สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดแบบไม่ต้องเติมน้ำกลั่น โดยการดัดแปรพื้นผิวของแผ่นธาตุขั้วบวก

ทีปกร นภารัศมี

อภิเดช ชะศรี

วศบ.
ท 533 ก
2550

เลขทะเบียน 83215
วัน,เดือน,ปี - 6 ส.ค. 2551

b 11962320
i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF MAINTENANCE-FREE LEAD-ACID BATTERY PERFORMANCE BY MODIFYING SURFACE AREA OF POSITIVE ELECTRODES

TEEPAKORN NAPHARATSAMEE

APIDETH CHASRI

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์เรื่อง	การเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว- กรด แบบไม่ต้องเติมน้ำกลั่น โดยการดัดแปรพื้นผิวของบนแผ่นธาตุขั้วบวก
นักศึกษา	นายทีปกร นภารัศมี รหัสนักศึกษา 47010288
	นายอภิเดช ชะศรี รหัสนักศึกษา 47010934
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์)

.....กรรมการ
(ดร.วลัยรัตน์ สุขสมัย)

.....กรรมการ
(ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์เรื่อง	การเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว- กรดแบบไม่ต้องเติมน้ำกลั่น โดยการดัดแปรพื้นผิวของบนแผ่นธาตุขั้วบวก
นักศึกษา	นายทีปกร นภารัศมี รหัสนักศึกษา 47010288
	นายอภิเดช ชะศรี รหัสนักศึกษา 47010934
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ. ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ถือเป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานหลายประเภทและใช้งานได้ง่าย อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนี้มีข้อเสียอยู่หลายอย่าง ประการหนึ่งคือ ค่าความจุที่น้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน ในโครงงานนี้เป็นการหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยการดัดแปรพื้นผิวแผ่นธาตุด้วยการเติมสารบางชนิดลงไปในแผ่นธาตุ สำหรับสารที่ใช้ในโครงงานนี้คือ โซเดียมซัลเฟต จากผลการทดลองพบว่า การเติมโซเดียมซัลเฟตเป็นปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของแผ่นธาตุขั้วบวกให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด ทำให้แบตเตอรี่มีค่าความจุเพิ่มขึ้นร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่ไม่มีการเติมโซเดียมซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Development of maintenance-free lead-acid battery Performance by modifying surface area of positive electrodes
Student	Mr. Teepakorn Napharatsamee student ID. 47010288 Mr. Apideth Chasri student ID. 47010934
Degree	Bechelor Engineering
Programme	Chemical Engineering
Year	2007
Report Advisor	Assoc. Prof. Dr. Paisal Nakpipat

Abstract

Lead-acid battery is electrical storage equipment currently used in many purpose because there are many applications of lead-acid battery and they easy to use. However the disadvantage of lead-acid battery due to it is small capacity and limitation of discharge period. This project is study to increase the performance of lead-acid battery by modify the surface of positive electrode. In this case sodium sulfate is used as the additive. The results getting are that positive plates of battery containing 1% w/w sodium sulfate is the most effective in any experiment and the efficiency of battery was increased more than 70 % with respected to battery without sodium sulfate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณสุริยัน อินทร์แสง (Quality Assurance Manager) บริษัท ไทยสโตเรจ แบตเตอรี่ จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้ทำโครงงานขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทีปกร นภารัศมี

อภิเดช ชะศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญรูป.....ฉ
สารบัญตาราง.....ช

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน.....1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง
2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่.....3
2.2 ประเภทของแบตเตอรี่.....5
2.3 ปฏิกิริยาเคมีของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....6
2.4 ความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์.....8
2.5 ระดับศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ที่กระทบต่ออายุการใช้งาน.....9
2.6 ปรากฏการณ์ซัลเฟชัน.....10
2.7 การประยุกต์ใช้งาน.....11
2.8 นิยามและความหมายที่ใช้กับแบตเตอรี่.....11
2.9 คุณสมบัติในภาวะการประจุของแบตเตอรี่.....13
2.10 คุณสมบัติในภาวะการคายประจุ.....13
2.11งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....14
บทที่ 3 การทดลอง
3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา.....18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา....18
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา....18
3.4 วิธีการทดลอง....18
3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมเซลล์แบตเตอรี่....18
3.4.2 การประจุให้กับแบตเตอรี่....19
3.4.3 การทดลองหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่....19
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง
4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลา....22
4.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของแบตเตอรี่กับปริมาณการเติมโซเดียมซัลเฟตในปริมาณต่างๆ....23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง
5.1 ผลสรุปที่ได้จากโครงงาน....25
5.1.1 ผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตที่มีผลต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่....25
5.1.2 ผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตที่ต่อค่าความจุของแบตเตอรี่....25
5.2 ข้อเสนอแนะ....26
เอกสารอ้างอิง....27
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง....29
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ....58
ภาคผนวก ค. ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....59
ภาคผนวก ง. ข้อมูลด้านความปลอดภัย....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้าง Softwood lignin	15
2.2	ลักษณะของ Conductive path	16
3.1	การประจุให้กับแบตเตอรี่	20
3.2	การทดลองหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่	20
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า/เวลา กับปริมาณการเติมโซเดียมซัลเฟตในปริมาณต่างๆ	22
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่กับปริมาณการเติมโซเดียมซัลเฟตในปริมาณต่างๆ	23
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุกับจำนวนครั้งในการใช้งาน	23
ค-1	แผ่นธาตุขั้วบวกของแบตเตอรี่	59
ค-2	แผ่นธาตุขั้วลบของแบตเตอรี่	59
ค-3	แผ่นโครงสร้างของแบตเตอรี่	59
ค-4	แผ่นกั้นชนิด AGM	60
ค-5	กล่องอะคริลิกสำหรับบรรจุเซลล์แบตเตอรี่	60
ค-6	เซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ตารางแสดงปริมาณการเติมสารต่างๆในแบตเตอรี่.....15

ก-1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 1.....29

ก-2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 2.....30

ก-3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 3.....31

ก-4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 4.....31

ก-5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 5.....32

ก-6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 6.....32

ก-7 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 7.....33

ก-8 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 8.....33

ก-9 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 9.....34

ก-10 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 10.....34

ก-11 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 11.....35

ก-12 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 12.....35

ก-13 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 13.....36

ก-14 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 14.....36

ก-15 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 15.....37

ก-16 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 1.....37

ก-17 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 2.....38

ก-18 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 3.....38

ก-19 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 4.....39

ก-21 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 6.....39

ก-22 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 7.....40

ก-23 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 8.....40

ก-24 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 9.....41

ก-25 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 10.....41

ก-26 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 11.....42

ก-27 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 12.....42

ก-28 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 13.....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ก-29 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 14.....43
ก-30 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 15.....44
ก-31 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 1.....44
ก-32 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 2.....45
ก-33 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 3.....45
ก-34 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 4.....46
ก-35 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 5.....46
ก-36 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 6.....47
ก-37 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 7.....47
ก-38 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 8.....48
ก-39 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 9.....48
ก-40 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 10.....49
ก-41 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 11.....49
ก-42 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 12.....50
ก-43 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 13.....50
ก-44 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 14.....51
ก-45 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 15.....51
ก-46 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 1.....52
ก-47 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 2.....52
ก-48 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 3.....52
ก-49 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 4.....53
ก-50 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 5.....53
ก-51 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 6.....53
ก-52 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 7.....54
ก-53 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 8.....54
ก-54 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 9.....54
ก-55 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 10.....55
ก-56 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 11.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ก-57 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 12.....55
ก-58 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 13.....56
ก-59 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 14.....56
ก-60 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 15.....56
ก-61 ค่าความจุและจำนวนครั้งในการใช้งานของแบตเตอรี่โดยมีการเติมโซเดียมซัลเฟตใน ปริมาณต่างๆ..... 57
ก-62 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความจุแบตเตอรี่..... 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่นการใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนและให้แสงสว่างในเวลากลางคืน แบตเตอรี่จึงมีความสำคัญและมีบทบาทกับชีวิตมนุษย์มากขึ้นแต่ไฟฟ้าไม่ได้มีใช้ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยานพาหนะหรือใช้ในชนบทที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไม่ถึง เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บสะสมพลังงานไว้ภายในและสามารถจ่ายพลังงานออกมาใช้งาน รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์กับงานที่หลากหลาย นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกแบตเตอรี่จึงจัดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญอย่างยิ่งในภาวะที่โลกต้องการพลังงาน

การพัฒนาแบตเตอรี่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแหล่งพลังงาน ทำให้ได้แหล่งพลังงานที่มีความจุมากขึ้น ทนทานมากขึ้น และมีความเสถียร การพัฒนาแบตเตอรี่จึงมีความสำคัญต่อโลกปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาหลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งเป็นหลักการที่เกี่ยวข้องการทำงานของแบตเตอรี่

1.2.2 ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพแบตเตอรี่ เช่นความพรุนของแผ่นธาตุ ความหนาของแผ่นธาตุและความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์

1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เมื่อมีการเติมสารโซเดียมซัลเฟตลงไปในแผ่นธาตุ โดยทำการตรวจวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้จากพารามิเตอร์ ค่าความจุ

1.2.4 ค้นคว้าและวิจัยต่อยอดองค์ความรู้เดิมพร้อมทั้งสร้างองค์ความรู้ใหม่ เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัยในอนาคต

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid batteries)

1.3.2 ศึกษาโครงสร้างของแบตเตอรี่จากแบตเตอรี่ที่ใช้แล้ว

1.3.3 วางแผน ออกแบบ และทำการผลิตแบตเตอรี่ขนาด 2 โวลต์

1.3.4 ศึกษาผลของการเติมสารโซเดียมซัลเฟต ในแผ่นธาตุขั้วบวกของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.5 เพื่อออกแบบวงจรทางไฟฟ้าทำการทดลองหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ด้วยการเปรียบเทียบปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่เติมในแต่ละครั้งแล้วสรุปผลการทดลอง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

โครงงานชิ้นนี้จะเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆของแบตเตอรี่ รวมทั้งศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย จากนั้นจะทำการศึกษาโครงสร้างของแบตเตอรี่จากแบตเตอรี่ที่มีการใช้งานแล้ว นำความรู้ที่ได้มาปรับปรุง แก้ไข และออกแบบสร้างแบตเตอรี่เพื่อใช้ในการทดลอง การทดลองจะทำการวัดค่าความจุและค่าอายุการใช้งานของแบตเตอรี่โดยออกแบบวงจรทางไฟฟ้าขึ้นมา นำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อทำการสรุปผลต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 2 โวลต์ ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรอง

1.5.2 ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการพัฒนาประสิทธิภาพของแผ่นธาตุที่เป็นส่วนประกอบในเซลล์แบตเตอรี่

1.5.3 ทราบผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตลงในแผ่นธาตุขั้วบวกสามารถเพิ่มความจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่ได้

1.5.4 เพิ่มทักษะในการทำงานวิจัย การวางแผน และการดำเนินการตามเป้าหมาย ภายในเวลาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่ [1]

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบ และสารละลายที่เป็นของเหลวหรือวุ้นซึ่งเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เซลล์อาจมีช่องเปิดหรือมีช่องให้สารให้สารระเหยได้แผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบจะวางอยู่ขนานกัน ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่งๆ อาจมีแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบหลายๆชุดวางขนานกันเป็นคู่ๆ เพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบ ระยะห่างระหว่างแผ่นธาตุและค่าความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; A.h) การวัดความจุโดยให้เวลาคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในช่วงเวลาดังกล่าว

2.1.1 เซลล์ (Cell)

เซลล์เป็นส่วนประกอบพื้นฐานทางไฟฟ้าเคมีในแบตเตอรี่ ประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรดสองขั้วคือขั้วบวก ขั้วลบ และมีแผ่นกั้นแยกขั้วทั้งสองไม่ให้ชิดกัน จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์และใส่อยู่ในกล่องภาชนะที่ปิดมิดชิด ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดเซลล์ 1 เซลล์จะมีแรงดันไฟฟ้า 2โวลต์ ดังนั้นถ้าต่อเซลล์ 6 เซลล์อนุกรมกัน ก็จะได้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

2.1.2 วัสดุทำปฏิกิริยา (Active material)

เป็นวัตถุดิบที่ใช้ทำขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่ ทำปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ปริมาณของวัสดุทำปฏิกิริยาในแบตเตอรี่ ขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด วัสดุทำปฏิกิริยาในขั้วบวกคือ ตะกั่วออกไซด์(PbO_2) และวัสดุทำปฏิกิริยาที่ขั้วลบคือแผ่นตะกั่วพรุน (Pb) โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เจือจางเป็นตัวนำไฟฟ้าภายในเซลล์

2.1.3 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้า เกิดการไหลของกระแสในขณะที่มีการถ่ายเทไอออนระหว่างแผ่นธาตุที่เป็นขั้วไฟฟ้าทั้งสองในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเป็นกรดซัลฟิวริกเจือจาง อาจอยู่ในรูปของของเหลวหรืออาจดูดกลืนในวัสดุใยแก้ว ในแบตเตอรี่ที่ใช้สารละลายแบบของเหลวทั้งหมด (Flooded types) จะต้องมีการเติมน้ำเป็นช่วงๆ ขณะใช้งานเพื่อเป็นการทดแทนน้ำที่สูญเสียไปในช่วงที่มีการชาร์จเกินและเกิดก๊าซซึ่ง เมื่อเติมน้ำเข้าไปต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำกลั่นหรือน้ำกรองที่กรองแร่ออกแล้ว (De-mineralized water) เท่านั้น ถ้ามีการปนเปื้อนเข้าไปจากน้ำที่เติม จะทำให้แบตเตอรี่หมดอายุเร็วกว่ากำหนด

2.1.4 กริด (Grid)

ในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด จะมีกริดส่วนใหญ่แล้วกริดมักจะทำจากตะกั่วอัลลอยด์เป็นโครงสำหรับพยุงวัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าทั้งสองชนิด นอกจากนี้กริดนี้ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าด้วย สารที่นิยมใช้ทำตะกั่ว ได้แก่ แอนติโมนี (Sb) และแคลเซียม (Ca) และสารเหล่านี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่น มีผลต่อการเกิดแก๊สในขณะประจุไฟและเพิ่มจำนวนรอบในการใช้งาน ลักษณะของกริดขึ้นกับลักษณะของขั้วเซลล์ว่าเป็นแบบแผ่นบาง หรือแบบแท่ง เป็นต้น

2.1.5 แผ่นธาตุ (Plate)

แผ่นธาตุเป็นโครงสร้างพื้นฐานของแบตเตอรี่ ประกอบด้วยโครงสร้างกริดและวัสดุทำปฏิกิริยาบางทีเรียกว่าอิเล็กโทรด แบตเตอรี่ชนิดนี้ในแต่ละเซลล์ประกอบด้วยแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบวางสลับกันแผ่นธาตุแต่ละชนิดต่อเชื่อมด้านบนด้วยสะพานไฟเพื่อให้มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ความหนาของกริดและแผ่นธาตุจะเป็นตัวบ่งชี้ลักษณะการนำไปใช้งานว่าสามารถคายประจุได้มากหรือน้อย ในแบตเตอรี่ที่ใช้กับรถยนต์ (SLI) จะใช้แผ่นธาตุแบบบาง สามารถซ้อนกันได้มากขึ้น ทำให้มีพื้นที่ผิวของการทำปฏิกิริยาสูงสุด ทำให้รับและปล่อยกระแสสูงในเวลาสั้นๆ ได้ แบตเตอรี่ชนิดที่มีการคายประจุมาก จะใช้แผ่นธาตุแบบหนา เป็นแบตเตอรี่ที่มีการคายประจุมากเช่นในรถยกไฟฟ้า รถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ และรถไฟฟ้าอื่นๆ แผ่นธาตุแบบหนาจะยอมให้มีการคายประจุที่กระแสสูงในช่วงเวลานานได้ โดยไม่เกิดความเสียหายต่อแผ่นธาตุ ทำให้อายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่ที่มีแผ่นธาตุแบบบาง

2.1.6 แผ่นกั้น (Separator)

มีลักษณะเป็นฉนวนที่เป็นรูพรุน ทำหน้าที่กั้นระหว่างแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบในแบตเตอรี่ ไม่ให้ขั้วทั้งสองสัมผัสกันและเกิดการลัดวงจรทางไฟฟ้า แต่ยอมให้สารอิเล็กโทรไลต์ทะลุผ่าน เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างขั้วทั้งสอง แผ่นกั้นนี้อาจทำจากยาง พลาสติก หรือใยแก้ว ในบางกรณีแผ่นกั้นจะมีลักษณะเป็นซองหุ้มแผ่นธาตุ เพื่อป้องกันการลัดวงจรด้านล่างของแผ่นธาตุด้วย

2.1.7 Eliments

คือกลุ่มของแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบที่วางสลับกันโดยมีแผ่นกั้นระหว่างขั้วทั้งสอง เป็นส่วนของวัสดุที่ทำแบตเตอรี่ แต่ไม่นับรวมภาชนะบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 ขั้วไฟฟ้า (Terminal posts)

ขั้วไฟฟ้าเป็นส่วนโลหะที่โผล่ด้านนอกของภาชนะบรรจุ มีขั้วบวกและขั้วลบ ในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ขั้วไฟฟ้านี้จะทำจากตะกั่วหรือตะกั่วอัลลอยด์ อาจเป็นสแตนเลส หรือทองแดงชุบสแตนเลส เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและลดการกัดกร่อน

2.1.9 ภาชนะบรรจุ

โดยทั่วไปภาชนะบรรจุจะทำจากพลาสติกแข็งหรือยางอีโมไนท์มักเรียกว่า เปลือกแบตเตอรี่ ในภาชนะจะประกอบด้วย ส่วนประกอบทั้งหมดและสารอิเล็กโทรไลต์มีฝาปิดสนิท ถ้าเป็นภาชนะบรรจุแบบใสจะทำให้สามารถมองเห็นระดับสารละลายภายในและลักษณะของแผ่นธาตุได้

2.2 ประเภทของแบตเตอรี่ [2]

วัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุขั้วลบ (Anode) มีหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แมกนีเซียม และสังกะสีเพราะแสดงคุณสมบัติที่ดีในการสูญเสียอิเล็กตรอน ซึ่งจะกลายเป็นประจุไอออนบวกในสารละลายอิเล็กไลต์ ส่วนวัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุบวก (Cathode) เช่น ตะกั่วไดออกไซด์ นิเกิลปรอท และเงิน เพราะแสดงคุณสมบัติในการรับอิเล็กตรอนได้ดี ระหว่างการจ่ายประจุภาวะออกซิเดชันของแผ่นธาตุบวกจะถูกลดลงและสร้างประจุไอออนลบในสารอิเล็กโทรไลต์ แล้วอิเล็กโทรไลต์สร้างทางเดินไอออนิก เพื่อให้เกิดวงจรทางไฟฟ้าที่สมบูรณ์ แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกเป็นได้ 2 ประเภท คือ

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากสังกะสี-คาร์บอน ปรอท และลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วต้องทิ้งไปไม่สามารถอัดประจุกลับเข้าไปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก (Non reversible reaction)

2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากตะกั่ว-กรด นิกเกิลแคดเมียม และอัลคาไลน์บางชนิดแบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถอัดประจุเข้าไปใหม่ได้เมื่อไฟหมด ทำให้สามารถใช้งานได้นานแบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานกันมาก คือ ชนิดทีทำจากตะกั่ว-กรด และแบบนิเกิลแคดเมี่ยมซึ่งมีราคาแพง แต่อายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และอีกชนิดหนึ่งคือ แบบเงิน-สังกะสี ราคาแพงมากแต่จ่ายไฟได้มากที่สุด (Reversible reaction)

2.2.1 ประเภทของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

- แบตเตอรี่ทั่วไป (Standard battery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งานจะมีการคายประจุขณะไร้ขณะไร้ภาระ (Self discharge) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต้องมีการอัดประจุใหม่ทุกๆ 4-6 สัปดาห์เพื่อชดเชยค่าการคายประจุไร้ภาระ แบตเตอรี่ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานช่วงสั้นๆ

- แบตเตอรี่อายุการใช้งานสูง (Permanent battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บประจุในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้หลายเดือนโดยไม่ต้องการการดูแลรักษา และสามารถประจุแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือน และมีการคายประจุขณะไร้ภาระต่ำ เนื่องจากใช้โลหะผสมตะกั่ว (Lead-alloy) ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้งานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบบมาตรฐาน

2.2.2 แบตเตอรี่แบบปิดผนึกแบบไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (Sealed lead-acid battery)

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับศักย์ไฟฟ้าเกินพิกัด (Over charge) กรดซัลฟิวริกที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจนกับออกซิเจน ทำให้ความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น เราต้องมีการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ ดังนั่นเพื่อเป็นการประหยัดเวลา ในการบำรุงรักษาจึงได้พัฒนาแบตเตอรี่มีความสามารถในการใช้งานได้โดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

- แบตเตอรี่แบบ Partial recombining

แบตเตอรี่แบบนี้ไม่ต้องบำรุงรักษาใดๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงระดับแรงดันเกินพิกัดเพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซออกไปในทันที และวาล์วจะปิดลงอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับกับทุกสภาวะแวดล้อม อีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำและจ่ายกระแสได้สูง แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ-20 ถึง 50 องศาเซลเซียส

- แบตเตอรี่แบบ Fully recombining

แบตเตอรี่ประเภทนี้เหมาะสำหรับใช้งาน Standby ใช้ Alloy plate grids ชนิดพิเศษ และมีการรวมตัวของก๊าซออกซิเจนที่ดี อายุการใช้งานขึ้นกับลักษณะการใช้งานและสภาวะแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำ อัตราการคายประจุสูง

2.3 ปฏิกิริยาเคมีของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [3]

ในสภาวะที่แบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็มแผ่นธาตุขั้วบวกจะเป็นตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุขั้วลบจะเป็นตะกั่ว (Pb) และสารอิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายกรดซัลฟิวริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจือจาง เมื่อต่อภาระทางไฟฟ้าเพื่อใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ กระแสจะไหลจากแบตเตอรี่และวัสดุทำปฏิกิริยาจะเปลี่ยนเป็น ตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$)

2.3.1 ปฏิกิริยาที่เซลล์ตะกั่ว-กรด

สมการต่อไปนี้จะอธิบายปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นที่เซลล์ของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ในช่วงที่คายประจุ ทิศทางของปฏิกิริยาเกิดจากซ้ายไปขวาในช่วงที่ทำการประจุปฏิกิริยาจะเกิดในทิศทางตรงข้ามคือจากซ้ายไปขวา

ปฏิกิริยาที่แผ่นธาตุขั้วบวก

$$PbO_2 + 4H^+ + 2e^- \Leftrightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$$
$$Pb^{2+} + SO_4^{2-} \Leftrightarrow PbSO_4 \qquad (2.1)$$

ปฏิกิริยาที่แผ่นธาตุขั้วลบ

$$Pb \Leftrightarrow Pb^{2+} + 2e^-$$
$$Pb^{2+} + SO_4^{2-} \Leftrightarrow PbSO_4 \qquad (2.2)$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยรวม

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \Leftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O \qquad (2.3)$$

ขณะที่แบตเตอรี่คายประจุ วัสดุทำปฏิกิริยาคือ PbO_2 และ Pb ในแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบจะทำปฏิกิริยารวมตัวกับกรดซัลฟิวริก และรวมตัวเป็น $PbSO_4$ และน้ำ เมื่อมีการประจุเต็มทั้งแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบจะเป็นสารชนิดเดียวกันคือ $PbSO_4$ และกรดซัลฟิวริกเปลี่ยนไปเป็นน้ำ การเจือจางของอิเล็กโทรไลต์นี้ นับว่าเป็นส่วนสำคัญต่อความถ่วงจำเพาะของสารอิเล็กโทรไลต์

2.3.2 การทำงานของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

ภาวะปกติ แบตเตอรี่ภาวะที่ยังไม่ได้ใช้งานเซลล์แบตเตอรี่เพียง 1 เซลล์แผ่นธาตุทางซ้ายเป็นขั้วลบทำด้วยตะกั่วบริสุทธิ์ (Pb) และแผ่นขวามือเป็นขั้วบวกทำด้วยตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) แช่อยู่ในสารละลายของกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

ภาวะปกติไม่ได้ใช้งาน แบตเตอรี่ก็จะเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลาและอุณหภูมิที่เก็บเรียกว่าการดิสชาร์จตัวเอง (Self discharge) ถ้าเก็บไว้ในอุณหภูมิสูงๆ แบตเตอรี่จะหมดอายุเร็วกว่าเก็บไว้อุณหภูมิต่ำๆ ดังนั้นแบตเตอรี่ที่เก็บไว้นานจึงควรบำรุงรักษาอยู่เสมอ

การคายประจุ (Discharge) คือสภาวะที่แบตเตอรี่ต่อกับวงจรภายนอกเช่น หัวเทียนหรือหลอดไฟฟ้า เป็นต้น แบตเตอรี่จะจ่ายไฟฟ้าออกมาตามอัตราการจ่ายของแต่ละตัวมีขนาดไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับการสร้างเช่นขนาด 20A.h หรือ 50A.h ก็หมายความถึงขนาด 20A.h จะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 20 A ต่อ 1 ชั่วโมง แล้วก็ไม่สามารถจ่ายได้อีก คือต้องนำไปอัดไฟใหม่

1. เมื่อขั้วลบเสียอิเล็กตรอนไปแผ่นตะกั่วก็ดึงเอาอะตอมของซัลเฟต ซึ่งมีประจุมารวมกันเพื่อให้ยังคงสภาพเป็นขั้วลบเสมอ สีของแผ่นธาตุจะเข้มขึ้น

2. สารละลายกรดกำมะถันเมื่อสูญเสียซัลเฟตไปก็จะเหลือแต่โมเลกุลของน้ำและไฮโดรเจนบางส่วน สารละลายที่เคยเข้มข้นก็จะเจือจางไปเรื่อยๆ

3. เมื่อขั้วบวกได้รับอิเล็กตรอนทำให้อะตอมของออกซิเจน ถูกผลักออกไปรวมตัวกับไฮโดรเจน เพื่อกลายเป็นน้ำ และตะกั่วจะดึงเอาอะตอมของซัลเฟตมารวมตัวกันเพื่อให้แสดงสภาพขั้วบวก

การทำปฏิกิริยาเคมีเห็นได้ชัดเจนแล้วจากปฏิกิริยาขั้นต้นสรุปโดยง่ายๆ คือ เมื่อแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าออกไปแท่งตะกั่วก็จะเกิดซัลเฟตเกาะ จะเห็นเป็นผงขาวๆและสารละลายของกรดซัลฟิวริกก็จะเจือจางลงไปเรื่อยๆจนเกือบเป็นน้ำ ตอนนี้แหละที่แบตเตอร์รี่เริ่มจะเสื่อมและหมดไฟเมื่อใช้จ่ายกระแสเป็นเวลานานๆเราเรียกการที่แบตเตอร์รี่จ่ายกระแสว่า การดิสก์ชาร์จ (Discharge) หรือการคายประจุ

ภาวะประจุ (Charge) การประจุหรือการชาร์จแบตเตอร์รี่ทำได้โดยอาศัยหลักการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปที่ขั้วบวกและลบแบตเตอร์รี่ให้ถูกขั้ว โดยใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ (Battery Charger) ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงสูงกว่าความต่างศักย์ที่ขั้วทั้งสองของแบตเตอร์รี่และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในหม้อน้ำแบตเตอร์รี่แล้วก็จะเกิดปรากฏการณ์

1. ขั้วลบของเครื่องชาร์จ แบตเตอรี่ จะผลักดันอะตอมของซัลเฟตที่ขั้วลบให้หลุดออกจากแท่งตะกั่วทำให้แท่งตะกั่วบริสุทธิ์ขึ้นและซัลเฟตจะรวมตัวกันไว้อีกครั้งกลายเป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกที่เข้มข้นขึ้น

2. ขั้วลบจะเริ่มเปลี่ยนสีจากเข้มเมื่อใช้งานไปงานๆ กลายเป็นสีเงินขาวของตะกั่วบริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

3. โมเลกุลของน้ำบางส่วนที่ไม่ได้ใช้ร่วมตัวกันกับซัลเฟตจะแตกตัวออกโดยออกซิเจนจะกลับไปรวมตัวกับตะกั่วที่ขั้วบวก กลายเป็นตะกั่วไดออกไซด์และอะตอมของไฮโดรเจนจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบและระเหยเป็นแก๊สออกไป

4. ไฟขั้วบวกจากเครื่องชาร์จแบตเตอร์รี่จะผลักอะตอมของซัลเฟต ให้หลุดออกมารวมตัวกับน้ำและดึงดูดเอาออกซิเจนมารวมตัวกับตะกั่ว

จะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าจากเครื่องชาร์จแบตเตอร์รี่จะทำให้แบตเตอร์รี่ได้กลับสู่ภาวะสมบูรณ์ได้อีกครั้ง คือทำให้แผ่นธาตุขั้วบวกเป็นตะกั่วไดออกไซด์ และตะกั่วบริสุทธิ์ใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะเดียวกันจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้น้ำกลายเป็นสารละลายของกรดซัลฟิวริกที่เข้มขึ้นด้วย ทำให้ได้แบตเตอรี่ลูกเดิม แต่มีประสิทธิภาพเหมือนกับแบตเตอรี่ใหม่ การประจุไฟหรือการชาร์จไฟใหม่นี้ทำได้ใช้เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ โดยต่อสายให้ถูกขั้วแบตเตอรี่

2.4 ความถ่วงจำเพาะของอิเล็กโทรไลต์ (Specific gravity of electrolyte) [4]

นิยามของ ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารละลายต่อความหนาแน่นของน้ำทำการวัดโดยเครื่องไฮโดรมิเตอร์ โดยนิยามแล้วน้ำบริสุทธิ์จะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 ในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนผสมระหว่างกรดซัลฟิวริกกับน้ำ ในสภาวะที่ประจุเต็ม สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีปริมาณกรดซัลฟิวริกประมาณร้อยละ36 โดยน้ำหนักหรือร้อยละ25โดยปริมาตรความถ่วงจำเพาะของสารละลายในแบตเตอรี่นี้ มีความสัมพันธ์กับภาวะของการประจุ และขึ้นกับความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ออกแบบใช้งาน และอุณหภูมิในภาวะประจุเต็มสำหรับแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่น ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.250 ถึง 1.280 ที่อุณหภูมิ 27°C หมายความว่า ความหนาแน่นของสารอิเล็กโทรไลต์มีค่า 1.250 และ 1.280 เท่าของน้ำบริสุทธิ์ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุก๊าซไฮโดรเจน และไอออนซัลเฟต ที่เกิดจากกรดซัลฟิวริกจะทำปฏิกิริยากับวัสดุทำปฏิกิริยาที่แผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบ เพื่อเป็นตะกั่วซัลเฟต ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายลดลง ถ้าแบตเตอรี่คายประจุมาก สารอิเล็กโทรไลต์จะเจือจางจนไม่มีไอออนจากสารละลายที่จุดนี้แบตเตอรี่จะคายประจุจนหมด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ก็จะเป็นน้ำธรรมดาและมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้นมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมากคือน้อยกว่า –50°C ขณะที่น้ำมีจุดเยือกแข็งสูงกว่า คือ 0°C ดังนั้นจุดเยือกแข็งของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงมีค่าสูงหรือต่ำ ขึ้นกับความถ่วงจำเพาะขณะนั้น

2.5 ระดับศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ที่กระทบต่ออายุการใช้งาน [5]

การปรับระดับศักย์ไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ถ้าหากการปรับระดับศักย์ไฟฟ้าในการประจุไม่ถูกต้อง ในขณะที่มีการประจุปกติจำนวนทุกๆวัน แบตเตอรี่จะได้รับความต่างศักย์ในการประจุโดยตรงจากเครื่องชาร์จตลอดเวลา จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการเสียหายซึ่งเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะดังนี้

- **อันเดอร์ชาร์จ (Under charge)**

ในการใช้ศักย์ไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่ในระดับ Float charge ต่ำกว่า 2.15 โวลต์/เซลล์ ถ้าหากใช้ศักย์ไฟฟ้าในการประจุระดับนี้ไปนานๆ จะทำให้เกิดซัลเฟอร์เกาะจับที่แผ่นธาตุขั้วบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแผ่นธาตุขั้วลบ หากทิ้งไว้นานปริมาณซัลเฟอร์นี้จะเพิ่มมากขึ้น จนเป็นเหตุให้การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแผ่นธาตุขั้วบวกและแผ่นธาตุขั้วลบกับสารอิเล็กโทรไลต์เป็นไปด้วยความยากลำบาก ซึ่งส่งผลทำให้ความจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่ลดลงตามลำดับ ถ้าหากทิ้งไว้นานวันจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นหากตรวจพบว่าแบตเตอรี่เกิด Under charge ขึ้นต้องรีบแก้ไข การเกิด under charge สังเกตได้ดังนี้

- มีฟองอากาศผุดภายในเซลล์น้อยที่สุดหรือน้อยกว่าปกติ
- สีของแผ่นธาตุมีสีขาวมาเกาะจับ
- ค่าความถ่วงจำเพาะของสารอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ต่ำกว่า 1.18
- วัดค่าความต่างศักย์ในเซลล์ต่ำกว่า 2.15 โวลต์
- ความร้อนในเซลล์แบตเตอรี่ต่ำกว่าปกติ

- **โอเวอร์ชาร์จ (Over charge)**

เป็นการใช้ศักย์ไฟฟ้าในการประจุในระดับ Float charge สูงกว่า 2.25โวลต์/เซลล์ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าปกติ เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรแบตเตอรี่สูง ทำให้การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารอิเล็กโทรไลต์กับแผ่นธาตุเป็นไปอย่างรุนแรง และรวดเร็วกว่าปกติซึ่งทำให้แผ่นธาตุทั้งสองสึกกร่อนอย่างรวดเร็ว

2.6 ปรากฏการณ์ซัลเฟชัน (Sulfation) [6]

ปัญหาที่มักพบในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดบ่อยๆ คือปรากฏการณ์ซัลเฟชัน มีผลทำให้ความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ลดลงอย่างถาวร ดังนั้นขณะใช้งานต้องระวังไม่ให้เกิดปรากฏการณ์นี้ภายใต้เงื่อนไขสภาวะการใช้งานปกติ ในขณะคายประจุชั้นของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุจะมีเนื้อละเอียด ดังนั้นจะมีช่องว่างจำนวนมากรอบๆ ชิ้นตะกั่วซัลเฟต ที่สารละลายจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับวัสดุทำปฏิกิริยาทั้งตะกั่วไดออกไซด์และตะกั่ว เมื่อตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นรวมตัวกันและเป็นผลึกใหญ่ขึ้นเรียก ปรากฏการณ์ซัลเฟชัน จะทำให้เกิดปัญหากับแบตเตอรี่เนื่องจากผลึกขนาดใหญ่ไม่สามารถคืนรูปเป็นตะกั่วและตะกั่วไดรออกไซด์ในช่วงประจุได้ปรากฏการณ์ซัลเฟชันจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ดังนี้

- ปล่อยให้เซลล์คายประจุนานโดยไม่มีการประจุกลับ
- มีการประจุเพียงบางส่วนแล้วนำมาใช้งาน เป็นระยะเวลานาน
- ใช้งานแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องในสภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 45 °C
- ปล่อยให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่มีความเข้มข้นสูงหรือเมื่อสารละลายมีระดับต่ำกว่าระดับล่างแล้วไม่เติมน้ำกลั่นเป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดภาวะตามเงื่อนไขดังกล่าวมาแล้วพร้อมกันมากกว่า 2 ภาวะขึ้นไปปรากฏการณ์ซัลเฟชันจะเกิดเร็วมากขึ้นเหตุการณ์ที่บ่งชี้ว่าเกิดปรากฏการณ์ซัลเฟชันแล้ว คือ เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่แรงดันจะสูงผิดปกติ เหมือนกับแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม ในขณะที่วัดค่าความถ่วงจำเพาะแล้ววัดได้เทียบกับภาวะการประจุยังไม่เต็ม เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้วิธีการใช้แบตเตอรี่ทำได้โดยการประจุด้วยกระแสต่ำๆและแบตเตอรี่จะมีความจุสูงสุดลดลงอย่างถาวร วิธีการป้องกันปรากฏการณ์ซัลเฟชันดีที่สุด คือ การประจุแบตเตอรี่ให้เต็มเพื่อให้ตะกั่วซัลเฟตเปลี่ยนรูปหมด ในการใช้งานแบบคายประจุมาก (Deep cycle) ดังนั้นจะต้องประจุแบตเตอรี่ให้เต็มทันทีเมื่อใช้แบตเตอรี่ถึงจุดความจุต่ำสุด

2.7 การประยุกต์ใช้งาน

การประยุกต์ใช้งานแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (Sealed lead-acid battery) แบ่งกว้างๆได้ 2 แบบคือ

2.7.1 การใช้งานแบบเป็นรอบ (Cycle operation)

การใช้งานเป็นรอบๆ ต้องการเวลาในการประจุสั้น และต้องป้องกันการประจุและการคายประจุเกิน สิ่งสำคัญในการประจุด้วยเทคนิคความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่คือ การรักษาเอาท์พุทไว้ที่ระดับความต่างศักย์สุดท้ายของการประจุและจำกัดกระแสให้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบสูงสุดไว้ ถ้าแบตเตอรี่ถูกประจุในช่วงอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมกว้างๆ จะต้องมีการชดเชยทางอุณหภูมิด้วย มิฉะนั้นการประจุไปสูงไปหรือต่ำไปในอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป จะทำให้ได้ประจุไม่ตรงตามต้องการ และระยะเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ในแต่ละรอบสั้นลง

2.7.2 การใช้งานแบบชั่วครั้งชั่วคราว (Standby or backup charging)

ใช้ในงานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ปกติจะเก็บในสภาวะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจ่ายพลังงานไปให้โหลด เมื่อแหล่งจ่ายไฟหลักผิดปกติ

2.8 นิยามและความหมายที่ใช้กับแบตเตอรี่

2.8.1 แอมแปร์ชั่วโมง (A.h)

เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนใกล้จะคายประจุหมด ความจุแอมแปร์ชั่วโมง ได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80A.h หมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมงหรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ความจุ (Capacity)

ในทางปฏิบัติการวัดความจุของแบตเตอรี่ ขึ้นกับขนาดของกระแสที่คายประจุ หรือความเร็วในการใช้งานแบตเตอรี่ ถ้ากระแสที่คายประจุเพิ่มขึ้น ความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้จริงจะลดลง ในการกำหนดคุณลักษณะการลดลงของความจุแบตเตอรี่แบบนี้ จะมีการเขียนกำกับความจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตราส่วนของความจุต่อเวลา เช่น แบตเตอรี่ขนาดความจุ 30A.h ที่C/10 หรือ C10 หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมง (C/10 หรือ C10หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุ ในที่นี้คือ 30/10 = 3 แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลงสาเหตุที่เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสต่ำ มีความจุมากกว่ากระแสสูงเนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับแผ่นธาตุลึกกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย แต่การซึมของสารละลายเข้าไปในแผ่นธาตุยิ่งลึกอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะลดลงดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งานแบตเตอรี่บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (KW.h) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์ชั่วโมง และความต่างศักย์ไฟฟ้าปกติของแบตเตอรี่ หารด้วย 1000 เช่น แบตเตอรี่12 โวลต์100A.h มีความจุเท่ากับ 12x100/1000 = 1.2KW.h เป็นต้น

2.8.3 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าใช้งานต่ำสุด (Cut off Voltage)

เป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้งานต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวร ไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้ โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆ กัน ผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดค่าความต่างศักย์ต่ำสุดหรือค่าความต่างศักย์ของการคายประจุคู่กับอัตราการคายประจุ ถ้าใช้ค่าความต่างศักย์ต่ำสุดดังกล่าวกับอัตราการคายประจุที่แตกต่างไป ความจุแบตเตอรี่จะสูงกว่า สำหรับอัตราการคายประจุที่ต่ำกว่า

2.8.4 รอบการใช้งาน (Cycle)

เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม นำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อย (Shallow cycle) และงานที่มีการคายประจุมาก (Deep cycle) การจะใช้งานแบตเตอรี่แบบไหนนั้นขึ้นกับลักษณะของเซลล์ และส่วนใหญ่ไม่ใช้คายประจุจนหมด ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 % ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

2.8.5 การคายประจุ (Discharge)

คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมา กำหนดในรูปของกระแสการคายประจุหรืออัตราการคายประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์และกรดซัลฟิวริก เปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟตและน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6 การประจุ (Charge)

คือกระบวนการที่แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้า กำหนดในรูปของกระแสประจุ หรืออัตราการประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่วซัลเฟตและน้ำเปลี่ยนเป็นตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟิวริก

2.8.7 อัตราการประจุ/คายประจุ (Rate of Charge/Discharge)

คืออัตราส่วนของความจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง เช่น แบตเตอรี่ขนาดความจุ 30Ah ที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมง (C/10 หรือ C10 หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุ ในที่นี้คือ 30/10 = 3 แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลง

2.8.8 ขั้วลบ (Negative pole)

เป็นจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

2.8.9 ขั้วบวก (Positive pole)

เป็นจุดที่มีความต่างศักย์สูง ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

2.8.10 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะวงจรเปิด (Open Circuit Voltage)

คือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แบตเตอรี่อยู่ในภาวะสมดุล ไม่มีการประจุหรือไม่มีการคายประจุแรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ

2.9 คุณสมบัติในภาวะการประจุของแบตเตอรี่

2.9.1 Bulk or Normal Charge

เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุโดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆกันที่ทำให้ความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดันก๊าซซิ่ง การประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณร้อยละ 80 ถึงร้อยละ90 ของความจุทั้งหมด

2.9.2 Float or Finishing Charge

เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้นเกือบหมดแล้ว หลังจากนั้นต้องมีการควบคุมอาจจะเป็นกระแสหรือความต่างศักย์ที่จะทำการประจุต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ การประจุแบบนี้มักทำที่อัตราการประจุต่ำถึงกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 Equalizing Charge

บางครั้งเรียก Refreshing charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้เซลล์ที่มีภาวะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าซในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็ม การประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing Charge 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง

2.10 คุณสมบัติในภาวะการคายประจุ

2.10.1 เปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งาน (Depth of Discharge, DOD)

คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไป หรือคายประจุออกไป เปรียบเทียบกับความจุทั้งหมด แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. Allowable DOD หรือ Maximum DOD

เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีก โดยทั่วไปจะกำหนดโดยค่าความต่างศักย์ Cut off Voltage

2. Average Daily DOD

เป็นปริมาณพลังงานที่ยอมให้มีการจ่ายออกจากแบตเตอรี่ได้ภายใน 1 วัน โดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยรายวันของภาระทางไฟฟ้าปริมาณนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจำนวนวันที่ต้องการเก็บพลังงานไว้ใช้งานถ้าไม่มีการประจุกลับจากแหล่งพลังงานเลย

2.10.2 ภาวะของการคายประจุ (Stage of Charge ,SOC)

เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC ร้อยละ 100 หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC ร้อยละ 50 หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ร้อยละ 50

2.10.3 การคายประจุด้วยตัวเอง (Self Discharge Rate)

เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยไว้โดยไม่มีการต่อไปใช้งาน จะมีการคายประจุในตัวเอง อัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือน การคายประจุด้วยตัวเองนี้ขึ้นกับความยากง่ายในการเกิดก๊าซที่แผ่นธาตุเมื่อมีภาระประจุเกิน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 ผลของอัตราการคายประจุ (Effects of Discharge Rates)

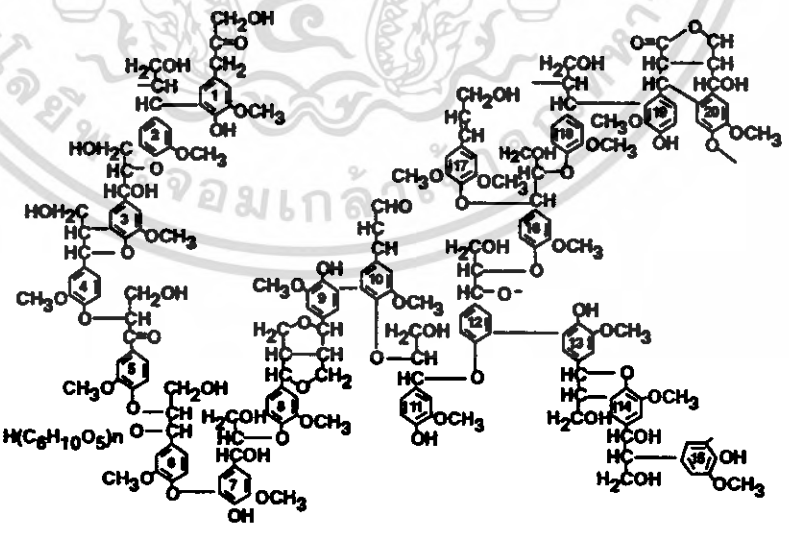
ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลง เมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุสูงขึ้น อัตราการคายประจุสูงนี้ มีผลต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการคายประจุต่ำกว่า บางครั้งอาจส่งผลถึงการเลือกจุดความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดที่จะตัดภาระทางไฟฟ้าออก ในแรงดันแบตเตอรี่ค่าเดียวกัน

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

D.P.Boden [7] ได้ศึกษาผลของสารเติมแต่ง (Additive material) ลงไปในแผ่นธาตุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด โดยสารที่นำมาเติมได้แก่ สารแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) สารประกอบลิกนิน และสารคาร์บอนแบล็ค (Carbon Black) สารแต่ละตัวจะมีคุณสมบัติที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แตกต่างกันดังนี้

1. แบเรียมซัลเฟต จะทำหน้าที่เป็นตัวจับตะกอนของตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) ที่เกิดขึ้นที่แผ่นธาตุในแบตเตอรี่ขณะที่มีการคายประจุเพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วซัลเฟตมาเกาะบนแผ่นธาตุ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่เกิดได้น้อยลง แบเรียมซัลเฟตที่นำมาเติมส่วนมากจะอยู่ในรูปของสาร 2 ชนิด คือ Blanc fixe และ Barites

2. ลิกโนซัลโฟเนต (Lignosulfonate) สารประเภทนี้จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) คือ SO_3^- และ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) คือ R^+ ส่วนของ R^+ จะไปดูดซับอนุภาคของตะกั่วซัลเฟต และ SO_3^- จะหันไปทางสารละลายอิเล็กทรอไลต์ ทำให้เกิดแรงผลักกันของอนุภาคตะกั่วซัลเฟต ทำให้อนุภาคไม่สามารถมารวมกลายเป็นผลึกขนาดใหญ่ได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง Softwood lignin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) มีคุณสมบัติในการเพิ่มการนำไฟฟ้าระหว่างแผ่นธาตุกับสารละลายอิเล็กทรอไลต์ ทำให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพดีขึ้น

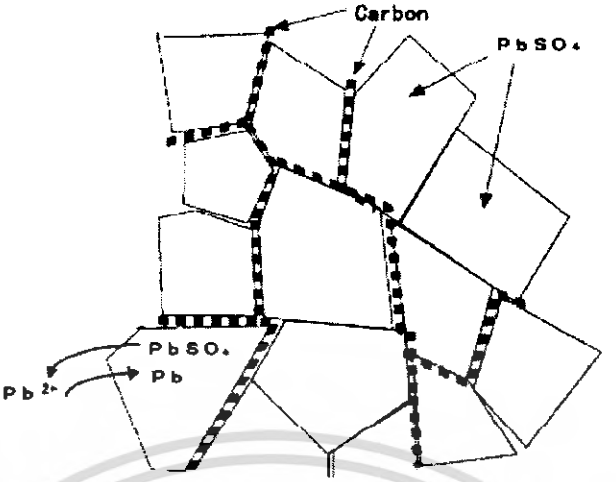
การเติมสารทั้ง 3 ชนิดจะเติมในจำนวนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและการใช้งานของแบตเตอรี่ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงปริมาณการเติมสารต่างๆในแบตเตอรี่

Additive material	Automotive	Motive power	Standby
Barium sulfate (%)	40-60	70-90	90-95
Lignosulfonate (%)	25-40	3-10	0
Carbon (%)	10-20	5-15	5-10

Masaoki Shiomi และคณะ [8] ได้ศึกษาผลของการเติมคาร์บอนที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยศึกษาจากตัวแปรคือ จำนวนผลึกและขนาดของผลึกตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นในขณะเกิดการคายประจุและการนำไฟฟ้าในแผ่นธาตุของแบตเตอรี่ โดยได้มีการนำแบตเตอรี่ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนมาทำการทดสอบ อายุการใช้งาน (Cycle life) จากนั้นนำมาตรวจสอบการสะสมของผลึกด้วยเครื่อง XRD และตรวจสอบขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง SEM จากการทดลองพบว่าการเติมคาร์บอนลงไปในแผ่นธาตุไม่มีผลต่อการเกิดและขนาดของผลึกตะกั่วซัลเฟต และได้ทำการทดลองผสมคาร์บอนลงในแผ่นธาตุด้วยปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือร้อยละ0ร้อยละ A และ ร้อยละ3A และเมื่อทำการประจุจะพบว่าแผ่นธาตุที่ไม่มีส่วนประกอบของคาร์บอนจะสลายผลึกของตะกั่วซัลเฟตได้ช้ากว่าแผ่นธาตุที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า คาร์บอนจะเข้าแทรกระหว่างอนุภาคของผลึกกลายเป็นทางนำไฟฟ้า (Conductive path) ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของกระแสไฟฟ้าทั้งในขั้นตอนการประจุและการคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลักษณะของ Conductive path

Jann-Shing Chen [9] ได้ทำการศึกษาผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตลงในแผ่นธาตุขั้วบวก และพบว่าการเติมโซเดียมซัลเฟตมีผลทำให้เกิดผลึกของตะกั่วซัลเฟตบนแผ่นธาตุลดน้อยลง ผลของการเติมไม่ทำให้ส่วนประกอบทางเคมีของแผ่นธาตุเปลี่ยนแปลง โดยการเตรียมแผ่นธาตุขั้วบวกที่มีการเติมโซเดียมซัลเฟตแตกต่างกัน 6 ค่า คือ 0 0.01 0.05 0.5 1 2 M ตามลำดับ จากนั้นนำไปประกอบเซลล์แบตเตอรี่จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพโดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือค่าความจุครั้งแรกของแบตเตอรี่และความความจุเฉลี่ยของแบตเตอรี่ จากผลการทดลองจะได้ว่าปริมาณที่เหมาะสมในการเติมโซเดียมซัลเฟตอยู่ในช่วงระหว่าง 0.01-0.05 M และจะทำให้แบตเตอรี่มีค่าความจุเพิ่มขึ้นร้อยละ 4

Mohammad Ali Karimi และคณะ [10] ศึกษาผลของการเติมสารโซเดียมซัลเฟตลงในแผ่นธาตุขั้วลบ โดยทำการเตรียมเซลล์แบตเตอรี่ที่ประกอบด้วยแผ่นธาตุขั้วบวก 6 แผ่น แผ่นธาตุขั้วลบ 3 แผ่น และมีการเติมสารโซเดียมลงในแผ่นธาตุขั้วลบในปริมาณที่แตกต่างกันคือร้อยละ0 0.1 0.5 1 2 และ 3 โดยน้ำหนักของตะกั่วออกไซด์แล้วนำแบตเตอรี่มาทดสอบโดยมีตัวพารามิเตอร์ที่สนใจ คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ จำนวนครั้งในการใช้งาน และค่าCCA (Cold crankimng ability) จากการทดลองพบว่าแบตเตอรี่ที่มีส่วนประกอบของโซเดียมซัลเฟตร้อยละ0.1โดยน้ำหนักจะให้ผลที่ดีที่สุด โดยให้ค่าความจุเพิ่มขึ้นร้อยละ12 ให้ค่า CCA เพิ่มขึ้นร้อยละ 17 และเพิ่มอายุการใช้งานหรือจำนวนครั้งในการอัดและการคายประจุของแบตเตอรี่ร้อยละ 18

83215
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

1. ผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตลงในแผ่นธาตุขั้วบวกที่มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำสุด
2. ผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตลงในแผ่นธาตุขั้วบวกที่มีผลต่อความจุ

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

1. สารตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2)
2. สารตะกั่วบริสุทธิ์ (Pb)
3. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
4. สารโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)
5. น้ำมันหล่อลื่น
6. น้ำกลั่น

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. มัลติมิเตอร์ (Multimeter) จำนวน 1 เครื่อง
2. ภาชนะบรรจุทำด้วยกล่องอะคริลิกใส จำนวน 4 กล่อง ขนาด 4.0 x 8.0 x 2.2 เซนติเมตร
3. หม้อแปลงไฟ (Adapter) จำนวน 2 เครื่อง
4. หลอดไฟขนาด 2.6 โวลต์ จำนวน 3 หลอด
5. สายไฟ
6. นาฬิกาจับเวลา
7. แผ่นกั้น (Separator) ชนิด Absorptive glass mat (AGM)
8. แผ่นโครงสร้างกริด ขนาด 3.8 x 6.5เซนติเมตร x 1.5 มิลลิเมตร
9. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการเตรียมเซลล์แบตเตอรี่

3.4.1.1 การเตรียมแผ่นโครงสร้างกริด

1.นำแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) ที่ใช้แล้วมาแกะเพื่อเอาเซลล์แบตเตอรี่เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำเซลล์แบตเตอรี่ที่ได้จากข้อ1. มาแยกออกจากกันเพื่อแยกแผ่นธาตุขั้วลบและแผ่นธาตุขั้วบวกออกจากกันจากนั้นนำแผ่นธาตุมาทุบเพื่อให้ตะกั่วและตะกั่วออกไซด์หลุดจากแผ่นโครงสร้างกริด

3. นำแผ่นโครงสร้างกริดที่ผ่านขั้นตอนในข้อ 2 มาขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ได้แผ่นโครงสร้างกริดที่เรียบ จากนั้นนำแผ่นโครงสร้างกริดมาล้างให้สะอาดและเช็ดให้แห้ง

3.4.1.2 การเตรียมแผ่นธาตุขั้วบวก

1. ชั่งสารตะกั่วออกไซด์ปริมาณ 30 กรัม มาใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำมันหล่อลื่นปริมาณ 6 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ผสมให้เข้ากันจนตะกั่วออกไซด์มีลักษณะคล้ายดินเหนียว

2. นำสารที่เตรียมได้จากข้อ 1 มาทาลงบนแผ่นโครงสร้างที่เตรียมไว้ จากนั้นนำแผ่นธาตุไปอบที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. ทำการเตรียมแผ่นธาตุขั้วบวกโดยแต่ละแผ่นมีส่วนผสมของโซเดียมซัลเฟตเป็นปริมาณร้อยละ 0 1 2 และ 3 โดยน้ำหนักแผ่นธาตุขั้วบวกตามลำดับ และเตรียมตามข้อ 1และ 2

3.4.1.3 การเตรียมแผ่นธาตุขั้วลบ

1. ทำการเตรียมเหมือนแผ่นธาตุขั้วบวกแต่ใช้สารตะกั่วแทนตะกั่วออกไซด์และไม่ต้องทำการเติมสารโซเดียมซัลเฟต

3.4.1.4 การเตรียมแผ่นกั้นชนิด AGM

1. ตัดแผ่นกั้นให้มีขนาดเท่ากับแผ่นธาตุ

2. นำแผ่นกั้นมาจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟิวริก โดยจุ่มให้จมทั่วทั้งแผ่นเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำแผ่นกั้นมาตากให้แห้งพอเหมาะ

3.4.1.5 การประกอบเซลล์แบตเตอรี่

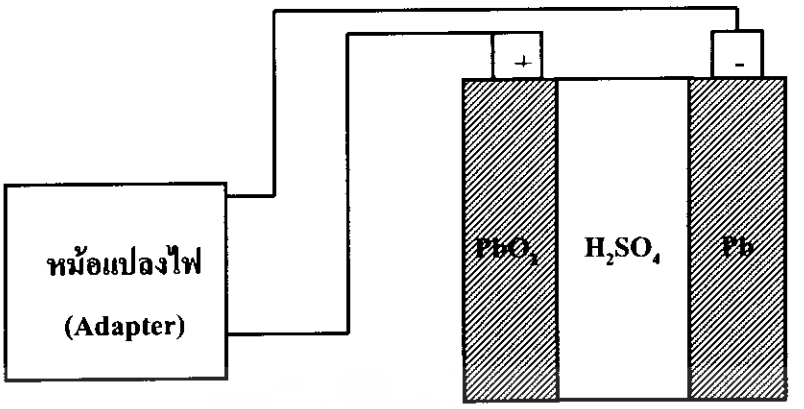
1. นำส่วนประกอบที่ได้จากขั้นตอน 3.4.1.2 3.4.1.3 และ 3.4.1.4 นำมาประกอบเป็นเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งในเซลล์แบตเตอรี่ 1 เซลล์ประกอบด้วยแผ่นธาตุขั้วลบจำนวน 3 แผ่นและมีแผ่นธาตุขั้วบวกจำนวน 2 แผ่น

3.4.2 การประจุให้กับแบตเตอรี่

1. เมื่อทำการประกอบแบตเตอรี่เสร็จ จะต้องมีการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่เพื่อให้แบตเตอรี่มีค่าศักย์ไฟฟ้าประมาณ 2 โวลต์

2. ในการประจุให้กับแบตเตอรี่ทำได้โดยต่อวงจรดังรูปที่ 3.1

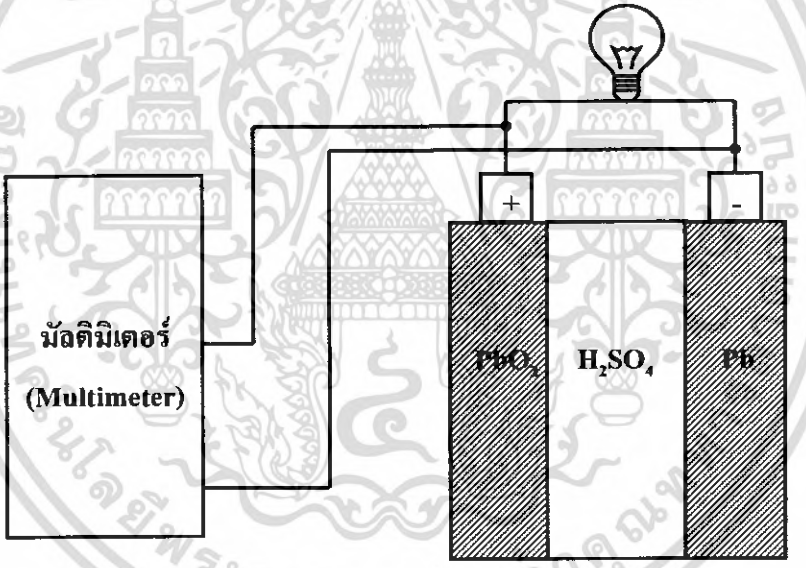
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การประจุให้กับแบตเตอรี่

3.4.3 การทดลองหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่

1. นำแบตเตอรี่มาต่อเข้ากับหลอดไฟและมัลติมิเตอร์ ให้มีลักษณะดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การทดลองหาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่

2. ปล่อยให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้า โดยให้ความต่างศักย์ของแบตเตอรี่เริ่มต้น ที่ 2.11 โวลต์

3. ทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกๆ 1 นาที ทำการจับเวลาจนแบตเตอรี่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 1.85 โวลต์ จึงหยุดจับเวลา

4. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลา แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาความจุของแบตเตอรี่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

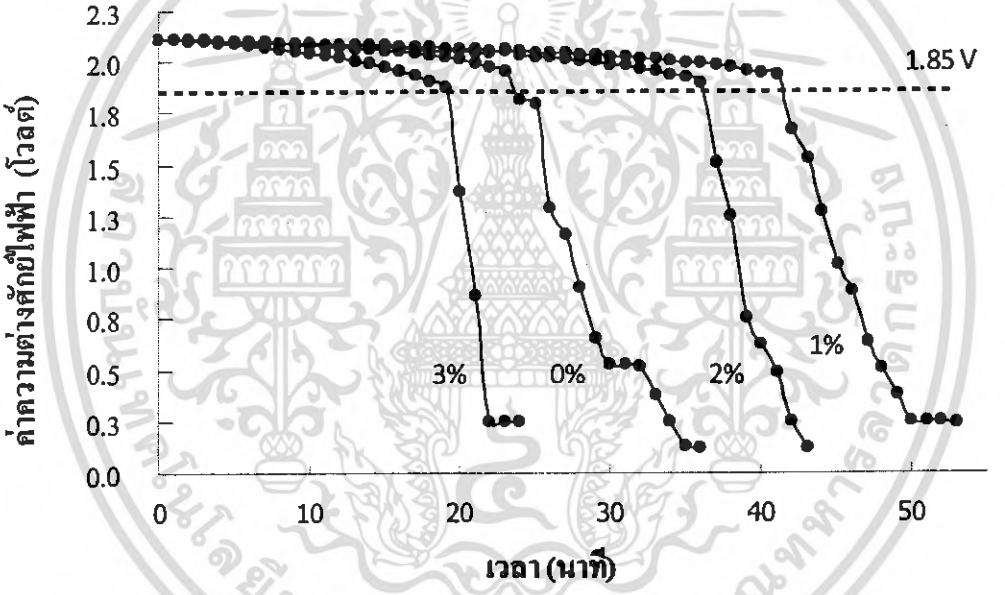
5. ทำการทดลองตามข้อ 1-4 ตามลำดับกับแบตเตอรี่ที่มีส่วนผสมของโซเดียมซัลเฟตแตกต่างกันโดยน้ำหนัก เป็นจำนวน 4 ลูก และทำการทดลองประจุและคายประจุให้กับแบตเตอรี่แต่ละชนิดเป็นจำนวน 15 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการทดลองโดยการเติมโซเดียมซัลเฟตด้วยปริมาณต่างๆ

การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาโดยการเติมโซเดียมซัลเฟตในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ทั้ง 4 ชนิดจะมีค่าความต่างศักย์ที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงการใช้งานตอนแรกแต่เมื่อมีการใช้งานไปได้ระยะหนึ่งแบตเตอรี่จะมีค่าความต่างศักย์ลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ค่าความต่างศักย์นี้ก็คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำสุด (Cut off voltage) นั้นก็คือค่าต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดที่แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากที่ผลึกตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นระหว่างการคายประจุของแบตเตอรี่เข้ามาเกาะบนแผ่นธาตุเป็นลักษณะแผ่นบางเคลือบแผ่นธาตุไว้ทำให้ขั้วลบไม่สามารถจ่ายอิเล็คตรอนให้กับขั้วบวก ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาภายในของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

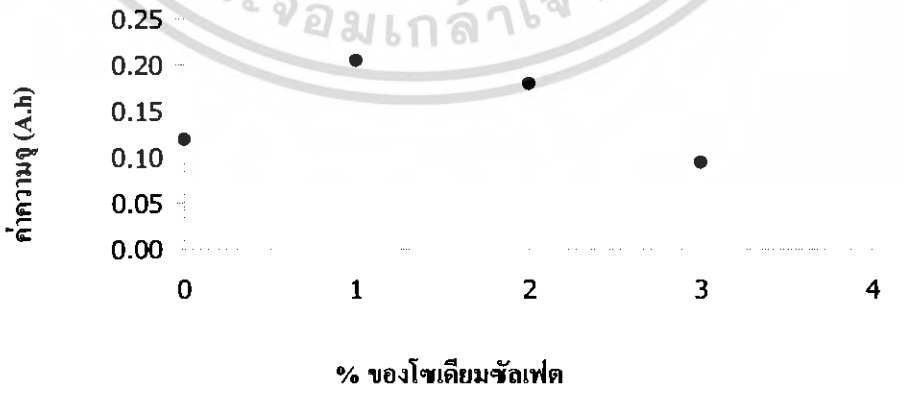
ตามสมการที่ 2.1, 2.2 และ2.3 เกิดขึ้นไม่ได้ เมื่อไม่มีการเกิดปฏิกิริยาทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้

จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตลงไปในในแผ่นธาตุขั้วบวกของแบตเตอรี่เป็นปริมาณร้อยละ1และ2 โดยน้ำหนักของแผ่นธาตุขั้วบวก เวลาที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสถึงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากโซเดียมซัลเฟตได้เข้าไปจัดการกับผลึกของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้น โดยช่วยลดการเกิดผลึกของตะกั่วซัลเฟต และมีส่วนป้องกันไม่ให้ผลึกของตะกั่วซัลเฟตเกาะกันจนมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้โซเดียมซัลเฟตยังมีส่วนในการทำให้แผ่นธาตุขั้วบวกของแบตเตอรี่มีรูพรุนที่เพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นส่งผลให้แบตเตอรี่มีเวลาในการจ่ายกระแสที่นานขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเติมสารโซเดียมซัลเฟตด้วยปริมาณร้อยละ 3โดยน้ำหนักของแผ่นธาตุขั้วบวก แบตเตอรี่มีแนวโน้มการจ่ายกระแสที่สั้นลง เนื่องจากการเติมโซเดียมซัลเฟตนั้นมีผลต่อความพรุนของแผ่นธาตุ เมื่อใส่ในปริมาณมากเกินไปโซเดียมซัลเฟตจะทำให้แผ่นธาตุแน่นขึ้นมีความพรุนน้อยลงส่งผลต่อการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีปริมาณที่น้อยลงเพราะพื้นที่การเกิดปฏิกิริยาน้อยลง

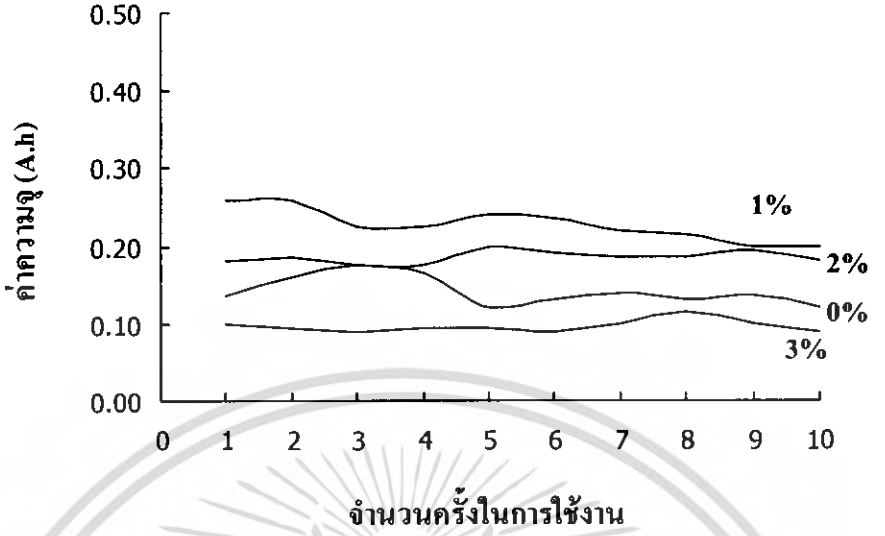
4.2 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่กับการเติมโซเดียมซัลเฟตในปริมาณต่างๆ

จากการทดลองพบว่า เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตในแผ่นธาตุขั้วบวกของแบตเตอรี่ค่าความจุของแบตเตอรี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามแนวโน้มเดียวกันกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากับเวลาข้างต้น โดยแสดงได้ดังกราฟที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของแบตเตอรี่กับปริมาณการเติมโซเดียมซัลเฟตในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุกับจำนวนครั้งในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 ผลสรุปที่ได้จากโครงงาน

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด โดยมีการเติมสารเติมแต่งก็คือสารโซเดียมซัลเฟตลงไปในแผ่นธาตุขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยให้มีการเติมในปริมาณที่แตกต่างกันคือร้อยละ 0 1 2 และ3 โดยน้ำหนักของแผ่นธาตุขั้วบวก และต่อวงจรให้แบตเตอรี่จ่ายไฟด้วยกระแสคงที่ 0.3 แอมแปร์ จากนั้นนำมาศึกษาผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตที่มีผลต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดลอง

ปริมาณ% Na_2SO_4 ที่เติม	0 %	1%	2%	3%
เวลาที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสได้ถึงค่าแรงดันสุดท้าย (นาที)	27	45	38	20
ค่าความจุเฉลี่ย (แอมแปร์-ชั่วโมง)	0.14	0.22	0.19	0.10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของค่าความจุแบตเตอรี่	0.02	0.02	0.01	0.01

5.1.1 ผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตที่มีผลต่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ปริมาณของโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสมที่ทำให้แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสจนถึงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดได้เวลานานที่สุดคือร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของแผ่นธาตุขั้วบวก ทำให้เวลาที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสได้จนถึงความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำสุดได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 66 เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่ไม่มีการเติมโซเดียมซัลเฟต

5.1.2 ผลของการเติมโซเดียมซัลเฟตที่ต่อค่าความจุของแบตเตอรี่

ปริมาณของโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสมที่ทำให้แบตเตอรี่มีค่าความจุมากที่สุดร้อยละ 1โดยน้ำหนักของแผ่นธาตุ การเติมโซเดียมซัลเฟตเป็นปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของแผ่นธาตุขั้วบวกทำให้แบตเตอรี่มีความจุเพิ่มขึ้นร้อยละ 57 เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่ไม่มีการเติมโซเดียมซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการพัฒนาเพิ่มเติมจะมีแนวทางดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมและเป็นแนวทางในการเลือกใช้งานแบตเตอรี่

5.2.2 ควรมีการลองเติมสารเติมแต่งตัวอื่นๆ เพื่อทดสอบว่ามีผลที่ดีกว่าการเติมโซเดียมซัลเฟตหรือไม่

5.2.3 ควรทำการทดลองซ้ำโดยเติมโซเดียมซัลเฟตในช่วงร้อยละ 0-1 โดยน้ำหนักเพื่อหาปริมาณที่แน่นอนที่ทำให้ค่าความจุของแบตเตอรี่มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การแบตเตอรี่ **"แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด"**
[Online]. Available: http://www. mod.go.th/opsd/didweb/battery.html

[2] กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น**"ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์"**
[Online]. Available: http://www.thailocaladmin.go.th:15030/e_book/ /std210550/3/2.pdf

[3] D. Berndt, Am Weissen Berg 3, 61476 Kronberg, Germany Available online 15 December 2005

[4] **Lead-acid battery**
[Online]. Available:http://www.engineersedge.com/battery/specific_gravity_battery.html

[5] Battery **"Battery charger"**
[Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_charger

[6] Battery stuff **"Basic of Lead-acid battery"**
http://www.batterystuff.com/tutorial_battery.html

[7] D.P. Boden, Hammond Lead Product, A Division of Hammond Group, 2323 165th Street, Hammond, IN 46325, USA Received 10 August 1997 ; accepted 20 December 1997

[8] Mohammad Ali Karimi [a,b], Hassan Karami [c], Maryam Mahdipour [a,d]
a Department of Chemistry, Payame-Noor University of Ardakan, Ardakan, Iran
b Department of Chemistry, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
c Department of Chemistry, Payame-Noor University of Abhar, Abhar, Iran
d R&D Center, Sepahan Battery Industrial Complex, Oshtorjan Industrial Zone, Isfahan, Iran Received 26 November 2005; received in revised form 8 March 2006; accepted 9 March 2006 Available online 15 May 2006

[9] Jenn-Shing Chen, Deparment of Chemical Engineering, I-Shou University, Ha-Hsu Hsiang, Kaohsiung 84008, Taiwan Received 25 May 1999; accepted 17 June 1999

[10] Masaaki Shiomi, Takayuki Funato, Kenji Nakamura, Katsuhiro Takahashi, Masaharu Tsubota, Lead-Acid Battery Laboratory, Japan Storage Battery Co.,Ltd. Nishinosho, Kisshoin, Minami-ku, Kyoto 601, Japan

[11] http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Trf/msdst/msdst1309-60-0.html

[12] http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Merck/msdst/1120/112067.htm

[13] http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Merck/msdst/1066/106603.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลอง

กำหนดให้แบตเตอรี่ชนิด **A** = แบตเตอรี่ที่ไม่มีการเติมสารโซเดียซัลเฟต

B = แบตเตอรี่ที่มีการเติมสารโซเดียซัลเฟต ร้อยละ1โดยน้ำหนัก

C = แบตเตอรี่ที่มีการเติมสารโซเดียซัลเฟต ร้อยละ2โดยน้ำหนัก

E = แบตเตอรี่ที่มีการเติมสารโซเดียซัลเฟต ร้อยละ3โดยน้ำหนัก

แบตเตอรี่ทุกชนิดจ่ายกระแสไฟ 0.3 แอมแปร์

1. ทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของแบตเตอรี่

ตารางที่ ก-1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.08	26	1.90
1	2.11	14	2.08	27	1.87
2	2.11	15	2.07	28	1.84
3	2.11	16	2.07	29	
4	2.11	17	2.06	30	
5	2.10	18	2.05	31	
6	2.10	19	2.04	32	
7	2.10	20	2.03	33	
8	2.10	21	2.02	34	
9	2.10	22	2.00	35	
10	2.09	23	1.98	36	
11	2.09	24	1.96	37	
12	2.09	25	1.93	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.09	26	2.05
1	2.11	14	2.08	27	2.04
2	2.11	15	2.08	28	2.03
3	2.11	16	2.08	29	2.02
4	2.11	17	2.08	30	2.00
5	2.11	18	2.08	31	1.97
6	2.10	19	2.08	32	1.91
7	2.10	20	2.07	33	1.80
8	2.10	21	2.07	34	
9	2.10	22	2.07	35	
10	2.10	23	2.07	36	
11	2.10	24	2.06	37	
12	2.09	25	2.06	38	

ตารางที่ ก-3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.10	26	2.06
1	2.11	14	2.09	27	2.05
2	2.11	15	2.09	28	2.05
3	2.11	16	2.09	29	2.04
4	2.11	17	2.09	30	2.02
5	2.11	18	2.08	31	2.01
6	2.11	19	2.08	32	1.99
7	2.10	20	2.08	33	1.96
8	2.10	21	2.08	34	1.92
9	2.10	22	2.07	35	1.88
10	2.10	23	2.07	36	1.81
11	2.10	24	2.07	37	
12	2.10	25	2.06	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 4

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.07	26	2.04
1	2.10	14	2.07	27	2.04
2	2.10	15	2.07	28	2.03
3	2.10	16	2.07	29	2.02
4	2.10	17	2.06	30	2.02
5	2.10	18	2.06	31	2.00
6	2.09	19	2.06	32	1.97
7	2.09	20	2.05	33	1.90
8	2.09	21	2.05	34	1.82
9	2.09	22	2.05	35	
10	2.08	23	2.05	36	
11	2.08	24	2.04	37	
12	2.08	25	2.04	38	

ตารางที่ ก-5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 5

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.07	26	
1	2.11	14	2.06	27	
2	2.11	15	2.05	28	
3	2.11	16	2.04	29	
4	2.10	17	2.03	30	
5	2.10	18	2.02	31	
6	2.10	19	2.01	32	
7	2.10	20	2.00	33	
8	2.09	21	1.97	34	
9	2.09	22	1.94	35	
10	2.08	23	1.90	36	
11	2.08	24	1.87	37	
12	2.07	25	1.83	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 6

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.06	26	1.87
1	2.11	14	2.06	27	1.83
2	2.11	15	2.05	28	
3	2.11	16	2.05	29	
4	2.10	17	2.04	30	
5	2.10	18	2.03	31	
6	2.10	19	2.02	32	
7	2.09	20	2.01	33	
8	2.09	21	1.99	34	
9	2.08	22	1.97	35	
10	2.08	23	1.95	36	
11	2.07	24	1.93	37	
12	2.07	25	1.89	38	

ตารางที่ ก-7 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 7

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.06	26	1.90
1	2.11	14	2.05	27	1.88
2	2.11	15	2.04	28	1.86
3	2.10	16	2.03	29	1.83
4	2.10	17	2.02	30	
5	2.10	18	2.01	31	
6	2.09	19	2.00	32	
7	2.09	20	1.99	33	
8	2.08	21	1.98	34	
9	2.08	22	1.97	35	
10	2.08	23	1.96	36	
11	2.07	24	1.95	37	
12	2.07	25	1.93	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 8

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.04	26	1.86
1	2.11	14	2.03	27	1.84
2	2.11	15	2.03	28	
3	2.11	16	2.02	29	
4	2.10	17	2.01	30	
5	2.10	18	2.01	31	
6	2.09	19	2.00	32	
7	2.09	20	1.98	33	
8	2.08	21	1.96	34	
9	2.07	22	1.94	35	
10	2.06	23	1.92	36	
11	2.05	24	1.90	37	
12	2.05	25	1.88	38	

ตารางที่ ก-9 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 9

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.08	26	1.91
1	2.11	14	2.08	27	1.87
2	2.11	15	2.07	28	1.84
3	2.11	16	2.05	29	
4	2.10	17	2.04	30	
5	2.10	18	2.04	31	
6	2.10	19	2.03	32	
7	2.10	20	2.02	33	
8	2.09	21	2.01	34	
9	2.09	22	2.00	35	
10	2.09	23	1.98	36	
11	2.09	24	1.96	37	
12	2.08	25	1.94	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-10 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 10

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.07	26	
1	2.11	14	2.06	27	
2	2.11	15	2.05	28	
3	2.11	16	2.05	29	
4	2.11	17	2.04	30	
5	2.10	18	2.02	31	
6	2.10	19	2.00	32	
7	2.10	20	1.98	33	
8	2.09	21	1.96	34	
9	2.09	22	1.94	35	
10	2.08	23	1.91	36	
11	2.08	24	1.88	37	
12	2.07	25	1.84	38	

ตารางที่ ก-11 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 11

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.08	26	1.98
1	2.11	14	2.07	27	1.96
2	2.11	15	2.07	28	1.94
3	2.11	16	2.06	29	1.92
4	2.11	17	2.06	30	1.89
5	2.10	18	2.05	31	1.87
6	2.10	19	2.05	32	1.84
7	2.10	20	2.04	33	
8	2.10	21	2.03	34	
9	2.09	22	2.02	35	
10	2.09	23	2.01	36	
11	2.09	24	2.00	37	
12	2.08	25	1.99	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-12 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 12

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.04	26	
1	2.11	14	2.03	27	
2	2.11	15	2.03	28	
3	2.10	16	2.02	29	
4	2.10	17	2.01	30	
5	2.1	18	1.99	31	
6	2.09	19	1.98	32	
7	2.09	20	1.96	33	
8	2.08	21	1.94	34	
9	2.08	22	1.92	35	
10	2.07	23	1.89	36	
11	2.06	24	1.86	37	
12	2.05	25	1.84	38	

ตารางที่ ก-13 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 13

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.06	26	1.82
1	2.11	14	2.05	27	
2	2.11	15	2.05	28	
3	2.10	16	2.05	29	
4	2.10	17	2.04	30	
5	2.09	18	2.03	31	
6	2.09	19	2.01	32	
7	2.08	20	1.99	33	
8	2.08	21	1.97	34	
9	2.07	22	1.95	35	
10	2.06	23	1.93	36	
11	2.06	24	1.90	37	
12	2.06	25	1.86	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-14 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 14

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.04	26	
1	2.11	14	2.03	27	
2	2.11	15	2.02	28	
3	2.10	16	2.01	29	
4	2.10	17	2.00	30	
5	2.09	18	1.98	31	
6	2.09	19	1.96	32	
7	2.08	20	1.94	33	
8	2.07	21	1.91	34	
9	2.06	22	1.87	35	
10	2.06	23	1.82	36	
11	2.05	24		37	
12	2.05	25		38	

ตารางที่ ก-15 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด A การทดลองที่ 15

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	13	2.05	26	
1	2.11	14	2.04	27	
2	2.10	15	2.03	28	
3	2.10	16	2.02	29	
4	2.09	17	2.01	30	
5	2.09	18	2.00	31	
6	2.08	19	1.99	32	
7	2.08	20	1.97	33	
8	2.07	21	1.95	34	
9	2.07	22	1.93	35	
10	2.06	23	1.90	36	
11	2.06	24	1.87	37	
12	2.05	25	1.83	38	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-16 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.06	36	2.01
1	2.11	19	2.06	37	2.00
2	2.10	20	2.06	38	2.00
3	2.10	21	2.05	39	1.99
4	2.10	22	2.05	40	1.99
5	2.09	23	2.05	41	1.98
6	2.09	24	2.04	42	1.97
7	2.09	25	2.04	43	1.96
8	2.08	26	2.04	44	1.95
9	2.08	27	2.03	45	1.94
10	2.08	28	2.03	46	1.93
11	2.08	29	2.03	47	1.92
12	2.08	30	2.03	48	1.91
13	2.07	31	2.03	49	1.90
14	2.07	32	2.02	50	1.88
15	2.07	33	2.02	51	1.86
16	2.07	34	2.02	52	1.85
17	2.06	35	2.01	53	1.83

ตารางที่ ก-17 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.08	36	2.03
1	2.11	19	2.08	37	2.03
2	2.11	20	2.08	38	2.02
3	2.11	21	2.07	39	2.02
4	2.11	22	2.07	40	2.01
5	2.10	23	2.07	41	2.01
6	2.10	24	2.07	42	2.00
7	2.10	25	2.06	43	2.00
8	2.10	26	2.06	44	1.99
9	2.10	27	2.06	45	1.98
10	2.10	28	2.06	46	1.97
11	2.09	29	2.05	47	1.96
12	2.09	30	2.05	48	1.95
13	2.09	31	2.05	49	1.94
14	2.09	32	2.04	50	1.91
15	2.09	33	2.04	51	1.88
16	2.09	34	2.04	52	1.85
17	2.08	35	2.04	53	1.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-18 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.08	36	2.00
1	2.11	19	2.08	37	1.99
2	2.11	20	2.08	38	1.98
3	2.11	21	2.07	39	1.97
4	2.11	22	2.07	40	1.96
5	2.11	23	2.07	41	1.94
6	2.10	24	2.06	42	1.93
7	2.10	25	2.06	43	1.91
8	2.10	26	2.06	44	1.88
9	2.10	27	2.05	45	1.86
10	2.10	28	2.05	46	1.79
11	2.09	29	2.04	47	
12	2.09	30	2.04	48	
13	2.09	31	2.03	49	
14	2.09	32	2.03	50	
15	2.09	33	2.02	51	
16	2.09	34	2.02	52	
17	2.08	35	2.01	53	

ตารางที่ ก-19 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 4

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.09	36	2.01
1	2.11	19	2.09	37	2.00
2	2.11	20	2.09	38	1.99
3	2.11	21	2.08	39	1.98
4	2.11	22	2.08	40	1.97
5	2.11	23	2.08	41	1.96
6	2.10	24	2.08	42	1.95
7	2.10	25	2.07	43	1.93
8	2.10	26	2.07	44	1.90
9	2.10	27	2.07	45	1.88
10	2.10	28	2.06	46	1.84
11	2.10	29	2.06	47	
12	2.09	30	2.06	48	
13	2.09	31	2.05	49	
14	2.09	32	2.05	50	
15	2.09	33	2.05	51	
16	2.09	34	2.04	52	
17	2.08	35	2.04	53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-20 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 5

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.06	36	1.99
1	2.11	19	2.06	37	1.99
2	2.11	20	2.06	38	1.98
3	2.11	21	2.05	39	1.98
4	2.10	22	2.05	40	1.97
5	2.10	23	2.05	41	1.96
6	2.10	24	2.04	42	1.95
7	2.10	25	2.04	43	1.94
8	2.09	26	2.04	44	1.93
9	2.09	27	2.03	45	1.92
10	2.09	28	2.03	46	1.90
11	2.09	29	2.03	47	1.89
12	2.08	30	2.02	48	1.87
13	2.08	31	2.02	49	1.84
14	2.08	32	2.01	50	
15	2.07	33	2.01	51	
16	2.07	34	2.00	52	
17	2.07	35	2.00	53	

ตารางที่ ก-21 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 6

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)
0	2.11	18	2.06	36	2.01
1	2.11	19	2.06	37	2.00
2	2.11	20	2.06	38	2.00
3	2.10	21	2.05	39	1.99
4	2.10	22	2.05	40	1.98
5	2.09	23	2.05	41	1.97
6	2.09	24	2.05	42	1.95
7	2.08	25	2.04	43	1.93
8	2.08	26	2.04	44	1.91
9	2.08	27	2.04	45	1.89
10	2.08	28	2.03	46	1.87
11	2.08	29	2.03	47	1.86
12	2.07	30	2.03	48	1.84
13	2.07	31	2.02	49	
14	2.07	32	2.02	50	
15	2.07	33	2.02	51	
16	2.07	34	2.01	52	
17	2.06	35	2.01	53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-22 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 7

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.04	36	1.99
1	2.11	19	2.04	37	1.98
2	2.11	20	2.04	38	1.98
3	2.10	21	2.03	39	1.97
4	2.10	22	2.03	40	1.97
5	2.10	23	2.03	41	1.96
6	2.09	24	2.02	42	1.96
7	2.08	25	2.02	43	1.93
8	2.08	26	2.02	44	1.87
9	2.07	27	2.02	45	1.82
10	2.07	28	2.01	46	
11	2.07	29	2.01	47	
12	2.06	30	2.01	48	
13	2.06	31	2.01	49	
14	2.06	32	2.00	50	
15	2.05	33	2.00	51	
16	2.05	34	2.00	52	
17	2.05	35	1.99	53	

ตารางที่ ก-23 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 8

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.07	36	1.98
1	2.11	19	2.07	37	1.97
2	2.11	20	2.06	38	1.96
3	2.11	21	2.06	39	1.95
4	2.11	22	2.06	40	1.94
5	2.10	23	2.05	41	1.92
6	2.10	24	2.05	42	1.90
7	2.10	25	2.05	43	1.87
8	2.10	26	2.04	44	1.84
9	2.10	27	2.04	45	
10	2.09	28	2.03	46	
11	2.09	29	2.03	47	
12	2.09	30	2.02	48	
13	2.09	31	2.02	49	
14	2.08	32	2.01	50	
15	2.08	33	2.01	51	
16	2.08	34	2.00	52	
17	2.07	35	1.99	53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-24 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 9

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.07	36	1.93
1	2.11	19	2.06	37	1.91
2	2.11	20	2.06	38	1.90
3	2.11	21	2.06	39	1.88
4	2.10	22	2.05	40	1.86
5	2.10	23	2.05	41	1.84
6	2.10	24	2.05	42	
7	2.10	25	2.04	43	
8	2.09	26	2.04	44	
9	2.09	27	2.04	45	
10	2.09	28	2.03	46	
11	2.08	29	2.02	47	
12	2.08	30	2.01	48	
13	2.08	31	2.00	49	
14	2.08	32	1.99	50	
15	2.08	33	1.98	51	
16	2.07	34	1.97	52	
17	2.07	35	1.95	53	

ตารางที่ ก-25 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 10

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.06	36	1.94
1	2.11	19	2.06	37	1.92
2	2.11	20	2.05	38	1.90
3	2.11	21	2.05	39	1.88
4	2.10	22	2.05	40	1.86
5	2.10	23	2.04	41	1.84
6	2.10	24	2.04	42	
7	2.09	25	2.04	43	
8	2.09	26	2.03	44	
9	2.09	27	2.03	45	
10	2.08	28	2.02	46	
11	2.08	29	2.01	47	
12	2.08	30	2.00	48	
13	2.07	31	1.99	49	
14	2.07	32	1.98	50	
15	2.07	33	1.97	51	
16	2.06	34	1.96	52	
17	2.06	35	1.95	53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-26 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 11

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.07	36	2.01
1	2.11	19	2.07	37	2.00
2	2.11	20	2.06	38	1.99
3	2.10	21	2.06	39	1.98
4	2.10	22	2.06	40	1.96
5	2.10	23	2.06	41	1.94
6	2.10	24	2.05	42	1.91
7	2.10	25	2.05	43	1.87
8	2.09	26	2.05	44	1.80
9	2.09	27	2.05	45	
10	2.09	28	2.04	46	
11	2.09	29	2.04	47	
12	2.08	30	2.04	48	
13	2.08	31	2.03	49	
14	2.08	32	2.03	50	
15	2.08	33	2.02	51	
16	2.07	34	2.02	52	
17	2.07	35	2.01	53	

ตารางที่ ก-27 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 12

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.07	36	1.96
1	2.11	19	2.06	37	1.95
2	2.11	20	2.06	38	1.94
3	2.11	21	2.06	39	1.92
4	2.11	22	2.05	40	1.90
5	2.10	23	2.05	41	1.88
6	2.10	24	2.05	42	1.85
7	2.10	25	2.04	43	1.82
8	2.10	26	2.04	44	
9	2.09	27	2.04	45	
10	2.09	28	2.02	46	
11	2.09	29	2.02	47	
12	2.08	30	2.01	48	
13	2.08	31	2.00	49	
14	2.08	32	2.00	50	
15	2.08	33	1.99	51	
16	2.07	34	1.98	52	
17	2.07	35	1.97	53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-28 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 13

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.06	36	1.97
1	2.11	19	2.05	37	1.96
2	2.11	20	2.05	38	1.95
3	2.11	21	2.05	39	1.94
4	2.10	22	2.04	40	1.92
5	2.10	23	2.04	41	1.90
6	2.10	24	2.04	42	1.85
7	2.09	25	2.03	43	
8	2.09	26	2.03	44	
9	2.09	27	2.03	45	
10	2.08	28	2.02	46	
11	2.08	29	2.02	47	
12	2.08	30	2.01	48	
13	2.07	31	2.01	49	
14	2.07	32	2.00	50	
15	2.07	33	2.00	51	
16	2.06	34	1.99	52	
17	2.06	35	1.98	53	

ตารางที่ ก-29 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 14

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.08	36	2.00
1	2.11	19	2.07	37	1.98
2	2.11	20	2.07	38	1.96
3	2.11	21	2.07	39	1.94
4	2.11	22	2.06	40	1.92
5	2.11	23	2.06	41	1.90
6	2.10	24	2.06	42	1.86
7	2.10	25	2.05	43	1.81
8	2.10	26	2.05	44	
9	2.10	27	2.05	45	
10	2.10	28	2.04	46	
11	2.09	29	2.04	47	
12	2.09	30	2.03	48	
13	2.09	31	2.03	49	
14	2.09	32	2.02	50	
15	2.08	33	2.02	51	
16	2.08	34	2.01	52	
17	2.08	35	2.01	53	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-30 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด B การทดลองที่ 15

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	18	2.07	36	2.00
1	2.11	19	2.07	37	1.99
2	2.11	20	2.06	38	1.98
3	2.11	21	2.06	39	1.97
4	2.10	22	2.06	40	1.96
5	2.10	23	2.06	41	1.95
6	2.10	24	2.05	42	1.94
7	2.10	25	2.05	43	1.92
8	2.09	26	2.05	44	1.90
9	2.09	27	2.04	45	1.89
10	2.09	28	2.04	46	1.87
11	2.09	29	2.04	47	1.84
12	2.08	30	2.03	48	
13	2.08	31	2.03	49	
14	2.08	32	2.02	50	
15	2.08	33	2.02	51	
16	2.07	34	2.01	52	
17	2.07	35	2.01	53	

ตารางที่ ก-31 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	2.00
1	2.11	16	2.06	31	1.99
2	2.11	17	2.06	32	1.97
3	2.11	18	2.05	33	1.95
4	2.11	19	2.05	34	1.93
5	2.11	20	2.04	35	1.89
6	2.10	21	2.04	36	1.86
7	2.10	22	2.03	37	1.81
8	2.10	23	2.03	38	
9	2.10	24	2.02	39	
10	2.10	25	2.02	40	
11	2.09	26	2.01	41	
12	2.09	27	2.00	42	
13	2.09	28	2.00	43	
14	2.09	29	1.99	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-32 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	1.98
1	2.11	16	2.06	31	1.97
2	2.11	17	2.06	32	1.96
3	2.11	18	2.05	33	1.95
4	2.10	19	2.05	34	1.93
5	2.10	20	2.04	35	1.91
6	2.10	21	2.04	36	1.89
7	2.10	22	2.03	37	1.86
8	2.09	23	2.03	38	1.82
9	2.09	24	2.02	39	
10	2.09	25	2.02	40	
11	2.08	26	2.01	41	
12	2.08	27	2.00	42	
13	2.08	28	2.00	43	
14	2.07	29	1.99	44	

ตารางที่ ก-33 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.08	30	1.95
1	2.11	16	2.07	31	1.93
2	2.11	17	2.07	32	1.91
3	2.11	18	2.06	33	1.89
4	2.11	19	2.06	34	1.87
5	2.10	20	2.05	35	1.85
6	2.10	21	2.05	36	1.82
7	2.10	22	2.04	37	
8	2.10	23	2.04	38	
9	2.09	24	2.03	39	
10	2.09	25	2.02	40	
11	2.09	26	2.01	41	
12	2.09	27	2.00	42	
13	2.08	28	1.99	43	
14	2.08	29	1.97	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-34 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 4

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.05	30	1.95
1	2.11	16	2.05	31	1.94
2	2.11	17	2.04	32	1.92
3	2.10	18	2.04	33	1.90
4	2.10	19	2.03	34	1.88
5	2.10	20	2.03	35	1.85
6	2.10	21	2.02	36	1.82
7	2.09	22	2.02	37	
8	2.09	23	2.01	38	
9	2.08	24	2.01	39	
10	2.08	25	2.00	40	
11	2.07	26	1.99	41	
12	2.07	27	1.98	42	
13	2.06	28	1.97	43	
14	2.06	29	1.96	44	

ตารางที่ ก-35 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 5

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.08	30	2.03
1	2.11	16	2.08	31	2.03
2	2.11	17	2.08	32	2.02
3	2.11	18	2.07	33	2.02
4	2.11	19	2.07	34	2.01
5	2.11	20	2.07	35	2.01
6	2.10	21	2.06	36	2.00
7	2.10	22	2.06	37	1.97
8	2.10	23	2.06	38	1.94
9	2.10	24	2.06	39	1.90
10	2.10	25	2.05	40	1.86
11	2.09	26	2.05	41	1.79
12	2.09	27	2.05	42	
13	2.09	28	2.04	43	
14	2.09	29	2.04	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-36 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 6

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	2.01
1	2.11	16	2.07	31	2.00
2	2.11	17	2.06	32	1.99
3	2.11	18	2.06	33	1.98
4	2.10	19	2.06	34	1.96
5	2.10	20	2.05	35	1.94
6	2.10	21	2.05	36	1.92
7	2.10	22	2.05	37	1.89
8	2.09	23	2.40	38	1.86
9	2.09	24	2.04	39	1.80
10	2.09	25	2.03	40	
11	2.08	26	2.03	41	
12	2.08	27	2.02	42	
13	2.08	28	2.02	43	
14	2.07	29	2.01	44	

ตารางที่ ก-37 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 7

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	1.97
1	2.11	16	2.06	31	1.96
2	2.11	17	2.06	32	1.95
3	2.11	18	2.05	33	1.94
4	2.10	19	2.05	34	1.92
5	2.10	20	2.04	35	1.90
6	2.10	21	2.04	36	1.88
7	2.09	22	2.03	37	1.86
8	2.09	23	2.03	38	1.83
9	2.09	24	2.02	39	
10	2.08	25	2.02	40	
11	2.08	26	2.01	41	
12	2.08	27	2.00	42	
13	2.07	28	1.99	43	
14	2.07	29	1.98	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-38 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 8

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.06	30	1.99
1	2.11	16	2.06	31	1.98
2	2.11	17	2.06	32	1.96
3	2.10	18	2.05	33	1.94
4	2.10	19	2.05	34	1.92
5	2.10	20	2.04	35	1.90
6	2.09	21	2.04	36	1.87
7	2.09	22	2.03	37	1.84
8	2.09	23	2.03	38	1.80
9	2.08	24	2.02	39	
10	2.08	25	2.02	40	
11	2.08	26	2.01	41	
12	2.07	27	2.01	42	
13	2.07	28	2.00	43	
14	2.07	29	2.00	44	

ตารางที่ ก-39 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 9

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.08	30	2.01
1	2.11	16	2.08	31	2.00
2	2.11	17	2.08	32	1.99
3	2.11	18	2.07	33	1.98
4	2.11	19	2.07	34	1.97
5	2.11	20	2.06	35	1.95
6	2.10	21	2.06	36	1.93
7	2.10	22	2.05	37	1.91
8	2.10	23	2.05	38	1.88
9	2.10	24	2.04	39	1.86
10	2.10	25	2.04	40	1.83
11	2.09	26	2.03	41	
12	2.09	27	2.03	42	
13	2.09	28	2.02	43	
14	2.09	29	2.02	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-40 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 10

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	1.98
1	2.11	16	2.06	31	1.97
2	2.11	17	2.06	32	1.96
3	2.11	18	2.05	33	1.94
4	2.10	19	2.05	34	1.92
5	2.10	20	2.04	35	1.90
6	2.10	21	2.04	36	1.86
7	2.10	22	2.03	37	1.82
8	2.09	23	2.03	38	
9	2.09	24	2.02	39	
10	2.09	25	2.02	40	
11	2.08	26	2.01	41	
12	2.08	27	2.01	42	
13	2.08	28	2.00	43	
14	2.07	29	1.99	44	

ตารางที่ ก-41 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 11

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	2.02
1	2.11	16	2.07	31	2.02
2	2.10	17	2.07	32	2.01
3	2.10	18	2.06	33	2.00
4	2.10	19	2.06	34	1.99
5	2.10	20	2.06	35	1.98
6	2.10	21	2.05	36	1.95
7	2.09	22	2.05	37	1.92
8	2.09	23	2.05	38	1.90
9	2.09	24	2.04	39	1.88
10	2.09	25	2.04	40	1.86
11	2.08	26	2.04	41	1.83
12	2.08	27	2.03	42	
13	2.08	28	2.03	43	
14	2.08	29	2.03	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-42 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 12

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.05	30	1.93
1	2.11	16	2.04	31	1.92
2	2.11	17	2.04	32	1.91
3	2.10	18	2.03	33	1.90
4	2.10	19	2.03	34	1.89
5	2.10	20	2.02	35	1.88
6	2.09	21	2.02	36	1.87
7	2.09	22	2.01	37	1.85
8	2.08	23	2.00	38	1.81
9	2.08	24	1.99	39	
10	2.07	25	1.98	40	
11	2.07	26	1.97	41	
12	2.06	27	1.96	42	
13	2.06	28	1.95	43	
14	2.05	29	1.94	44	

ตารางที่ ก-43 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 13

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	1.96
1	2.11	16	2.07	31	1.94
2	2.11	17	2.07	32	1.92
3	2.11	18	2.06	33	1.90
4	2.11	19	2.06	34	1.88
5	2.10	20	2.05	35	1.86
6	2.10	21	2.05	36	1.84
7	2.10	22	2.04	37	
8	2.10	23	2.04	38	
9	2.09	24	2.03	39	
10	2.09	25	2.03	40	
11	2.09	26	2.02	41	
12	2.08	27	2.01	42	
13	2.08	28	2.00	43	
14	2.08	29	1.98	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-44 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 14

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.07	30	2.01
1	2.11	16	2.07	31	2.01
2	2.11	17	2.07	32	2.00
3	2.11	18	2.06	33	1.99
4	2.10	19	2.06	34	1.98
5	2.10	20	2.06	35	1.97
6	2.10	21	2.05	36	1.95
7	2.10	22	2.05	37	1.93
8	2.09	23	2.05	38	1.91
9	2.09	24	2.04	39	1.89
10	2.09	25	2.04	40	1.87
11	2.08	26	2.03	41	1.85
12	2.08	27	2.03	42	1.81
13	2.08	28	2.02	43	
14	2.07	29	2.02	44	

ตารางที่ ก-45 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด C การทดลองที่ 15

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	15	2.08	30	2.02
1	2.11	16	2.08	31	2.01
2	2.11	17	2.07	32	2.01
3	2.11	18	2.07	33	2.00
4	2.11	19	2.07	34	1.99
5	2.10	20	2.06	35	1.98
6	2.10	21	2.06	36	1.96
7	2.10	22	2.06	37	1.94
8	2.10	23	2.05	38	1.92
9	2.09	24	2.05	39	1.90
10	2.09	25	2.04	40	1.88
11	2.09	26	2.04	41	1.86
12	2.09	27	2.03	42	1.84
13	2.08	28	2.03	43	1.80
14	2.08	29	2.02	44	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-46 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 1

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.04	18	1.91
1	2.11	10	2.03	19	1.88
2	2.10	11	2.02	20	1.86
3	2.09	12	2.01	21	1.84
4	2.08	13	2.00	22	
5	2.08	14	1.98	23	
6	2.07	15	1.96	24	
7	2.06	16	1.95	25	
8	2.05	17	1.93	26	

ตารางที่ ก-47 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 2

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.04	18	1.91
1	2.11	10	2.02	19	1.88
2	2.11	11	2.01	20	1.85
3	2.10	12	2.00	21	
4	2.10	13	1.99	22	
5	2.09	14	1.98	23	
6	2.08	15	1.97	24	
7	2.07	16	1.95	25	
8	2.06	17	1.93	26	

ตารางที่ ก-48 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 3

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.05	18	1.87
1	2.11	10	2.04	19	1.83
2	2.11	11	2.03	20	
3	2.10	12	2.02	21	
4	2.09	13	2.00	22	
5	2.09	14	1.98	23	
6	2.08	15	1.96	24	
7	2.07	16	1.94	25	
8	2.06	17	1.90	26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-49 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 4

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.05	18	1.89
1	2.11	10	2.04	19	1.86
2	2.11	11	2.03	20	1.83
3	2.11	12	2.01	21	
4	2.10	13	1.99	22	
5	2.09	14	1.98	23	
6	2.08	15	1.96	24	
7	2.07	16	1.94	25	
8	2.06	17	1.92	26	

ตารางที่ ก-50 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 5

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.06	18	1.88
1	2.11	10	2.04	19	1.86
2	2.11	11	2.02	20	1.83
3	2.10	12	2.00	21	
4	2.10	13	1.98	22	
5	2.09	14	1.97	23	
6	2.09	15	1.95	24	
7	2.08	16	1.93	25	
8	2.07	17	1.91	26	

ตารางที่ ก-51 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 6

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.07	18	1.88
1	2.11	10	2.07	19	1.84
2	2.11	11	2.06	20	
3	2.10	12	2.04	21	
4	2.10	13	2.02	22	
5	2.10	14	2.00	23	
6	2.09	15	1.98	24	
7	2.09	16	1.95	25	
8	2.08	17	1.92	26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-52 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 7

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.04	18	1.90
1	2.11	10	2.03	19	1.88
2	2.10	11	2.02	20	1.86
3	2.09	12	2.01	21	1.82
4	2.08	13	2.00	22	
5	2.07	14	1.99	23	
6	2.06	15	1.97	24	
7	2.05	16	1.95	25	
8	2.05	17	1.93	26	

ตารางที่ ก-53 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 8

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.07	18	2.00
1	2.10	10	2.06	19	1.99
2	2.10	11	2.06	20	1.97
3	2.10	12	2.05	21	1.94
4	2.09	13	2.05	22	1.91
5	2.09	14	2.04	23	1.87
6	2.08	15	2.03	24	1.83
7	2.08	16	2.02	25	
8	2.07	17	2.01	26	

ตารางที่ ก-54 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 9

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.05	18	1.94
1	2.11	10	2.04	19	1.91
2	2.11	11	2.03	20	1.86
3	2.10	12	2.02	21	1.81
4	2.10	13	2.01	22	
5	2.09	14	2.00	23	
6	2.08	15	1.99	24	
7	2.07	16	1.98	25	
8	2.06	17	1.97	26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-55 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 10

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.06	18	1.86
1	2.11	10	2.05	19	1.81
2	2.11	11	2.04	20	
3	2.11	12	2.03	21	
4	2.10	13	2.02	22	
5	2.10	14	2.00	23	
6	2.09	15	1.97	24	
7	2.08	16	1.94	25	
8	2.07	17	1.91	26	

ตารางที่ ก-56 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 11

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.05	18	1.92
1	2.10	10	2.04	19	1.89
2	2.10	11	2.03	20	1.86
3	2.09	12	2.02	21	1.82
4	2.09	13	2.01	22	
5	2.08	14	2.00	23	
6	2.08	15	1.98	24	
7	2.07	16	1.96	25	
8	2.06	17	1.94	26	

ตารางที่ ก-57 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 12

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.05	18	1.88
1	2.11	10	2.04	19	1.86
2	2.11	11	2.03	20	1.83
3	2.10	12	2.01	21	
4	2.09	13	1.99	22	
5	2.08	14	1.97	23	
6	2.07	15	1.95	24	
7	2.06	16	1.93	25	
8	2.06	17	1.91	26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-58 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 13

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.04	18	1.84
1	2.11	10	2.03	19	1.82
2	2.10	11	2.02	20	
3	2.10	12	2.00	21	
4	2.09	13	1.98	22	
5	2.08	14	1.96	23	
6	2.07	15	1.94	24	
7	2.06	16	1.92	25	
8	2.05	17	1.90	26	

ตารางที่ ก-59 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 14

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.05	18	1.89
1	2.11	10	2.04	19	1.87
2	2.10	11	2.03	20	1.85
3	2.10	12	2.01	21	1.81
4	2.09	13	1.99	22	
5	2.08	14	1.97	23	
6	2.08	15	1.95	24	
7	2.07	16	1.93	25	
8	2.06	17	1.91	26	

ตารางที่ ก-60 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ ชนิด D การทดลองที่ 15

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	2.11	9	2.06	18	1.96
1	2.10	10	2.05	19	1.94
2	2.10	11	2.04	20	1.92
3	2.10	12	2.03	21	1.90
4	2.09	13	2.02	22	1.88
5	2.09	14	2.01	23	1.87
6	2.08	15	2.00	24	1.84
7	2.08	16	1.99	25	
8	2.07	17	1.97	26	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุของแบตเตอรี่กับจำนวนครั้งในการใช้งาน

ตารางที่ ก-61 ค่าความจุและจำนวนครั้งในการใช้งานของแบตเตอรี่โดยมีการเติมโซเดียมซัลเฟตในปริมาณต่างๆ

จำนวนครั้งในการใช้งาน	ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)			
	Na_2SO_4 0% w/w	Na_2SO_4 1% w/w	Na_2SO_4 2% w/w	Na_2SO_4 3% w/w
1	0.14	0.25	0.18	0.10
2	0.16	0.25	0.19	0.10
3	0.18	0.23	0.18	0.09
4	0.17	0.23	0.18	0.10
5	0.12	0.24	0.20	0.10
6	0.14	0.24	0.19	0.09
7	0.14	0.22	0.19	0.10
8	0.13	0.22	0.18	0.12
9	0.14	0.20	0.20	0.10
10	0.13	0.20	0.18	0.12
11	0.16	0.22	0.20	0.10
12	0.12	0.21	0.19	0.10
13	0.13	0.21	0.18	0.09
14	0.11	0.21	0.21	0.10
15	0.12	0.24	0.21	0.12

ตารางที่ ก-62 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความจุแบตเตอรี่

	Na_2SO_4 0% w/w	Na_2SO_4 1% w/w	Na_2SO_4 2% w/w	Na_2SO_4 3% w/w
ค่าเฉลี่ย	0.14	0.22	0.19	0.10
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD)	0.019	0.016	0.011	0.009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ข-1 การคำนวณค่าความจุของแบตเตอรี่จากการทดลอง

จากการทดลองที่ 1 แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยกระแสคงที่ 0.3 แอมแปร์เป็นเวลา 28 นาที จากข้อมูลสามารถคำนวณหาค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$0.3 Ampare \times 28 Min \times \frac{1 Hour}{60 Min} = 0.14 AmpareHour$$

ข-2 การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความจุของแบตเตอรี่

การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบตเตอรี่แบบที่มีการเติมโซเดียมซัลเฟต 2% โดยน้ำหนัก

หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต จากสมการ

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\frac{(0.18+0.19+0.18+0.18+0.20+0.19+0.19+0.18+0.20+0.18+0.20+0.19+0.18+0.21+0.21)}{15}$$

$$= 0.19$$

หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

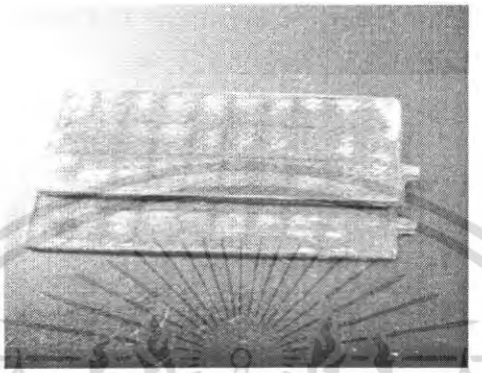
$$s = \sqrt{\frac{\sum f(x-\bar{x})^2}{n-1}}$$

$$= 0.01$$

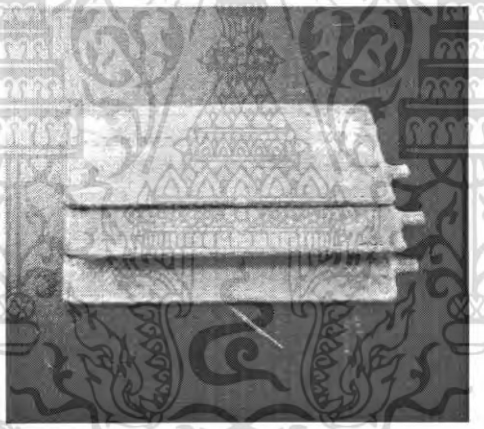
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

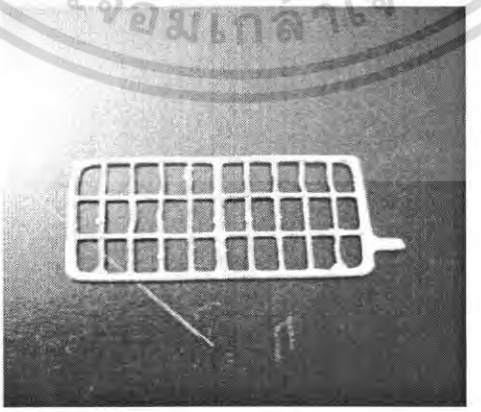
ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ค-1 แผ่นธาตุขั้วบวกของแบตเตอรี่

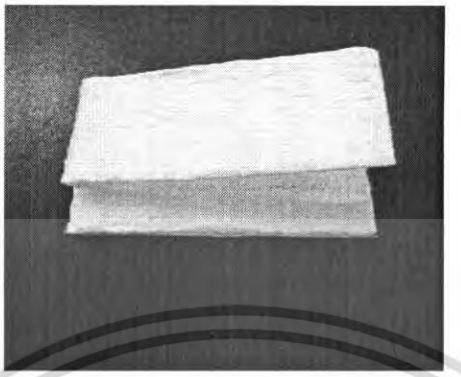


รูปที่ ค-2 แผ่นธาตุขั้วลบของแบตเตอรี่



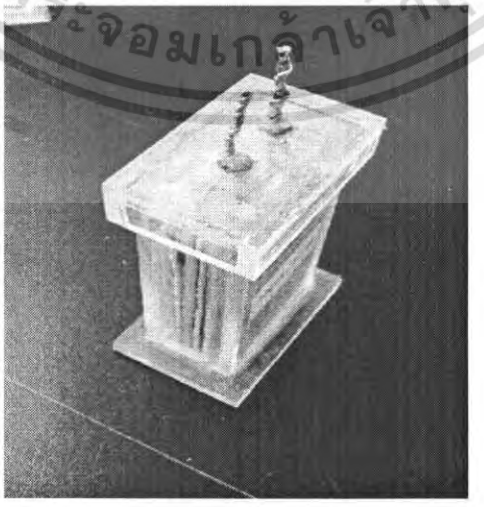
รูปที่ ค-3 แผ่นโครงสร้างกริดของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-4 แผ่นกั้นชนิด AGM

รูปที่ ค-5 กล่องอะคริลิกสำหรับใส่เซลล์แบตเตอรี่



รูปที่ ค-6 เซลล์แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมี

ง-1 ตะกั่ว (IV) ออกไซด์ [11]

หมวด1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

หมายเลขผลิตภัณฑ์: 159689

ชื่อผลิตภัณฑ์: Lead (IV) oxide

หมวด2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

เลขรหัสซีเอเอส: 1309-60-0

เลขดัชนีอีซี: 082-001-00-6

มวลต่อโมล: 239.20

เลขอีไอเอ็นอีซีเอส: 215-174-5

สูตรโมเลกุล: PbO_2

หมวด3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อเด็กในครรภ์ อาจก่อให้เกิดภาวะเจริญพันธุ์บกพร่อง อันตราย เมื่อสูดดม, กลืนกิน อันตรายจากการสะสม

หมวด4. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม: ให้รับอากาศบริสุทธิ์ นำส่งแพทย์ถ้าจำเป็น

เมื่อถูกผิวหนัง: ชะล้างออกด้วยน้ำ

เมื่อเข้าตา: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำ

เมื่อกลืนกิน: ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำปริมาณมาก โซเดียมซัลเฟต (1 ช้อนโต๊ะในน้ำ 0.25 ลิตร) คาร์บอนกัมมันต์ ล้างท้อง

หมวด5. มาตรการการผจญเพลิง

สารดับไฟที่เหมาะสม: เลือกใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับวัสดุที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

ข้อมูลอันตรายอื่น:ปลดปล่อยออกซิเจน ทำให้ไฟลุกลาม อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับการผจญเพลิงห้ามอยู่บริเวณที่อันตรายโดยปราศจากชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม

ข้อมูลอื่น: ไม่ลุกไหม้ติดไฟ ป้องกันไม่ให้น้ำที่ใช้ดับเพลิงแล้วไหลลงสู่แหล่งน้ำบนดินหรือใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด6. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

ข้อควรระวังส่วนบุคคล:ไม่ควรสัมผัสกับสาร ไม่ควรทำให้เกิดฝุ่น ห้ามสูดดมฝุ่น

มาตรการปกป้องสิ่งแวดล้อม:ป้องกันไม่ให้ไหลลงสู่ระบบสุขาภิบาลดิน หรือสิ่งแวดล้อม

วิธีทำความสะอาด/ดูดซับ: กวาดขณะแห้ง ส่งไปกำจัด ทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อน

หมวด7. การจัดการและการเก็บรักษา

การจัดการ: ไม่มีข้อบังคับอื่น

การเก็บ: ปิดให้แน่น เก็บในที่แห้ง ห่างจากสารที่ไหม้ไฟได้ เก็บห่างจากแหล่งกำเนิด

ประกาย ไฟและความร้อน ณ. อุณหภูมิ+15 ถึง +25 องศาเซลเซียส เข้าได้เฉพาะผู้ที่ได้รับอนุญาต

หมวด8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

การป้องกันระบบหายใจ: จำเป็น เมื่อมีฝุ่น

การป้องกันตา: จำเป็น

การป้องกันมือ: จำเป็น

ควรสวมใส่ชุดป้องกันที่เหมาะสมกับบริเวณทำงาน โดยพิจารณาจากความเข้มข้นและปริมาณสารอันตรายที่ใช้ ควรมีการตรวจสอบความทนทานต่อสารเคมีของชุดป้องกันโดยตัวแทนจำหน่าย

ข้อควรปฏิบัติ : เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมี ให้ทาครีมป้องกันผิวหนัง ล้างมือหลังจากการใช้สาร ห้ามกินอาหาร/ดื่มในบริเวณทำงาน

หมวด9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะ: ของแข็ง

สี: น้ำตาลถึงน้ำตาลแก่

กลิ่น: ไม่มีกลิ่น

ค่าพีเอช 100 g/l น้ำ (20 °C): 6 - 7

จุดหลอมเหลว : 290 °C

ความหนาแน่น (20 °C): 9.4 g/cm3

ความสามารถในการละลายน้ำ (20 °C): เกือบไม่ละลายน้ำ

อุณหภูมิสลายตัว : 290 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด10. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อะลูมิเนียม ในสภาพที่เป็นผงโลหะ ในสภาพที่เป็นผง กรดเปอร์ฟอร์มิก สารที่ไหม้ไฟได้ คาร์ไบด์ โบรอน โลหะอัลคาไล สารกึ่งโลหะ ซัลเฟอร์ออกไซด์

หมวด11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

ความเป็นพิษกึ่งเฉียบพลันถึงเรื้อรัง

จากข้อมูลที่มีอยู่แสดงให้เห็นว่า เป็นสารที่มีพิษต่อทารกในครรภ์ สตรีมีครรภ์ไม่ควรสัมผัสกับสารเคมี การทดลองในสัตว์ แสดงให้เห็นว่าสารนี้อาจทำให้เกิดความผิดปกติ ของการสืบพันธุ์ เช่นเดียวกับในมนุษย์

ข้อมูลสำหรับสารประกอบตะกั่วโดยทั่วไป:

การได้รับในปริมาณมากเท่านั้นจึงแสดงพิษเฉียบพลัน เนื่องจากสารถูกดูดซึมผ่านกระเพาะและ/หรือลำไส้ได้น้อย หลังระยะแฝงหลายชั่วโมงจะรู้สึก รสโลหะ คลื่นไส้ อาเจียน และเสียดท้องอย่างรุนแรง หมดสติ การได้รับเป็นเวลานาน ทำให้กล้ามเนื้อรอบนอกอ่อนแอ (ข้อมือตก) โลหิตจาง และระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ อาจเป็นพิษต่อทารกในครรภ์นั้น หญิงสาวในช่วงวัยเจริญพันธุ์ไม่ควรสัมผัสถูกสารเป็นเวลานาน (สังเกตค่าวิกฤต)

ข้อมูลเพิ่มเติม

ควรใช้ผลิตภัณฑ์ด้วยความระมัดระวัง เช่นเดียวกับเมื่อทำงานกับสารเคมี

หมวด12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

ผลกระทบทางชีวภาพ: ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในน้ำ

ข้อมูลอื่นๆเกี่ยวกับระบบนิเวศน์: ไม่ก่อให้เกิดผลต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม

หมวด13. มาตรการการกำจัด

ผลิตภัณฑ์: ไม่มีกฎข้อบังคับของอีซีว่าด้วยการกำจัดสารเคมีหรือกากเคมีซึ่งมักจะถือว่าเป็นของเสียเฉพาะ ประเทศสมาชิกอีซีมีกฎหมายและข้อบังคับในการกำจัดของเสียเฉพาะเหล่านั้น โปรดติดต่อผู้รับผิดชอบหรือบริษัทรับกำจัดของเสียที่ได้รับอนุญาตเพื่อปรึกษา วิธีกำจัด

บรรจุภัณฑ์: กำจัดตามระเบียบราชการ หีบห่อที่ปนเปื้อนสารเคมีให้จัดการเช่นเดียวกับตัวสารเคมี สำหรับหีบห่อที่ไม่เปื้อนให้กำจัดเหมือนของเสียตามบ้านหรือนำมาใช้ใหม่ หากไม่มีข้อกำหนดอื่นเป็นพิเศษ ติดต่อบริษัทผู้ผลิตตามที่ระบุในฉลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด14. ข้อมูลการขนส่ง

ติดต่อบริษัท ALDRICH เพื่อขอข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่ง

หมวด15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การติดฉลากตามระเบียบอีซี

สัญลักษณ์: T เป็นพิษ

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย: R 61-62-E20/22-33 อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อเด็กในครรภ์ อาจก่อให้เกิดภาวะเจริญพันธุ์บกพร่อง อันตรายเมื่อสูดดม, กลืนกิน อันตรายจากการสะสม

ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย: S 53-45 ไม่ควรให้สารถูกร่างกาย ศึกษาคำแนะนำก่อนใช้ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ หรือรู้สึกไม่สบาย ควรปรึกษาแพทย์ทันที พร้อมทั้งแสดงฉลากของสารเคมี

เลขอีซี: 082-001-00-6 EC label

ระเบียบของเยอรมัน

ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ 0 (โดยปกติ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ)

หมวด16. ข้อมูลอื่น

การเปลี่ยนแปลงจากเอกสารฉบับก่อน

เปลี่ยนแปลงข้อมูลในหัวข้อ ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ

เพิ่มเติมข้อมูลทั่วไป

ง-2 ผงตะกั่ว [12]

หมวด1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์

หมายเลขผลิตภัณฑ์: 112067

ชื่อผลิตภัณฑ์: Lead fine powder LAB

ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ผลิต/ผู้ส่ง

บริษัท: บริษัท เมอร์ค จำกัด

ชั้น 9 อาคาร มอนเทอเรย์ 2170 ถนน เพชรบุรีตัดใหม่ บางกะปิ ห้วยขวาง กรุงเทพ 10320โทรศัพท์: (662) 308 – 0218

หมวด2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

เลขรหัสซีเอเอส: 7439-92-1 มวลต่อโมล: 207.20

เลขอีไอเอ็นอีซีเอส: 231-100-4 สูตรโมเลกุล: Pb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อเด็กในครรภ์ อาจก่อให้เกิดภาวะเจริญพันธุ์บกพร่อง อันตรายเมื่อสูดดม, กลืนกิน อันตรายจากการสะสม

หมวด4. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม: ให้รับอากาศบริสุทธิ์

เมื่อถูกผิวหนัง: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกทันที

เมื่อเข้าตา: ชะล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก โดยลืมตากว้างในน้ำอย่างน้อย 10 นาที

เมื่อกลืนกิน: ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำปริมาณมาก กระตุ้นให้อาเจียนแล้วนำส่งแพทย์ทันที

ยาระบาย: โซเดียมซัลเฟต (1 ช้อนโต๊ะในน้ำ 0.25 ลิตร) คาร์บอนกัมมันต์ ห้ามให้กินนม ห้ามให้กินแอลกอฮอล์

หมวด5. มาตรการการผจญเพลิง

สารดับไฟที่เหมาะสม: เลือกใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับวัสดุที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง

ข้อมูลอื่น: ไม่ลุกไหม้ติดไฟ

หมวด6. มาตรการเมื่อมีการปล่อยสารโดยอุบัติเหตุ

ข้อควรระวังส่วนบุคคล: ไม่ควรทำให้เกิดฝุ่น

วิธีทำความสะอาด/ดูดซับ: กวาดขณะแห้ง ส่งไปกำจัด ทำความสะอาดบริเวณที่ปนเปื้อน

หมวด7. การจัดการและการเก็บรักษา

การเก็บ: ปิดให้แน่น เก็บในที่แห้ง ณ. อุณหภูมิ+15 ถึง +25 องศาเซลเซียส

หมวด8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

ตัวแปรควบคุมเฉพาะ

MAK German [ความเข้มข้นสูงสุดในที่ทำงาน]

Lead 1 มิลลิกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล:

การป้องกันระบบหายใจ: จำเป็น เมื่อมีฝุ่น

การป้องกันตา: จำเป็น

การป้องกันมือ: จำเป็น

ข้อควรปฏิบัติ เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมี ล้างมือหลังจากการใช้สาร

หมวด9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะ: ของแข็ง สี: ดำออกเทา

กลิ่น: ไม่มีกลิ่น จุดหลอมเหลว: ประมาณ 327 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดเดือด: 1740 °C ความหนาแน่น: 11.3 g/cm3

ความสามารถในการละลาย น้ำ (20 °C): ไม่ละลาย ขนาดอนุภาค: 100 m^2

หมวด10. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

สารที่ต้องหลีกเลี่ยง

ฟลูออรีน สารประกอบแอมโมเนียม โลหะ ในสภาพที่เป็นผง กรดไนตริก, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ / โลหะ ในสภาพที่เป็นผง เอไซด์ พิคเครต

หมวด11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

ข้อมูลเพิ่มเติมทางพิษวิทยา

ข้อมูลสำหรับสารประกอบตะกั่วโดยทั่วไป:

การได้รับในปริมาณมากเท่านั้นจึงแสดงพิษเฉียบพลัน เนื่องจากสารถูกดูดซึมผ่านกระเพาะและ/หรือลำไส้ได้น้อย หลังระยะแฝงหลายชั่วโมงจะรู้สึก รสโลหะ คลื่นไส้ อาเจียน และเสียดท้องอย่างรุนแรง หมดสติ การได้รับเป็นเวลานาน ทำให้กล้ามเนื้อรอบนอกอ่อนแอ (ข้อมือตก) โลหิตจาง และระบบประสาทส่วนกลางผิดปกติ อาจเป็นพิษต่อทารกในครรภ์นั้น หญิงสาวในช่วงวัยเจริญพันธุ์ไม่ควรสัมผัสถูกสารเป็นเวลานาน (สังเกตค่าวิกฤต)

หมวด12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

ผลกระทบต่อระบบนิเวศน์

ข้อมูลสำหรับสารประกอบตะกั่วโดยทั่วไป

ผลกระทบทางชีวภาพ: ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในน้ำ

ข้อมูลอื่นๆเกี่ยวกับระบบนิเวศน์

ไม่ก่อให้เกิดผลต่อระบบนิเวศน์ หากมีการใช้และจัดการกับผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม

หมวด13. มาตรการการกำจัด

ผลิตภัณฑ์:

ไม่มีกฎข้อบังคับของอีซีว่าด้วยการกำจัดสารเคมีหรือกากเคมีซึ่งมักจะถือว่าเป็นของเสียเฉพาะ ประเทศสมาชิกอีซีมีกฎหมายและข้อบังคับในการกำจัดของเสียเฉพาะเหล่านั้น โปรดติดต่อผู้รับผิดชอบหรือบริษัทรับกำจัดของเสียที่ได้รับอนุญาตเพื่อปรึกษาวิธีกำจัด

บรรจุภัณฑ์:

กำจัดตามระเบียบราชการ หีบห่อที่ปนเปื้อนสารเคมีให้จัดการเช่นเดียวกับตัวสารเคมี สำหรับหีบห่อที่ไม่เปื้อนให้กำจัดเหมือนของเสียตามบ้านหรือนำมาใช้ใหม่ หากไม่มีข้อกำหนดอื่นเป็นพิเศษ ติดต่อบริษัทผู้ผลิตตามที่ระบุในฉลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด14. ข้อมูลการขนส่ง

ไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับการขนส่ง

หมวด15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การติดฉลากตามระเบียบอีซี

สัญลักษณ์: T เป็นพิษ

ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย: R 61-62-E20/22-33 อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อเด็กในครรภ์ อาจก่อให้เกิดภาวะเจริญพันธุ์บกพร่อง อันตรายเมื่อสูดดม, กลืนกิน อันตรายจากการสะสม

ข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย: S 53-37-45ไม่ควรให้สารถูกร่างกาย ศึกษาคำแนะนำก่อนใช้ สวมถุงมือที่เหมาะสม ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ หรือรู้สึกไม่สบาย ควรปรึกษาแพทย์ทันที พร้อมทั้งแสดงฉลากของสารเคมี

เลขอีซี: ---

ระเบียบของเยอรมัน

ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ 0 (โดยปกติ ไม่ค่อให้เกิดมลพิษ)

หมวด16. ข้อมูลอื่น

การเปลี่ยนแปลงจากเอกสารฉบับก่อน

เปลี่ยนแปลงข้อมูลในหัวข้อ ระดับมลพิษต่อแหล่งน้ำ

ง-3 โซเดียมซัลเฟต [13]

หมวด 1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ชื่อผลิตภัณฑ์ SODIUM SULFATE, 98%

หมายเลขผลิตภัณฑ์ 207853

บริษัท Sigma-Aldrich Pte Ltd # 08-01 Citilink Warehouse Singapore 118529 Singapore

เบอร์โทรศัพท์ฝ่ายวิชาการ #65 271 1089

โทรสาร: 65 271 1571

หมวด 2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ชื่อผลิตภัณฑ์ SODIUM SULFATE ANHYDROUS

CAS # 7757-82-6 EC no 231-820-9

สูตร Na2SO4 น้ำหนักโมเลกุล 142.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด 3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ข้อชี้บ่งสำหรับอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ไม่เป็นอันตรายตามข้อกำหนด 67/548/EC.

หมวด 4. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดม

สารถ้าสูดดมเข้าไป: ให้ย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าเริ่มหายใจลำบาก ให้ตามแพทย์มา

เมื่อสัมผัสสาร

ในกรณีที่สัมผัสกับสาร: ให้ล้างผิวหนังทันทีด้วยสบู่และน้ำปริมาณมาก

เมื่อสารเข้าตา

ในกรณีที่เข้าตา: ให้ล้างด้วยน้ำปริมาณมาก เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที ต้องแน่ใจว่า ได้ล้างตาอย่างเพียงพอ โดยใช้นิ้วมือแยกเปลือกตาออกจากกันระหว่างล้าง ไปพบแพทย์

เมื่อกลืนกิน

เมื่อกลืนกิน: ให้ใช้น้ำบ้วนปากในกรณีที่ผู้ป่วยที่ยังมีสติอยู่. ไปพบแพทย์

หมวด 5. มาตรการการผจญเพลิง

อุปกรณ์ผจญเพลิงเหมาะสม: ไม่ลุกไหม้. ใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับสภาวะรอบๆที่เกิดไฟ

อันตรายเฉพาะ: ปล่อยควันพิษออกมาภายใต้สภาวะที่เกิดไฟ

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับผู้ผจญเพลิง

สวมเครื่องช่วยการหายใจแบบครบชุดและเสื้อผ้าที่ใช้ป้องกัน เพื่อป้องกันการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา

หมวด 6. มาตรการเมื่อมีอุบัติเหตุสารหกรั่วไหล

วิธีป้องกันภัยของบุคคล

ปฏิบัติตามข้อควรระวังที่เหมาะสม เพื่อลดการสัมผัสผิวหนังและดวงตาให้น้อยที่สุด และป้องกันไม่ให้หายใจเอาฝุ่นเข้าไป

วิธีการทำความสะอาดหลังการปนเปื้อน หรือรั่วไหล

กวาด เก็บไว้ในถุงและรอการกำจัด หลีกเลี่ยงการทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย ระบายอากาศในบริเวณนั้น และล้างตำแหน่งที่สารหกรั่วไหลหลังจากเก็บสารออกหมดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด 7. ข้อปฏบัติการใช้สารและการเก็บรักษา

ข้อปฏิบัติการใช้สาร

คำแนะนำสำหรับการปฏิบัติที่ปลอดภัย: หลีกเลี่ยงการสูดดม

หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับดวงตา ผิวหนัง และเสื้อผ้า หลีกเลี่ยงการได้รับสารเป็นเวลานานหรือซ้ำหลายครั้ง

การเก็บรักษา สภาวะสำหรับการเก็บ: ปิดให้สนิท

สิ่งที่ต้องมีเป็นพิเศษ:สารดูดความชื้น

หมวด8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

การควบคุมเชิงวิศวกรรม

ฝึกบัวนิรภัยและอ่างล้างตา, ต้องมีเครื่องระบายอากาศ

สุขลักษณะทั่วไป ล้างให้สะอาดหลังการสัมผัส

เครื่องป้องกันส่วนบุคคล

การป้องกันทางเดินหายใจ: สวมหน้ากากป้องกันฝุ่น.

การป้องกันมือ: ถุงมือป้องกัน

การป้องกันดวงตา: แว่นตาแบบก๊อกเกิลส์ที่ป้องกันสารเคมี.

หมวดที่ 9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะภายนอก

สี: สีขาว รูปแบบ: ผลึกละเอียด พีเอช: 5.2 - 8 20 °C

ความเข้มข้น: 50 g/l

จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว 884 °C

ความหนาแน่น 2.68 g/cm3

ความหนาแน่นในสภาพเป็นกลุ่มก้อน (Bulk density) 1,400 kg/l

การละลายน้ำ: 1 M in H_2O 20°C complete ไม่มีสี

หมวด10. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

เสถียร: เสถียร

สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง: ป้องกันจากความชื้น

สารที่ควรหลีกเลี่ยง: กรดแก่ อะลูมินัม แมกนีเซียม

ผลิตภัณฑ์อันตรายที่เกิดจากการสลายตัว

ผลิตภัณฑ์อันตรายที่เกิดจากการสลายตัว: ซัลเฟอร์ออกไซด์

หมวด11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

วิถีทางที่ได้รับสาร

การสัมผัสทางผิวหนัง: อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซึมทางผิวหนัง: อาจเป็นอันตรายหากถูกดูดซึมผ่านผิวหนัง

การสัมผัสทางตา: อาจทำให้เกิดการระคายเคืองดวงตา

การสูดดม: อาจเป็นอันตรายหากสูดดม สารนี้อาจจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่แผ่นเยื่อเมือก และบริเวณทางเดินหายใจส่วนบน

การกลืนกิน: อาจเป็นอันตรายหากกลืนกิน

การได้รับสารแบบเรื้อรัง – ก่อมะเร็ง

หมวด 12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

-

หมวด13. Disposal Considerations

การกำจัดสาร

ในการกำจัดสารติดต่อผู้ให้บริการกำจัดขยะซึ่งมีใบประกอบอาชีพ ละลายหรือผสมสารกับตัวทำละลายซึ่งไหม้ไฟได้และเผาในเตาเผาสารเคมีซึ่งติดตั้งเครื่องเผาทำลายสารคาร์บอนเพื่อลดมลพิษและเครื่องฟอก ให้ตรวจสอบข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลกลาง รัฐและท้องถิ่น

หมวด 14 . ข้อมูลการขนส่ง

ไม่มีอันตรายทั้งการขนส่ง ทางบก ทางเรือ ทางอากาศ

หมวด15 . ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

ข้อมูลเฉพาะของประเทศ

เยอรมนี WGK: 1

สวิสเซอร์แลนด์ ประเภทความเป็นพิษของสวิสเซอร์แลนด์: 5

หมวด16 . ข้อมูลอื่นๆ

การรับประกัน

เป็นที่เชื่อว่าข้อความข้างต้นมีความถูกต้อง แต่ไม่ยืนยันว่าเป็นข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ และพึงใช้เพื่อเป็นแนวทางเท่านั้น. ข้อความในเอกสารนี้มาจากความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และใช้ได้กับผลิตภัณฑ์โดยประกอบกับการระมัดระวังความปลอดภัยที่เหมาะสม. ไม่ได้แทนการรับประกันคุณสมบัติใด ๆ ของผลิตภัณฑ์ บริษัท Sigma-Aldrich จะไม่รับชดใช้ค่าเสียหายใด ๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานหรือการสัมผัสสารข้างต้น ให้ดูหน้าหลังของใบส่งของหรือแผ่นการบรรจุสารสำหรับข้อความเพิ่มเติมและข้อกำหนดการขาย สงวนลิขสิทธิ์ 2004 บริษัท Sigma-Aldrich อนุญาตให้สำเนาไม่จำกัดสำหรับการใช้ภายในเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้