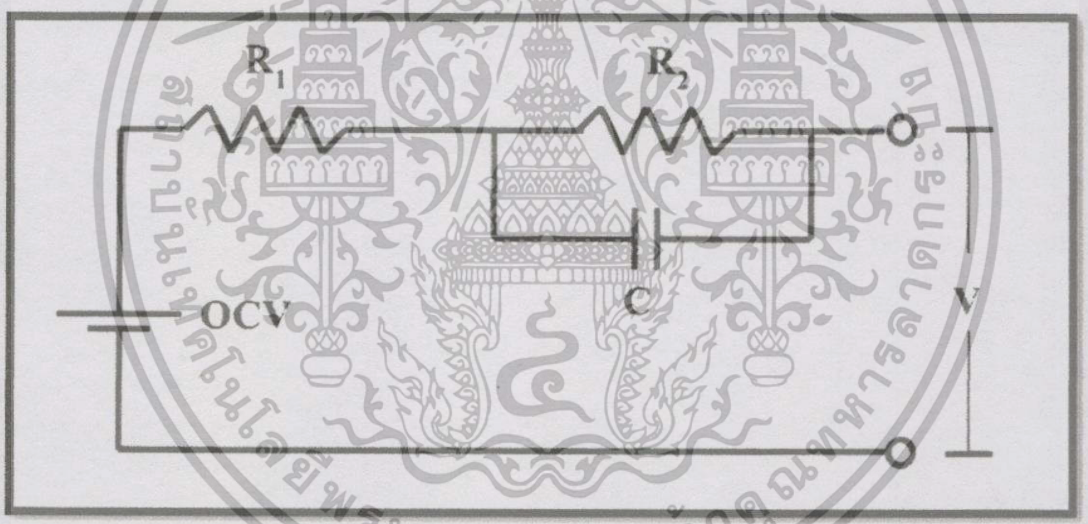
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ข้อสังเกตเมื่อเกิดการสะสมของซัลเฟต

ในช่วงเริ่มแรกของการเกาะตัวของผลึกซัลเฟตที่แผ่นธาตุ การอัดประจุจากไดชาร์จหรือเครื่องอัดประจุ ก็ทำงานได้ลดลง ซึ่งก็เป็นสาเหตุของการสะสมของผลึกซัลเฟต มากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมากขึ้นแล้วในที่สุดก็อัดประจุไม่เข้า จ่ายประจุไม่ออก เป็นสาเหตุที่เราเรียกว่า แบตเตอรี่ตาย ซึ่งสาเหตุ90% มาจากการสะสมของผลึกซัลเฟต อีก 10 % เป็นสาเหตุอื่น

เมื่อมีการสะสมของผลึกซัลเฟตที่แผ่นธาตุมากๆขึ้น จะพบว่าเวลาแบตเตอรี่จ่ายประจุจะทำให้ แรงดันไฟฟ้า ลดลงเร็วมาก และขณะทำการอัดประจุ ค่าแรงดันไฟฟ้า ก็จะเพิ่มเร็วมาก เนื่องจากค่าความต้านทานภายในสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการสะสมของผลึกซัลเฟตที่แผ่นธาตุ อีกทั้งยังมีข้อสังเกตของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ กินน้ำกลั่น เนื่องจากขณะชาร์จเกิดฟองแก๊สมากจึงระเหยออกไปและแผ่นธาตุ ขรุ ขระ แข็ง ทั้งหมดนี้คือข้องสังเกตเมื่อเกิดการสะสมของผลึกซัลเฟต

## 2.4 วงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

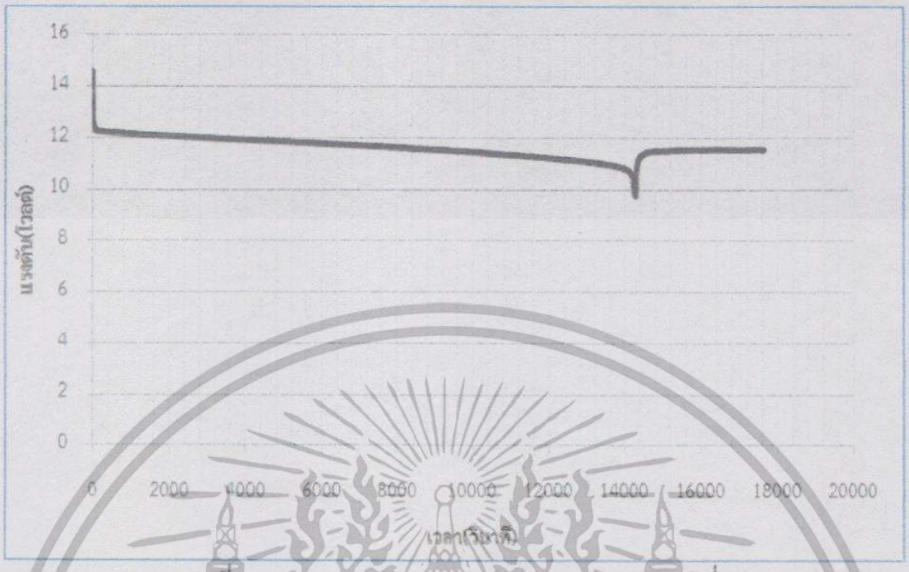



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลภายในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

วงจรสมมูลทางไฟฟ้าที่แสดงดังรูป หมายถึง I กระแสของแบตเตอรี่ OCV หมายถึง แรงดันวงจรเปิด(open circuit voltage) ซึ่งเป็นแรงดันที่แท้จริงของแบตเตอรี่ V หมายถึง แรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ $R_1$ แสดงถึงการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ของความต้านทานภายใน และ $R_2$ แสดงถึงความต้านทานภายในที่ตอบสนองต่อค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งตัวเก็บประจุจะเชื่อมแบบขนานกับ $R_2$โดยที่ $R_2$และ Cจะมีค่าเวลาคงที่เป็นตัวแปรร่วมกัน ปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้โดยใช้ $R_2$ และ C เพราะฉะนั้น V จะไม่เท่ากับ OCV ในระหว่างการดำเนินงานต่างๆ เพราะค่าตัวแปรเหล่านี้ $R_1$ $R_2$และ C จากทฤษฎีของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ข้างต้น

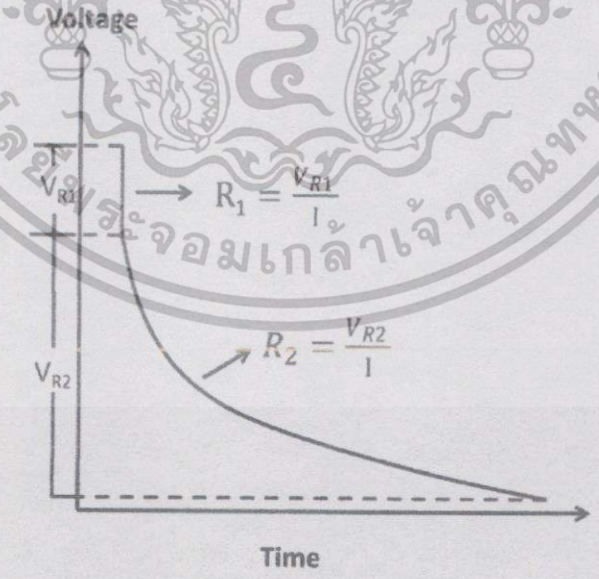
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ได้ โดยเมื่อทำการทดลองแล้วจะได้กราฟแสดงการคายประจุของแบตเตอรี่ดังนี้




รูปที่ 2.6 กราฟแสดงการคายประจุของแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.6 เราจะนำกราฟในช่วงต้นของการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาค่าของ $R_1$ และ $R_2$ โดยจะได้ดังนี้




รูปที่ 2.7 ค่าคงที่ $R_1$ และ $R_2$ ของวงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.7 แสดงถึงวิธีการคำนวณค่าตัวแปรของวงจรสมมูล จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าของ $R_1$ คือค่าที่สามารถคำนวณได้จากแรงดันที่ตกลงอย่างรวดเร็วหรือแรงดัน $V_{R1}$ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_1 = \frac{V_{R1}}{I}$$

$$R_1 = \frac{V_{b1} - V_{b2}}{I}$$

สามารถหาค่า I ได้จาก $I = \frac{V_{Load1} - V_{Load2}}{R}$ (ค่า R = 4.4 Ω )

เมื่อแรงดัน $V_{R1}$ ตกลงอย่างรวดเร็วแล้ว จากนั้นแรงดันจะตกลงเหมือนในช่วง $V_{R2}$ ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจะตกลงมาในลักษณะเอกซ์โพเนนเชี่ยลเนื่องจากผลของ $R_2$ เราสามารถคำนวณหาค่า $R_2$ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I}$$

$$R_2 = \frac{V_{b2} - V_{b3}}{I}$$

สามารถหาค่า I ได้จาก $I = \frac{V_{Load2} - V_{Load3}}{R}$ (ค่า R = 4.4 Ω )

ซึ่งค่าที่ได้ออกมา $R_1$ คือค่าความต้านทานที่ขั้วของแบตเตอรี่ เนื่องจากโครงสร้างของแบตเตอรี่นั้นมีแผ่นเซลล์ที่มีขนาดแผ่นละ 2 V ต่ออนุกรมกันอยู่และที่รอยต่อของแต่ละเซลล์นั้นทำให้มีค่าความต้านทานที่ขั้วของแบตเตอรี่ $R_2$ คือค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ค่านี้จะเป็นค่าที่บอกถึงสภาพของแบตเตอรี่และ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ว่ามีเท่าไร ซึ่งค่าความต้านทานของแบตเตอรี่นั้นอาจจะไม่ได้ขึ้นอยู่ กับปริมาณของผลึกซัลเฟตที่เกาะอยู่ที่แผ่นธาตุเพียงอย่างเดียว อาจจะรวมถึงปัจจัยอื่นๆอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การคายประจุของแบตเตอรี่

โดยปกติแล้วแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจะมีพฤติกรรมในการคายประจุด้วยกระแสต่ำๆเพราะจะทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าการคายประจุที่กระแสสูงๆ

อัตราการคายประจุไม่ควรมีค่าเกิน20%ของความจุของแบตเตอรี่โดยถ้าอัตราการคายประจุมากขึ้นประสิทธิภาพจะลดลงแต่ในความจริงแล้วไม่ควรคายประจุเกิน10%ของความจุของแบตเตอรี่เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมประสิทธิภาพ หากการคายประจุของแบตเตอรี่นั้นคายประจุออกมาได้มากแสดงว่าค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั้นมีค่าที่น้อยแต่ในทางกลับกันหากการคายประจุออกมาได้น้อยและค่าความจุลดลงอย่างรวดเร็วนั้นแสดงว่าภายในแบตเตอรี่นั้นมีค่าความต้านทานสูงมาก โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะคายประจุคงที่ที่ 30%-40%ของความจุแบตเตอรี่เราจึงต้องรักษาระดับแรงดันไว้เมื่อใช้งานอย่าให้ต่ำกว่า 10.5V เพราะหากแรงดันต่ำลงประสิทธิภาพการคายประจุจะลดลงด้วย

## 2.6 สารละลายอิเล็กทรอไลต์

สารละลายอิเล็กทรอไลต์ คือสารละลายที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้เพราะในสารละลายมีไอออนบวกหรือไอออนลบจำนวนมาก โดยส่วนมากสารละลายอิเล็กทรอไลต์นั้นจะเป็นสารละลายชนิดกรดแก่ เบสแก่ และสารละลายของเกลือ เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด นั้นเป็นการเปลี่ยนพลังงานเคมีมาเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือที่เรียกว่าเซลล์ไฟฟ้าเคมี ในแบตเตอรี่จึงจำเป็นที่จะต้องมีสารละลายอิเล็กทรอไลต์ภายในแบตเตอรี่ โดยส่วนมากภายในแบตเตอรี่จะใช้สารละลายอิเล็กทรอไลต์คือ กรดซัลฟิวริก ($H_2SO_4$) เพราะเป็นสารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดี

## 2.7 การปรับสภาพน้ำกรดภายในแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ถือได้ว่าเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีเมื่อได้ทำการใช้งานหรือมีอายุการใช้งานที่มากขึ้นเรื่อยๆสภาพของน้ำกรดที่อยู่ภายในของแบตเตอรี่หรือสารละลายอิเล็กทรอไลต์นั้นย่อมมีค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลง เนื่องจากในปัจจุบันเมื่อน้ำกรดในแบตเตอรี่เริ่มลดลงหรือแห้งคนส่วนมากมักจะเติม น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 น้ำกลั่นแบตเตอรี่

แต่แท้ที่จริงแล้วการเติมน้ำกลั่นให้กับแบตเตอรี่นั้นถือว่าเป็นวิธีที่ผิดเนื่องจากน้ำกลั่นที่เติมเข้าไปนั้นจะทำให้น้ำกรดที่อยู่ในแบตเตอรี่นั้นเป็นกรดจืดคือทำให้การนำไฟฟ้าของน้ำกรดในแบตเตอรี่น้อยลงส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและส่งผลต่อการเกิดผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่อีกด้วย

**2.7.1 การตรวจวัดสภาพน้ำกรดภายในแบตเตอรี่**

เราจะสามารถรู้ได้อย่างไรว่าน้ำกรดที่อยู่ภายในแบตเตอรี่นั้นมีการนำไฟฟ้าที่ดีหรือมีความเหมาะสมต่อการใช้งานหรือไม่ โดยทั่วไปแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานประมาณ 1-1.5 ปีนั้นควรได้รับการปรับสภาพน้ำกรดได้แล้ว การปรับสภาพน้ำกรดจะสามารถช่วยยืดอายุของแบตเตอรี่ออกไปได้อีกหลายปีเลยทีเดียว การวัดสภาพน้ำกรดนั้นโดยทั่วไปจะใช้ไฮโดรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 แสดงการใช้ไฮโดรมิเตอร์

เนื่องจากน้ำกรดที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารอิเล็กทรอไลต์ในแบตเตอรี่นั้น จะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ 1.250 โบเม่ ขึ้นไป หากมีค่าที่ต่ำกว่านี้ถือว่าไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในแบตเตอรี่

**2.7.2 การเติมน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่**

จากที่บอกในข้างต้นแล้วการเติมน้ำกลั่นนั้นไม่ส่งผลดีต่อสภาพของแบตเตอรี่หากเป็นเช่นนั้นแล้วต้องเติมอะไรลงไปคำตอบคือ ต้องเติมน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่ เติมในสิ่งที่มีความเป็นกรดมากกว่าน้ำกรดที่อยู่ภายในแบตเตอรี่นั้นคือ กรดซัลฟิวริก ($H_2SO_4$ ,98% ) แต่ในกรณีการเติมกรดที่มีความเข้มข้นมากนั้นจะเกิดอันตรายได้ง่ายหากไม่มีความรอบคอบในการเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 น้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่

ทางเลือกที่ดีที่สุดคือการเติมน้ำกรดให้แบตเตอรี่ด้วยน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่ น้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่นั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 1.250-1.280 โบเม่ โดยวิธีการเติมน้ำกรดนั้นสามารถเติมเข้าไปได้เลย ไม่จำเป็นต้องเทของเก่าทิ้งหมดเพราะการเติมกรดที่มีความถ่วงจำเพาะที่มากกว่าลงในช่องของแบตเตอรี่นั้นย่อมจะทำให้ในแต่ละช่องมีความถ่วงจำเพาะและเป็นสารอิเล็กทรอไลต์ที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# ขั้นตอนการทดลองและวิธีการทดลอง

ในโครงงานพิเศษนี้เราได้ทำการศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยเราได้ทำการศึกษาโดยใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12V โดยจะวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่ก่อนและหลังการทดลองการศึกษาการสลายผลึกซัลเฟต

## 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 แบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 V

3.1.2 Digital Multimeters

3.1.3 Wire wound resister ขนาด 10 Ω

3.1.4 ตัวต้านทานขนาด 0.4Ω 1000W และ 4.4 Ω 400W

3.1.5 DC Powersupply

3.1.6 โปรแกรม Lab View ที่เขียนโปรแกรมเรียบร้อย

3.1.7 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบให้สัญญาณพัลส์ Repower ขนาด 3Ah-200Ah

3.1.8 Computer

3.1.9 ไฮโดรมิเตอร์

3.1.10 Auto Battery Analyzer (BA100)

3.1.11 น้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่

3.1.12 Epsom salt

3.1.13 กรด $H_2SO_4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การทำงานของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบให้สัญญาณพัลส์ Repower ขนาด 3Ah-200Ah

โดยทั่วไปการชาร์จแบตเตอรี่จะใช้เครื่องชาร์จที่ให้ไฟฟ้าที่เป็นกระแสตรงแบบธรรมดาแต่ในการศึกษาครั้งนี้เราได้ใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบให้สัญญาณพัลส์ Repower ขนาด 3Ah-200Ah โดยที่เครื่องชาร์จจะทำงานโดย

รูปที่ 3.1 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ Repower ขนาด 3Ah-200Ah

การให้สัญญาณที่เป็นกระแสตรงแต่จะเป็นในรูปของพัลส์สัญญาณที่มีความถี่โดยที่การให้แบบที่เป็นพัลส์นั้นจะทำให้เกิดการสั่นที่แผ่นธาตุและทำให้ผลึกซัลเฟตที่เกาะอยู่ที่แผ่นธาตุซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นหลุดออกและทำให้ค่าความต้านทานภายในลดลง โดยที่เครื่องนั้นจะมีระบบการทำงานอยู่ 3 ฟังชั่น คือ L M และ H ในการทำงานนั้น สวิท Lเริ่มจากแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็ก3Ah-70Ah หากแบตเตอรี่นั้นมีขนาดความจุมากกว่า70Ahให้กด สวิท Mเพิ่มอีกตัวหนึ่งเนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดความจุมาก การกด สวิทเพิ่มคือการเพิ่มขนาดของกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่เพื่อลดเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ให้สั้นลงในแบตเตอรี่ขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 การทำงานของเครื่อง Auto Battery Analyzer (BA100)

เครื่อง Auto Battery Analyzer (BA100) คือเครื่องที่สามารถบอกถึงค่าต่างๆของสภาพแบตเตอรี่ได้

รูปที่ 3.2 เครื่อง Auto Battery Analyzer (BA100)

โดยเครื่องนี้ จะสามารถบอกได้ถึงค่า โวลต์ ค่า CCA และ ค่าความต้านทานภายใน(R) โดยผลที่ได้จะแสดงบนหน้าจอของเครื่องมือ โดยก่อนการใช้เครื่องนี้ต้องรู้ถึงค่า CCA ของแบตเตอรี่ว่ามีค่า CCA เต็มอยู่ที่เท่าไหร่หรืออีกวิธีหนึ่งคือต้องรู้ถึงรุ่นของแบตเตอรี่ว่าเป็นรุ่นอะไร เช่น NS40Z,38B19L เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดในครั้งนี้นั้นจะมีเงื่อนไขและขั้นตอนที่แตกต่างกัน นั้นคือการอัดประจุด้วยเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ Repower ขนาด 3Ah-200Ah และการอัดประจุด้วยเครื่องชาร์จแบบทั่วไปโดยในแต่ล่ะการอัดประจุจะมีเงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไปอีกนั้นคือ อัดประจุเพียงอย่างเดียว ปรับสภาพน้ำกรดแล้วอัดประจุ ล้างด้วยน้ำร้อน ปรับสภาพน้ำกรดแล้วทำการอัดประจุ

3.4.1 นำแบตเตอรี่ที่จะทำการศึกษา(แบตเตอรี่เก่า)มาวัดค่าโวลต์ตกคร่อมของแบตเตอรี่และวัดค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ด้วยวงจรสมมูลของแบตเตอรี่และเครื่อง Auto Battery Analyzer (BA100) แล้วทำการจดบันทึกผลเอาไว้

3.4.2 ทำการล้างแบตเตอรี่โดยการเทน้ำกรดที่อยู่ภายในแบตเตอรี่ออกทุกๆ ช่องของแบตเตอรี่ เติมน้ำร้อนที่เตรียม(อุณหภูมิ 87องศาเซลเซียส) ในทุกช่องของแบตเตอรี่ช่องล่ะ 200ml เมื่อเติมครบทุกช่องให้ทำการเขย่าแบตเตอรี่ด้วยมือจำนวน 50 ครั้ง หลังจากนั้นให้เทน้ำร้อนออก ทิ้งไว้15นาที(เฉพาะกรณีที่ต้องล้างแบตเตอรี่ด้วยน้ำร้อน)

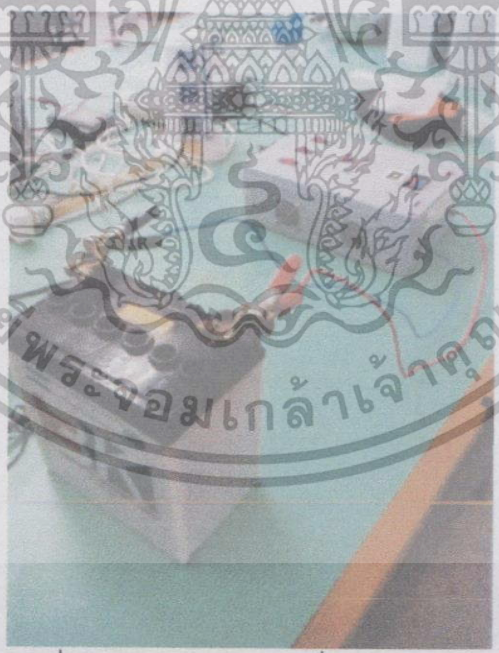
รูปที่ 3.3 สภาพน้ำร้อนที่เทออกจากแบตเตอรี่หลังจากการเขย่า

3.4.3 นำแบตเตอรี่มาทำการปรับสภาพน้ำกรดภายในแบตเตอรี่ให้ได้ตามค่ามาตรฐานโดยวัดค่าจาก ไฮโดรมิเตอร์ (เฉพาะกรณีที่ต้องปรับสภาพน้ำกรด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงการวัดสภาพน้ำกรดภายในแบตเตอรี่

3.4.4 นำแบตเตอรี่มาทำการสลายผลึกซัลเฟตด้วยเครื่องชาร์จแบตเตอรี่แบบให้สัญญาณพัลส์ Repower ขนาด 3Ah-200Ah เป็นเวลา 10 ชั่วโมง (เฉพาะกรณีอัดด้วยสัญญาณพัลส์)



รูปที่ 3.5 การทำงานของเครื่อง Repower

3.4.5 นำแบตเตอรี่มาชาร์จด้วยเครื่องชาร์จแบบธรรมดาทั่วไปเป็นเวลา 10 ชั่วโมง (เฉพาะกรณีอัดด้วยสัญญาณทั่วไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 การทำงานของเครื่องธรรมดาทั่วไป

3.4.6 เมื่อเครื่องชาร์จทำงานเสร็จสมบูรณ์แล้วให้นำแบตเตอรี่ไปวัดค่าความต้านทานด้วยวงจรวัดค่าความต้านทานและเครื่อง Auto Battery Analyzer (BA100) แล้วทำการบันทึกผล

3.4.7 นำผลที่ได้ทั้งก่อนและหลังการทดลอง มาทำการเปรียบเทียบถึงความแตกต่าง และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยในแต่ละกรณีไม่ได้นำมาเปรียบเทียบกันเนื่องจากในแต่ละกรณีนั้นใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดที่แตกต่างกันและที่สำคัญไม่ใช่ลูกเดียวกัน แบตเตอรี่ที่ใช้ในการศึกษานั้นมีทั้งหมด 6 ลูก โดยจะใช้ 1 ลูกต่อ 1 เงื่อนไขในการศึกษาทดลอง

ตารางที่ 3.1 กำหนดสถานะเงื่อนไขการศึกษาของแบตเตอรี่

| แบตเตอรี่รุ่น | เงื่อนไขการศึกษา |
|---|---|
| NS40Z | อัดประจุด้วยเครื่อง Repower ขนาด 3Ah-200Ahเพียงอย่างเดียว |
| 38B19L(3) | ปรับสภาพน้ำกรด+อัดประจุด้วยเครื่อง Repower ขนาด 3Ah-200Ah |
| NS60 | ล้างด้วยน้ำร้อน+ปรับสภาพน้ำกรด+อัดประจุด้วยเครื่อง Repower ขนาด 3Ah-200Ah |
| 38B19L(2) | อัดประจุด้วยเครื่องชาร์จแบบทั่วไปเพียงอย่างเดียว |
| 38B19L(1) | ปรับสภาพน้ำกรด+อัดประจุด้วยเครื่องชาร์จแบบทั่วไป |
| NS40L | ล้างด้วยน้ำร้อน+ปรับสภาพน้ำกรด+อัดประจุด้วยเครื่องชาร์จแบบทั่วไป |

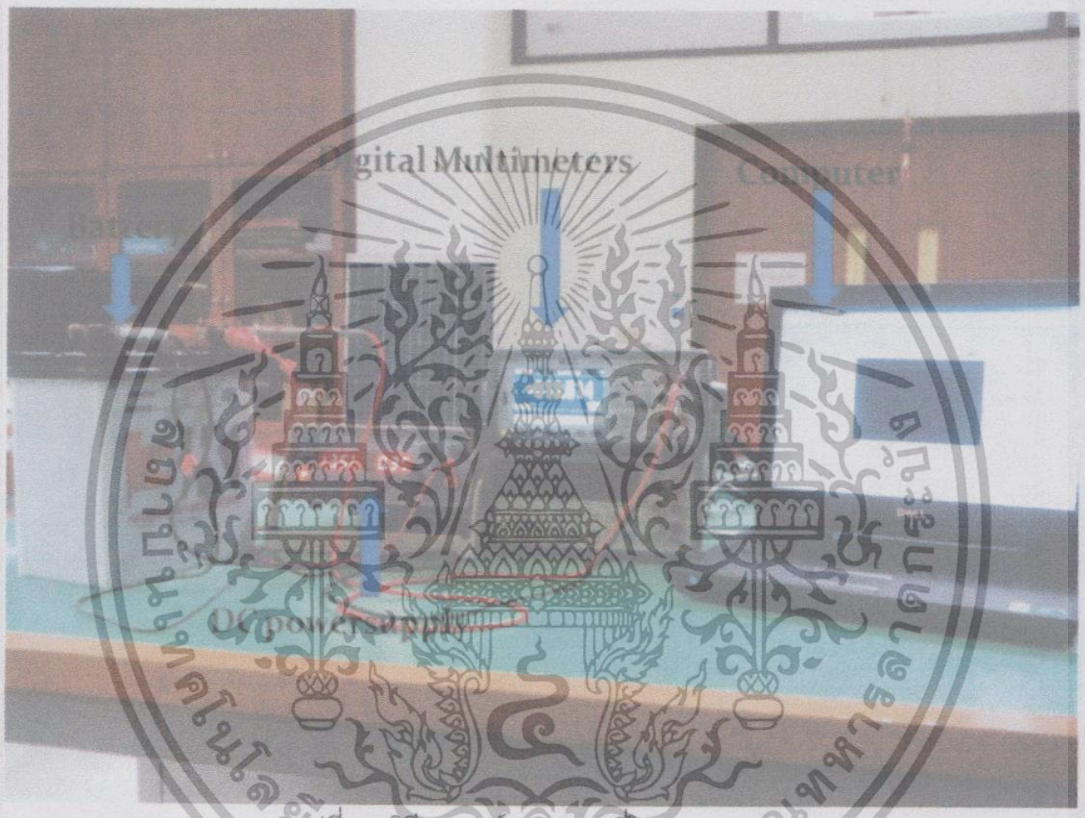
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลบข้อความนี้ออก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์วงจรสมมูล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการวัดค่าของแบตเตอรี่จากวงจรสมมูลซึ่งในการวัดค่านั้นจะแบ่งออกเป็นช่วงนั้นคือ การชาร์จ และการดิสชาร์จ

### 3.5.1 การชาร์จ

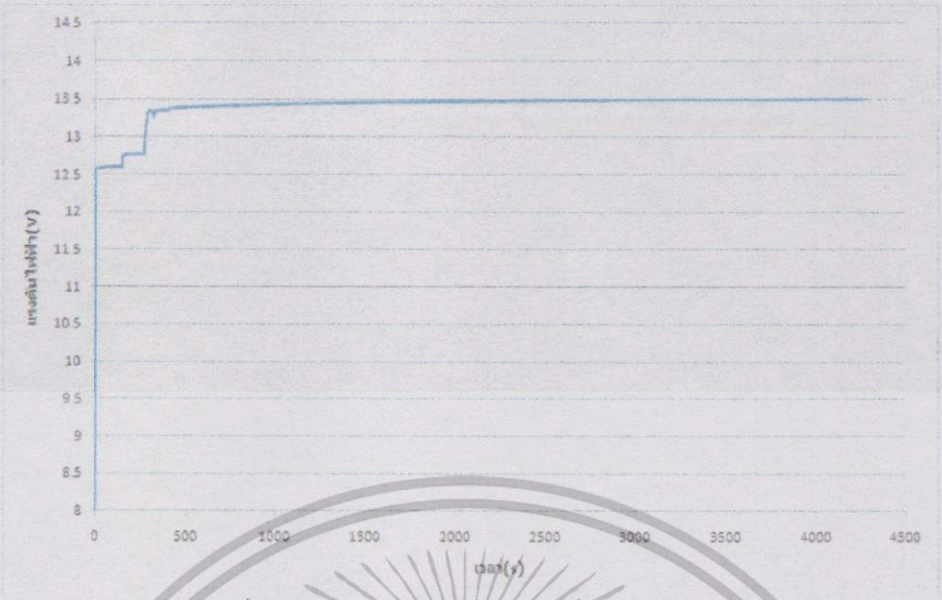
ในขั้นตอนนี้จะทำการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเตรียมนำไปทำการวัดหาค่าความต้านทานจากวงจรสมมูลในขั้นตอนนี้จะทำการชาร์จให้แบตเตอรี่นั้นมีแรงดันไฟฟ้าที่13.5V




รูปที่3.7 วิธีการชาร์จแบตเตอรี่ในวงจรสมมูล

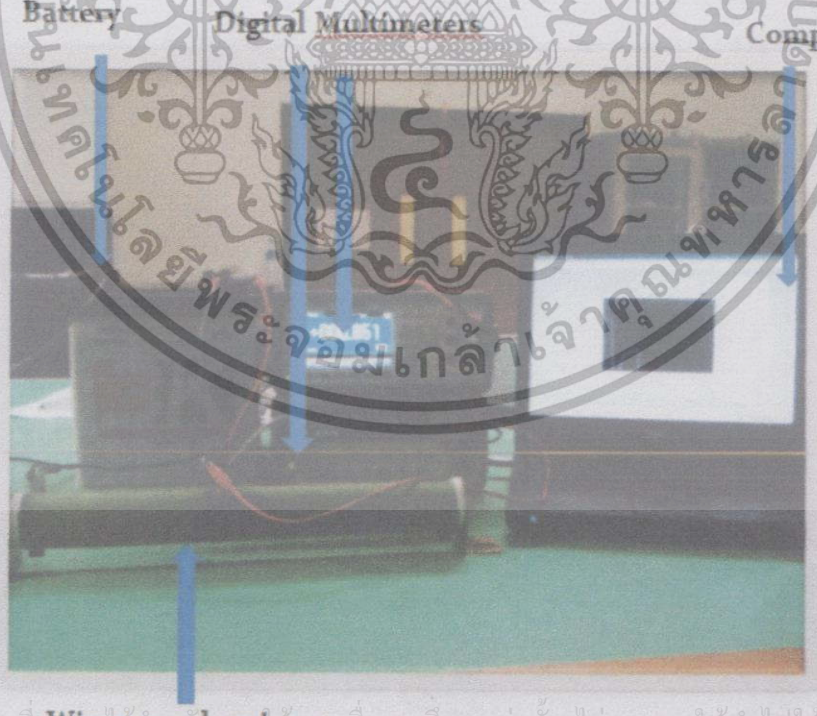
เนื่องจากโดยทั่วไปแบตเตอรี่นั้นจะมีความจุเต็มที่13.5Vในการชาร์จเราจะทำการบันทึกค่าด้วย computer โดยใช้โปรแกรม Labview โดยจะวัดค่าแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่โดยใช้ DigitalMultimetersc และอัดประจุด้วย DCpowersupply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่3.8 กราฟขณะชาร์จแบตเตอรี่ในวงจรสมมูล

ไปจนกระทั่งแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าที่13.5Vโดยทิ้งไว้ให้แบตเตอรี่ชาร์จต่อไปอีกสักระยะหรือ30นาที หลังจากนั้นให้ปิด DCpowersupply แล้วนำแบตเตอรี่เข้าสู่ขั้นตอนต่อไปคือการดิสชาร์จหรือคายประจุ

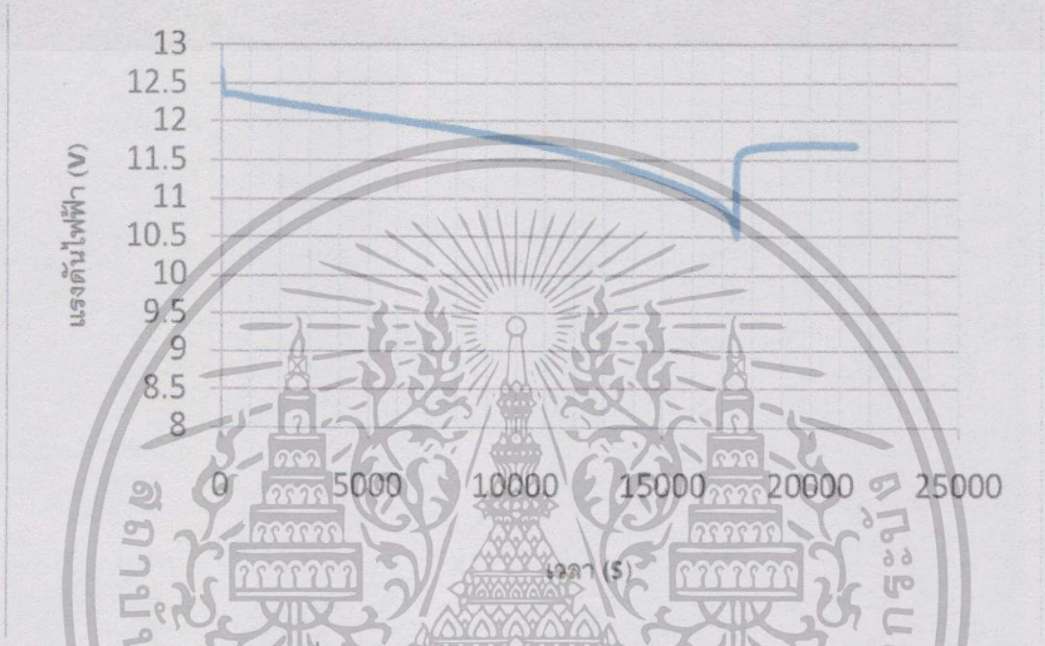



รูปที่3.9วิธีการดิสชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 การดิสชาร์จแบตเตอรี่

ในขั้นตอนนี้นั้นเราจะต่อโหลด Wire Wound resister ขนาด4.4โอห์มที่ขั้วของแบตเตอรี่ ในขั้นตอนนี้จะใช้ DigitalMultimeters 2ตัวโดยตัวที่1นั้นจะวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ ส่วนตัวที่2นั้นจะวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด Wire Wound resister โดยบันทึกผลด้วยโปรแกรม Lab view ผ่าน Computer




รูปที่3.10 กราฟการคายประจุของวงจรสมมูล

ค่าที่ได้จากการบันทึกนั้นจะมีทั้งหมด3ค่านั้นคือ เวลา แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่โหลด Wire Wound resister ค่าที่เห็นในรูปที่3.10เป็นค่าของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่กับเวลา เมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วถึง10.5Vเราจะต้องดึงโหลด Wire Wound resister ออกจากแบตเตอรี่เมื่อดึงโหลด Wire Wound resister ออกแล้วแบตเตอรี่จะทำการฟื้นฟูตัวเองหลังจากนั้นรอให้แรงดันไฟฟ้าคงที่สักระยะก็จะเสร็จการทดลอง ค่าที่ได้นั้นสามารถนำไปคำควณหาค่าของ ความต้านทานที่ขั้ว $R_1$ค่าความต้านทานภายใน$R_2$ ได้จากทฤษฎีในบทที่2ที่ได้กล่าวมาแล้ว

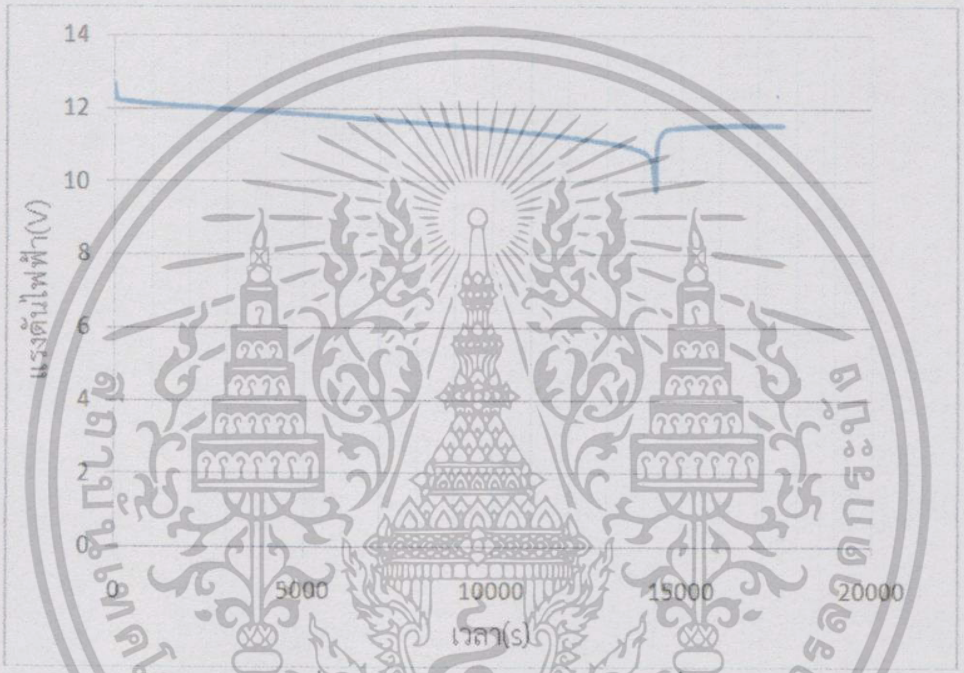
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยการศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด โดยได้ทำการศึกษาทั้งหมด 6 กรณี โดยวิเคราะห์ค่าจากค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่รวมถึงค่าการเก็บประจุของแบตเตอรี่เพื่อให้ทราบถึงสภาพของแบตเตอรี่ โดยได้ผลการทดลอง ดังนี้

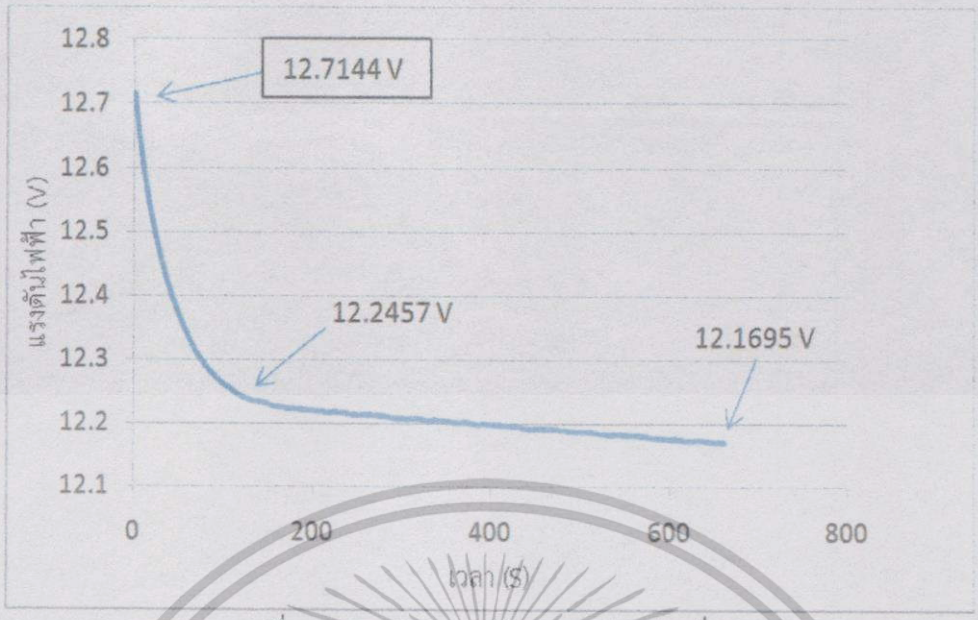
## 4.1 การวิเคราะห์หาค่า $R_1$และ$R_2$




รูปที่ 4.1 การคายประจุของแบตเตอรี่

ในการคำนวณหาค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะใช้กราฟในช่วงเริ่มต้นของกราฟการคายประจุของแบตเตอรี่โดยในช่วงนี้จะมีการลดลงอย่างรวดเร็วไปจนถึงช่วงเริ่มต้นในการคายประจุที่ลดลงอย่างต่อเนื่องดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.2 กราฟช่วงแรงดันลดลงอย่างต่อเนื่อง

จะคำนวณหาค่าได้ดังนี้

$$R_1 = \frac{12.7144 - 12.2457}{I}$$

โดย หาค่า I ได้จาก

$$I = \frac{12.4766 - 12.0092}{4.4}$$

$$I = 106.2\ \text{m A}$$

$$R_1 = 4.4134\ \Omega$$

ค่าของ $V_{Load}$ ทุกค่าจะถูกบันทึกไว้ที่โปรแกรม Microsoft Excel (ซึ่ง $R$ คือค่าของโหลดที่ในการทดลองใช้ค่าที่ 4.4 Ω) ซึ่งค่า$R_1$ คือค่าความต้านทานที่ขั้วของแบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่คือค่า $R_2$ สามารถคำนวณได้จาก

$$R_2 = \frac{12.2457 - 12.1695}{I}$$

โดย หาค่า I ได้จาก

$$I = \frac{12.0092 - 11.9404}{4.4}$$

$$I = 15.6\ \text{m A}$$

$$R_2 = 4.8846\ \Omega$$

ค่าของ $V_{Load}$ ทุกค่าจะถูกบันทึกไว้ที่โปรแกรม Microsoft Excel (ซึ่ง R คือค่าของโหลดที่ในการทดลองใช้ค่าที่ 4.4 Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า$R_1$และ$R_2$ ที่ได้จากการวิเคราะห์

| | |
|---|---|
| $R_1(\Omega)$ | 4.4134 |
| $R_2(\Omega)$ | 4.8846 |

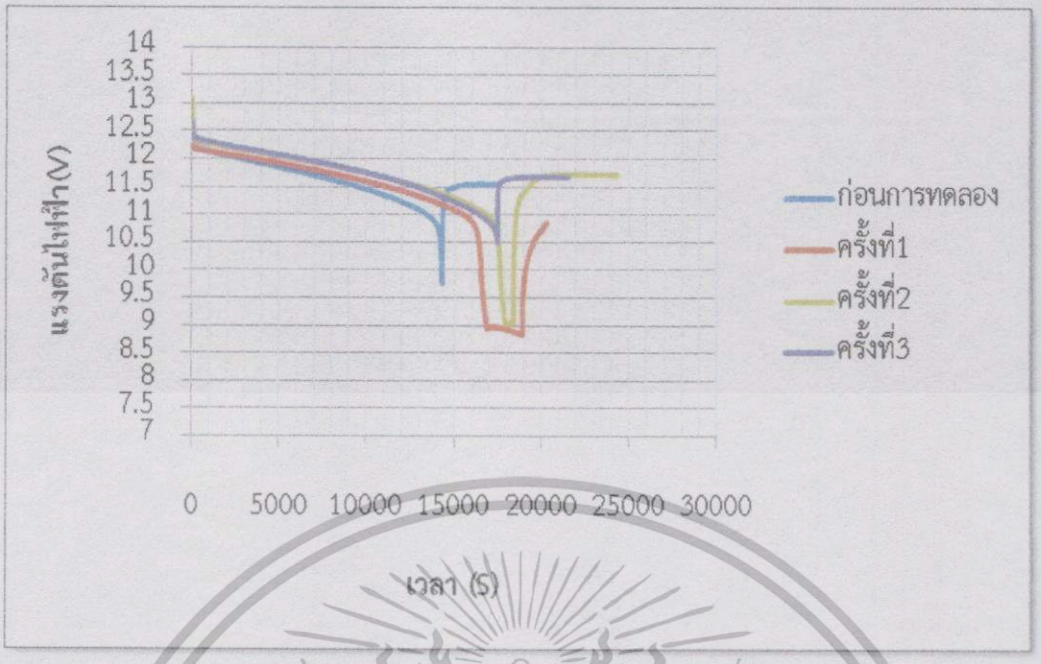
## 4.2 อภิปรายผลการวิจัย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของ NS40Z

| | $R_1$ (Ω) | $R_2$ (Ω) | เวลาที่ใช้คายประจุ(s) |
|---|---|---|---|
| ก่อนการทดลอง | 4.4134 | 4.8846 | 14,210 |
| ครั้งที่ 1 | 4.6655 | 8.8966 | 16,410 |
| ครั้งที่ 2 | 7.3937 | 7.5971 | 17,524 |
| ครั้งที่ 3 | 10.7090 | 4.0217 | 17,463 |

การศึกษาทดลองในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด NS40Z ซึ่งทดลองด้วยการอัดด้วยเครื่อง Repower ขนาด 3Ah-200Ahเพียงอย่างเดียวค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นเมื่อทำการทดลองครั้งแรกผ่านไปค่าความต้านทานภายในมีค่าเพิ่มขึ้นแต่หลังจากทำการทดลองในครั้งที่สองและสามแล้วค่าความต้านทานนั้นค่อยๆลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.3 การคายประจุของ NS40Z ทุกการทดลอง

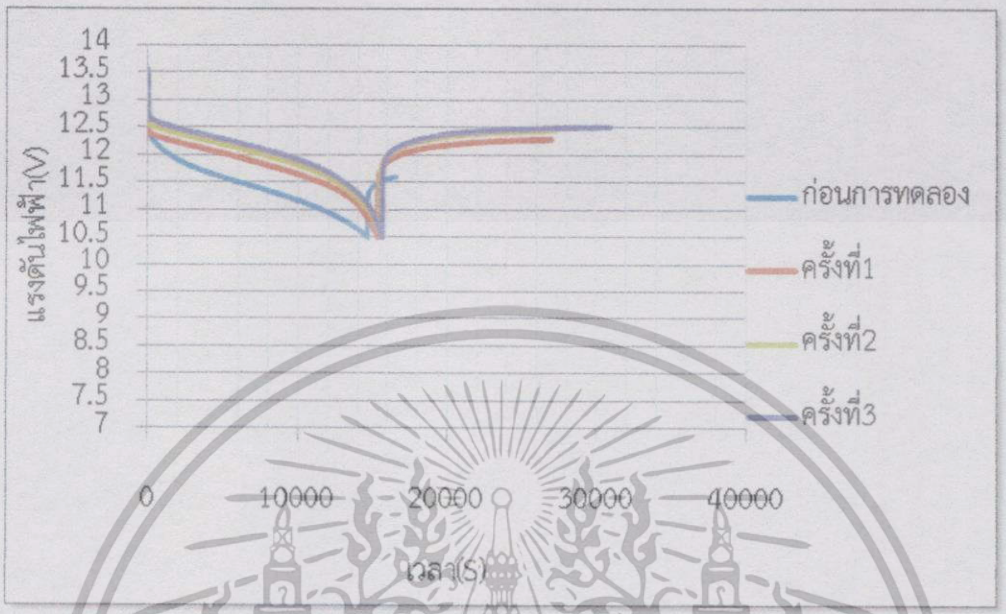
ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่นั้นถือว่าลดลงมามาก หากพิจารณาจากกราฟการคายประจุของ NS40z ก่อนการทดลองกับหลังการทดลองครั้งที่1มาทำการเปรียบเทียบกัน แต่หากดูจากเวลาของแบตเตอรี่ขณะทำการคายประจุเมื่อถึง 10.5 V ซึ่งเวลาในแต่ละครั้งนั้นดีขึ้นตามลำดับหรือก็คือระยะเวลาในการคายประจุนั้นเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองของ 38B19L(3)

| | $R_1(\Omega)$ | $R_2(\Omega)$ | เวลาที่ใช้คายประจุ(s) |
|---|---|---|---|
| ก่อนการทดลอง | 5.2079 | 4.7961 | 14,698 |
| ครั้งที่ 1 | 4.2640 | 2.3344 | 15,341 |
| ครั้งที่ 2 | 5.8423 | 5.2269 | 15,515 |
| ครั้งที่ 3 | 6.9016 | 4.5600 | 15,668 |

การทดลองใน 38B19L(3) คือการทดลองด้วยการปรับสภาพกรดก่อนแล้วจึงอัดประจุด้วยเครื่องRepower ขนาด 3Ah-200Ah เป็นเวลา10ชั่วโมงผลที่ได้จะเห็นได้ชัดเจนอย่างยิ่งเลยหากมองที่

ผลของก่อนการทดลองและผลหลังจากการทดลองครั้งที่1นั้นค่าความต้านทานภายในนั้นถือว่าเป็นไปในทางที่ดีมาก แต่ในการทดลองครั้งที่2และ3นั้น




รูปที่ 4.4 การคายประจุของ 38B19L(3)ทุกการทดลอง

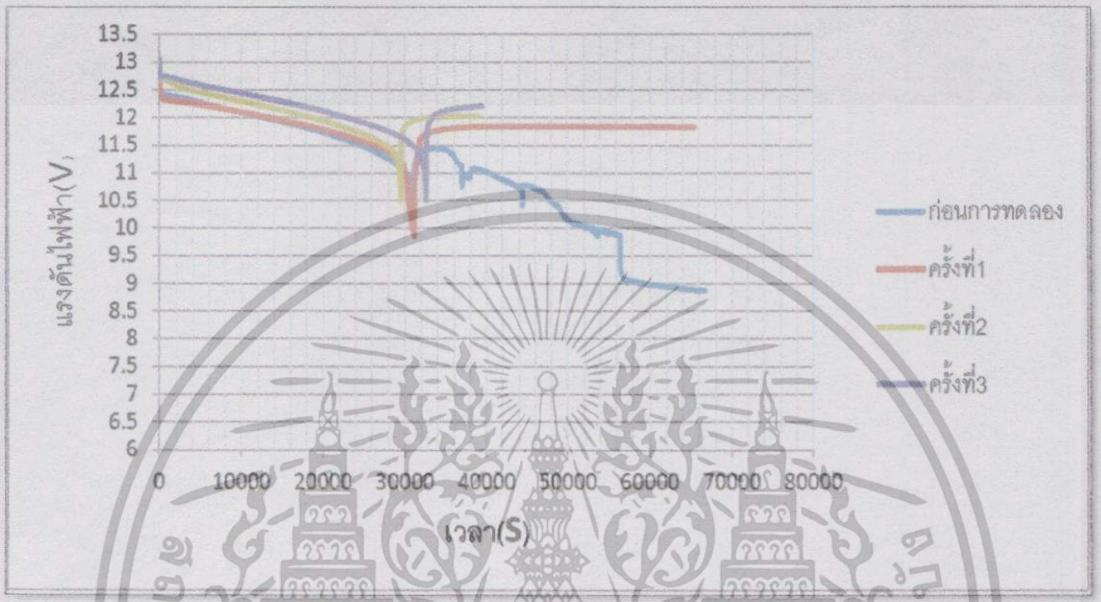
ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองครั้งที่1 แต่ก็ยังมีค่าที่ดีกว่าผลของก่อนการทดลองทั้งนี้สาเหตุที่ว่าทำไมทำหลายครั้งแล้วไม่ดีขึ้นกว่าเดิมนั้นเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของสารละลายภายในแบตเตอรี่นั้นต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาดังนั้นถึงแม้จะทำหลายๆรอบก็ไม่ได้เกิดผลดีมากขึ้นเลย

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของ NS60

| | $R_1(\Omega)$ | $R_2(\Omega)$ | เวลาที่ใช้คายประจุ(s) |
|---|---|---|---|
| ก่อนการทดลอง | 4.0081 | 48.3864 | 31,073 |
| ครั้งที่ 1 | 4.5526 | 3.1706 | 30,479 |
| ครั้งที่ 2 | 5.4352 | 4.5865 | 29,510 |
| ครั้งที่ 3 | 4.3313 | 3.9186 | 32,613 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ NS60 นั้นมีค่ามากถึง48.3864 Ω แต่เมื่อผ่านการทดลองโดยการล้างด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ87องศาเซลเซียลแล้วทำการเขย่า50ครั้ง หลังจากนั้นทำการปรับสภาพน้ำกรดแล้วอัดประจุด้วยเครื่อง Repower ขนาด 3Ah-200Ah เป็นเวลา10ชั่วโมงค่าของความต้านทานภายในนั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยลดลงถึง93.4473%




รูปที่ 4.5 การคายประจุของNS60ทุกการทดลอง

หลังจากการทดลองด้วยการล้างด้วยน้ำร้อนแล้วทำการปรับสภาพน้ำกรดครั้งที่2และ3แล้วค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นยังคงได้ใกล้เคียงกับค่าหลังจากการทดลองครั้งที่1 การล้างด้วยน้ำร้อนและทำการเขย่านั้นได้สร้างความเสียหายให้กับแผ่นเซลล์ภายในแบตเตอรี่ไม่ควรทำหลายครั้งเพราะจะสร้างความเสียหายมากกว่าการรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของ 38B19L(2)

| | $R_1(\Omega)$ | $R_2(\Omega)$ | เวลาที่ใช้คายประจุ(s) |
|---|---|---|---|
| ก่อนการทดลอง | 4.3778 | 5.5125 | 292 |
| ครั้งที่ 1 | 6.4377 | 5.1074 | 38 |
| ครั้งที่ 2 | - | - | - |
| ครั้งที่ 3 | - | - | - |

การทดลองนี้ได้เอาแบตเตอรี่ 38B19L(2) มาทำการชาร์จด้วยเครื่องอัดประจุแบบธรรมดา ทั่วไปค่าที่ได้จากการทดลองนั้น ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นดีขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่หลังจากนั้น

รูปที่ 4.6 การคายประจุของ 38B19L(2)ทุกการทดลอง

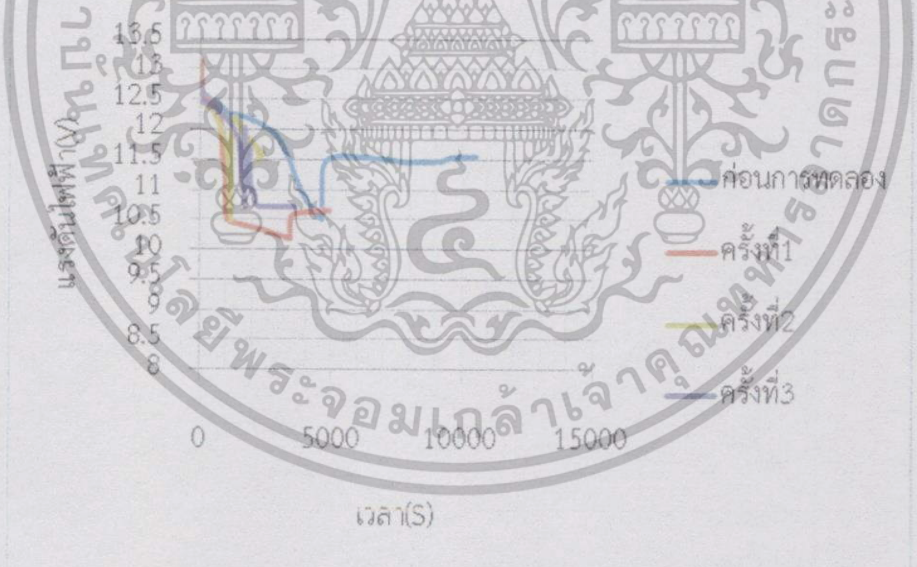
เมื่อทำการทดลองครั้งที่สองและจะนำมาทำการวัดค่าความต้านทานภายใน เมื่อสังเกตดูจากค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แล้วแบตเตอรี่มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติคือเมื่อถอดจากเครื่องชาร์จแรงดันไฟฟ้าจะตกอย่างรวดเร็วซึ่งมาจากการเกิดความเสียหายภายในแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของ38B19L(1)

| | $R_1(\Omega)$ | $R_2(\Omega)$ | เวลาที่ใช้คายประจุ(s) |
|---|---|---|---|
| ก่อนการทดลอง | 4.0694 | 7.7469 | 4,638 |
| ครั้งที่ 1 | 7.3341 | 4.3854 | 1,040 |
| ครั้งที่ 2 | 4.8112 | 4.2232 | 1,184 |
| ครั้งที่ 3 | 4.7551 | 5.4082 | 1,674 |

การทดลองในแบตเตอรี่38B19L(1)นั้นได้ทำการปรับสภาพน้ำกรดแล้วหลังจากนั้นก็ทำการอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุแบบธรรมดาทั่วไปผลที่ได้ออกมานั้นหลังจากผ่านการทดลองครั้งแรกค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่นั้นได้ค่าที่ดีขึ้นจากก่อนการทดลองแต่เมื่อทำการลองครั้งที่2 การ recovery ของแบตเตอรี่นั้นมีค่าที่น่าผิดสังเกต




รูปที่ 4.7 การคายประจุของ 38B19L(1)ทุกการทดลอง

และเมื่อถึงการทดลองครั้งที่3การ recovery ของแบตเตอรี่นั้นผิดปกติ ที่นอกเหนือจากนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นมีค่าที่ลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากความเสียหายที่แผ่นเซลล์ของแบตเตอรี่ ซึ่งอาจจะเกิด การช๊อตภายในหรือเกิดการล้มของแผ่นเซลล์ระหว่างทำการทดลองเมื่อสังเกตที่เวลาของการคายประจุของแบตเตอรี่แล้วระยะเวลาในการคายประจุของแบตเตอรี่นั้นไม่ได้มี

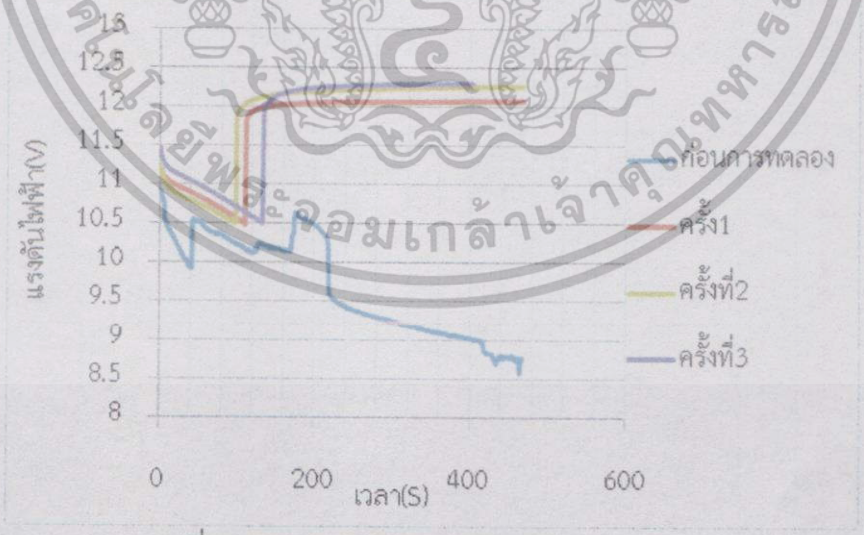
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่ยาวนานเพิ่มขึ้นเลยซึ่งก็เป็นอีกหนึ่งข้อที่จะบอกได้ว่าแบตเตอรี่นั้นเกิดความเสียหายขึ้นภายใน

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของNS40L

| | $R_1(\Omega)$ | $R_2(\Omega)$ | เวลาที่ใช้คายประจุ(s) |
|---|---|---|---|
| ก่อนการทดลอง | 7.6192 | 4.4622 | 9 |
| ครั้งที่ 1 | 5.4264 | 4.8115 | 109 |
| ครั้งที่ 2 | 5.2225 | 4.4458 | 98 |
| ครั้งที่ 3 | 5.2674 | 4.5040 | 133 |

ผลการทดลองของก่อนการทดลองจะเห็นได้ว่าการ recovery ของแบตเตอรี่นั้นไม่เป็นไปตามคาด ซึ่งจากการทดลองในแบบการเติมน้ำร้อนแล้วทำการเขย่าต่อจากนั้นปรับสภาพน้ำกรดและสุดท้ายอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุแบบธรรมดาทั่วไปนั้นไม่สามารถช่วยในการฟื้นฟูได้ดีมากนักถึงแม้การ recoveryและเวลาในการคายประจุดีขึ้นแต่ก็เป็นช่วงเวลาแค่นิดเดียวเมื่อเทียบกับความจุแบตเตอรี่




รูปที่ 4.8 การคายประจุของNS40Lทุกการทดลอง

แต่ในการทดลองครั้งนี้หากสังเกตที่กราฟของผลการทดลองแล้วถือว่าแบตเตอรี่มีระยะเวลาในการคายประจุที่ดีขึ้นกว่าผลของก่อนการทดลองอย่างเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การอ้างอิงหรือการคัดลอกเนื้อหาต้องได้รับอนุญาตจากผู้เขียนก่อนเท่านั้น

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการสลายผลึกซัลเฟตในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ผลจากการทดลองทำให้รู้ถึงผลกระทบหลายๆอย่างที่มีผลต่อสภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เช่น เครื่องที่ใช้ในการอัดประจุ การปรับสภาพน้ำกรด การล้างแบตเตอรี่ด้วยน้ำร้อน

เครื่องที่ใช้ในการอัดประจุแบบธรรมดาทั่วไปนั้นจะอัดประจุด้วยกระแสและแรงดันทีละมากๆ ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพของแผ่นเซลล์ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเสียหายของแผ่นเซลล์ได้และยังไม่ช่วยในการสลายผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่อีกด้วย

การปรับสภาพน้ำกรด ถือเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการจะยืดอายุและสลายผลึกซัลเฟต เนื่องจากการปรับสภาพน้ำกรดของแบตเตอรี่ให้มีความเหมาะสมต่อการเป็นสารละลายอิเล็กทรอไลต์ที่ดีนั้นจะทำให้ให้การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่นั้นดีขึ้นก็จะสามารถชะลอการเกิดผลึกซัลเฟตภายในแบตเตอรี่ได้และยังยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อีกด้วย การเติมน้ำกลั่นให้กับแบตเตอรี่นั้นจะทำให้แบตเตอรี่นั้นมีสภาพน้ำกรดที่เรียกว่ากรดจืด ถือว่าเป็นสารละลายอิเล็กทรอไลต์ที่ไม่ดีอีกทั้งยังเป็นตัวช่วยให้แบตเตอรี่ร้อนและเกิดผลึกซัลเฟตได้มากขึ้นอีกด้วย

การล้างแบตเตอรี่ด้วยน้ำร้อนจะสร้างความเสียหายให้กับแผ่นเซลล์ได้ด้วยอุณหภูมิที่ร้อนและการเขย่าจากภายนอก ถึงแม้ผลจากการทดลองการล้างด้วยน้ำร้อนแล้วทำการเขย่านั้นจะได้ผลดีในครั้งแรกแต่หากทำครั้งที่2และ3แล้วนั้น การล้างด้วยน้ำร้อนแล้วเขย่านั้นจะมีแต่สร้างความเสียหายให้กับแผ่นเซลล์ภายในแบตเตอรี่มากกว่ายิ่งหากว่าแบตเตอรี่นั้นเก่ามากๆแล้วอาจจะทำให้แบตเตอรี่นั้นเก็บประจุไม่ได้เลยหรืออาจจะเสียไปเลยก็เป็นไปได้

แบตเตอรี่ NS40Z มีช่วงมีเวลาการคายประจุเพิ่มขึ้น 22.9% เมื่อเปรียบเทียบก่อนการทดลองกับการทดลองครั้งสุดท้าย แบตเตอรี่ 38B19L(3) มีช่วงเวลาการคายประจุเพิ่มขึ้น 6.6% แบตเตอรี่ NS60 มีช่วงเวลาการคายประจุเพิ่มขึ้น 5.0% แบตเตอรี่ 38B19L(3) มีช่วงเวลาการคายประจุลดลง 87.0% เนื่องจากแบตเตอรี่เกิดความเสียหายภายใน แบตเตอรี่ 38B19L(1) มีช่วงเวลาในการคายประจุลดลง 63.9% เนื่องจากเกิดความเสียหายภายในและแบตเตอรี่ NS40L มีช่วงเวลาการคายประจุเพิ่มขึ้น 1377.8%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาในครั้งนี้ นั้นเพียงแต่นำแบตเตอรี่เก่ามาทำการทดลองเพื่อฟื้นฟูแต่ไม่ได้ทดลองในเชิงของการป้องกันหรือทดลองในเชิงของการยืดอายุของแบตเตอรี่จึงควรมีการทดลองกับแบตเตอรี่ใหม่ที่เหมือนกันเพื่อดูถึงอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของแบตเตอรี่ในแต่ละวิธีการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

เจษฎา สุขสัมฤทธิ์.2555.การศึกษาวิธีวิเคราะห์วงจรสมมูลไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด. กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นพรุจ ฤทธานนท์,กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์,บุญยัง ปลั่งกลาง,วารุณี อริยะวิริยะนันท์.2553.การวิเคราะห์วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับประยุกต์ใช้ในพลังงานทดแทน.ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าภาควิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

Teang.2558.รวบรวมการยืดอายุแบต-การฟื้นฟูแบตเตอรี่Lead-Acid. http://tieng71.blogspot.com/2014/01/blog-post.html

V-powers.2557.ยืดอายุการใช้งาน-และฟื้นฟูแบตเตอรี่-ด้วยกระบวนการสลายซัลเฟต-desulfate. http://www.v-powers.com

Felionaa.2557.เซลล์ทุตติยภูมิ. http://board2.yimwhan.com/show.php?user=felionaa&topic=8&Cate=2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้