

การศึกษาและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ที่ใช้ใน
ระบบประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์

STUDY AND ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECT ON
BATTERY PERFORMANCE IN PV SYSTEM

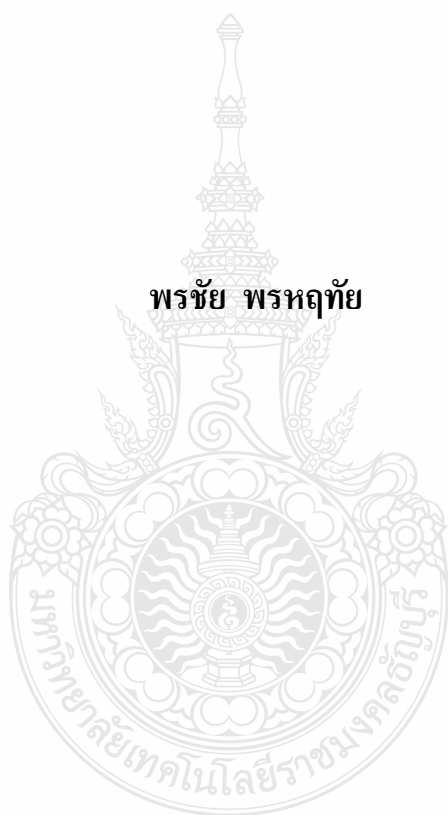


พรชัย พรหฤทัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ที่ใช้ใน
ระบบประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์

พรชัย พรหุทัย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์
ชื่อ – นามสกุล	นายพรชัย พรหุทัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ถือว่ามีความสำคัญมากต่อการทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะแบบแยกเดี่ยว แต่จากรายงานการใช้งานพบว่า แบตเตอรี่คือส่วนที่มีปัญหามากที่สุดและพบว่ามีอายุการใช้งานสั้นกว่าระยะเวลาที่ควรจะเป็น เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นอุณหภูมิแวดล้อมที่ใช้งานแบตเตอรี่จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่มีผลสำคัญยิ่งต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25-60°C จากนั้นได้ติดตั้งทดสอบจริง โดยทำการทดสอบอัดและคายประจุกับตัวอย่างแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ที่มีการใช้งานในระบบมากที่สุด โดยการนำแบตเตอรี่ไปต่อกับชุดทดสอบเพื่อทำการอัดประจุและคายประจุในชุดควบคุมอุณหภูมิปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 25-60°C และเก็บบันทึกค่าแรงดัน กระแส ด้วยคอมพิวเตอร์

ผลการทดสอบแบตเตอรี่ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับ การทดสอบจริงด้วยชุดทดสอบอุณหภูมิ โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 20Ah ปรากฏว่าผลการทดสอบเป็นไปในแนวทางเดียวกันคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการอัดและคายประจุจะใช้เวลานานขึ้น โดยจากการทดสอบเวลาที่ใช้ในการคายประจุ 20A ที่อุณหภูมิ 25°C จะใช้เวลาประมาณ 40 นาที และใช้เวลานานมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 45°C ใช้เวลาคายประจุ 55 นาที อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบด้วยชุดทดสอบอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 45°C แบตเตอรี่จะเกิดการบวมและเสียหาย แสดงให้เห็นว่าถึงแม้อุณหภูมิสูงจะทำให้แบตเตอรี่จ่ายไฟได้นานขึ้นแต่ก็จะสามารถทนอุณหภูมิได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น

คำสำคัญ: แบตเตอรี่ตะกั่วกรด ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ผลกระทบของอุณหภูมิ สมรรถนะแบตเตอรี่

Thesis Title	Study and Analysis of Temperature Effect on Battery Performance in PV System
Name - Surname	Mr.Pornchai Pornharuthai
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Dr.Boonyang Plangklang
Academic Year	2011

ABSTRACT

This thesis presents a study and analysis of temperature effect on battery performance in Photovoltaic (PV) system. Battery is an important device in standalone PV systems. However, according to several application reports, it is found that the battery is a device that causes most problems in the renewable energy system and battery life is shorter than expectation. As the battery converses chemical energy into electrical energy; therefore, ambient temperature is definitely influenced to the battery performance.

In this thesis, a selected lead-acid battery is used for building the mathematical model by using Matlab/Simulink in order to study the performance of the battery at the 25-60°C temperature range. The experiment is set up by using temperature control unit and a standard battery charging/discharging system. The temperature in experiment is also controlled in the range of 25-60°C. The charged/discharged current and voltage are recorded by computer.

The results of a selected lead-acid battery 12V 20Ah, the outputs from mathematical model and the experiment are similar. By controlling discharged current 20A, the discharging time of the battery at 25°C is 40 minutes and will also take longer time at higher temperature. At the temperature 45°C, the discharging time is 55 minutes. However, at temperature above 45 ° C, the battery is broken according to the temperature limitation. Therefore, even the battery capacity is longer when operates at higher temperature but the battery is able to stand only in the specific temperature.

Keywords: lead-acid battery, PV system, temperature effect, battery performance

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เป็นอย่างดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คือ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่ได้ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาแนะนำมาโดยตลอด รวมทั้งชี้แนะแนวทาง วางกรอบ ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่ให้คำชี้แนะ แนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ต่อการทำงานวิจัย พี่ๆ น้องๆ ปรียญาโท และขอขอบพระคุณนายอนันต์ ธีระเสถียร นายสมชาติ ฝากาบล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยงานวิจัยและให้ข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณบริษัทและห้างร้านต่างๆ ที่ให้การสนับสนุนในด้านอุปกรณ์ เพื่อนๆ และอาจารย์ สำหรับคำปรึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความเข้าใจดีสำหรับเวลาที่ข้าพเจ้าต้องใช้สำหรับการศึกษาเพื่ออนาคตในครั้งนี้ รวมทั้งพี่ ๆ และทีมงานวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ร่วมแรง ร่วมใจ อยู่ด้วยกันปฏิบัติงานตลอดมา

พรชัย พรฤทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2 แบตเตอรี่ (Battery).....	7
2.3 แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด (Lead-Acid).....	8
2.4 ประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง.....	11
2.5 หลักการทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	13
2.6 ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Capacity).....	17
2.7 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	22
2.8 แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	27
2.9 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด.....	29
2.10 การบำรุงรักษาและการใช้งานแบตเตอรี่.....	46
2.11 อุปกรณ์ในการทดสอบแบตเตอรี่.....	49

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.12 สรุป	50
3 การออกแบบและวิธีดำเนินการ.....	51
3.1 แผนการดำเนินงาน	51
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	52
3.3 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่	52
3.4 สมการค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	53
3.5 การทดสอบโดยโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์.....	57
3.6 ไคอะแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	57
3.7 การทดสอบอัดและคายประจุแบตเตอรี่	59
3.8 ขั้นตอนการสร้างและดำเนินงาน	60
3.9 การดำเนินการทดสอบแบตเตอรี่	61
3.10 ขั้นตอนการทดสอบ	63
3.11 สรุปผล.....	65
4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	66
4.1 ผลการ Simulation จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	66
4.2 ผลการทดสอบแบตเตอรี่ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในการทดสอบจริง	80
4.3 สรุป	84
5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	86
5.1 สรุป	86
5.3 ข้อเสนอแนะ	88
รายการอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	90
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกค่าผลการทดสอบ.....	91
ภาคผนวก ข Program MTB-Series.....	103
ภาคผนวก ค M FILE แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	108
ภาคผนวก ง DATA SHEET	124
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	127
ประวัติผู้เขียน.....	147

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณประจุที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดซัลฟิวริกตามทฤษฎีที่อุณหภูมิ 25 °C	19
2.2 ความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิ.....	35
2.3 ข้อเสนอแนะการเลือกแรงดันควบคุมในการประจุ	46
2.4 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ	46
3.1 ระยะเวลาทำวิจัย 12 เดือน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาดำเนินงาน.....	52



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ฟังก์ชันการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน.....	2
2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ.....	7
2.2 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ.....	8
2.3 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	9
2.4 ส่วนประกอบโครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	10
2.5 ตัวอย่างแบตเตอรี่แบบเจล (ซ่าย) แบตเตอรี่แบบAGM (ขวา).....	12
2.6 ปฏิกิริยาภายในของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิด.....	12
2.7 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	14
2.8 แรงดันขณะเปิดวงจรของเซลล์แบบตะกั่วกรดกับค่าความถ่วงจำเพาะสารละลาย.....	17
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความจุ.....	18
2.10 ผิวของแผ่นธาตุในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (ซ่าย) Solar battery (ขวา) Starter Battery.....	19
2.11 ความสัมพันธ์ของความจุแบตเตอรี่กับกระแสที่ใช้ในการคายประจุและอุณหภูมิ.....	22
2.12 วงจรเปรียบเทียบทั่วไปของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	23
2.13 จุดทำงานของแบตเตอรี่สำหรับความต้านทานโหลดที่แตกต่างกัน.....	24
2.14 วงจรแบตเตอรี่กับกระบวนการ Dynamic และ Quasi-static.....	24
2.15 วงจรเปรียบเทียบ Quasi-static กับวงจรการเกิด Gassing.....	26
2.16 การต่อแบบอนุกรมเพื่อให้แรงดันมากขึ้น.....	27
2.17 การต่อแบบขนานเพื่อให้กระแสมากขึ้น.....	27
2.18 การต่อแบบผสมเพื่อเพิ่มทั้งกระแสและแรงดัน.....	28
2.19 การชาร์จแบตเตอรี่โดยเซลล์แสงอาทิตย์.....	28
2.20 ผลของอุณหภูมิต่อความจุใช้งานของแบตเตอรี่.....	38
2.21 Cycle life vs. DOD.....	40
2.22 สถานะการชาร์จที่ขึ้นกับอุณหภูมิ.....	41
2.23 แบตเตอรี่เกิดการดีชาร์จด้วยตัวเอง เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ.....	42
2.24 ผลของอุณหภูมิต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่.....	43
2.25 วงจรเทียบเคียงการเกิดก๊าซซิง.....	44
2.26 แรงดันควบคุมในช่วงการประจุเกินและการเกิดก๊าซซิงของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	45

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่	53
3.2 ไดอะแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	57
3.3 ไดอะแกรมแบบจำลองการอัดประจุแบตเตอรี่	58
3.4 ไดอะแกรมแบบจำลองการคายประจุแบตเตอรี่	58
3.5 วงจรทดสอบโดยมีเครื่องบันทึกข้อมูล	59
3.6 ไดอะแกรมการทดสอบแบตเตอรี่	61
3.7 ลักษณะขั้นตอนการทดสอบแบตเตอรี่	62
3.8 โปรแกรมการตั้งค่าทดสอบการอัดและคายประจุด้วยเครื่อง MTB.....	63
3.9 สรุปขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบตเตอรี่	64
4.1 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C	66
4.2 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C	67
4.3 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C	67
4.4 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C	67
4.5 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C	68
4.6 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C	68
4.7 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C	69
4.8 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C	69
4.9 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C	70
4.10 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C	70
4.11 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C	71
4.12 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C	71
4.13 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C	71
4.14 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C	72
4.15 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C	72
4.16 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C	73
4.17 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C.....	73
4.18 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C.....	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.19 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C.....	74
4.20 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C.....	74
4.21 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C.....	75
4.22 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C.....	75
4.23 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C.....	76
4.24 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C.....	76
4.25 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C	77
4.26 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C	77
4.27 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C	78
4.28 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C	78
4.29 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C	78
4.30 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C	79
4.31 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C	79
4.32 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C	80
4.33 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH	81
4.34 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH.....	82
4.35 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH	83
4.36 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH.....	84
5.1 แบตเตอรี่เสียหายจากการทดสอบที่อุณหภูมิสูง 60 °C.....	87
5.2 ความจุและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิต่างๆ	88

บทที่ 1

บทนำ

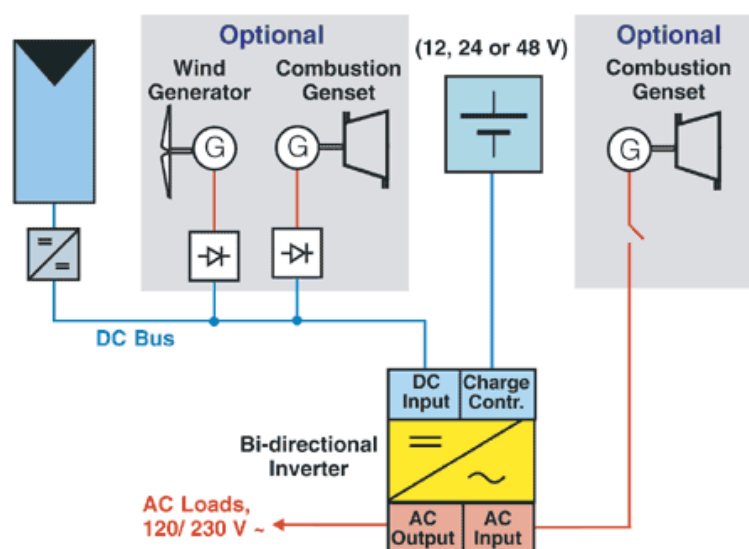
ในช่วงที่การผลิตไฟฟ้าเกินความต้องการนั้นก็จะต้องมีการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรอง แบตเตอรี่จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า รวมถึงในระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทน ในปัจจุบันมีการผลิตและการใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้พลังงาน โดยเฉพาะการใช้งานที่สภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิต่างๆ กันไป ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการจ่ายไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานถือว่าเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาประเทศให้พัฒนาก้าวหน้า แต่ในสภาวะปัจจุบันพลังงานที่ใช้อยู่เข้าสู่สภาวะขาดแคลนทำให้มีราคาสูงซึ่งส่งผลโดยตรงกับการพัฒนาประเทศ รวมทั้งสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันด้วย พลังงานทดแทนจากแหล่งต่างๆ ได้ถูกคิดค้นและนำมาใช้เพื่อทดแทนพลังงานหลัก เช่นพลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น พลังงานทดแทนต่างๆ เหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในโครงการต่างๆ แต่ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่พลังงานเหล่านี้ไม่สามารถจ่ายกำลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่อง เพราะพลังงานทดแทนไม่ได้มีตลอดเวลา เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ก็มีเฉพาะตอนกลางวัน ดังนั้นการรวมแหล่งพลังงานทดแทนเข้ามาผสมผสานเพื่อให้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น

จากการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ให้กำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆ ดังนี้

- 1) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
- 3) ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม
- 4) อินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 1.1 ผังการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [1]

จากภาพที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าในระบบมีอุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้าอยู่หลายส่วน แบตเตอรี่ถือว่ามีความสำคัญมากต่อระบบการทำงาน เพราะแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บพลังงานงานที่จะต้องมิตลอดเวลาทั้งกลางวันและกลางคืน แต่จากประสบการณ์ที่ใช้งานจริงพบว่า แบตเตอรี่คือส่วนที่มีปัญหาหนักที่สุด เพราะว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานสั้นและเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะการใช้งานที่อุณหภูมิต่างๆกัน ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการจ่ายไฟฟ้าในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์การทำงานของแบตเตอรี่สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานเต็มกำลังและสามารถจัดการชาร์จและจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม ไม่ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดตะกั่วกรดแบบและต่างๆ ที่มีในท้องตลาด

1.2.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อแบตเตอรี่ เพื่อสามารถนำไปใช้งานในระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ ได้อย่างเหมาะสม

1.2.3 ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ วิเคราะห์ผล เพื่อการใช้งานแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

ในการใช้งานแบตเตอรี่เพื่อใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพและอายุการใช้งาน อย่างไรก็ตามเราก็ดีเราหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะไม่ใช้งานแบตเตอรี่ โดยเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เพราะผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการความต่อเนื่องของระบบผลิตไฟฟ้า แต่พลังงานแสงอาทิตย์มีเฉพาะตอนกลางวันเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติและสมรรถนะของแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถใช้งานอย่างเต็มประสิทธิภาพ การวิจัยจะเน้นไปในด้านการศึกษาและวิเคราะห์อุณหภูมิที่มีผลต่อค่าแรงดันกระแส และพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดที่ใช้ในการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อสามารถอัดและคายประจุแบตเตอรี่ได้ในเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม ไม่ทำให้แบตเตอรี่อายุการใช้งานสั้น เพื่อการนำระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบผสมผสานไปใช้งานได้อย่างยั่งยืนในอนาคต

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.2 ทดสอบแบตเตอรี่ที่ใช้งานกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดตะกั่วกรด ตามมาตรฐาน IEC. ที่อุณหภูมิ 25-60 องศาเซลเซียส

1.4.3 เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทดสอบการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.4.4 วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่เปรียบเทียบผลการทดสอบจริงกับผลจากแบบจำลอง

1.5 ขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.2 ศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบต่างๆในท้องตลาดที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์

1.5.3 ออกแบบการทดสอบและเก็บค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ในห้องทดสอบเพื่อวิเคราะห์การทำงาน

1.5.4 ทดสอบอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ในอุณหภูมิต่างๆและบันทึกค่าพารามิเตอร์

1.5.5 เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทดสอบการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม MATLAB

1.5.6 เปรียบเทียบและประเมินผลการทำงานของงานวิจัย

1.5.7 จัดทำรายงานการวิจัยและสรุปผล

1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด เพื่อที่จะหาข้อจำกัดของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ออกแบบและทดสอบระบบการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดในช่วงอุณหภูมิต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์ชุดทดสอบการชาร์จและดีสชาร์จแบตเตอรี่ที่มีอยู่ ทดสอบและเก็บค่าเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของแบตเตอรี่ เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทดสอบการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการใช้งานแบตเตอรี่ให้เต็มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ช่วยให้ทราบการทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ได้

1.7.2 จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้ทราบระยะเวลาในการอัดและคายประจุอย่างรวดเร็ว

1.7.3 สามารถใช้งานแบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสมกับงานและสภาวะแวดล้อม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแบตเตอรี่ที่ใช้กับพลังงานในประเทศไทยมีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ร่วมกับแบตเตอรี่หลายแห่ง มีทั้งที่ใช้กับแบตเตอรี่รถยนต์ และสเตชันนารีแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดนั้น ปัจจุบันนิยมใช้งานร่วมกับระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเรายังมีความเข้าใจน้อยมากเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เราเลือกใช้ จึงนำไปสู่การวิจัยและทดสอบระบบดังกล่าวขึ้น โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัยในลำดับต่อไปนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Copetti และ Chenlo [2] ได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งพิจารณาที่กระบวนการคายประจุ และการประจุที่กระแสและอุณหภูมิต่างๆ โดยเลือกช่วงขอบเขตที่ค่อนข้างกว้างคือในช่วงกระแสที่ 5–10 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 5–45 °C เป็นช่วงการทำงานจริงของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้ความสนใจกับแบตเตอรี่ภายนอก คือ แรงดัน กระแส SOC และอุณหภูมิ รวมไปถึงพฤติกรรมของความต้านทานภายใน ค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ปรับปรุงจากงานวิจัยของ Baikei ในแบบจำลองนี้แสดงผลของโพลาริเซชันในเทอมของความต้านทานภายใน นอกจากนี้แบบจำลองยังอธิบายถึงพฤติกรรมในช่วงการเกิดแก๊สของแบตเตอรี่โดยใช้พื้นฐานของแบบจำลองของ Mayer และ Biscaglia [3] แบบจำลองช่วงเกิดแก๊สคำนวณค่าแรงดันเมื่อเริ่มเกิดแก๊สและแรงดันสุดท้ายด้วยพื้นฐานของ F.Grana ผู้ทำการวิจัยใช้แบตเตอรี่ชนิด Fulmen EF2050-C₁₀ ขนาด 50 Ah, Varta Vb624-C₁₀ ขนาด 120 Ah, และ ATSA Tudor STTH180-C₁₀ ขนาด 180 Ah ซึ่งให้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ โคนที่แบบจำลองในช่วงเกิดแก๊ส สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบควบคุมการประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันการเสียหายเนื่องจากการเดือดของแบตเตอรี่ที่ยาวนานเกินไป ซึ่งค่าคงที่ต่างๆ ในแบบจำลองจะแตกต่างกันไปขึ้นกับขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ ผลการทดลอง ได้ค่า RMSE (Root Mean Square Error) เฉลี่ยของแบตเตอรี่ทั้งสามชนิดน้อยกว่า 50 mV/cell

Armenta-Deu [4] ทำการทดลองที่ มาดริดประเทศสเปนกับแบตเตอรี่ขนาด 150 Ah, 240 Ah, และ 625 Ah ที่อุณหภูมิกึ่งที่ เพื่อปรับปรุงวิธีการหาค่าความจุของแบตเตอรี่ ด้วยช่วงกระแส C₅–C₁₀₀ ซึ่งปรับปรุงด้วยแฟกเตอร์ แก้ไข $f = C_n / C_1$ โดย C₁ เป็นค่าความจุแบตเตอรี่ที่สภาวะมาตรฐาน

และ C_{∞} เป็นความจุที่สูงกว่าหรือต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งได้ทดลองใช้สมการคำนวณหาความจุใน 2 เงื่อนไข คือเงื่อนไขแรกเป็นการคำนวณค่าความจุโดยตรง วิธีการนี้เป็นการคำนวณค่าความจุที่ขึ้นกับความหนาแน่นของสารละลาย และอีกเงื่อนไขหนึ่งเป็นการหาค่าความจุที่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสารละลายและแรงดันอ้างอิง สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 150 Ah ในเงื่อนไขแรกถ้าไม่ใช้แฟลคเตอร์แก้ไขจะคลาดเคลื่อน 4.4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในเงื่อนไขที่สองถ้าไม่ใช้แฟลคเตอร์แก้ไขผลการคำนวณจะคลาดเคลื่อน 15.5 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้จะคลาดเคลื่อน 3.7 เปอร์เซ็นต์ ในแบตเตอรี่ขนาด 240 Ah และ 625 Ah ผลการทดลองมีทิศทางเดียวกับแบตเตอรี่ขนาด 150 Ah แต่ความคลาดเคลื่อนจะต่ำกว่ามาก

Liuchen, Chang [5] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงการชาร์จแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ โดยการปรับปรุงวงจรของแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ใหม่และทดสอบการชาร์จประจุของแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นก็นำมาทำการเปรียบเทียบกับวิธีการชาร์จแบบเก่าและแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบกัน โดยการปรับปรุงวงจรพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการใส่คาปาซิเตอร์และวงจร step-up DC choppers จากนั้นก็ทำการทดสอบ วัดค่าแรงดันและกระแสเอาท์พุทของวงจรเพื่อทำการเปรียบเทียบ ปรากฏว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 20%

Lamaison, R. M. Bordonau, J. Esquivel, A. Peracaula, J [6] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์และออกแบบการชาร์จแบตเตอรี่ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้ DC/DC Converter เป็นแหล่งพลังงานในการจ่ายไฟให้กับแบตเตอรี่ และมี Half bridge inverter เป็นอุปกรณ์รับพลังงานจาก 2 แหล่งจ่ายในระบบแสงอาทิตย์ ซึ่งการวิจัยนี้ได้ทำขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ DC/DC Converter ขนาด 100 W/250 kHz เพื่อดูการชาร์จประจุของแบตเตอรี่ขนาด 12 v. ปรากฏว่า แบตเตอรี่ที่ได้รับการชาร์จประจุโดย DC/DC Resonant converter สามารถทำให้แบตเตอรี่มีค่า EMJ ต่ำ, Power density สูง และประสิทธิภาพในการจ่ายโหลดของแบตเตอรี่สูงถึง 84%

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษาค้นคว้าทำให้พบว่าปัญหาสำคัญของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดคือ อายุการใช้งานสั้น ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลง อาจเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม อุณหภูมิ และการใช้งานที่ไม่เหมาะสม จึงมีความสนใจศึกษาและวิเคราะห์สมรรถนะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบต่างๆ ที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่องยาวนาน มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับลักษณะภูมิอากาศ เพื่อให้แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

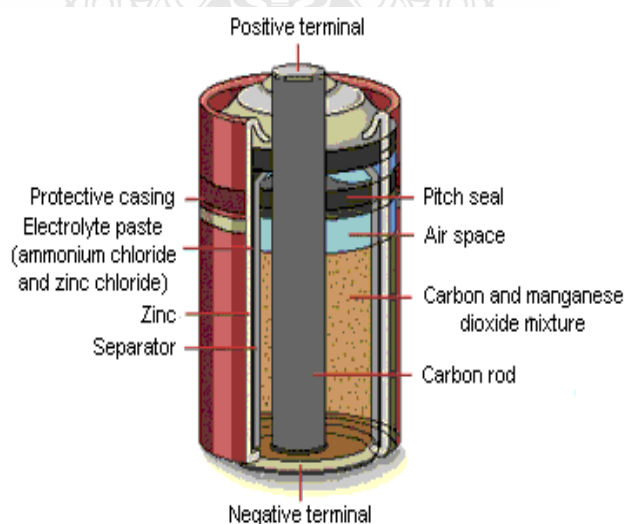
2.2 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้

การประจุแบตเตอรี่ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Battery charging system) มีลักษณะการรับพลังงานแสงอาทิตย์ของแสงอาทิตย์ที่มีลักษณะแตกต่างกันตามชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และผลิตเป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านเข้าเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมการเก็บประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยมีระบบ Maximum Power Point Tracking (MPPT) ที่ช่วยให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด เพื่อควบคุมการเก็บประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [7]

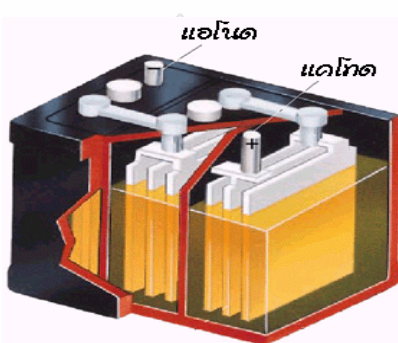
แบตเตอรี่โดยทั่วไปสามารถแบ่งการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ประเภทปฐมภูมิ (Primary battery) หรือโดยทั่วไปเรียกว่าแบตเตอรี่แห้ง (Dry cell) มีคุณสมบัติในการให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้าชนิดกระแสตรงที่ได้จากการแปรผันพลังงานโดยกระบวนการทางเคมีแบตเตอรี่ประเภทใช้งานครั้งเดียวเมื่อย่างหมดแล้วต้องทิ้ง ไม่สามารถอัดไฟกลับเข้าไปใช้งานใหม่ได้อีก ส่วนมากทำขึ้นจากสังกะสี - คาร์บอน พรอทและลิเทียม ใช้งานกับเครื่องไฟฟ้าขนาดเล็กประเภทกระเป๋าหิ้ว มีราคาไม่แพง อายุการใช้งานสั้น เช่น ถ่านไฟฉาย ถ่านนาฬิกา



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ [8]

2) ประเภททุติยภูมิ (Secondary battery) โดยทั่วไปเรียกว่าแบตเตอรี่น้ำ (Storage battery) ประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์ต่อกัน แบบอนุกรม ซึ่งแต่ละเซลล์จะมีแรงดัน 2 โวลต์ จึงจ่ายแรงดันได้ 12 โวลต์ มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานเคมีแล้วจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าชนิดกระแสตรง (DC) แบตเตอรี่ประเภทนี้ใช้งานจนไฟหมดหรือเล็กใช้งานแล้ว สามารถนำไปประจุไฟเพิ่มได้ เป็นการปรับสภาพทางเคมี ให้กลับสู่สภาพพร้อมใช้งานเหมือนเดิมได้ คือ สามารถใช้หมุนเวียนได้จนกว่าแบตเตอรี่นั้น จะเสื่อมสภาพ แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนมากทำจากตะกั่ว - กรด ใช้ในรถยนต์และในการใช้พลังงานไฟฟ้าสำรองในระบบต่าง ๆ



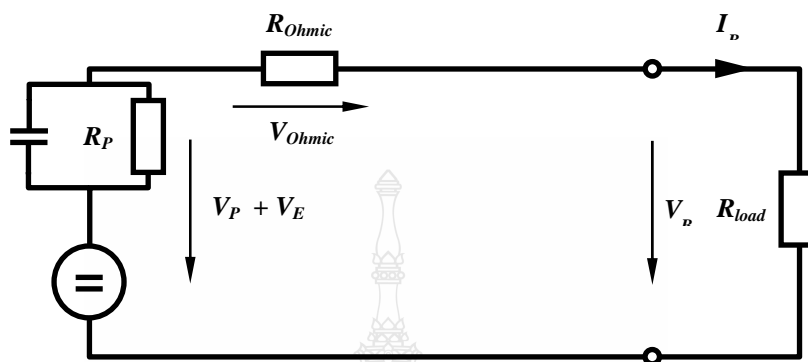
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ [8]

2.3 แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด (Lead-Acid)

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกัน ประดิษฐ์ขึ้นมา โดยแกสตัน ฟลองด์ (Gaston plante) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสตั้งแต่ปี ค.ศ.1859 (พ.ศ. 2402) เป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ชนิดแรกที่ทำออกมาเพื่อการค้า และในปัจจุบันยังมีการใช้งานกันอยู่ อย่างแพร่หลาย โดยมักจะทำเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุ (Capacity) สูง ๆ ที่ให้กระแสได้มาก เนื่องจากมีต้นทุนในการเก็บพลังงานถูกกว่าแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดอื่น ๆ นิยมใช้กันในรถยนต์และยานพาหนะต่าง ๆ รถยกไฟฟ้า (Fork lift) รถเข็น (Wheel chair) สกู๊ตเตอร์ (Scooter) รถกอล์ฟ (Golf car) ระบบสำรองไฟฟ้า (UPS) และระบบไฟแสงสว่างฉุกเฉิน (Emergency light)

ในตอนแรกแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ผลิตออกมาจำหน่ายมีเฉพาะที่เป็นแบตเตอรี่แบบเปียก (Flooded type หรือ Wet type) ที่ ต้องคอยเติมน้ำกลั่นเท่านั้น จนกระทั่งในช่วงกลางของทศวรรษที่ 70 (ระหว่างปี พ.ศ. 2513-2523) ได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้งให้ใช้งานได้หลังจากที่มีการจดสิทธิบัตรมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1957 (พ.ศ. 2500) โดยอ็อตโต จาเช่ (Otto jache) ทำให้การใช้งานสะดวกขึ้นสามารถวางตำแหน่งของแบตเตอรี่ได้หลายรูปแบบมากขึ้น วางนอนหรือวางตะแคงได้ (แต่ห้าม

วางกลับหัว) ไม่จำเป็นต้องวางในแนวตั้งเพียงอย่างเดียวเพราะอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นน้ำกรด จะไม่ไหลหกลงมาเหมือนแบตเตอรี่แบบเปียก ซึ่งเทคนิคในการทำให้ น้ำกรดไม่ไหลออกมา คือ การใช้วัสดุอุดชั้นน้ำกรดเอาไว้ จากนั้นจึงทำการผนึกเซลล์ (Seal) ให้ปิดสนิทเพื่อ ป้องกันการระเหยของน้ำและแก๊ส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำกรด แบตเตอรี่จึงไม่มีการสูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากแบตเตอรี่



ภาพที่ 2.3 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

ในระบบสะสมพลังงานในระบบพลังงานทดแทนส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid) เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากข้อได้เปรียบทางด้านคุณสมบัติและด้านเศรษฐศาสตร์ ส่วนประกอบของแบตเตอรี่จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่ใช้และการออกแบบของบริษัทผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกันดังนี้

1) แผ่นธาตุ (Plates) ในแบตเตอรี่มี 2 ชนิด คือ แผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วเปอร์ออกไซด์ (PbO_2) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว (Pb) วางเรียงสลับกันจนเต็มพอดิในแต่ละเซลล์ แล้วกันไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกั้นในแบตเตอรี่ที่ใช้กับรถยนต์ (SLI) จะใช้เพลทแบบบางเนื่องจากการทำให้มีพื้นที่ผิวของการทำปฏิกิริยาสูงสุด ทำให้รับและปล่อยกระแสสูงในเวลาสั้นๆ ได้ แต่ไม่หนาและมีความทนทานเท่ากับชนิดที่มีการคายประจุมาก เพลทแบบหนาจะนำไปใช้กับแบตเตอรี่ที่มีการคายประจุมาก เช่น ในรถยนต์ไฟฟ้า รถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ และรถไฟฟ้าอื่นๆ เพลทแบบหนาจะยอมให้มีการคายประจุที่กระแสสูงในช่วงเวลานานได้ โดยที่ลักษณะของวัสดุทำปฏิกิริยาไม่เสียหาย ทำให้อายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่ที่มีเพลทแบบบาง

2) กริด (Grid) ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ส่วนใหญ่แล้วกริดจะทำจากตะกั่วอัลลอยด์เป็นโครงสำหรับพุงวัสดุทำปฏิกิริยาในขั้วต่างๆและกริดนี้ทำหน้าที่นำไฟฟ้าด้วยสารอัลลอยด์ที่นิยมมาทำเพิ่มความแข็งแรงของขั้วตะกั่วคือ สารแอนติโมนี และแคลเซียมและสารเหล่านี้จะมีผลต่อ

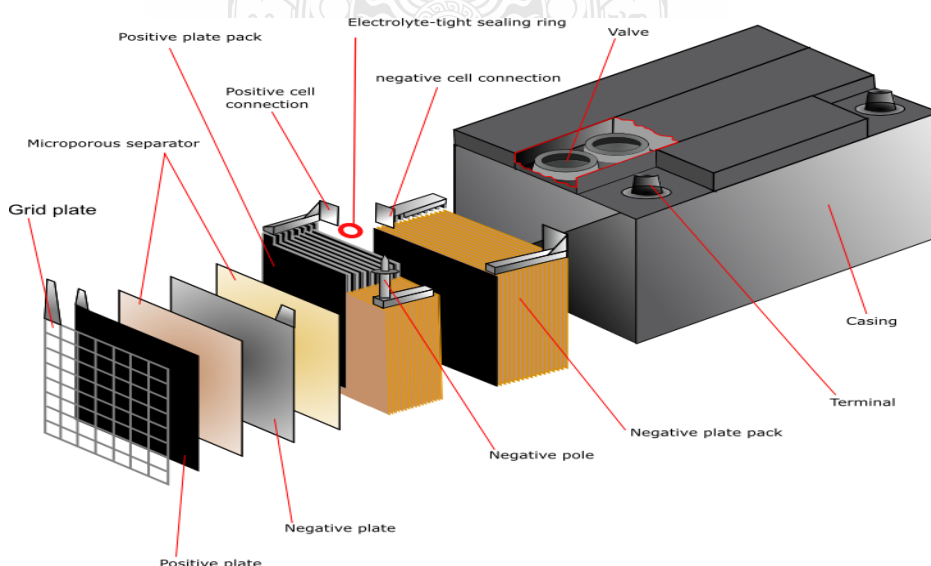
ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่น มีผลต่อประสิทธิภาพของรอบการใช้งานและการเกิดก๊าซซึ่ง เป็นต้น ลักษณะของกริดขึ้นกับลักษณะของขั้วเซลล์ว่าเป็นแบบแผ่นบาง หรือแบบแท่ง

3) แผ่นกั้น (Separates) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบแตะกันซึ่ง จะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นนี้ทำจากไฟเบอร์กลาสหรือยางแข็ง เจาะรูพรุนเพื่อให้น้ำกรด สามารถไหลถ่ายเทไปมาได้ และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ

4) น้ำกรดหรือน้ำยาลีอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) น้ำกรดในแบตเตอรี่รถยนต์เป็นน้ำกรด กำมะถันเจือจางคือจะมีกรดกำมะถัน (H_2SO_4) ประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรด 1.260 - 1.280 ที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ น้ำกรดในแบตเตอรี่เป็นตัวที่ทำให้แผ่นธาตุลบเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจน เกิดกระแสไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาได้

5) เซลล์ (Cell) คือ ช่องที่บรรจุแผ่นธาตุบวก แผ่นธาตุลบที่วางสลับกัน กั้นด้วยแผ่นกั้น แล้วจุ่มในน้ำกรด ในช่องหนึ่งจะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2.1 โวลต์ ก็จะมีเซลล์ 6 เซลล์ และในแต่ละเซลล์ก็ จะมีส่วนบนเป็นที่เติมน้ำกรดและฝาปิดป้องกันน้ำกรดกระเด็นออกมาและที่ฝาปิดก็จะมีรูระบายก๊าซ ไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีให้ระบายออกไปได้

- ฝาปิดเซลล์ (Battery cell plug) หรือฝาปิดช่องเติมน้ำกรด ฝานี้จะมีรูระบายก๊าซ ไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่ให้สามารถระบายออกไปได้ถ้าไม่มีฝาระบายนี้ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีก๊าซไฮโดรเจนจะไม่สามารถระบายออกไปได้ ทำให้เกิดแรงดันดันจนแบตเตอรี่ เกิดระเบิดขึ้นได้



ภาพที่ 2.4 ส่วนประกอบโครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด [8]

ปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดก๊าซเรียกการเกิดก๊าซซึ่ง เนื่องจากมี ฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลทขั้วบวกและไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลทขั้วลบ

การเกิดแก๊สซึ่งแบบช้าๆ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบช้าๆ กลับทำให้เกิดประโยชน์เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น (Stratification)

ถ้ายังมีการเกิดแก๊สอย่างต่อเนื่อง สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งต่ำสุดยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ที่เกิดช่วงสภาวะการประจุเกินคือการแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโทรดปฏิกิริยานี้จะรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

2.4 ประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดขั้วกรด เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเจล (Gel battery or Gel cell) และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวอุดซึม เรียกว่า แบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ ของแบตเตอรี่แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็นแบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไป หรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์ แบบคายประจุลึกและแบบลูกผสม

ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบเจลและแบบ AGM คือแบตเตอรี่แบบเจลจะเป็นแบตเตอรี่ที่แห้งกว่าแบบ AGM ถ้าเปลือกนอกของมันแตกจะไม่มีน้ำกรดไหลหรือซึมออกมา แต่สำหรับแบบ AGM จะขั้วน้ำกรดได้ประมาณ 95% ดังนั้นถ้าเปลือกของมันแตกแม้มีน้ำกรดจะไหลออกมา แต่ก็อาจจะมีการซึมออกมาได้บ้างเล็กน้อย

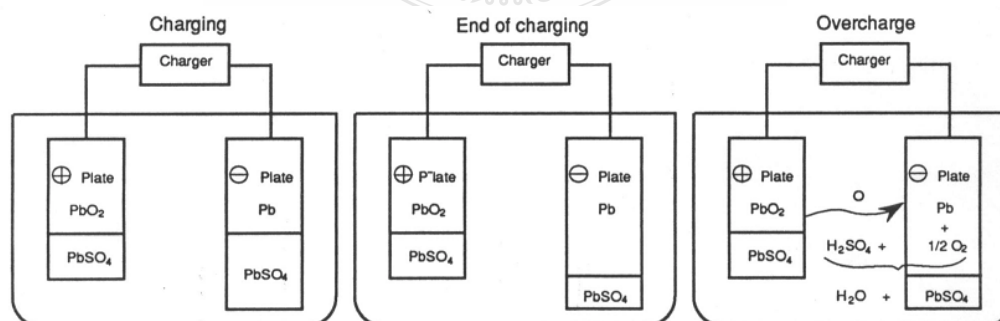
ในปัจจุบันจะนิยมใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบ AGM มากกว่าแบบเจล ส่วนแบบเจลมีการใช้น้อยลงเนื่องจากมีข้อเสีย คือ เจลมักจะละลายเมื่ออยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนและถ้าเกิดการโอเวอร์ชาร์จขึ้นเจลอาจจะเปลี่ยนรูปเป็นสารเหนียวๆ ที่เรียกว่า วอยด์ (Void) ไปเกาะติดแน่นอยู่ที่แผ่นธาตุ ขั้วขวงการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างอิเล็กโทรดไลต์และแผ่นธาตุ ทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างแบตเตอรี่แบบเจล (ซ้าย) แบตเตอรี่แบบAGM (ขวา)

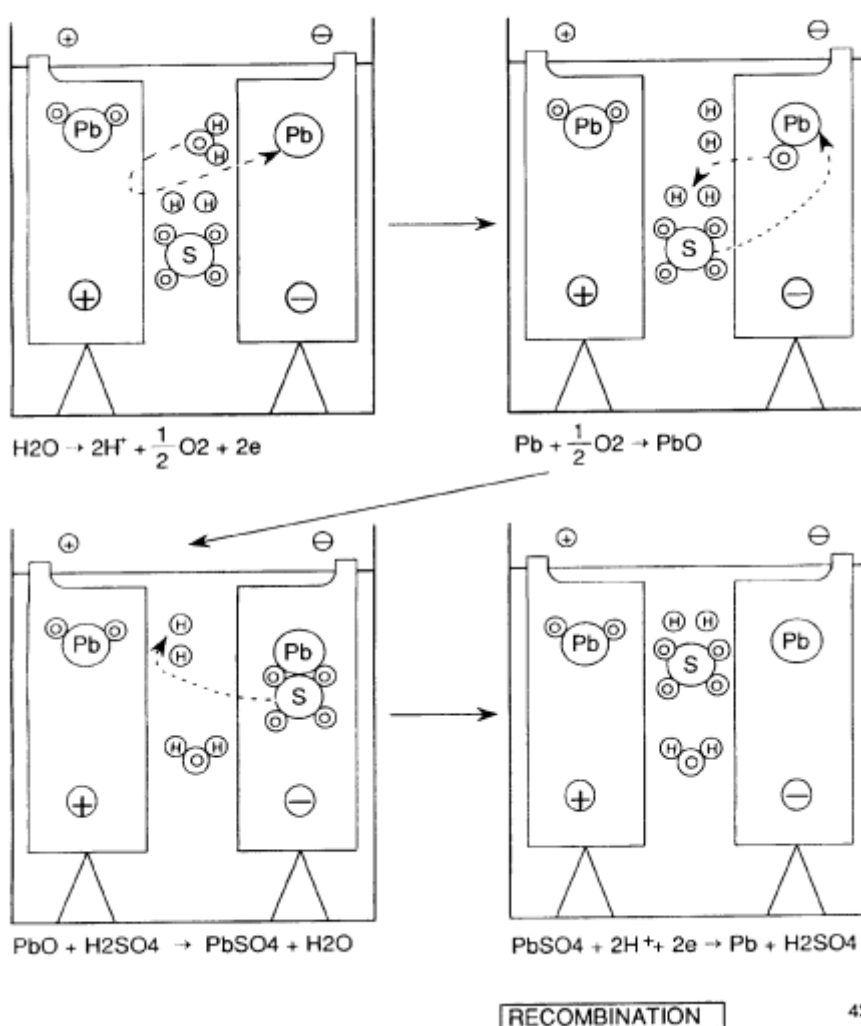
แบตเตอรี่ทั้งแบบ AGM และแบบเจลยังแบ่งย่อยออกได้เป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึกหรือ SLA (Sealed Lead Acid) และแบบปิดผนึกที่มีวาล์วระบายแรงดันหรือ VRLA (Value Regulator Lead acid) แบตเตอรี่แบบ VRLA นี้จะมี การติดตั้งเซฟตี้วาล์ว (Safety valve) เพื่อใช้ระบายแก๊สในกรณีที่มีความดันภายในเซลล์สูงเกินไป เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย

การชาร์จแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภท คือ SLA and VRLA จะต้องไม่ชาร์จเร็วหรือมากเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแก๊สในขณะชาร์จมากนัก การชาร์จมากหรือเร็วเกินไปจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์คู่ชุดแก๊สที่เกิดขึ้นไม่ทัน ความดันภายในแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียแก๊สและน้ำออกไปจากตัวแบตเตอรี่ การเสียแก๊สและน้ำออกไปก็เท่ากับว่าแบตเตอรี่ได้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ออกไปจากระบบ เพราะแก๊สและน้ำเป็นส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลต์ เมื่อแบตเตอรี่มีปริมาณอิเล็กโทรไลต์น้อยลงจะสูญเสียความสามารถในการเก็บ พลังงานไป ทำให้แรงดันไฟฟ้าหรือ โวลต์ของแบตเตอรี่หลังจากการชาร์จไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็น และถ้าแบตเตอรี่มีการเสียแก๊สและน้ำบ่อยๆ อิเล็กโทรไลต์ภายในเซลล์ก็จะหมดไปทำให้แบตเตอรี่ใช้งานไม่ได้อีก



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาภายในของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิด [8]

CHARGE



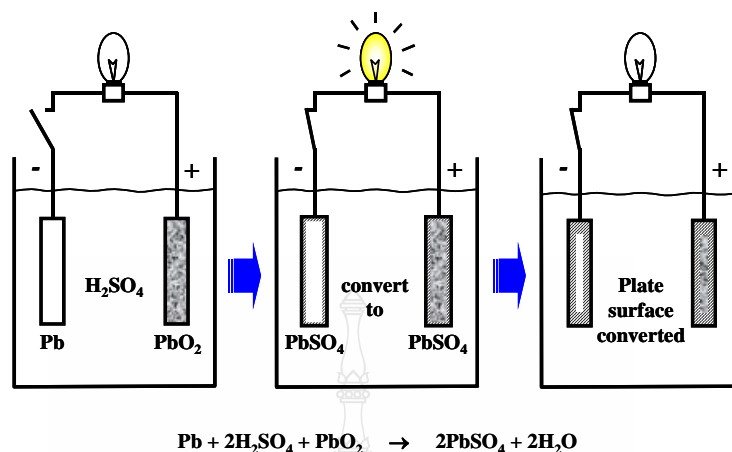
43

ภาพที่ 2.6 ปฏิกริยาภายในของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิด (ต่อ) [8]

2.5 หลักการทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่นิยมบรรจุไว้ในภาชนะที่ทำมาจาก Polypropylene เจือจางด้วยกรดซัลฟูริก ($\text{SO}_4\text{-ion}$) ผ่านกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ภายในบรรจุขั้วไฟฟ้าลบและบวก ซึ่งแขวนยึดติดอยู่กับตัวถัง ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันดังนี้ สำหรับแผ่นบวก (Cathode) ที่มีลักษณะเป็นแบบตาข่าย แบบช่อง ฯลฯ ซึ่งเติมตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ลงไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุน (ซึ่งจะทำให้ได้พื้นที่ผิวที่มากกว่า) ในระหว่างการประจุ แผ่นลบ (Anode) ทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายมีไว้สำหรับรองรับการขยายตัวของพื้นผิว และส่วนที่เป็นตาข่ายนี้เติมตะกั่วบริสุทธิ์ใน

ระหว่างการประจุ และระหว่างแผ่นทั้งสองจะมีกรดเป็นตัวป้องกันการลัดวงจรระหว่างแผ่นทั้งสอง และสามารถที่จะทำปฏิกิริยาได้



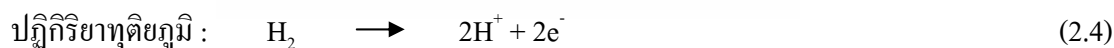
ภาพที่ 2.7 กระบวนการคายประจุในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด [8]

ในระหว่างที่มีการคายประจุแผ่นวัสดุทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก โดยมีสมการในการทำปฏิกิริยา ดังนี้

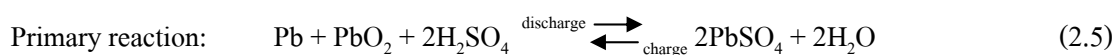
แผ่นบวก



แผ่นลบ



Cell:



ที่ด้านบวกตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก (SO_4 -ion) เพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟต (PbSO_4) ส่วนด้านลบตะกั่วทำปฏิกิริยากับกรดเพื่อผลิตตะกั่วซัลเฟตและน้ำ 2 ส่วน

ในการที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วไฟฟ้าข้างหนึ่งไปยังขั้วไฟฟ้าอีกข้างหนึ่งของครึ่งเซลล์ไฟฟ้าเคมี เนื่องจากความต่างศักรีระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองนั้นแรงขับเคลื่อนให้กระแสอิเล็กตรอนไหลในวงจรได้นี้เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือโวลเตจของเซลล์ การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สภาวะมาตรฐานจะวัดในขณะที่ไม่มีการไหลของกระแสเราสามารถหาพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ดังสมการ 2.7

$$\Delta G = -nFE^\circ \quad (2.7)$$

- เมื่อ n คือ จำนวนโมลของอิเล็กตรอนที่ถ่ายเทในปฏิกิริยา
 F คือ ค่าคงที่ของฟาราเดย์ = 96500 คูลอมบ์
 E° คือ ค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของขั้วไฟฟ้า

จากสมการเคมีที่ 2.8 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้และสมการของ Nernst เราได้ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E) ดังสมการ (2.9)



$$E = E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b} \quad (2.9)$$

- เมื่อ a_i คือ ความเข้มข้นบังเกิดผล (activity ของสาร i)
 R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส
 T คือ ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ K

จากสมการ 2.9 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นบังเกิดผลของสารแต่ละชนิดเปลี่ยนไป จะทำให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไปด้วยการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่โดยปกติค่าดังกล่าวจะวัดและทราบค่าที่แน่นอนได้ยาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายแทน ในที่นี้เราสนใจความเข้มข้นของ SO_4^{2-} อีออน เมื่อมีการจ่ายกระแสออกจากเซลล์จะส่งผลให้ความเข้มข้นของ SO_4^{2-} อีออนลดลง ในขณะที่มีการประจุไฟเข้าไปจะทำให้ SO_4^{2-} เพิ่มขึ้นในสารละลายจากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) เราทราบว่าปริมาณของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าในขบวนการอิเล็กโทรไลซิส จะเป็น

สัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้นดังสมการ 2.10 ในทางปฏิบัติการวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า จำเป็นต้องควบคุมหลายอย่าง เช่นเมื่อทำการวัดจะต้องไม่มีการไหลของกระแสภายในเซลล์ ปฏิริยาไปข้างหน้าและปฏิริยาย้อนกลับต้องเท่ากัน นั่นหมายถึงปฏิริยาต้องอยู่ในสภาวะสมดุล ซึ่งจุดดังกล่าววัดได้ค่อนข้างลำบาก ในที่นี้เราจึงเสนอค่าแรงดันอันเป็นแรงดันที่วัดได้ขณะเกิดปฏิริยา โดยแรงดันดังกล่าวจะมีค่าน้อยกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในสภาวะคายประจุและมากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในสภาวะการประจุและตั้งสมมุติฐานว่าค่าแรงดันปฏิริยานี้สัมพันธ์กับความเข้มข้นเช่นเดียวกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า จากกฎของฟาราเดย์ ดังสมการ 2.10 ถ้าเราทราบค่าความเข้มข้นที่หายไปของกรดและปริมาตรของน้ำกรด เราก็สามารถทราบค่าประจุที่ถูกจ่ายออกไปจากแบตเตอรี่ได้จากสมการ 2.11

$$\text{ปริมาณสารที่เพิ่มหรือลด} = \frac{It}{F} \quad \text{โมล} \quad (2.10)$$

$$Q = FV(C_0 - C(t)) \quad (2.11)$$

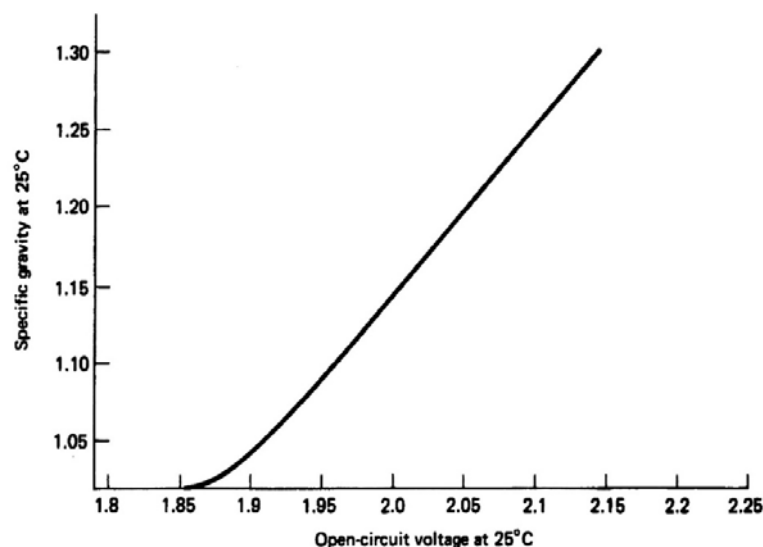
$$Q = FV_1(C(t) - C_0) \quad (2.12)$$

- เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นของกรดเริ่มต้น (mol/l)
 $C(t)$ คือ ความเข้มข้นที่วัดได้ที่เวลาใดๆ (mol/l)
 V_1 คือ ปริมาตรของน้ำกรด (l)
 Q คือ ประจุ (Ah)

ในทำนองเดียวกันในสภาวะประจุ ถ้าอ้างอิงจากความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายกรด สมการ 2.11 จะเปลี่ยนรูปเป็นดังสมการ 2.12 จากสมการที่ 2.11 และความสัมพันธ์ของ Nernst ค่าแรงดันปฏิริยาสภาวะคายประจุและประจุสามารถแสดงได้ดังสมการ 2.13 และ 2.14 ตามลำดับ โดยที่ค่า FVC_0 เป็นค่าคงที่ที่ทำได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหน่วงจำเพาะกับค่าประจุ

$$V_{rd} = P_1 + P_2 \log \left(1 - \frac{Q}{FV_1 C_0} \right) \quad (2.13)$$

$$V_{rch} = P_1 + P_2 \log \left(1 + \frac{Q}{FV_1 C_0} \right) \quad (2.14)$$



ภาพที่ 2.8 แรงดันขณะเปิดวงจรของเซลล์แบบตะกั่วกรดกับค่าความถ่วงจำเพาะสารละลาย

ในการทำงานของแบตเตอรี่ สามารถหาค่าแรงดันได้จากหลักการไฟฟ้าตามสมการ 2.15 โดยในกรณีที่ทำการประจุจะใช้เครื่องหมายบวกในการคายประจุจะใช้เครื่องหมายลบ ซึ่งสามารถจำแนกรายละเอียดของปัจจัยที่มีผลต่อแรงดันในสถานะคายประจุตามสมการ 2.16

$$V = E \pm IR_{in} \quad (2.15)$$

$$V = E - \eta - IR_{in} \quad (2.16)$$

- เมื่อ E คือ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)
 η คือ ศักดิ์ไฟฟ้าที่เป็นผลจากการเกิดโพลาไรซ์เซชัน (V)
 IR_{in} คือ ศักดิ์ไฟฟ้าที่เกิดจากความต้านทานภายในของเซลล์ (V)

2.6 ค่าความจุของแบตเตอรี่ (Capacity)

ค่าความจุของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของตะกั่ว ตามทฤษฎีจะมีค่าประมาณ 120 Ah/kg ซึ่งจะเป็นค่าความจุสูงสุด แต่ในทางปฏิบัติจะได้น้อยกว่า อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กโทรดกับอิเล็กโทรไลต์จะไม่ทำกันจนหมดในการออกแบบแบตเตอรี่นั้นจะเพื่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์ให้มากกว่าค่าความจุที่ออกแบบ โดยบ่งบอกด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของกรดที่ใช้

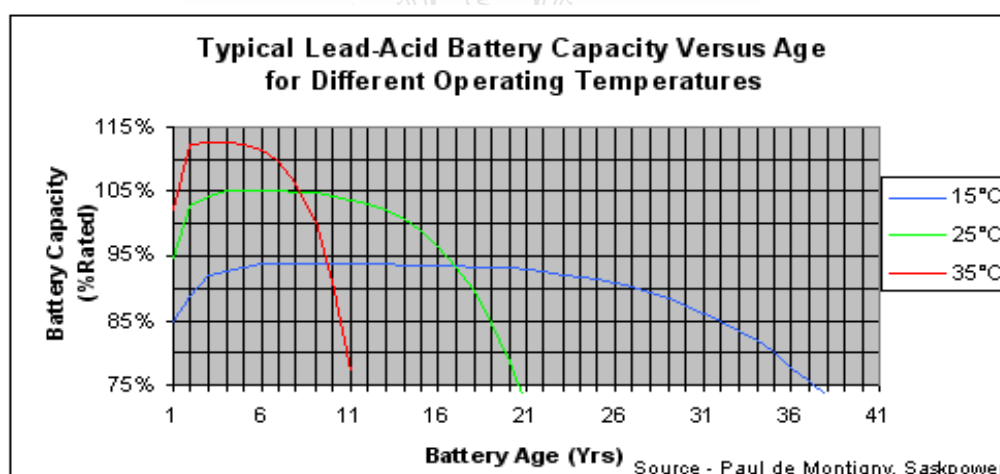
ประโยชน์ ปริมาณกรดที่ต้องการ นอกจากนี้ค่าความจุจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ใช้ในการประจุและคายประจุด้วย ถ้าใช้กระแสสูงสุดจะทำให้ความจุลดลง และในการกำหนดค่าความจุของแบตเตอรี่จะต้องกำหนดเวลาที่ใช้ในการคายประจุด้วย เช่น แบตเตอรี่ขนาด 35 Ah ที่ 20 ชั่วโมง หมายความว่าเมื่อมีการคายประจุด้วยกระแส 1.75 A จะคายประจุได้เป็นเวลานาน 20 ชั่วโมง แต่ถ้าคายประจุด้วยกระแสที่สูงกว่านี้ค่าความจุจะลดลงและถ้าคายประจุด้วยกระแสต่ำกว่านี้จะคายประจุได้มากกว่า 35 Ah นอกจากนี้ค่าความจุยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิถ้าความจุสูงจะทำให้ค่าความจุของแบตเตอรี่สูงขึ้นจากพฤติกรรมดังกล่าว Baikei ได้เสนอแบบจำลองของแบตเตอรี่ดังสมการ 2.17

$$C = \frac{C_T}{1 + aI^b} (1 + \alpha\Delta t + \beta\Delta t^2) \quad (2.17)$$

โดยที่ C_T คือ ค่าคงที่ของความจุสูงสุดของสารละลายกรด

a และ b คือ เป็นค่าคงที่ของเอมไพริคัล

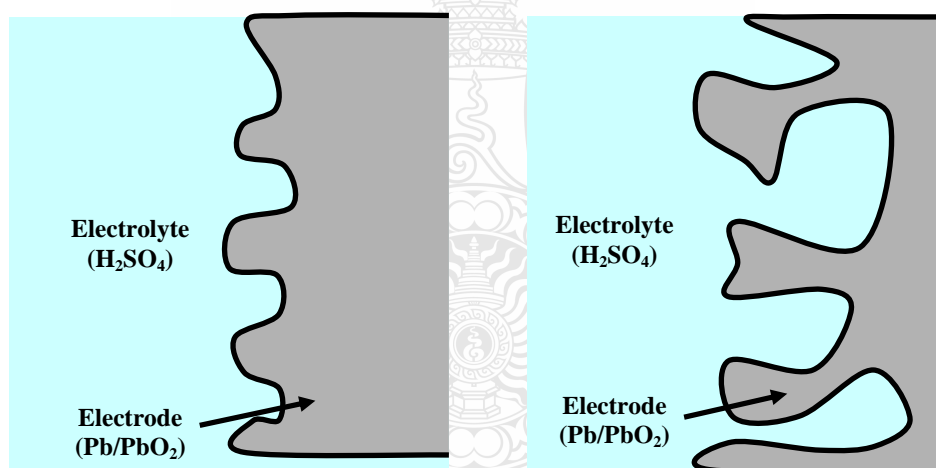
α และ β คือ ค่าคงที่ของอุณหภูมิ



ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความจุ

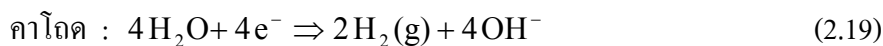
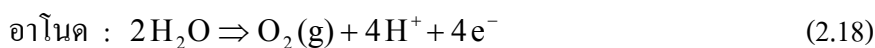
ตารางที่ 2.1 ปริมาณประจุที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของสารละลายกรดซัลฟิวริกตามทฤษฎี
ที่อุณหภูมิ 25 °C

Specific Gravity	Ampere-Hours per Liter	Specific Gravity	Ampere-Hours per Liter
1.040	17	1.220	100
1.060	26	1.240	110
1.080	35	1.260	120
1.100	44	1.280	130
1.120	53	1.300	141
1.140	62	1.320	151
1.160	71	1.340	162
1.180	81	1.360	173
1.200	90		



ภาพที่ 2.10 ผิวของแผ่นธาตุในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (ซ้าย) Solar battery (ขวา) Starter battery

การประจุแบตเตอรี่เป็นกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส อิเล็กโทรลิซิส หมายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเมื่อผ่านกระแสเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ หรือในอิเล็กโทรไลต์ที่หลอมเหลวที่อยู่ภายในเซลล์อิเล็กโทรไลต์นั้น ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์นั่นเองในกระบวนการนี้เป็นการแยก $PbSO_4$ เพื่อให้ขั้วบวกเป็น PbO_2 และขั้วลบเป็น Pb ปฏิกิริยานี้จะมีการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้าเกิดขึ้นด้วย โดยจะเกิด O_2 ที่แอโนดและ H_2 ที่คาโทด ดังสมการ 2.18 และ 2.19



ปรากฏการณ์นี้ไม่เป็นที่นิยมที่จะอธิบายในเชิงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในงานวิจัยส่วนใหญ่จะหลีกเลี่ยงที่กล่าวถึง เนื่องจากเมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้เสมือนว่าแบตเตอรี่ไม่ได้สะสมพลังงานเพราะแรงดันแบตเตอรี่ไม่เพิ่มขึ้น แบตเตอรี่ปฏิบัติตัวเป็นเพียงที่ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น กล่าวคือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปพลังงานไฟฟ้าส่วนนั้นก็จะถูกนำไปใช้ในการแยกน้ำ มีเพียงส่วนน้อยที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีที่แผ่นธาตุซึ่งสัดส่วนไม่แน่ชัด จากเหตุผลนี้ดูเหมือนว่าเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ แต่สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด การเกิดแก๊สเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเป็นการป้องกันการยุบของแผ่นธาตุ เนื่องจากธรรมชาติของสารละลายกรดจะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำจึงทำให้เกิดการแบ่งชั้นของสารละลายกรดได้ง่ายกรดที่อยู่ด้านล่างจะมีความเข้มข้นสูงกว่ากรดที่อยู่ด้านบนจึงจำเป็นต้องทำให้เกิดการคลุกเคล้าของสารละลายด้วยฟองแก๊สอันเนื่องจากการเดือด จากการศึกษาของ Mayer และ Biscaglia พบว่ากระบวนการเกิดแก๊สจะเกิดเมื่อแรงดันแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 2.35 โวลต์ต่อคู่เซลล์ และ Buonarota และคณะพบว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น ($\text{H}_2 + \text{O}_2$) สามารถหาได้ด้วยฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล ดังสมการ 2.20 เพื่อความสะดวกในการคำนวณหาค่า τ และ t_g จึงจัดรูปให้อยู่ในเทอมของความจุคงสมการ (2.21)

$$\phi = \Phi \left(1 - \exp\left(-\frac{t-t_g}{\tau}\right) \right) \quad \text{เมื่อ } t > t_g \quad (2.20)$$

เมื่อ Φ คือ ฟลักซ์ของแก๊สที่สภาวะคงที่ ตามกฎฟาราเดย์
 τ คือ ค่าเวลาคงที่ของปรากฏการณ์
 t_g คือ เวลาที่เริ่มเกิดแก๊ส

$$\frac{t-t_g}{\tau} = \frac{Q_c - Q_g}{Q_d - Q_g} \quad (2.21)$$

$$V = V_g + (V_{cc} - V_g) \left(1 - \exp\left(-\frac{Q_c - Q_g}{Q_d - Q_g}\right) \right) \quad (2.22)$$

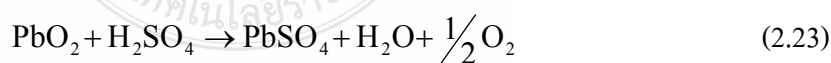
- เมื่อ V_g คือ แรงดันเมื่อเริ่มเกิดแก๊ส (V)
 V_{cc} คือ แรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่ (V)
 Q_c คือ ปริมาณประจุที่จ่ายให้กับแบตเตอรี่ (Ah)
 Q_g คือ ปริมาณประจุ ณ จุดที่เริ่มเกิดแก๊ส (Ah)
 Q_d คือ ปริมาณประจุสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายได้ที่กระแสต่างๆ (Ah)

แบบจำลองในสมการ 2.22 มีค่า V_g และ V_{cc} F.Grana และคณะได้เสนอแบบจำลองที่เป็นฟังก์ชันของกระแสและอุณหภูมิเพื่อใช้คำนวณค่า V_g และ V_{cc} ดังสมการ 2.36 โดยที่ P_5, P_6 และ α เป็นค่าคงที่ โดยแบบจำลองนี้ใช้ได้ทั้งสองกรณีคือ V_g และ V_{cc} แต่ P_5, P_6 และ α แตกต่างกัน

$$V = [P_5 + P_6 \log(1 + I)](1 - \alpha \Delta t)$$

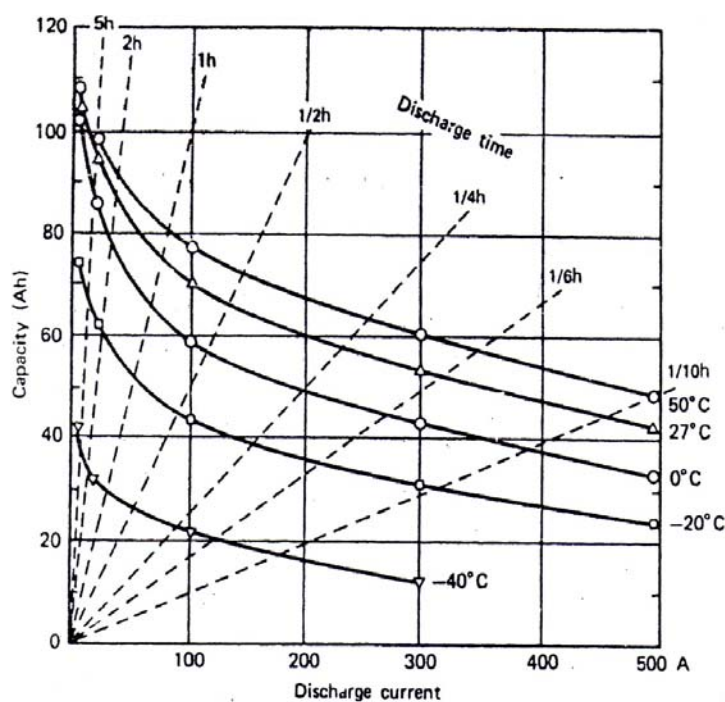
- เมื่อ P_5 และ P_6 คือ เป็นค่าคงที่ของเอมไพริกัลปี
 α คือ ค่าคงที่อุณหภูมิ

อัตราของการคายประจุด้วยตัวเองของเซลล์ขึ้นอยู่กับหลายตัวประกอบ ซึ่งตะกั่วและตะกั่วออกไซด์ เป็นจลศาสตร์ความร้อนที่ไม่แน่นอนในสารละลายกรดซัลฟูริกและขณะวงจรเปิดพวกมันทำปฏิกิริยาโดยสารละลายออกซิเจนเป็นตัวแพร่ไปที่ขั้วบวก (Positive electrode) และไฮโดรเจนแพร่ไปยังขั้วลบ (Negative electrode) โดยอัตราการแพร่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรด ดังสมการ



ที่ขั้วบวกจะสร้าง PbSO_4 จำนวนมากและจะคายประจุด้วยตัวเองอย่างช้าๆ ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์/วัน ที่อุณหภูมิ 25°C ส่วนการคายประจุด้วยตัวที่ขั้วลบโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเร็วมากถ้าหากเซลล์ปนเปื้อนด้วยโลหะ [6]

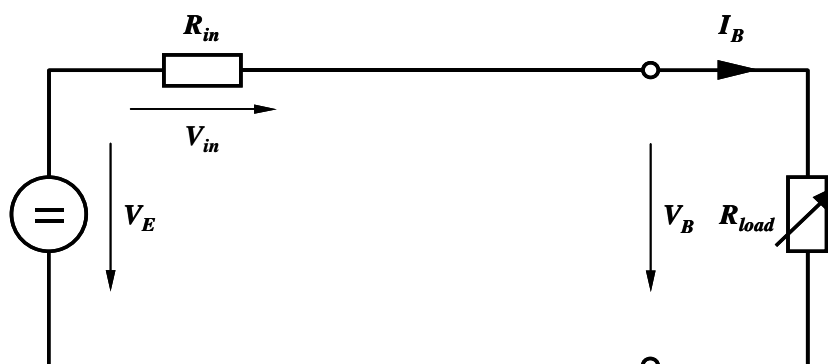
การคายประจุด้วยตัวเองขึ้นอยู่กับอุณหภูมิโดยได้แสดงให้เห็นในภาพที่ 2.11 กราฟแสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นที่ลดลงของค่าความถ่วงจำเพาะสารละลายต่อ 1 วัน ของแบตเตอรี่ที่ทำการประจุมาเต็มแล้วโดยเป็นแผ่นกริดแบบตะกั่วและพลวงที่ 6 % ซึ่งการคายประจุด้วยตัวเองของแบตเตอรี่ เราสามารถทำให้ลดลงได้โดยเก็บแบตเตอรี่ไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง 5 และ 15 °C



ภาพที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของความจุแบตเตอรี่กับกระแสที่ใช้ในการคายประจุและอุณหภูมิ

2.7 วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบบจำลองของแหล่งจ่ายแรงดันกับแรงดันที่ตัวเซลล์ (V_E) ที่ต่ออนุกรมกับความต้านทานภายใน (R_{in}) ดังภาพที่ 2.12 เป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถอธิบายการทำงานได้เพราะมีค่าความสัมพันธ์ของ (V_E) และ (R_{in}) แต่การทำงานของตัวแปรส่วนต่าง ๆ ของการประจุเมื่อถึงเวลาที่ต้องประจุ (SOC) อุณหภูมิ ความหนาแน่นของกระแส และธาตุของแบตเตอรี่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ควรพิจารณาด้วยเช่นกันตามทิศทางของอัตราการไหล (Charging หรือ Discharge)



ภาพที่ 2.12 วงจรเปรียบเทียบทั่วไปของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

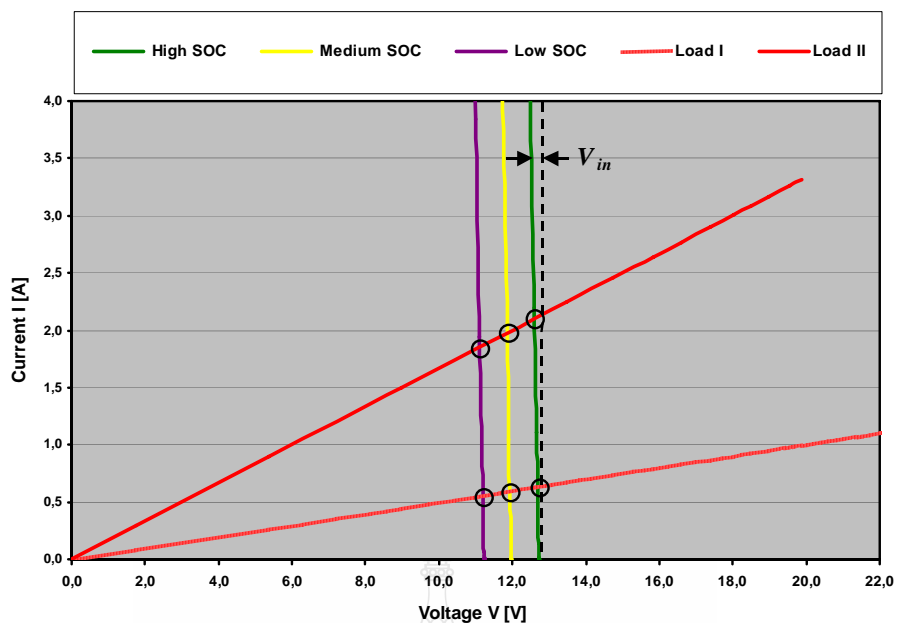
เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในเซลล์แบตเตอรี่ แรงดันซึ่งวัดได้ในแต่ละขั้วของแบตเตอรี่ (V_B) จากปลายของแต่ละขั้วแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_B = V_E - V_{in} \quad (2.25)$$

$$= V_E - R_{in} \cdot I_B \quad (2.26)$$

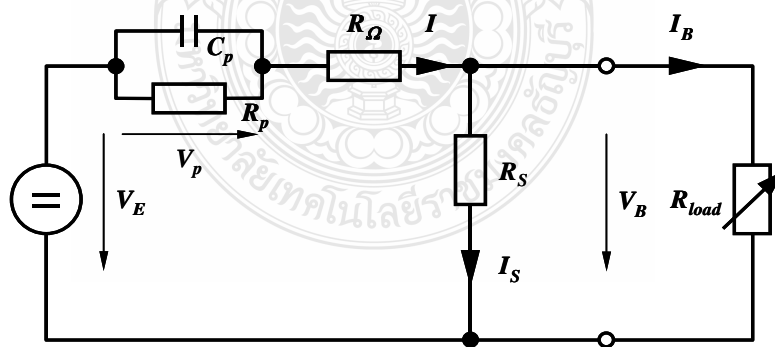
เมื่อ	V_B	คือ	แรงดันปลายสาย (V)
	V_E	คือ	แรงดันที่ตัวเซลล์ (V)
	V_{in}	คือ	แรงดันสูญเสียภายใน (V)
	R_{in}	คือ	ความต้านทานภายใน (Ω)
	I_B	คือ	กระแสคายประจุ (A)

จากสมการที่ 2.25 และ 2.26 การดิซชาร์จที่กระแสสูงจะส่งผลให้เกิดการลดลงของแรงดันที่ปลายสาย ฉะนั้นจะต้องกำหนดสภาพของแบตเตอรี่ใหม่โดยเฉพาะค่าของแรงดันแบตเตอรี่ควรให้กระแสคายประจุมีค่าต่ำ ภาพที่ 2.13 ภาพประกอบกระแส แรงดัน และจุดทำงานของแบตเตอรี่ซึ่งเชื่อมโยงโดยตรงจากโหลด 2 ค่า โดยสมมติว่าสภาพของการประจุเมื่อถึงเวลาที่ต้องประจุ (SOC) นั้นและอุณหภูมิ (Temperature) ของแบตเตอรี่คงที่ ระยะระหว่างเส้นสีเขียวตัดกับเส้นตรงกันกับ V_{in}



ภาพที่ 2.13 จุดทำงานของแบตเตอรี่สำหรับความต้านทานโหลดที่แตกต่าง

ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญและรู้จักดีเกี่ยวกับพฤติกรรมของแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานในระยะยาว โดยเฉพาะอุณหภูมิที่สูงขึ้นควรพิจารณาเป็นอย่างมาก เพื่ออธิบายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คงที่ (Dynamic) และแบบคงที่ (Quasi-static) ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 วงจรแบตเตอรี่กับกระบวนการ Dynamic และ Quasi-static

กระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบไม่คงที่ (Dynamic) ของแรงดันที่มากขึ้นไปเนื่องมาจากปฏิกิริยาทางเคมีและกระบวนการอื่นๆ เช่น กระบวนการแพร่ของไอออน (Ions) ในอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สามารถอธิบายและสรุปผลของแรงดัน (V_p) เมื่อระดับแรงดันต่ำลงในสาย ในแบตเตอรี่

และในอิเล็กทรอนิกส์ จะทำให้มีความต้านทานเข้ามาแทนที่ R_{Ω} สำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลงแบบคงที่ (Quasi-static) ตัวเก็บประจุ C_p ที่มีการต่อในลักษณะขนานกับตัวต้านทาน R_p จะหายไปซึ่งมีลักษณะเหมือนกับ Shepherd model การเสียดพลังงานของแบตเตอรี่นั้นเนื่องมาจากการคายประจุโดยตัวมันเอง (Self-discharge) ที่มีการแทนที่โดยตัวต้านทาน R_s การต้านทานแบบนี้จะบ่งบอกถึงพลังงานของแบตเตอรี่ที่หมดไปแม้ว่าจะไม่ถูกใช้ตาม แบตเตอรี่แบบโซลาร์ที่สมควรจะมีความต้านทานที่สูงเพื่อที่จะทำให้เสียดพลังงานน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

$$I_B = I - I_s \quad (2.27)$$

เมื่อ I คือ กระแสแบตเตอรี่ (A)
 I_s คือ กระแสคายประจุ Self-discharge (A)

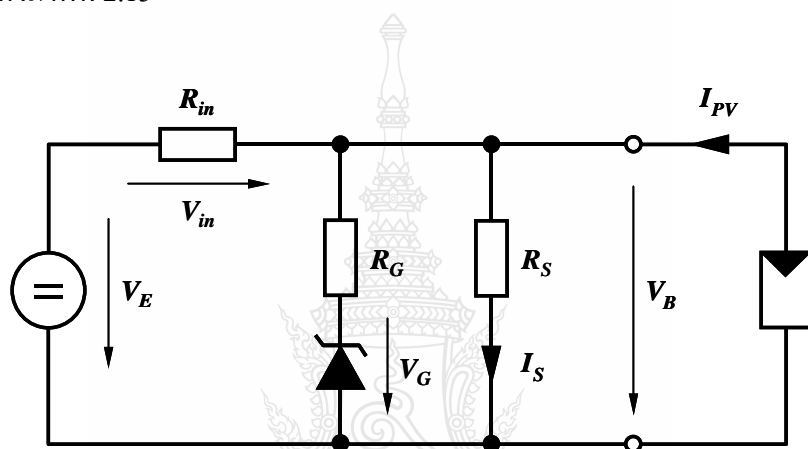
อย่างไรก็ตามอัตราแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแต่ละเซลล์ผลิตแรงดัน 2 V ดังนั้นแบตเตอรี่ 12V จะประกอบด้วย 6 เซลล์ที่เหมือนกันมาต่ออนุกรมกัน แรงดันที่ขั้วปลายสายจะแปรผันตามสถานะของการทำงาน และความเข้มข้นของกรดจะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการประจุ (Charging) และการคายประจุ (Discharge) ตามที่แผ่นป้ายบอกไว้ แรงดันที่คงที่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.28)

$$V_E \approx V_k + \text{ความเข้มข้นของกรด (g/cm}^3\text{)} \quad (2.28)$$

เมื่อ V_E คือ แรงดันคงที่ (V)
 V_k คือ 0.84...0.88 (ขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่)

ตัวอย่างของแบตเตอรี่กับกรดกำมะถัน (H_2SO_4) เข้มข้น 1.28 g/cm^3 และ $V_k = 0.84$ สำหรับแบตเตอรี่แบบ Tudor ดังนั้นสภาพคงที่ $\approx 0.84 + 1.28 = 2.12 \text{ V}$ ในระบบ PV ซึ่งเป็นตัวอย่างคุณสมบัติการคายประจุ (Discharge) ที่ช้ามาก แรงดันที่ได้อาจมีค่าประมาณ 1.95 V ต่อเซลล์หรือ 11.7 V สำหรับแบตเตอรี่ 12 V อย่างไรก็ตามถ้าแบตเตอรี่ดีสชาร์จลึก (Deep-discharge) เป็นเวลานานเราต้องรีบประจุให้เร็วที่สุดเพราะจะทำให้อายุการใช้งานของมันสั้นลง การประจุแบตเตอรี่โดยการเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นกว่าระดับของแรงดันที่มีอยู่ ดังนั้น แรงดันที่ชาร์จจะมีระดับระหว่าง 2.0 - 2.4 V

ต่อเซลล์ หรือ 12 – 14.4 V สำหรับแบตเตอรี่ 12 V จะเพิ่มขึ้นเมื่อชาร์จแบตเตอรี่ ด้วยระดับ 2.3 – 2.4 V การประจุทั้งหมดนี้จะทำให้เกิดแก๊สที่เรียกว่า “Gassing” โดยที่น้ำมีการแตกตัวเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน แก๊สทั้งสองนี้รวมกันภายในแบตเตอรี่แล้วแตกตัวออกจากกันและจะระบายออกไปตามช่อง Plug นอกจากนี้จะสูญเสีย Gassing แล้วก็ต้องเสียน้ำอีกด้วย และจะต้องได้รับการเติมเข้าไปใหม่เพื่อที่จะรักษาระดับสารละลายอิเล็กโทรไลต์หรือกรดซัลฟูริกให้คงที่ ดังนั้นในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่จะทำให้เกิดสิ่งที่ไม่จำเป็นขึ้น การประจุทั้งหมดในปัจจุบันนี้ผลรับที่ได้คือการสูญเสีย H_2 และ O_2 ไปด้วยเหตุผลนี้เอง Gassing สามารถป้องกันได้โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดต่ออนุกรมเข้ากับตัวต้านทาน R_G ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 วงจรเปรียบเทียบ Quasi-static กับวงจรการเกิด Gassing

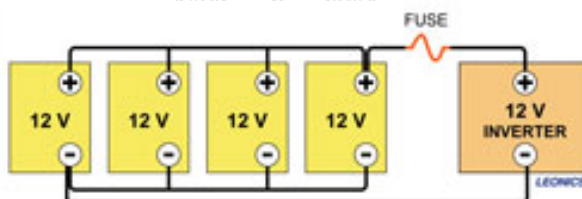
การต่อซีเนอร์ไดโอดเพื่อเป็นการป้องกันการไหลย้อนกลับของแรงดัน ดังนั้นจะไม่มีกระแสไหลจนกว่าจะมีการชาร์จให้แรงดันเพิ่มขึ้นจนเกินแรงดันเก็บรคควานซ์ของมันซึ่งคือแรงดัน Gassing นั้นเอง รูปแบบนี้สามารถเพิ่มเติมได้เฉพาะแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดเท่านั้น เพราะ Gassing จะเข้าไปทำลายแบตเตอรี่แบบ Gel (แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ประเภท Sealed) การปล่อยแก๊สออกมาจำนวนมากจะทำให้เกิดความเสียหายแก่แบตเตอรี่ ดังนั้นในคู่มือบริษัทผู้ผลิตจะระบุเกี่ยวกับระดับแรงดันสูงสุดที่สามารถประจุได้ที่เตือนไม่ให้ประจุมากจนเกินไป

2.8 แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) ด้วยเหตุผลนานาประการ ไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกลงและหาซื้อได้ง่ายในทุกๆ ที่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟตจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมาย เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

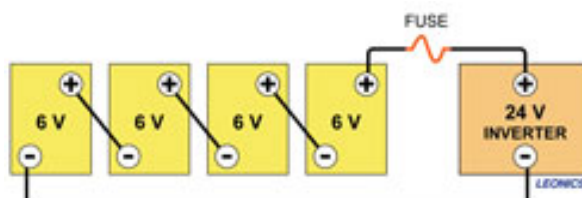
ภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้

1) ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงขึ้นตามต้องการ



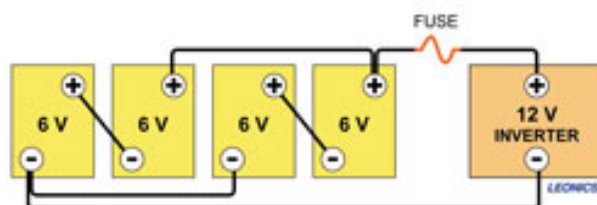
ภาพที่ 2.16 การต่อแบบอนุกรมเพื่อให้แรงดันมากขึ้น

2) ถ้าต้องการกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการ



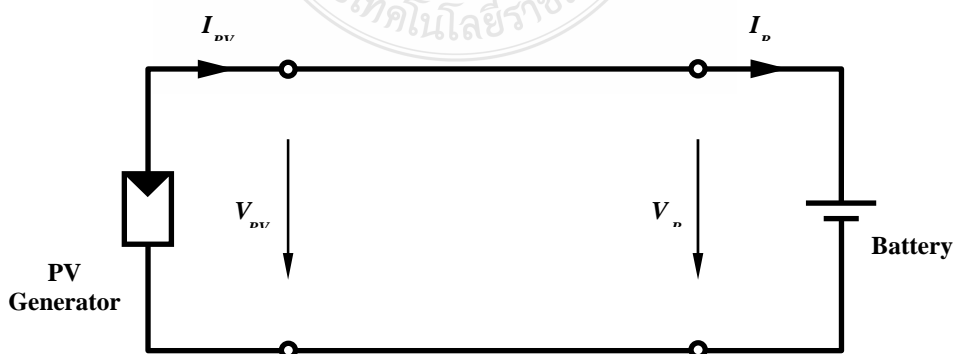
ภาพที่ 2.17 การต่อแบบขนานเพื่อให้กระแสมากขึ้น

3) ถ้าต้องการแรงดันและกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน



ภาพที่ 2.18 การต่อแบบผสมเพื่อเพิ่มทั้งกระแสและแรงดัน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย คุณสามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย (แบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้) ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์และเติมน้ำในเวลาที่เหมาะสมได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open cell หรือ Unsealed หรือ Flooded cell battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง เรียกว่า แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance free หรือ Sealed battery) [9]



ภาพที่ 2.19 การชาร์จแบตเตอรี่โดยเซลล์แสงอาทิตย์

2.9 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีการออกแบบและมีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1) แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI) เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (Shallow cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ ลักษณะการออกแบบแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยา การที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้อายุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (Deep cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ ก็ยังมีการนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนา ที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจใช้งานได้ถึงสองปี กับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20% DOD ต่อวัน และจำกัดไว้มากที่สุด ไม่เกิน 40-60% DOD

2) แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive power or Traction battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก (Deep cycle) ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า รถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่าวัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆ จะใช้ ตะกั่ว-แอนติโมนี เพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้ เป็นที่รู้จักกันดี และมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (Deep cycle) อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

3) แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า และจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก (Deep cycle)

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ผลิตรออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริด ให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดา และทำให้

สามารถใช้ในงานคายประจุมาก (Deep cycle) หรือที่เรียกว่า ประจวบลึก และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี กริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนี ยังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยาทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียมเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง

- ข้อเสียของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่ต้องการการประจุเกินบ่อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจุเกิน

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายก๊าซ เป็นเกลียวเปิด สำหรับเปิดเติมน้ำ แบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใช้ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านนอก การเช็ควัดความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเพลาทหนาและการออกแบบที่แข็งแรง ส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า เพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

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

• แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open vent แบตเตอรี่ชนิดนี้ มักจัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกกละ 2 โวลต์ มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000 AH แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียเล็กน้อย และอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรอง สำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีประสบการณ์ไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่อง ปฏิกิริยาการกัดเซาะและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed vent การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ Maintenance free ใช้กับรถยนต์มีความจุในช่วง 50 – 200 AH ขนาด 12 V และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดา คือทนต่อการประจุเกิน สภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง และการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษา คือ การไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการใส่สารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เช่นระบบที่ใช้ในบ้าน ระบบแสงสว่าง แต่ต้องระมัดระวังในการประจุ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่สุด ถึงแม้จะมีราคาสูง แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย (Shallow cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม ไฮบริด แบตเตอรี่ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่น มีความจุถึง 200 Ah ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียม เป็นกริดแบบแท่งในขั้วบวก และใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รวมข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด คือมีประสิทธิภาพที่การคายประจุมาก มีการสูญเสียใช้น้ำน้อย และอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification) ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในระบบขนาดใหญ่

- แบตเตอรี่ ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) เป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดอีกชนิดหนึ่ง โดยสารอิเล็กโทรไลต์ จะถูกอิมโมบิลไลซ์ (Immobilized) และปิดผนึกในภาชนะบรรจุ ถ้าเกิดสถานะประจุเกิน ช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายในแบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องไม่ทำการประจุเกินแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่ง และที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกล แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เกิดการเสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือการประจุเกินทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมักเกิดในสถานะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสถานะประจุเกิน (Over charging)

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

- แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียมแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายใน เพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสียน้ำ แบตเตอรี่แบบเจลบางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่

- แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจล คือ สารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลทแต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำให้สามารถใช้งานในสถานะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้จะกำหนดแรงดันสูงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสถานะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบ ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอก ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทน แต่ใน AGM แบตเตอรี่โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดขึ้นในเพลทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลทลบและรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน

- แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิสามารถนำมาประจุใหม่ได้ และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาน้อย สามารถทนการประจุที่ผิดพลาดได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุ ข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เล็กลงใช้งานน้อย

เซลล์แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม อิเล็กโทรดเพลทขั้วบวกทำจาก นิเกิล-ไฮดรอกไซด์ (Ni(OH)₂) ส่วนขั้วลบทำจากแคดเมียม (Cd) และจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแตสเซียมไฮดร

ออกไซด์ (KOH) ในสภาวะคายประจุ นิกเกิลไฮดรอกไซด์จะเปลี่ยนรูปเป็น(Ni(OH)₂) และแคดเมียมจะเปลี่ยนรูปเป็นแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (Cd(OH)₂) ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทำปฏิกิริยา ดังนั้นจุดเยือกแข็งของสารอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่าต่ำคงที่แรงดันต่อเซลล์ของแบตเตอรี่แบบนิกเกิล-แคดเมียม คือ 1.2 V เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด เซลล์ละ 2.1 โวลต์ ต้องใช้เซลล์นิกเกิล-แคดเมียมถึง 10 เซลล์เพื่อต่อเป็นแบตเตอรี่ 12 V แรงดันของแบตเตอรี่แบบนิกเกิล-แคดเมียมนี้ยังคงมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าจะมีการคายประจุใกล้หมดแล้วก็ตาม และแรงดันจะลดลงทันทีทันใดเมื่อคายประจุหมด แบตเตอรี่แบบนิกเกิล-แคดเมียม สามารถรับการประจุด้วยอัตรากระแสสูงถึง C/1 และสามารถทนการประจุเกินอย่างต่อเนื่องที่อัตรา C/15 แบตเตอรี่แบบนี้ แบ่งได้เป็นสองลักษณะ คือ

1) Sintered plate ni-cads แบตเตอรี่ชนิดนี้ ใช้กันทั่วไปในงานเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน การออกแบบใช้ขบวนการความร้อนกับวัสดุทำปฏิกิริยาและมวลเพลตดังกล่าวเป็นวงใส่ในภาชนะบรรจุ และสารอิเล็กโทรไลต์ใช้วิธีอิมโมบิไลซ์ ป้องกันการรั่วซึม และสามารถติดตั้งได้หลายลักษณะ ปัญหาของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ ผลของหน่วยความจำ (Memory effect) คือการที่แบตเตอรี่คายประจุได้เฉพาะอัตราที่มีการประจุเข้าไป ในรอบนั้นเท่านั้นและจะทำให้ความจุลดลงในบางกรณี ผลของหน่วยความจำสามารถลบได้ โดยทำการประจุและคายประจุแบบพิเศษให้เหมือนสภาวะเริ่มต้นใช้งาน

2) Pocket plate ni-cads แบตเตอรี่นิกเกิล-แคดเมียมที่ใช้กับระบบ สื่อสารในพื้นที่ห่างไกล และการประยุกต์งานด้านอื่นๆ มักใช้แบบที่เติมสารอิเล็กโทรไลต์เรียก Flooded pocket plate การออกแบบจะเหมือนกับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ต้องมีการเติมน้ำกลั่นเป็นระยะเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามสารอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอัลคาไลน์โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์แทนกรดซัลฟูริก แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถใช้งานในสภาวะคายประจุมาก และอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าแบบตะกั่วกรด และไม่มีผลของหน่วยความจำเหมือนในแบบ Sintered plate ni-cads ข้อเสียของแบตเตอรี่แบบนี้คือ มีราคาเริ่มต้นที่ยังแพงอยู่ และอย่างไรก็ตามถ้าเทียบกับอายุที่นานอาจเป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาตลอดอายุการใช้งานถูกที่สุดในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นที่สำหรับโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เลือกใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบใช้ในงานคายประจุมาก (Deep cycle) ขนาด 12 V 125 AH

2.9.1 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ $12\text{V} \times 100\text{Ah}$ หรือ $12\text{V} \times 100\text{A} \times 3600\text{s}$ จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์ อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่ [10]

การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน อัตราการจ่ายประจุสูงสุด อัตราการประจุสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน (อุณหภูมิที่ได้ผลดีที่สุดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ 77 F หรือประมาณ 60-80 F)

2.9.2 คุณสมบัติของความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

นิยามของความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารละลายต่อความหนาแน่นของน้ำ ทำการวัดโดยเครื่องไฮโดรมิเตอร์ โดยนิยามแล้ว น้ำบริสุทธิ์จะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1 ในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนผสมระหว่างกรดซัลฟิวริกกับน้ำในสถานะที่ประจุเต็ม สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีปริมาณกรดซัลฟิวริกประมาณ 36% โดยน้ำหนัก หรือ 25% โดยปริมาณความถ่วงจำเพาะของสารละลายในแบตเตอรี่นี้มีความสัมพันธ์กับสถานะของการประจุ และขึ้นกับความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ออกแบบใช้งาน และอุณหภูมิในสถานะประจุเต็มสำหรับแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่น ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีค่าอยู่ในช่วง 1.250 ถึง 1.280 ที่อุณหภูมิ 27 °C หมายความว่า ความหนาแน่นของสารอิเล็กโทรไลต์ที่มีค่า 1.250 และ 1.280 เท่าของน้ำบริสุทธิ์ เมื่อแบตเตอรี่ ภายประจุก๊าซไฮโดรเจน และไอออนซัลเฟต ที่เกิดจากกรดซัลฟิวริก จะทำปฏิกิริยากับวัสดุ ทำปฏิกิริยาที่เพลทบวกและลบ เพื่อเป็นตะกั่วซัลเฟต ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายลดลง ถ้าแบตเตอรี่คายประจุมาก สารอิเล็กโทรไลต์จะเจือจางจนไม่มีไอออนจากสารละลาย ที่จุดนี้แบตเตอรี่จะคายประจุจนหมด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ก็จะเป็นน้ำธรรมดาและมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1

กรดซัลฟิวริกเข้มข้นมีจุดเยือกแข็งที่ต่ำมากคือน้อยกว่า $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ขณะที่น้ำมีจุดเยือกแข็งสูงกว่า คือ 0 องศาเซลเซียส ดังนั้นจุดเยือกแข็งของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงมีค่าสูงหรือต่ำ ขึ้นกับ

ความถ่วงจำเพาะขณะนั้น ในกรณีที่แบตเตอรี่กำลังคายประจุ ค่าความถ่วงจำเพาะลดลง ทำให้จุดเยือกแข็งสูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิจุดเยือกแข็งของกรดซัลฟิวริกดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิ

ความถ่วงจำเพาะ	H ₂ SO ₄ (Wt%)	H ₂ SO ₄ (Vol%)	อุณหภูมิจุดเยือกแข็ง (°C)
1.000	0.0	0.0	0
1.050	7.3	4.2	-3.3
1.100	14.3	8.5	-7.8
1.150	20.9	13.0	-15
1.200	27.2	17.1	-27
1.250	33.4	22.6	-52
1.300	39.1	27.6	-71

2.9.3 ปฏิกิริยาซัลเฟชัน (Sulfation)

ปัญหาที่มักพบในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดบ่อยๆ คือปฏิกิริยาซัลเฟชัน มีผลทำให้ความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ลดลงอย่างถาวร ดังนั้น ขณะใช้งานต้องระวังไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้ภายใต้เงื่อนไขสภาวะการใช้งานปกติ ในขณะที่คายประจุชั้นของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่เพลทจะมีเนื้อละเอียด ดังนั้นจะมีช่องว่างจำนวนมากรอบๆ ชั้นตะกั่วซัลเฟต ที่สารละลายจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับวัสดุทำปฏิกิริยาทั้งตะกั่วไดออกไซด์และตะกั่ว เมื่อตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นรวมตัวกันและเป็นผลึกใหญ่ขึ้นเรียกปฏิกิริยาซัลเฟชัน จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับแบตเตอรี่เนื่องจากผลึกขนาดใหญ่ไม่สามารถคืนรูปเป็นตะกั่วและตะกั่วไดออกไซด์ในช่วงประจุได้

ปฏิกิริยาซัลเฟชันจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ดังนี้

- 1) ปล่อยให้เซลล์คายประจุจนโดยไม่มีประจุกลับ
- 2) มีการประจุเพียงบางส่วนแล้วนำมาใช้งาน เป็นระยะเวลานาน
- 3) ใช้งานแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องในสภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 45 °C

4) ปล่อยให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่มีความเข้มข้นสูงหรือเมื่อสารละลายมีระดับต่ำกว่าระดับล่าง แล้วไม่เติมน้ำกลั่นเป็นเวลานานเมื่อเกิดสภาวะตามเงื่อนไขดังกล่าวมาแล้วพร้อมกันมากกว่า 2 สภาวะขึ้นไปปฏิกิริยาซัลเฟชันจะเกิดเร็วมากขึ้นเหตุการณ์ที่บ่งชี้ว่าเกิด

ปรากฏการณ์ซัลเฟชันแล้ว คือ เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่แรงดันจะสูงผิดปกติ เหมือนกับแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม ในขณะที่วัดค่าความถ่วงจำเพาะแล้ววัดได้เทียบกับสถานะการประจุยังไม่เต็ม เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้ วิธีการใช้แบตเตอรี่ทำได้โดยการประจุด้วยกระแสต่ำๆ และแบตเตอรี่จะมีความจุสูงสุดลดลงอย่างถาวร

วิธีการป้องกันปรากฏการณ์ซัลเฟชันที่ดีที่สุด คือ การประจุแบตเตอรี่ให้เต็ม เพื่อให้ตะกั่วซัลเฟตเปลี่ยนรูปหมด ในการใช้งานแบบคายประจุมาก (Deep cycle) บริษัทผู้ผลิตมักให้คำแนะนำว่า จะต้องประจุแบตเตอรี่ให้เต็มทันทีเมื่อใช้แบตเตอรี่ถึงจุดความจุต่ำสุด เมื่อนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่สามารถทำเช่นนี้ได้ เพราะการคายประจุมากเกิดจากกรณีท้องฟ้าไม่มีแสงแดดต่อเนื่องกันหลายวัน วิธีการป้องกัน จึงต้องมีกรลดการใช้ไฟฟ้า เพื่อลดการดึงพลังงานออกจากแบตเตอรี่ หรือทำการถอดแบตเตอรี่ออกไปประจุที่อื่น

นอกจากนั้นในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีวิธีการลดการเกิดปรากฏการณ์ซัลเฟชันได้โดยการเลือกออกแบบระบบให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถประจุแบตเตอรี่ได้เต็ม โดยใช้เงื่อนไขแสงแดดเฉลี่ยของเดือนที่มีแสงแดดน้อยที่สุด แต่ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานสามารถประจุด้วยแหล่งพลังงานชนิดอื่น เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ถ้าจะให้ได้ดี ต้องจัดทำตารางการประจุแบบ Equalization และทำอย่างสม่ำเสมอ

อัตราการเกิดซัลเฟชันจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเซลล์ คุณภาพของเพลท และวัสดุประสงค์ในการใช้งาน วัสดุทำปฏิกิริยาต่างๆ จะถูกออกแบบให้ลดอัตราการเกิดซัลเฟชันแต่ไม่สามารถหยุดปรากฏการณ์นี้ได้ ในสถานะแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงกว่า 30°C จะใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำ (Tropical electrolyte) นอกจากจะลดการเกิดซัลเฟชันแล้วยังช่วยลดความเสียหายที่เกิดกับโครงสร้างของขั้วบวกของแบตเตอรี่ด้วย

2.9.4 ปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)

ปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย จะเกิดกับแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่น โดยความถ่วงจำเพาะของสารอิเล็กโทรไลต์จะไม่เท่ากันตลอด ด้านล่างจะมีค่ามากกว่าด้านบน เกิดขึ้นจากการประจุไม่สมบูรณ์ไม่เกิดก๊าซซึ่งในช่วงที่ประจุเต็ม ทำให้สารละลายไม่เกิดการเคลื่อนที่ผสมกันอย่างทั่วถึง ผลของปรากฏการณ์นี้ จะทำให้แผ่นเพลทด้านล่างของแบตเตอรี่ ที่สัมผัสกับความเข้มข้นสูงสุกก่อนได้เร็ว ขณะที่ด้านบนยังมีลักษณะคืออยู่ ส่งผลให้อายุและความจุของแบตเตอรี่ลดลง แบตเตอรี่ที่มีความจุมากและมีลักษณะรูปทรงสูง มักจะเกิดปัญหาการแบ่งชั้นของสารละลายเมื่อประจุด้วยกระแสต่ำ การป้องกันปรากฏการณ์นี้คือ การทำการประจุ แบบ Equalization เป็นระยะเวลาที่แน่นอน

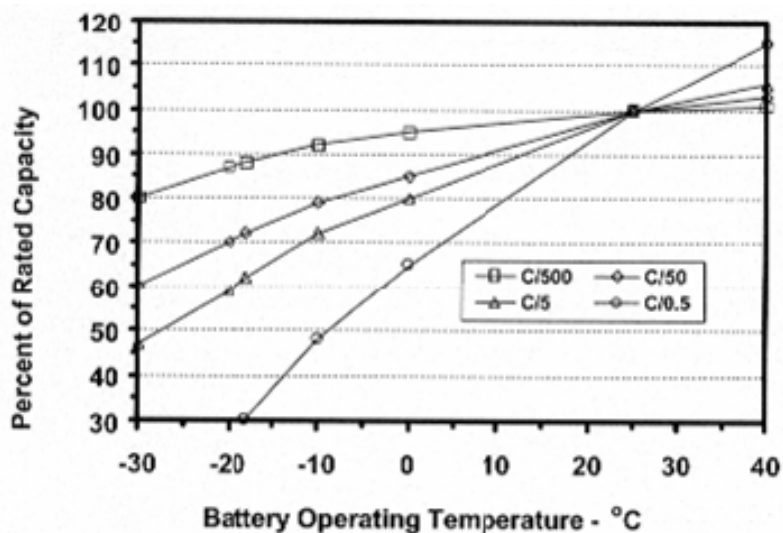
2.9.5 คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่

1) แอมแปร์ชั่วโมง (Ah) เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนใกล้จะคายประจุหมด ความจุแอมแปร์ชั่วโมงได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ความจุ 80 AH หมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมงหรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง [11]

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

สาเหตุที่เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสต่ำ มีความจุมากกว่ากระแสสูงเนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพลตลึกลงกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้น พลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย แต่การซึมของสารละลายเข้าไปในเพลตยิ่งลึกอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะลดลง ดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งาน

แบตเตอรี่บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์ชั่วโมง และแรงดันปกติของแบตเตอรี่ และหารด้วย 1000 เช่น แบตเตอรี่ 12 V 100 AH มีความจุเท่ากับ $12 \times (100/1000) = 1.2 \text{ kWh}$ เป็นต้น



ภาพที่ 2.20 ผลของอุณหภูมิต่อความจุใช้งานของแบตเตอรี่

3) Cut off voltage เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ขณะคายประจุ ถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวร ไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆ กัน บริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดแรงดันต่ำสุดหรือแรงดันสุดท้ายของการคายประจุกับอัตราการคายประจุ ถ้าใช้แรงดันต่ำสุดดังกล่าวกับอัตราการคายประจุที่แตกต่างกัน ความจุแบตเตอรี่จะสูงกว่า สำหรับอัตราการคายประจุที่ต่ำกว่า

4) รอบการใช้งาน (Cycle) เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็ม นำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งาน ในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อย (Shallow cycle) และงานที่มีการคายประจุมาก (Deep cycle) การจะใช้งานแบตเตอรี่แบบไหนนั้นขึ้นกับลักษณะของเซลล์ และส่วนใหญ่ไม่ใช่คายประจุจนหมด ในการใช้งานที่มีการคายประจุมาก มักมีการคายประจุมากกว่า 50 % ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

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

6) การประจุ (Charge) คือกระบวนการที่แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้า กำหนดในรูปของกระแสประจุ หรืออัตราการประจุ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด คือปฏิกิริยาที่ตะกั่วซัลเฟตและน้ำ เปลี่ยนเป็นตะกั่ว ตะกั่วไดออกไซด์ และกรดซัลฟิวริก

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

8) Negative (-) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์ต่ำ ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วลบของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนไหลออกมาเมื่อมีการคายประจุ

9) Positive (+) เป็นจุดที่มีความต่างศักย์สูงในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงหรือขั้วบวกของแบตเตอรี่ หมายถึงตำแหน่งอิเล็กโทรดที่อิเล็กตรอนหรือกระแสไหลเมื่อมีการประจุ

10) Open circuit Voltage คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะสมดุล ไม่มีการประจุหรือไม่มีการคายประจุ แรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ

11) คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบตเตอรี่ วิธีการและขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่ มีหลายลักษณะ สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ วิธีการประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิด มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดมาโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่ การประจุแบบต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

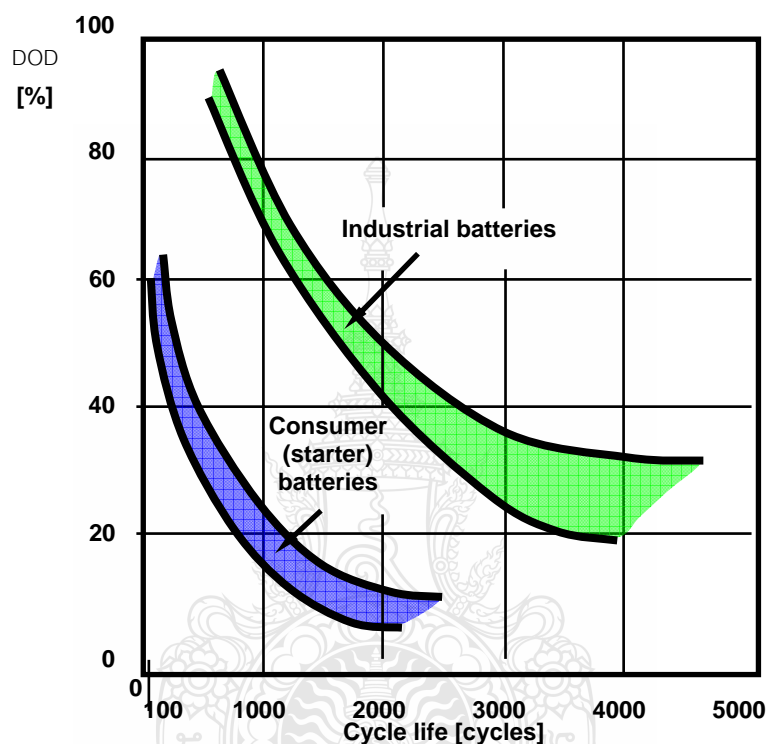
- Bulk or Normal charge เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กัน ที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดันก้ำกัซ การประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80-90% ของความจุทั้งหมด

- Float or Finishing charge เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็มวิศวกรทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้นเกือบหมดแล้ว หลังจากนั้น ต้องมีการควบคุม อาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ การประจุแบบนี้มักทำที่อัตราการประจุต่ำถึงกลาง

- Equalizing charge บางครั้งเรียก Refreshing charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่แรงดันสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้ เซลล์ที่มีสภาวะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าซ ในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็มการประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing charge 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง

12) คุณสมบัติในสภาวะการคายประจุ

- Depth of Discharge (DOD) คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไป หรือคายประจุออกไป เปรียบเทียบกับความจุทั้งหมด มีปริมาณ DOD สองปริมาณที่ซื้อขายในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

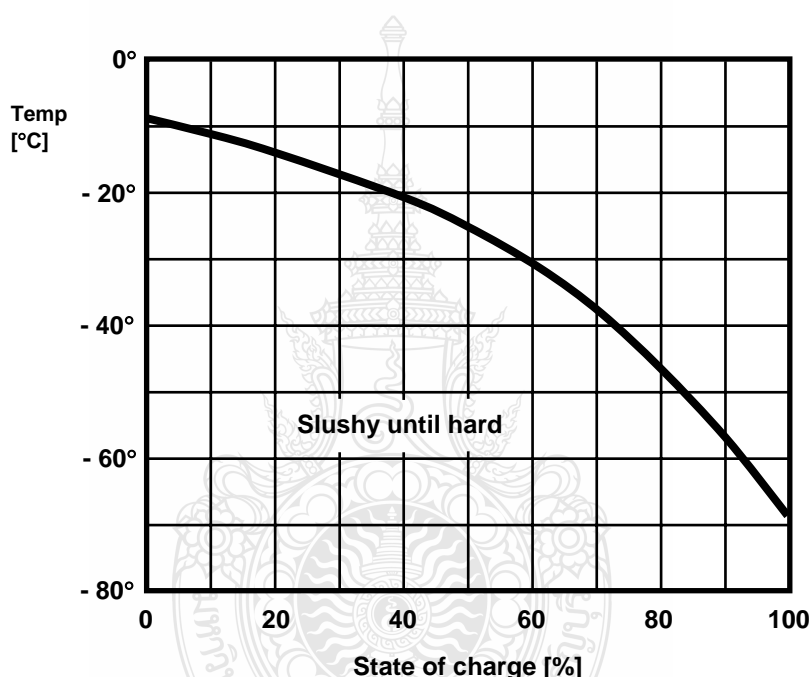


ภาพที่ 2.21 Cycle life vs. DOD

ก. Allowable DOD หรือ Maximum DOD เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ยอมให้มีการใช้งานได้ ถ้ามีการใช้งานเกินค่านี้แล้ว แบตเตอรี่ลูกนั้นจะไม่สามารถนำกลับมาประจุใช้งานได้อีก โดยทั่วไปจะกำหนดโดยแรงดัน cut off ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ พารามิเตอร์ที่สะท้อนค่า Maximum DOD คือค่าพิกัดแรงดันต่ำสุด (LVD) แต่อย่างไรก็ตามค่า Maximum DOD นี้สามารถกำหนดตามฤดูกาลได้ โดยขึ้นกับลักษณะพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ แวดล้อม และลักษณะของการใช้ภาระทางไฟฟ้า

ข. Average Daily DOD เป็นปริมาณพลังงานที่ยอมให้มีการจ่ายออกจากแบตเตอรี่ได้ภายใน 1 วัน โดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยรายวันของภาระทางไฟฟ้า ปริมาณนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบจำนวนวันที่ต้องการเก็บพลังงานไว้ใช้งาน

- Stage of Charge (SOC) สถานะของการคายประจุเป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 % หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50 % หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ 50 %

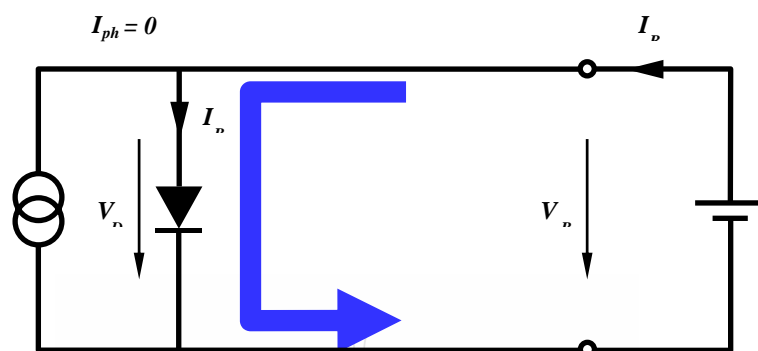


ภาพที่ 2.22 สถานะการชาร์จที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

13) Autonomy โดยทั่วไปจะนิยามคือจำนวนวันที่จะเก็บพลังงานไว้ให้เพียงพอใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระจะหมายถึง ช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ที่ประจุเต็มแล้วสามารถจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าของระบบ เมื่อไม่มีพลังงานประจุกลับจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เลย สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่างๆไป ช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ระหว่าง 2-6 วันขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบ ยิ่งออกแบบเวลา Autonomy นานขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ก็จะเพิ่มขึ้น

14) การคายประจุด้วยตัวเอง (Self discharge rate) เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม และปล่อยให้โดยไม่มีการต่อใช้งานจะมีการคายประจุในตัวเองอัตราการคายประจุด้วยตัวเองจะกำหนด

เป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุทั้งหมดในช่วงเวลา 1 เดือนการคายประจุด้วยตัวเองนี้ขึ้นกับความยากง่ายในการเกิดก๊าซที่เพลาทเมื่อมีการประจุเกินและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น



ภาพที่ 2.23 แบตเตอรี่เกิดการคายประจุด้วยตัวเอง เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ

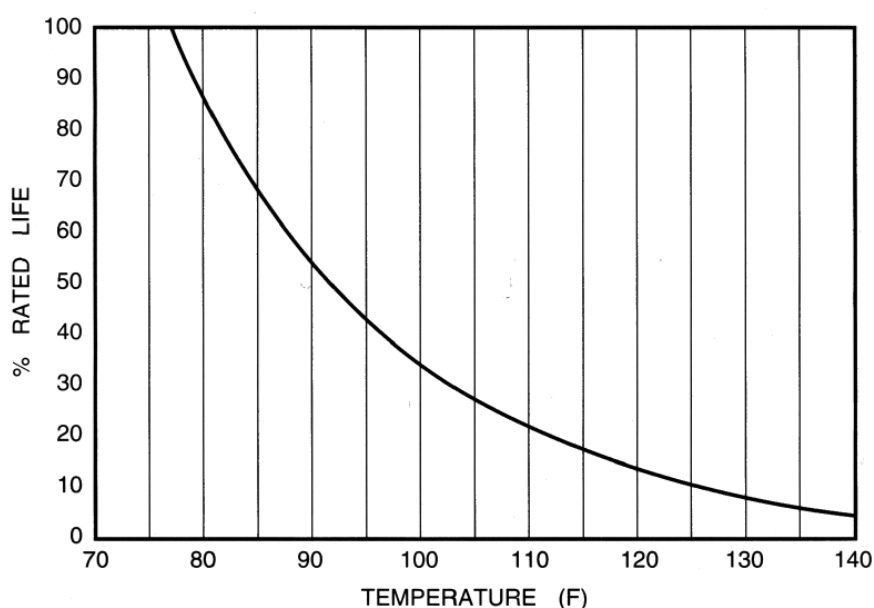
15) อายุการใช้งานแบตเตอรี่ (Battery lifetime) อายุการใช้งานแบตเตอรี่คือช่วงเวลาที่ความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็มลดลงจากความจุเต็มของแบตเตอรี่ใหม่ 80 % โดยการลดลงนั้นเกิดขึ้นทั้งจากจำนวนรอบการใช้งาน และอายุของเซลล์

ในบางรอบการใช้งาน วัสดุทำปฏิกิริยาจะหลุดออกจากอิเล็กโทรด และจมลงด้านล่างของภาชนะบรรจุ เมื่อวัสดุแยกออกจากอิเล็กโทรดวัสดุนั้นจะไม่สามารถคืนรูปเหมือนเดิมได้ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงได้เช่นเดียวกัน จำนวนรอบของการใช้งานก่อนที่ความจุเต็มจะลดลงเหลือ 80 % เรียกว่าอายุของเซลล์ (Cell life) อายุของเซลล์นี้จะขึ้นกับลักษณะการคายประจุ ขนาดของกระแสที่คายประจุและอุณหภูมิ

ในการใช้งานบางงานเซลล์ไม่ได้มีการใช้งานเป็นรอบบ่อยๆ เช่นในระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน แบตเตอรี่จะได้รับการประจุเต็มตลอดเวลา จนกระทั่งถึงเวลาฉุกเฉินจึงมีการคายประจุความจุเต็มของแบตเตอรี่ชนิดนี้จะลดลงตามอายุการใช้งาน ดังนั้นจึงเรียกอายุของการใช้งานแบตเตอรี่แบบนี้เป็นอายุตามปฏิทิน (Calendar life) หรืออายุ สแตนด์บาย (Standby life) โดยมีหน่วยเป็นปีอายุตามปฏิทินนี้ จะขึ้นกับอุณหภูมิ และวิธีการเก็บรักษาแบตเตอรี่

ในเซลล์บางชนิด แบตเตอรี่จะสามารถใช้งานได้ยาวนานเท่าอายุปฏิทินของแบตเตอรี่ ก็ต่อเมื่อมีการใช้งานแบบที่มีการคายประจุน้อยเท่านั้น ดังนั้นจะไม่สามารถใช้ไฟฟ้าเท่ากับความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดได้ เวลาที่กล่าวถึงความจุแบตเตอรี่จึงมักกล่าวถึงความจุสองลักษณะคือ ความจุทั่วไป (Nominal capacity) และความจุที่ใช้งานจริง (Usable capacity)

16) Temperature effects สำหรับแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เช่นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ซึ่งเป็นผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเป็นสองเท่าเช่นกัน และนอกจากนั้นอุณหภูมิสูงยังมีผลในการเร่งการสึกหรอของเพลทบวก เนื่องจากผลของการเกิดก๊าซซึ่ง และการสูญเสียน้ำ ส่วนอุณหภูมิต่ำมีผลทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นแต่อย่างไรก็ตามทำให้ความจุลดลงในแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

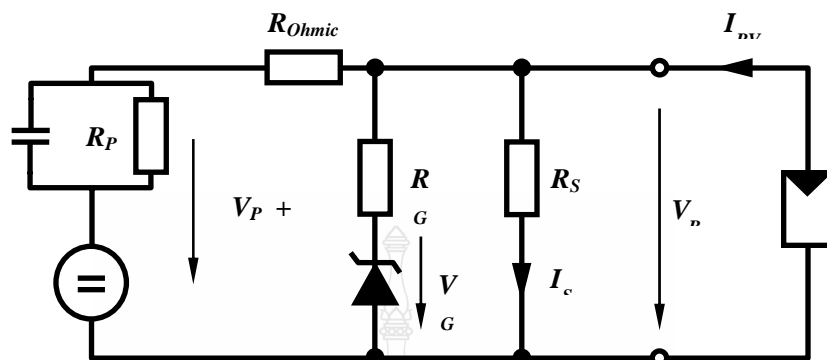


ภาพที่ 2.24 ผลของอุณหภูมิต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ [12]

17) Effects of discharge rates ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลง เมื่อมีการใช้งานแบตเตอรี่ที่อัตราการคายประจุสูงขึ้น อัตราการคายประจุสูงนี้ มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าขณะที่ไม่มีโหลด จะมีค่าต่ำกว่าการใช้อัตราการคายประจุต่ำกว่า บางครั้งอาจส่งผลถึงการเลือกจุดแรงดันต่ำสุดที่จะตัดภาระทางไฟฟ้าออก ในแรงดันแบตเตอรี่ค่าเดียวกัน

18) การเกิดแก๊สซึ่ง และปฏิกิริยาเมื่อมีการประจุเกิน เซลล์ของแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุเต็ม วัสดุทำปฏิกิริยาในอิเล็กโทรด เปลี่ยนรูปจากสภาวะการคายประจุเป็นสภาวะการประจุเต็มทั้งหมด ถ้ายังทำการประจุต่อไป จะเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นขึ้นแทนที่อิเล็กโทรดปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดก๊าซ เรียกการเกิดก๊าซซึ่งเนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลทขั้วบวกและไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลทขั้วลบ

การเกิดแก๊สซึ่งแบบช้าๆ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบช้าๆ กลับทำให้เกิดประโยชน์เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น (Stratification)



ภาพที่ 2.25 วงจรเทียบเคียงการเกิดก๊าซซึ่ง

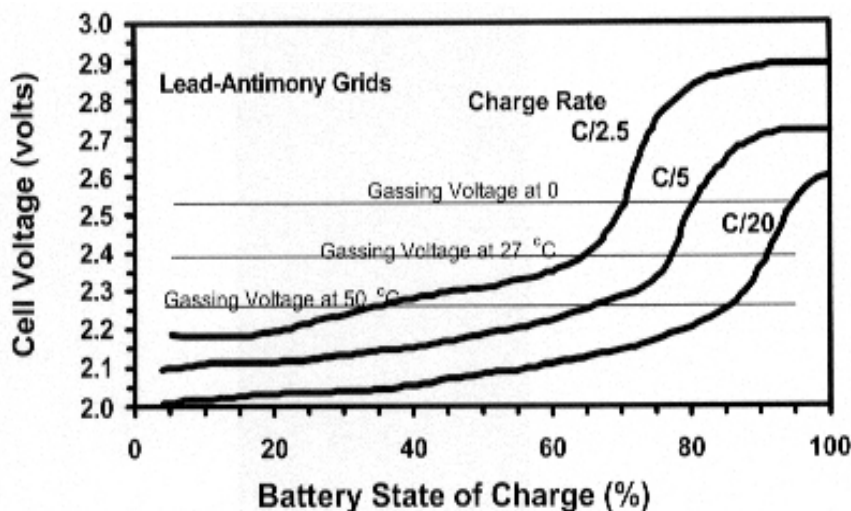
ถ้ายังมีการเกิดแก๊สอย่างต่อเนื่องสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งต่ำสุด

ยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ที่เกิดช่วงสภาวะการประจุเกินคือการแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโทรด ปฏิกิริยานี้จะรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัวไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

ดังนั้นในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด จึงมีความต้องการระบบควบคุมการประจุเพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้น บางครั้งการป้องกันการประจุเกินจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้วิธีออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีแรงดันพอดีกับการประจุแบตเตอรี่ในบางกรณีก็ใช้ระบบควบคุมการประจุเฉพาะ ระบบการควบคุมการประจุนั้นจะควบคุมทั้งการประจุเกิน และการดึงพลังงานออกไปใช้ไม่ให้มากเกินไปจนแบตเตอรี่ไม่สามารถประจุพลังงานกลับเข้าไปได้

19) แรงดันควบคุมในช่วงการประจุเกินและการเกิดแก๊สซึ่ง แรงดันควบคุมในช่วงประจุเกิน คือแรงดันสูงสุดที่อุปกรณ์ควบคุม ขอมให้มีการประจุแบตเตอรี่จนเกิดแก๊สได้ถ้าแรงดันแบตเตอรี่เกินจุดนี้ อุปกรณ์ควบคุมจะทำการตัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออกไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดก๊าซมากขึ้น ดังนั้นการเลือกแรงดันควบคุมสูงสุดนี้ ก็จะต้องมีความสำคัญต่อระบบโดยรวมถ้าเลือกแรงดันควบคุมต่ำ

เกินไป อาจทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุไม่เต็ม แต่ถ้าเลือกสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการประจุเกินได้ ดังตารางที่ 2.3



ภาพที่ 2.26 แรงดันควบคุมในช่วงการประจุและการเกิดก๊าซซึ่งของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

การเกิดก๊าซในขณะประจุ ไม่ได้เกิดจากแรงดันที่ประจุอย่างเดียว ยังเกิดจากอุณหภูมิของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และอัตราการประจุด้วย โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นแรงดันที่เกิดก๊าซจะต่ำลง

จากภาพที่ 2.26 ที่อุณหภูมิ 27 °C อัตราการประจุ C/20 แรงดันการเกิดก๊าซ ประมาณ 2.35 V ต่อเซลล์ และมี SOC เกือบ 90 % เมื่อเพิ่มอัตราการประจุเป็น C/5 ที่อุณหภูมิ 27 °C แรงดันการเกิดก๊าซ ประมาณ 2.35 V ต่อเซลล์ และมี SOC ลดลงเป็น 75 % และเมื่ออุณหภูมิลดลงเป็น 0 °C แรงดันการเกิดก๊าซ ประมาณ 2.5 V ต่อเซลล์ หรือ 15 V ในแบตเตอรี่ 12 V และมี SOC เพิ่มขึ้นเป็น 80 % ดังนั้นในอุปกรณ์ควบคุมการประจุที่ดีจะมีการปรับแก้อุณหภูมิ เพื่อให้ได้จุดควบคุมที่ถูกต้องด้วย

ตารางที่ 2.3 ข้อเสนอแนะการเลือกแรงดันควบคุมในการประจุ

แรงดันควบคุมที่ 25 °C	แบตเตอรี่ตะกั่วกรด แบบเติมน้ำกลั่น	แบตเตอรี่ตะกั่วแคลเซียมแบบเติมน้ำกลั่น	แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบซีล	แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียมแบบเติมน้ำกลั่น
ระบบ 12 โวลต์	14.4-14.8 V	14.0-14.4 V	14.0-14.4 V	14.5-15.0 V
ต่อเซลล์	2.40-2.47 V	2.33-2.40 V	2.33-2.40 V	1.45-1.50 V

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-acid battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบลึก (Deep cycle)	การบำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมน้ำกลั่น			
1. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	ต่ำ	ดี	สูง
2. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open vent	ต่ำ	ไม่ดี	ปานกลาง
3. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed vent	ต่ำ	ไม่ดี	ต่ำ
4. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี-แคลเซียม	ปานกลาง	ดี	ปานกลาง
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
1. เจลแบตเตอรี่ (Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
2. Absorbed Glass Mat (AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

2.10 การบำรุงรักษาและการใช้งานแบตเตอรี่

ความต้องการการบำรุงรักษาแบตเตอรี่จะมีมากหรือน้อยในระบบขึ้นกับการออกแบบและลักษณะการประยุกต์ใช้งานโดยการบำรุงรักษา นี้ รวมไปถึงการทำความสะอาดขนะบรรจุสายไฟ ขั้วต่อไฟฟ้าการขันเกลียวยึดให้แน่น การเติมน้ำกลั่น และการทดสอบสมรรถนะของแบตเตอรี่เป็น

ระยะๆ การทดสอบสมรรถนะจะประกอบไปด้วยการบันทึกความถ่วงจำเพาะอุณหภูมิของเซลล์ แรงดันของเซลล์หรือการทดสอบความจุ การวัดแรงดันและกระแสขณะทำงานประจุกี่สามารถใช้เป็น ข้อมูลเบื้องต้นในการดูอาการผิดปกติของระบบได้ นอกจากนี้ อุปกรณ์ต่างๆ ที่มีในระบบ เช่น ระบบระบายอากาศ ระบบดับเพลิง และระบบรักษาความปลอดภัยอย่างอื่น ก็ควรจะได้รับ การกำหนดในเรื่องของการบำรุงรักษาระบบด้วย

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะไม่มีอาการจำว่า ก่อนชาร์จแบตเตอรี่มีประจุเหลืออยู่เท่าไรหรือเมมโมรี เอฟเฟกต์ (Memory effect) ต่างจากแบตเตอรี่แบบนิกเกิลแคดเมียม ถ้าแบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่แล้วการ นำไปชาร์จโดยการให้กระแสต่ำ ๆ ไปเรื่อย ๆ แบตเตอรี่จะไม่เสีย แต่มันไม่ชอบการคายประจุที่ลึก มาก ๆ โดยเฉพาะการคายประจุจนหมด ทุกครั้งที่เราดิชาร์จมันลึกมาก ๆ จะทำให้ความสามารถใน การเก็บประจุของมันลดลง ส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้น ถ้าจำเป็นต้องใช้งานจนแบตเตอรี่ ประจุหมดบ่อย ๆ ควรป้องกันการคายประจุที่ลึกมากเกินไป โดยเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ ขึ้น ความจุสูงขึ้น(แอมป์ชั่วโมงมากขึ้น) เพื่อไม่ให้แบตเตอรี่คายประจุลึกมากนัก [13]

การทิ้งแบตเตอรี่ตะกั่วกรดไว้เฉย ๆ เป็นเวลานานแบตเตอรี่จะคายประจุออกไปเรื่อย ๆ ด้วย ตัวมันเอง (Self discharge) ถ้า ไม่ชาร์จเพื่อเติมประจุให้กับแบตเตอรี่ผลึกของตะกั่วซัลเฟตที่เกิดขึ้นที่ แผ่นธาตุลบจะรวมตัวกันแล้วมีขนาดใหญ่ขึ้น ผลึกที่มีขนาดใหญ่นี้จะไปขัดขวางการไหลของกระแส ทำให้กระแสไหลได้น้อยลง ส่งผลให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้น้อยลง นอกจากนี้ผลึกที่มี ขนาดใหญ่จะมีเหลี่ยมหรือมุมที่คมและแหลม ในกรณีที่ร้านแรงอาจจะที่มันจนแผ่นธาตุทะลุได้ ทำให้ แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรขึ้นภายในเราจะเรียกปรากฏที่เกิดขึ้นนี้ว่าผลึกขนาดใหญ่ ของตะกั่วซัลเฟตนี้ว่าการ เกิดซัลเฟชัน (Sulphation)

การเกิดซัลเฟชันจะยิ่งง่ายขึ้นถ้าทิ้งแบตเตอรี่ไว้โดยที่มันมีประจุเหลืออยู่ น้อยหรือไม่ เหลืออยู่เลย ดังนั้นจึงควรเก็บแบตเตอรี่ ไว้โดยการชาร์จให้ประจุเต็มอยู่เสมอ โดยอาจจะชาร์จเต็ม ประจุโดยใช้กระแสต่ำๆ ไปเรื่อยๆ ซึ่งเรียกว่า ทรिकเกิลชาร์จ หรือ โพลทชาร์จซึ่งการชาร์จแบบนี้มักจะ พบในระบบสำรองไฟฟ้าหรือระบบไฟแสงสว่าง ชุกเงิน เพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มตลอดเวลา เป็นการรักษาแบตเตอรี่ และทำให้แบตเตอรี่พร้อมที่จะจ่ายพลังงานเมื่อระบบไฟฟ้าหลักขัดข้องหรือ จ่ายกระแสให้กับระบบไฟ ส่องสว่างเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือไฟฟ้ามดับ

การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 8-16 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับขนาด ความจุของแบตเตอรี่) โดยแบตเตอรี่แบบแห้งจะชาร์จได้ช้ากว่าแบบเปียก เพราะจะต้องลดอัตราการ ชาร์จลงเพื่อไม่ให้เกิดแก๊สขึ้นภายในเซลล์มากเกินไป การสะสมของแก๊สจะทำให้ความดันภายใน เซลล์สูงขึ้น ทำให้สูญเสียอิเล็กโทรไลต์ไปจากการระบายแก๊สหรือน้ำออกทางรูระบายหรือเซฟตี้วาล์ว

หรืออาจทำให้แบตเตอรี่ ถึงขั้นแตกเสียหายได้ถ้าชาร์จเร็วสูงทำให้ความดันสูงไปด้วยจนเซฟตี้อัตโนมัติระบายความดันไม่ทัน

2.10.1 อัตราการคายประจุ

อัตราการคายประจุหรืออัตราการดิสชาร์จ หรือที่เรียกว่า ซีเรท ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดไม่ควรเกิน 0.2 C หรือ 20% ของความจุ ถ้าอัตราการดิสชาร์จมากขึ้นประสิทธิภาพของมันจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่ควรจะดิสชาร์จในอัตราที่มากกว่า 1 C สรุป ก็คือแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดนี้ชอบคายประจุน้อยนิดหน่อยแล้ว ก็ชาร์จก็จะทำให้มันมีอายุยืนยาวกว่าการคายประจุมาก ๆ หรือการใช้ประจุจนหมดแล้วจึงชาร์จ

รอบของการใช้งาน (Cycle) โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200-300 รอบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความลึกของการคายประจุหรือเรียกย่อว่า DOD, การ ชาร์จ การบำรุงรักษาและอุณหภูมิในการใช้งานสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่อายุการใช้งานลดลงก็คือการกักกรดที่แผ่นธาตุบวก ซึ่งการกักกรตอนนี้จะมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

2.10.2 อุณหภูมิกับอายุการใช้งาน

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่ 25 องศา (77 ฟาเรนไฮต์) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 8 องศา (15 ฟาเรนไฮต์) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่แบบ VRLA จะมีอายุถึง 10 ปีที่อุณหภูมิ 25 องศา แต่จะลดลงเหลือ 5 ปี ที่อุณหภูมิ 33 องศา (95 ฟาเรนไฮต์) และอายุเหลือไม่ถึง 1 ปีที่อุณหภูมิ 42 องศา (107 ฟาเรนไฮต์) นอกจากนี้มันยังทำงานได้ไม่ดีในที่อุณหภูมิต่ำอีกด้วยอุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะทำให้แบตเตอรี่เก็บประจุได้น้อยลง ความจุของแบตเตอรี่จะลดลง 50 % ทุกๆ อุณหภูมิที่ต่ำลง 12 องศา (22 ฟาเรนไฮต์) ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมในตอนเช้าที่อากาศเย็นเราถึงสตาร์ทรถติดได้ยากแต่การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำก็จะทำให้อายุการใช้งานของมันยาวนานมากขึ้นด้วยเช่นกัน

2.10.3 การเก็บรักษาที่คายประจุ

การคายประจุโดยตัวมันเอง (Self discharge) น้อยมากถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเปียกอัตราการคายประจุประมาณ 40% ต่อปี (เทียบกับนิเกิลแคดเมียมที่มีอัตราการคายประจุโดยตัวมันเองอยู่ที่ 20% ต่อเดือน) ส่วนแบตเตอรี่แบบแห้งจะมีอัตราการคายประจุน้อยกว่าแบบเปียกโดยเฉพาะแบตเตอรี่ AGM รุ่นใหม่ ๆ บางชนิด อัตราการคายประจุด้วยตัวมันเองจะไม่เกิน 2% ต่อเดือน นอกจากนี้แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดถึงจะมีราคาถูกแต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบที่ต้องเติมน้ำกลั่นก็จะมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มขึ้นมา คือต้องคอยตรวจสอบระดับของน้ำกรด (อิเล็กโทรไลต์) เพื่อเติมน้ำกลั่นเมื่อระดับของน้ำกรดต่ำเกินไปและต้องหมั่นทำความสะอาดคราบต่างๆที่อาจจะเกิดเนื่องจากการกักกรด

ของกรด อีกทั้งยังต้องระวังในเรื่องสถานที่ตั้งของแบตเตอรี่ด้วย ไม่ควรตั้งไว้ใกล้แหล่งความร้อนหรือประกายไฟเพราะในขณะชาร์จ (โดยเฉพาะถ้าชาร์จโดยเปิดฝาปิดของแบตเตอรี่) จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นอาจทำให้ระเบิดได้

ถ้าเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดใหม่ๆแล้วที่น้ำหนักเท่าๆกันแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะมีความสามารถในการเก็บประจุได้น้อยกว่า จึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์พกพาซึ่งต้องการแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เพราะจะทำให้กำลังไฟได้น้อย ทำให้ต้องชาร์จแบตเตอรี่บ่อยจนเกินไป หรือทำให้อุปกรณ์มีน้ำหนักมากจนเกินไป แต่เนื่องจากราคาค่าต้นทุนต่อพลังงานที่ได้ต่ำกว่าแบตเตอรี่ชาร์จได้ชนิดอื่นจึงนิยมนำมาทำแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ที่มีความจุมาก หน่วยความจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปจะวัดเป็นแอมแปร์ต่อชั่วโมง (Amp-Hour or Ah) ในขณะที่แบตเตอรี่ชาร์จได้แบบอื่นส่วนมากจะใช้หน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์ต่อชั่วโมง (mAh) เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ขนาดเล็กมีขนาดความจุน้อยกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดนั่นเอง

2.11 อุปกรณ์ในการทดสอบแบตเตอรี่

การวิเคราะห์จุดบกพร่องหรืออาการเสียหายของแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระนั้นเป็นแนวทางเบื้องต้นที่ผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลแบตเตอรี่ต้องเข้าใจและสามารถทำได้ หัวข้อนี้จะอธิบายเครื่องมือที่จำเป็นสองชนิดที่ควรมีในระบบเพื่อทำการตรวจสอบระบบแบตเตอรี่เบื้องต้น

1) ไฮโดรมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ ซึ่งคืออัตราส่วนของความหนาแน่นของสารละลายต่อความหนาแน่นของน้ำความถ่วงจำเพาะของสารละลายที่บอกความจุของแบตเตอรี่ได้ถูกต้องจะเป็นการวัดในขณะที่ไม่ได้ต่อภาระทางไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุ นั่นคือที่สถานะเปิดวงจร

2) ไฮโดรมิเตอร์ แบบที่ใช้กระดาษแก้วลอยในสารละลาย จะวัดได้ถูกต้องเมื่ออ่านที่อุณหภูมิ 27 °C (80 °F) ถ้าอ่านที่อุณหภูมิค่าอื่น ต้องทำการปรับเทียบอุณหภูมิโดยทั่วไปจะปรับด้วยแฟกเตอร์ 0.004 ทุกๆ 5.5 °C (10 °F) จากจุดอ้างอิง โดยจะต้องเอาไปบวกกับค่าที่อ่านได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และนำไปลบออกจากค่าที่อ่านได้ เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดอ้างอิง

3) อุปกรณ์ทดสอบภาระทางไฟฟ้า (Load tester) อุปกรณ์ทดสอบภาระทางไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ดึงพลังงานไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เหมือนภาระทางไฟฟ้า และขณะเดียวกันก็ทำการบันทึกแรงดันของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปอุปกรณ์นี้ ต้องสามารถดึงพลังงานไฟฟ้าด้วยอัตราการคายประจุสูงในช่วงเวลาที่กำหนดได้ ประโยชน์ของอุปกรณ์ชนิดนี้คือสามารถนำมาเช็คอาการของแบตเตอรี่ที่กำลังใช้งานอยู่ในระบบ [14]

2.12 สรุป

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรง สามารถแบ่งการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทปฐมภูมิ และ ประเภททุติยภูมิ แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดในบรรดาแบตเตอรี่ด้วยกัน โดยมักจะทำเป็นแบตเตอรี่ที่มีความจุ (Capacity) สูง ๆ ที่ให้กระแสได้มาก ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) ด้วยเหตุผลนานาประการ ไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกลงและหาซื้อได้ง่าย

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุอุดขั้วกรด เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเจล (Gel battery or Gel cell) และประเภทที่ใช้แผ่นซีลิกาไฟเบอร์เป็นตัวอุดซึม เรียกว่า แบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย

การชาร์จแบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 8-16 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับขนาดความจุของแบตเตอรี่) โดยแบตเตอรี่แบบแห้งจะชาร์จได้ช้ากว่าแบบเปียก เพราะจะต้องลดอัตราการชาร์จลงเพื่อไม่ให้เกิดแก๊สขึ้นภายในเซลล์มากเกินไป อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่ 25 องศา (77 ฟาเรนไฮต์) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 8 องศา (15 ฟาเรนไฮต์) จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงครึ่งหนึ่ง

บทที่ 3

การออกแบบและวิธีดำเนินการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยศึกษาและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยผู้วิจัยได้ออกแบบและดำเนินการในการวิจัยประกอบการศึกษาการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดที่มีอยู่โดยทั่วไป ทดสอบการประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ด้วยเครื่องชาร์จ์เก็บค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ที่ใช้งานจริง วิเคราะห์ผลและเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งเป็นการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ และการอัดประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอการออกแบบและการดำเนินการเป็นไปตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

จากการศึกษาระบบพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่มีส่วนสำคัญมากในระบบพลังงานทดแทน เนื่องจากเป็นแหล่งเก็บพลังงานและสามารถจ่ายพลังงานออกมาใช้ได้ แต่ปัญหาที่พบคือการนำแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้กับรถยนต์มาใช้กับระบบซึ่งมีปัญหามาก ในเรื่องของการจ่ายกระแสสูงๆเป็นเวลานานๆและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เฉลี่ยประมาณ 2 ปี รวมทั้งยังต้องคอยบำรุงรักษาในส่วนของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และการชาร์จ์เกิน ที่จะมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แต่ถ้าเรานำแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในระบบพลังงานทดแทน โดยเฉพาะจะมีข้อดีกว่า แต่ประสิทธิภาพการใช้งานระหว่างการอัดและคายประจุด้วยเครื่องชาร์จ์กับการอัดและคายประจุโดยการใช้งานจริง ค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีผลแตกต่างกันอย่างไร จึงเป็นแนวคิดในการศึกษาและวิเคราะห์แบตเตอรี่ที่ใช้ในพลังงานทดแทนชนิดตะกั่วกรด โดยใช้เครื่องเก็บบันทึกข้อมูล สำหรับการบันทึกข้อมูลจะนำค่าที่ได้จากการทดลองทั้งค่ากระแสและแรงดัน ขณะชาร์จ์และดิสชาร์จ์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส มาเขียนบันทึกในรูปกราฟเชิงเส้นเพื่อวิเคราะห์การทำงานของแบตเตอรี่ จากนั้นเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB จำลองการชาร์จ์และดิสชาร์จ์ของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาทำวิจัย 12 เดือน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานและระยะเวลาดำเนินงาน

การดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูล	██████████												
2. วิเคราะห์เลือกแบตเตอรี่			██████████										
3. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำกรวัดค่าต่าง				██████████									
4. สร้างชุดจัดการแบตเตอรี่					██████████								
5. ทำการติดตั้งและทดสอบ								██████████					
6. ทดสอบและปรับปรุง									██████████				
7. วิเคราะห์และสรุป									██████████				

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

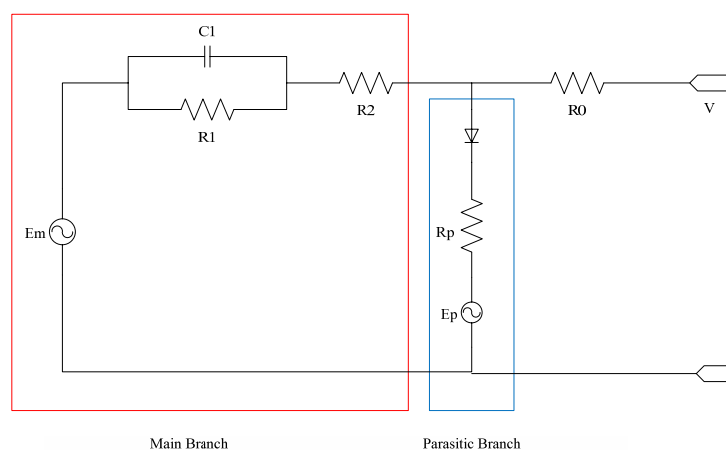
การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส โดยการเขียนโปรแกรมจำลองการทดสอบ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานแบตเตอรี่สามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบตเตอรี่ได้อย่างรวดเร็ว และค่อนข้างแม่นยำ

การทดสอบทำโดยเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB ออกแบบวงจรสมมูล และบล็อกไดอะแกรม จากนั้นใส่สมการหาค่าพารามิเตอร์ลงในแบบจำลองทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ออกมา เปรียบเทียบค่ากระแส และแรงดันที่ได้จากการ Simulation กับผลการทดสอบจริง

3.3 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่

วงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นแบบจำลองของแหล่งจ่ายแรงดันกับแรงดันที่ตัวเซลล์ ที่ต่ออนุกรมกับความต้านทานภายใน เป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่ายๆ สามารถอธิบายการทำงานได้ มีค่าแรงดัน และ ความต้านทาน ตัวเก็บประจุ แต่ยังมีตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ เช่น ค่า SOC อุณหภูมิ กระแส เป็นต้น

อัตราแรงดันของเซลล์แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแต่ละเซลล์ผลิตแรงดัน 2 V ดังนั้นแบตเตอรี่ 12V จะประกอบด้วย 6 เซลล์ที่เหมือนกันมาต่ออนุกรมกัน แรงดันที่ขั้วปลายสายจะแปรผันตามสถานะของการทำงาน และความเข้มข้นของกรดจะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการประจุ (Charging) และการคายประจุ (Discharge) ตามที่แผ่นป้ายบอกไว้



ภาพที่ 3.1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่

3.4 สมการค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะแบ่งออกเป็นส่วนของ Main branch, Parasitic branch, คาปาซิเตอร์ และ อุณหภูมิ [15]

Main Branch

$$E_m = E_{m0} - K_E (273+T)(1-SOC) \quad (3.1)$$

- เมื่อ E_m คือ แรงดันขณะ Open-circuit
 E_{m0} คือ แรงดันที่ชาร์จเต็มขณะ Open-circuit
 K_E คือ ค่าคงที่ของ $V/^\circ C$
 T คือ อุณหภูมิของสารละลายหน่วย $^\circ C$
 SOC คือ State of charge ของแบตเตอรี่

$$R_0 = R_{00} [1 + A_0 (1 - SOC)] \quad (3.2)$$

- เมื่อ R_0 คือ ความต้านทาน
 R_{00} คือ ค่าความต้านทาน R_0 ที่ $SOC = 1$
 A_0 คือ ค่าคงที่

SOC คือ ค่า State of charge ของแบตเตอรี่

$$R_1 = -R_{10} \ln(\text{DOC}) \quad (3.3)$$

เมื่อ R_1 คือ ความต้านทานที่ Main Branch

R_{10} คือ ค่าคงที่ความต้านทาน

DOC คือ Depth of charge ของแบตเตอรี่

$$C_1 = \tau_1 / R_1 \quad (3.4)$$

เมื่อ C_1 คือ ความจุที่ Main Branch

τ_1 คือ ค่าเวลาคงที่ที่ Main Branch

R_1 คือ ความต้านทานที่ Main Branch

$$R_2 = R_{20} \frac{\exp[A_{21}(1-\text{SOC})]}{1 + \exp(A_{22}I_m I^*)} \quad (3.5)$$

เมื่อ R_2 คือ ความต้านทานที่ Main Branch

R_{20} คือ ค่าคงที่ความต้านทาน

A_{21} คือ ค่าคงที่

A_{22} คือ ค่าคงที่

SOC คือ State of charge ของแบตเตอรี่

I_m คือ ค่ากระแสที่ Main Branch

I^* คือ ค่ากระแส Nominal ของแบตเตอรี่

Parasitic Branch Current

$$I_p = V_{pn} G_{p0} \exp\left(\frac{V_{PN}/(r_p s + 1)}{V_{p0}} + A_p \left(1 - \frac{T}{T_f}\right)\right) \quad (3.6)$$

เมื่อ	I_p	คือ ค่ากระแสสูญเสียใน Parasitic Branch
	V_{PN}	คือ แรงดันที่ Parasitic Branch
	G_{p0}	คือ ค่าคงที่เป็นวินาที (มีค่าน้อยมากประมาณ 10^{-12})
	T_p	คือ เวลาคงที่ที่ Parasitic Branch
	V_{p0}	คือ แรงดันคงที่
	A_p	คือ ค่าคงที่
	T	คือ อุณหภูมิของสารละลายหน่วย °C
	T_r	คือ อุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งของสารละลายหน่วย °C

Charge And Capacity

$$Q_c(t) = Q_{c_init} + \int_0^t -I_m(t) dt \quad (3.7)$$

เมื่อ	Q_c	คือ ค่า extracted charge
	Q_{c_init}	คือ extracted charge ช่วงขณะ
	I_m	คือ กระแสที่ Main Branch
	T	คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการอินทิเกรต
	t	คือ เวลาที่ใช้ในการ Simulation

$$C(I, T) = \frac{K_c C_0 K_t}{1 + (K_c - 1) \left(\frac{I}{I^*}\right)^\delta}, \quad K_t = LUT(T) \quad (3.8)$$

เมื่อ	K_c	คือ ค่าคงที่
	C_0	คือ ความจุเมื่อ ไม่มีโหลดที่อุณหภูมิ 0°C
	K_t	คือ ค่าคงที่ของอุณหภูมิตามตาราง (LUT = Look Up Table)
	T	คือ อุณหภูมิของสารละลายหน่วย °C
	I	คือ ค่ากระแสคายประจุ
	I^*	คือ ค่ากระแส Nominal ของแบตเตอรี่
	δ	คือ ค่าคงที่

State of Charge And Depth of Charge

$$\text{SOC} = 1 - \frac{Q_c}{C(\theta)}, \quad \text{DOC} = 1 - \frac{Q_c}{C(I_{\text{avg}}, \theta)} \quad (3.9)$$

- เมื่อ SOC คือ ค่า State of Charge ของแบตเตอรี่
 DOC คือ ค่า Depth of Charge ของแบตเตอรี่
 Q_c คือ ประจุขาร้จของแบตเตอรี่
 C คือ ความจุของแบตเตอรี่
 θ คือ อุณหภูมิของสารละลายหน่วย $^{\circ}\text{C}$
 I_{avg} คือ ค่าเฉลี่ยของกระแสคิขาร้จ

$$I_{\text{avg}} = \frac{I_m}{(\tau_1 s + 1)} \quad (3.10)$$

- เมื่อ I_{avg} คือ ค่าเฉลี่ยของกระแสคิขาร้จ
 I_m คือ ค่ากระแสที่ Main Branch
 τ_1 คือ เวลาคงที่ที่ Main Branch

Electrolyte Temperature

$$T(t) = T_{\text{mit}} + \int_0^t \frac{(P_s - \frac{T - T_a}{R_T})}{C_T} d\tau \quad (3.11)$$

- เมื่อ T คือ อุณหภูมิของแบตเตอรี่หน่วย $^{\circ}\text{C}$
 T_a คือ อุณหภูมิสภาวะแวดล้อม
 T_{mit} คือ อุณหภูมิข้ว้ขณะของแบตเตอรี่, สมมุติค่าเท่ากับอุณหภูมิสภาวะแวดล้อม
 P_s คือ ค่าพลังงานสูญเสีย ที่ R_0 และ R_2
 R_T คือ อุณหภูมิของตัวต้านทาน
 C_T คือ อุณหภูมิของตัวเก็บประจุ
 τ คือ ค่าเวลาที่ข้อินทิเกรท
 t คือ เวลาที่ใช้ในการ Simulation

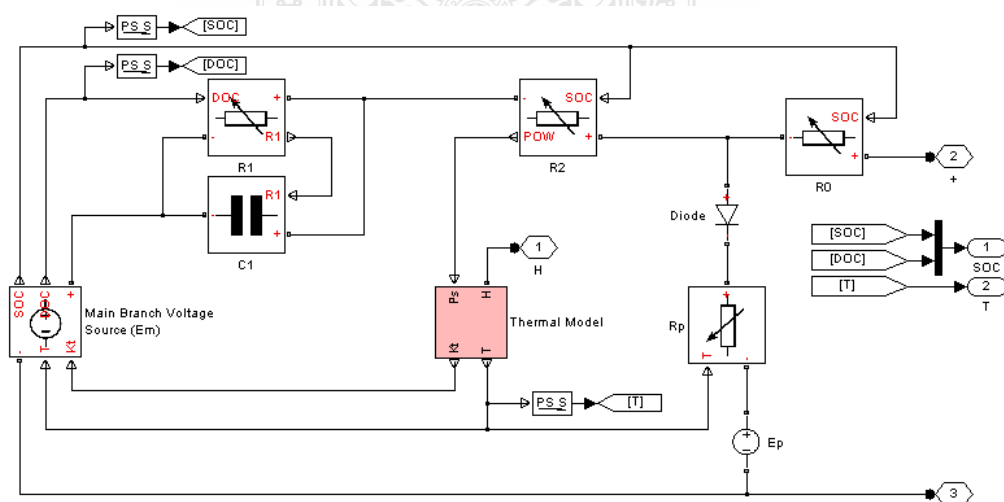
3.5 การทดสอบโดยโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์

การทดสอบแบตเตอรี่โดยโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาค้นหาข้อมูลของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบและค้นหาข้อมูลอื่นๆของแบตเตอรี่จากบทความต่างๆ
- 2) ออกแบบวงจรทดสอบแบตเตอรี่และวงจรบล็อกไดอะแกรมของโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB
- 3) เขียนแบบจำลองโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์ตามที่ค้นหาและออกแบบ
- 4) เขียนสมการค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบตเตอรี่ลงในโปรแกรมจำลองทางคณิตศาสตร์
- 5) ทดสอบแบบจำลอง เก็บบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่ได้ และบันทึกกราฟแสดงผล
- 6) สรุปผลการทดสอบ

3.6 ไดอะแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การออกแบบวงจรทดสอบแบตเตอรี่และวงจรบล็อกไดอะแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ ออกแบบโดยการค้นหาหาข้อมูลการทดสอบแบตเตอรี่จาก Math Work Inc. ซึ่งเป็นผู้ออกแบบโปรแกรม MATLAB โดยใช้ข้อมูลวิธีการใช้งานของโปรแกรมช่วยในการออกแบบ และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา

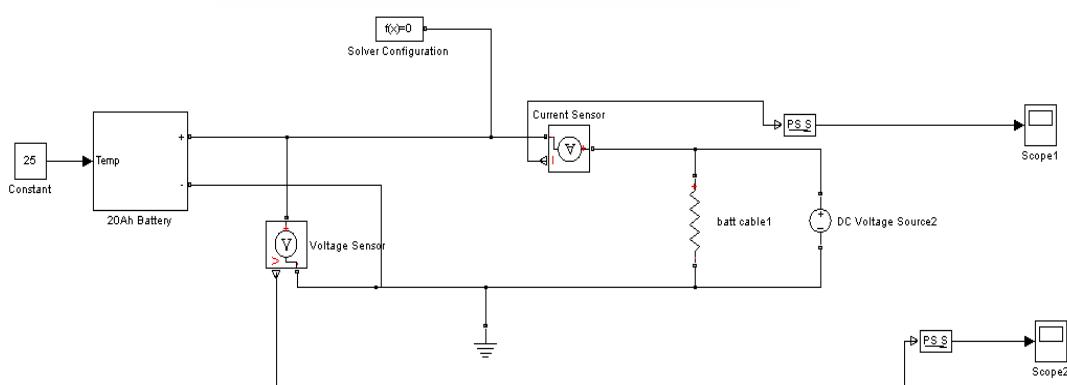


ภาพที่ 3.2 ไดอะแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [16]

จากภาพที่ 3.2 เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ใน Simscape ของโปรแกรม MATLAB แสดงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อวงจรสมมูลของแบตเตอรี่ โดยแบ่งลักษณะของตัวแปรออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ Main branch, Parasitic branch และ Thermal model ซึ่งในแต่ละอุปกรณ์ได้ใส่สมการหาค่าพารามิเตอร์ตัวแปร ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4

3.6.1 โค้ดะแกรมแบบจำลองการอัดประจุแบตเตอรี่

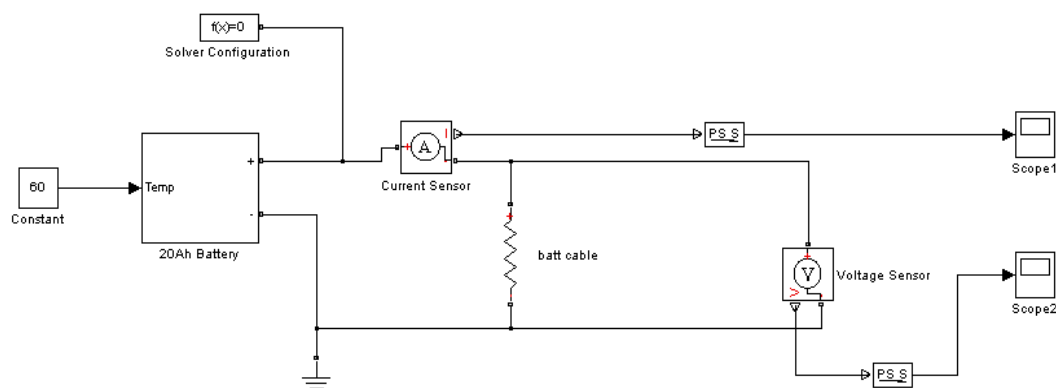
เป็นการต่อวงจรทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยสามารถปรับค่าอุณหภูมิได้ เพื่อผลการ Simulation แสดงค่าเป็นกราฟกระแส และแรงดัน



ภาพที่ 3.3 โค้ดะแกรมแบบจำลองการอัดประจุแบตเตอรี่

3.6.2 โค้ดะแกรมแบบจำลองการคายประจุแบตเตอรี่

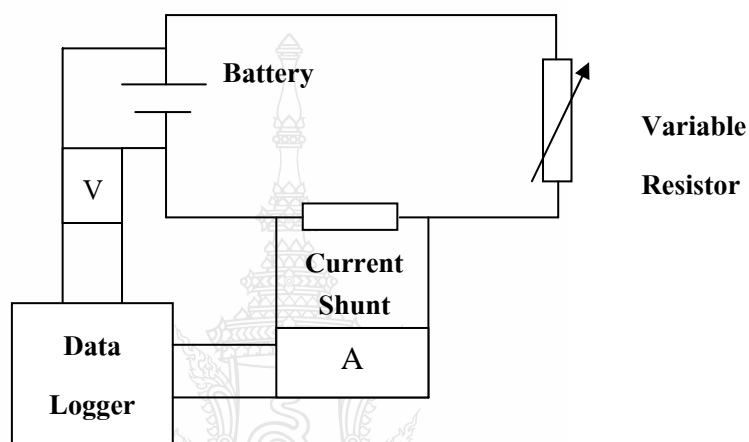
เป็นการต่อวงจรทดสอบการคายประจุแบตเตอรี่ โดยสามารถปรับค่าอุณหภูมิได้ เพื่อดูผลการ Simulation แสดงค่าเป็นกราฟกระแส และแรงดัน



ภาพที่ 3.4 โค้ดะแกรมแบบจำลองการคายประจุแบตเตอรี่

3.7 การทดสอบอัดและคายประจุแบตเตอรี่

สำหรับการออกแบบวงจรที่จะใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ทั้งค่ากระแสและแรงดัน เริ่มจากวงจรทดสอบเบื้องต้น โดยมีเครื่องมือที่ใช้ เช่น เครื่องมือวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ เครื่องมือที่ใช้อัดและคายประจุของแบตเตอรี่ซึ่งสามารถเก็บบันทึกผลได้เสมือนตัว Data Logger โดยทำการจ่ายโหลดที่พิกัดกระแสคงที่ที่ค่าต่างๆ เช่น 5 10 15 20 A. ผ่านโหลดที่ปรับค่าได้



ภาพที่ 3.5 วงจรทดสอบโดยมีเครื่องบันทึกข้อมูล

จากภาพที่ 3.5 เป็นวงจรทดสอบกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งเราสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ ทั้งกระแสและแรงดันได้โดยไม่ต้องมีผู้ทำการจดบันทึกเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้อัดและคายประจุแบตเตอรี่ของเราสามารถใช้เครื่องบันทึกข้อมูลและแสดงผล (Data Logger) มาทำการวัดบันทึกผลและแสดงผลแทน

การเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์มีหน้าที่สำคัญกับการใช้งาน Data logger ดังนี้

- 1) เพื่อใช้ในการแสดงค่าของข้อมูลแบบ Real time หรืออ่านข้อมูลที่บันทึกไว้ใน Data logger มานำเสนอในภายหลัง
- 2) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล
- 3) สร้างรายงานการบันทึก กราฟมาแสดงผลมาแสดงผลบนหน้าจอ หรือพิมพ์ออกมาได้

3.8 ขั้นตอนการสร้างและดำเนินงาน

3.8.1 การออกแบบเครื่องทดสอบแบตเตอรี่

การออกแบบเครื่องทดสอบแบตเตอรี่เป็นการศึกษาพฤติกรรมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่พิกัดกระแสค่าต่างๆ และแสดงผลที่เครื่องบันทึกข้อมูล จากนั้นเราจะนำค่าที่บันทึกไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ในการพอร์ตรกราฟ ทั้งค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งกราฟจากแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่พอร์ตออกมาสามารถนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ได้ ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาในการใช้งานแบตเตอรี่ตั้งแต่เต็มไปจนแบตเตอรี่หมดว่าค่าแรงดันและกระแสมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

นอกจากนี้เครื่องเก็บข้อมูลและแสดงผลนี้ยังสามารถนำไปทดสอบกับแบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดัน 12 โวลต์ได้ทุกอย่างไปได้ โดยสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ระหว่างแบตเตอรี่แต่ละลูก หรือแต่ละยี่ห้อ

3.8.2 ลำดับขั้นการดำเนินการวิจัย

จะเน้นไปที่การจัดการและควบคุมการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพทำงานได้อย่างเต็มพิกัดและอายุใช้งานตามพิกัด และศึกษาผลวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่ใช้ไม่ได้ไม่เต็มที่ ทดสอบและทดลองในห้องปฏิบัติการและสร้างติดตั้งกับระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์เพื่อควบคุมการทำงานให้ได้เต็มประสิทธิภาพการทำวิจัยจะแยกได้ดังนี้

1) ศึกษาทฤษฎี หลักการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นการรวบรวมศึกษาหลักการทำงานและคุณลักษณะต่างๆ เกี่ยวกับแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

2) ศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ในท้องตลาดที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นขั้นตอนการศึกษาชนิดของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ที่มีอยู่ในท้องตลาดที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

3) ออกแบบการระบบประมวลผลแบตเตอรี่เพื่อวิเคราะห์การทำงาน เป็นขั้นตอนการออกแบบสร้างระบบประมวลผลการทำงานของแบตเตอรี่ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่

4) ทดสอบและระบบจัดการและควบคุมของแบตเตอรี่กับระบบจริง เป็นขั้นตอนการทดสอบระบบจัดการและควบคุมที่สร้างขึ้นกับระบบจริง เพื่อหาข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น

5) ประเมินผลการทำงานของงานวิจัย ทำการประเมินผลการทำงานของงานวิจัย

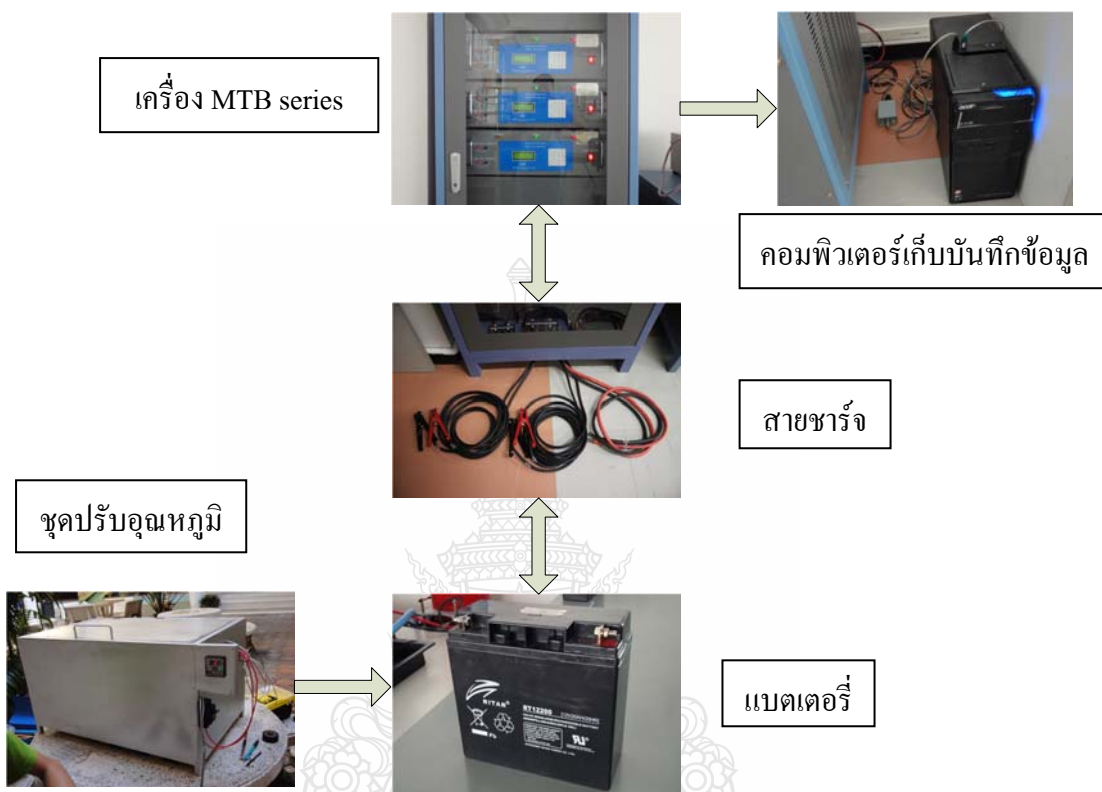


ภาพที่ 3.6 ไคอะแกรมการทดสอบแบตเตอรี่

3.9 การดำเนินการทดสอบแบตเตอรี่

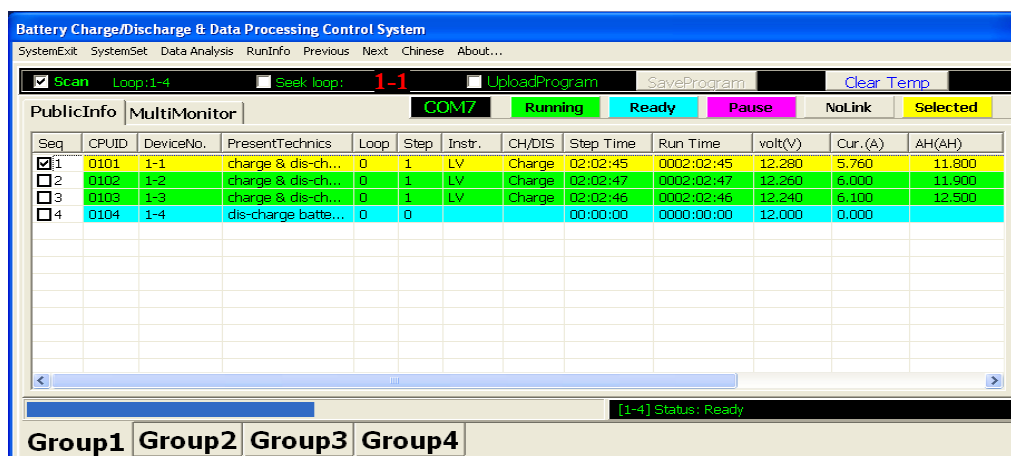
ในส่วนต่างๆ ของกระบวนการทดสอบแบตเตอรี่จะใช้เครื่อง Microprocessor Test for Battery (MTB-Serie) ในการทดสอบการอัดประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ซึ่งสามารถใช้คำสั่งให้เครื่องทำงานได้ทั้งจากตัวเครื่องเองหรือให้เครื่องทำงานตามคำสั่งผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเก็บข้อมูลขณะทำการทดสอบโดยใช้ Data logger เป็นตัวบันทึกข้อมูลและแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งเป็นการทดสอบการอัดประจุของแบตเตอรี่ (Dcharge) และ การทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ (Discharge) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส โดยการ

ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศาเซลเซียส สำหรับการปรับอุณหภูมิจะสามารถปรับได้โดยเครื่องปรับอุณหภูมิ (Temperature controller) ที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-800 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.7 ลักษณะขั้นตอนการทดสอบแบตเตอรี่

โปรแกรมทดสอบและเก็บค่าการทดสอบ เป็นโปรแกรมใช้สำหรับตั้งค่ากระแส แรงดัน และ เวลาที่ใช้ในการอัดและคายประจุแบตเตอรี่ ซึ่งตัวโปรแกรมจะสามารถบอกสถานะ การทดสอบ ว่ากำลังอัดหรือคายประจุอยู่พร้อมทั้งแสดงข้อมูลของกระแส แรงดัน และเวลาในขณะที่ทดสอบแบบ Real times และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถเก็บบันทึกผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แสดงดังภาพที่ 3.8 เพื่อนำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมารวบรวมนำไปวิเคราะห์และประมวลผลถึงเวลาที่ใช้ขณะอัดประจุและคายประจุต่อกระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ จากนั้นนำค่าที่ได้มาวาดเป็นกราฟคุณลักษณะต่างๆทั้งกระแส แรงดันของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุและคายประจุเทียบกับเวลา



ภาพที่ 3.8 โปรแกรมการตั้งค่าทดสอบการอัดและคายประจุด้วยเครื่อง MTB

3.10 ขั้นตอนการทดสอบ

3.10.1 การทดสอบการอัดประจุ (Charge test)

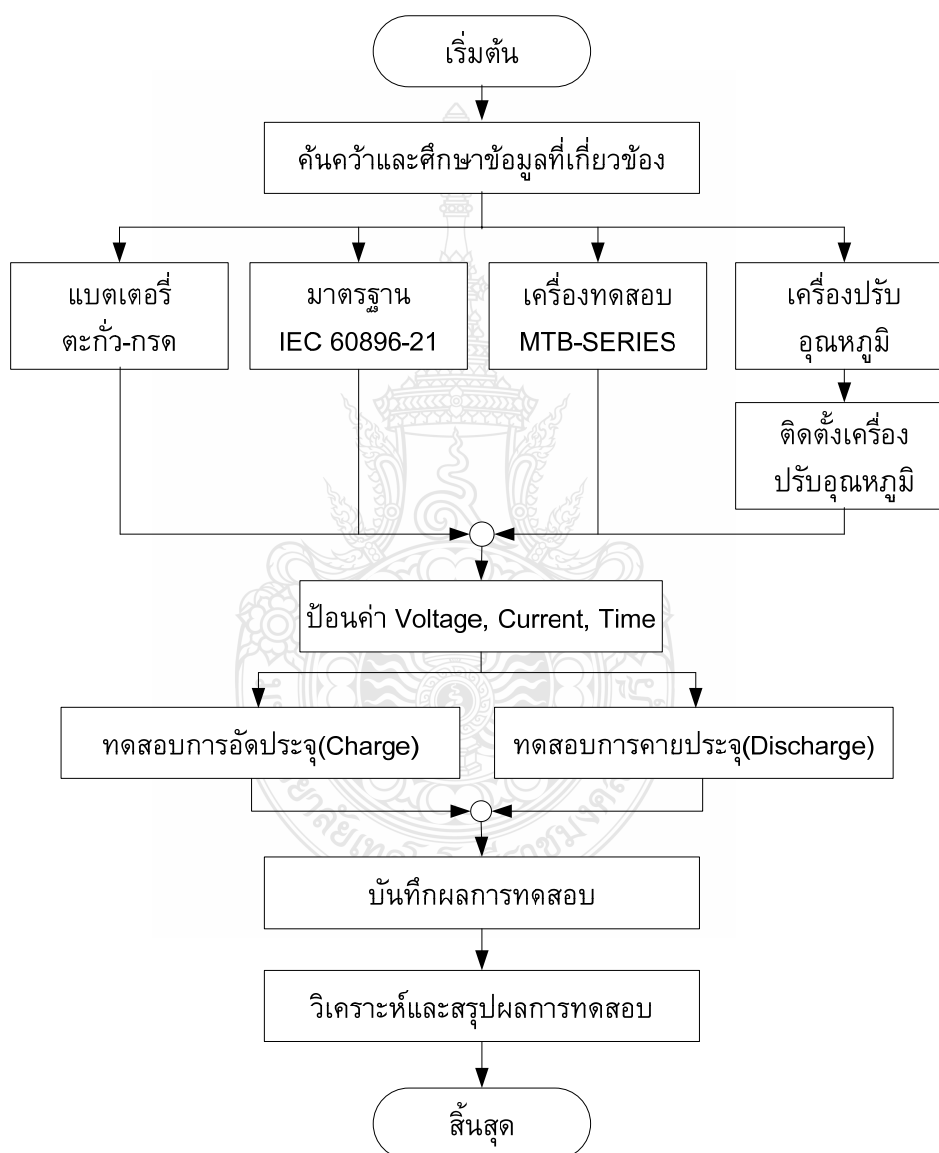
จะทดสอบการอัดประจุด้วยค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะกำหนดค่าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ ส่วนเวลาในการอัดประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ การทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการอัดประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ สำหรับขั้นตอนการทดสอบจะมีดังนี้

- 1) ต่อวงจรทดสอบโดยใช้สายต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วต่อของแบตเตอรี่
- 2) กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
- 3) กำหนดเวลาในการอัดประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ
- 4) กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มตั้งแต่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- 5) กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที

3.10.2 การทดสอบการคายประจุ (Discharge test)

การทดสอบการคายประจุทำการทดสอบต่อจากการอัดประจุ โดยจะทดสอบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าคงที่จะกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60896-21 ส่วนเวลาในการคายประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าและอัตราการคายประจุต่อเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด การทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการคายประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบสำหรับขั้นตอนการทดสอบจะมีดังนี้

- 1) ต่อวงจรทดสอบโดยใช้สายต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วต่อของแบตเตอรี่
- 2) กำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC
- 3) กำหนดเวลาในการคายประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าอัตราการคายประจุต่อเวลา
- 4) กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มตั้งแต่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส
- 5) กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที



ภาพที่ 3.9 สรุปขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบตเตอรี่

3.11 สรุป

การออกแบบและการดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งการออกแบบและทดสอบแบตเตอรี่โดยการอัดและคายประจุจริง โดยใช้เครื่อง Microprocessor Test for Battery (MTB-Serie) ในการทดสอบการอัดประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ซึ่งสามารถใช้คำสั่งให้เครื่องทำงานได้ทั้งจากตัวเครื่องเองหรือให้เครื่องทำงานตามคำสั่งผ่าน โปรแกรมคอมพิวเตอร์และเก็บข้อมูลขณะทำการทดสอบโดยใช้ Data logger เป็นตัวบันทึกข้อมูลเก็บค่าพารามิเตอร์ เพื่อเขียนกราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อกระแส และแรงดันของแบตเตอรี่

ส่วนที่สองการออกแบบการทดสอบแบตเตอรี่โดยการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งเป็นการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่และการอัดประจุของแบตเตอรี่ แสดงผลเป็นค่ากระแส และแรงดัน เพื่อเปรียบเทียบผลการ Simulation กับผลที่ได้จากการทดสอบจริง



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

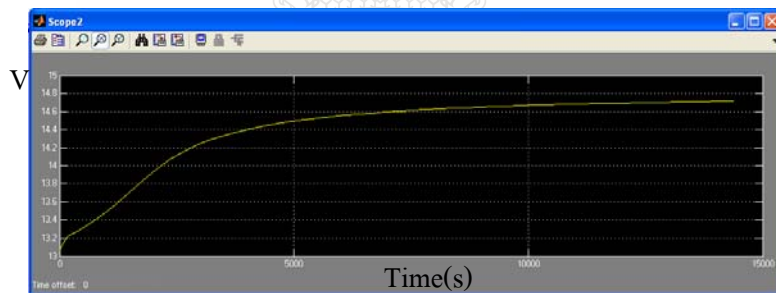
บทนี้เป็นผลการทดสอบค่ากระแส แรงดัน ของแบตเตอรี่ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในการทดสอบจริง กับผลของการ Simulation จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะนำมาแสดงในรูปแบบกราฟเปรียบเทียบระหว่างกระแส แรงดัน ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

4.1 ผลการ Simulation จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1.1 ผลการทดสอบการอัดประจุ (Charge Test)

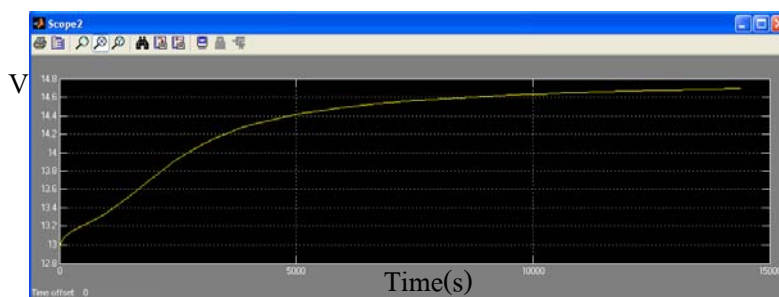
1) ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุ

ทดลองโดยการปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 °C ซึ่งจะปรับขึ้นทุก 5°C กำหนดค่ากระแสคงที่ที่ 6 A แสดงผลกราฟที่ได้จากการ Simulation ดังภาพ



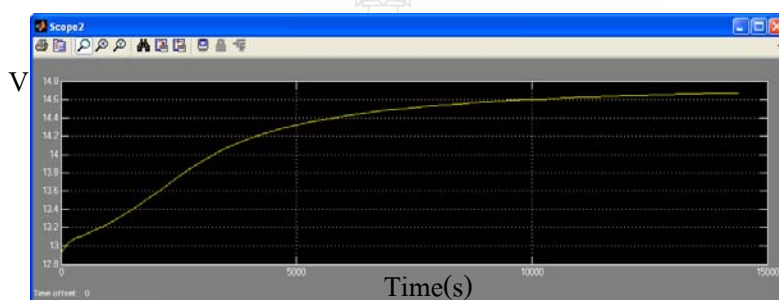
ภาพที่ 4.1 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C

จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาที



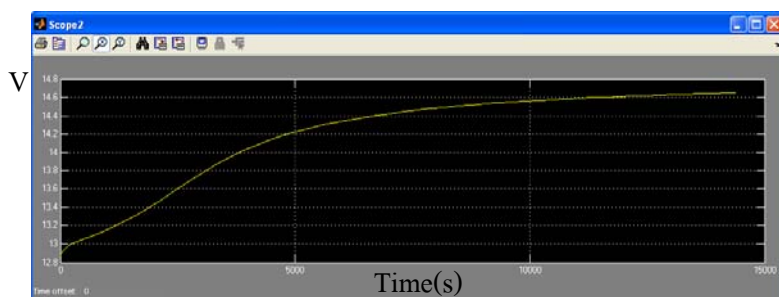
ภาพที่ 4.2 ผล Simulation แรงดัน ไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C

จากภาพที่ 4.2 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 10 นาที



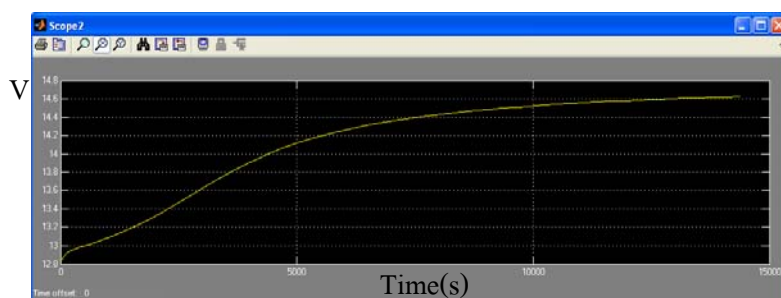
ภาพที่ 4.3 ผล Simulation แรงดัน ไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C

จากภาพที่ 4.3 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 25 นาที



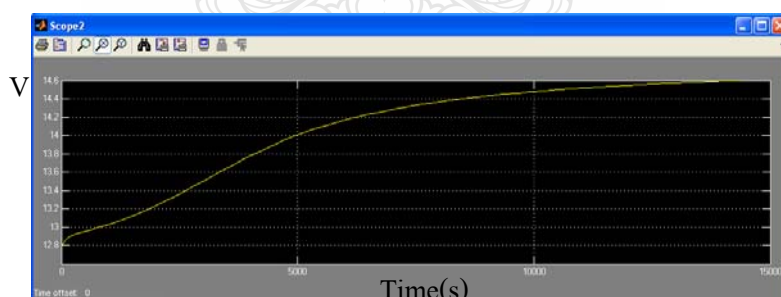
ภาพที่ 4.4 ผล Simulation แรงดัน ไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 40 นาที



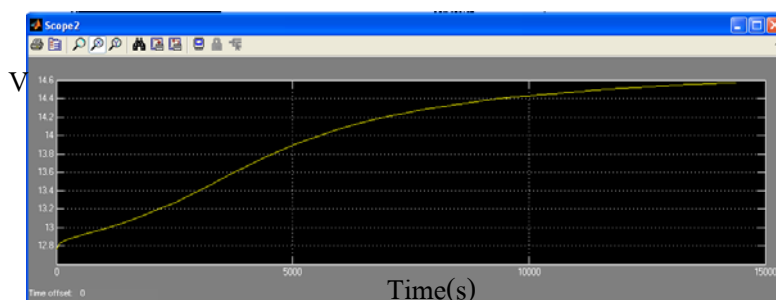
ภาพที่ 4.5 ผล Simulation แรงดัน ไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C

จากภาพที่ 4.5 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 50 นาที



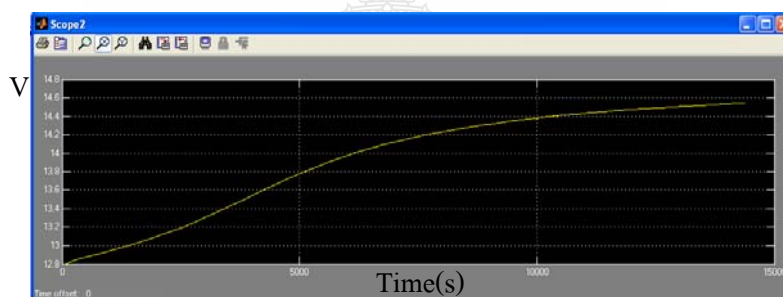
ภาพที่ 4.6 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C

จากภาพที่ 4.6 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง 55 นาที



ภาพที่ 4.7 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C

จากภาพที่ 4.7 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 05 นาที



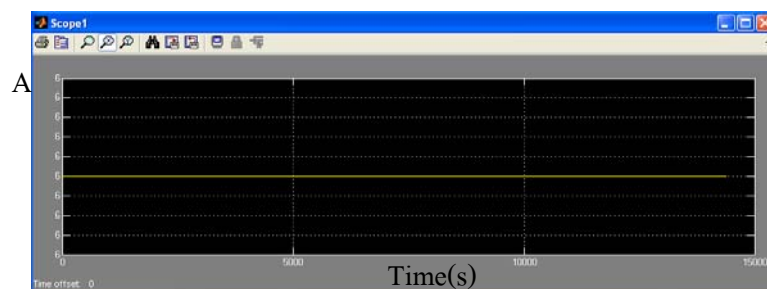
ภาพที่ 4.8 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C

จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C แรงดันค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่อัดประจุเต็ม ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 10 นาที

ดังนั้น จะเห็นว่าจากกราฟค่าแรงดันไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 25 °C แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่คือ 14.6-14.8 V ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาทีและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการอัดประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 10 นาที

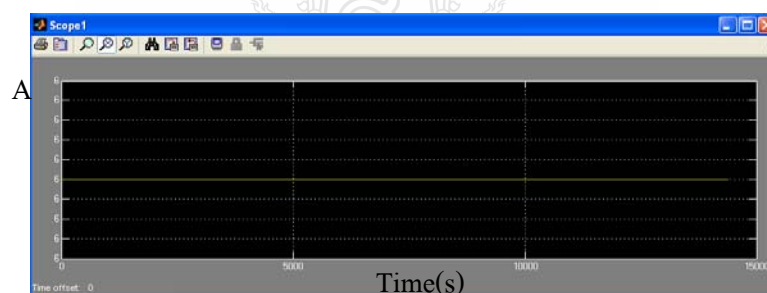
2) ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุ

ทดลองโดยการปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 °C ซึ่งจะปรับขึ้นทุก 5 °C กำหนดค่ากระแสคงที่ที่ 6 A แสดงผลกราฟที่ได้จากการ Simulation ดังภาพ



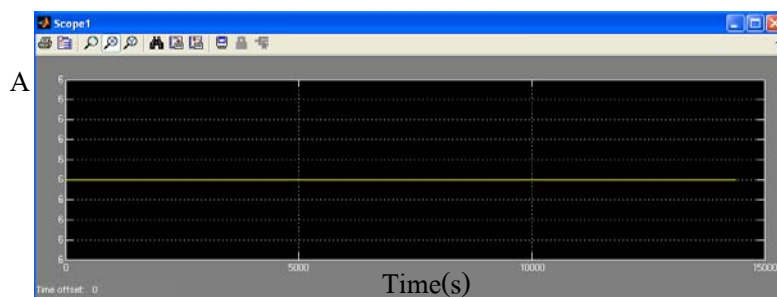
ภาพที่ 4.9 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C

จากภาพที่ 4.9 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A



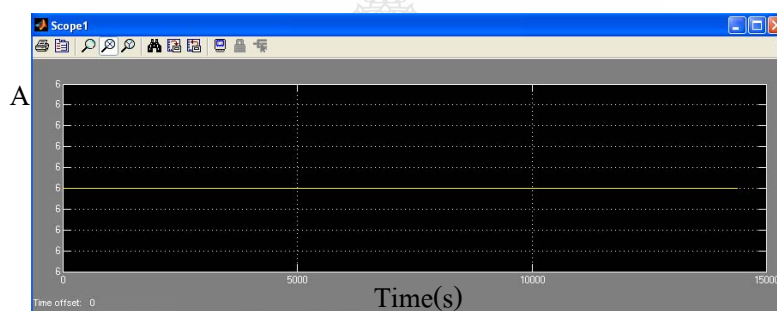
ภาพที่ 4.10 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A



ภาพที่ 4.11 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C

จากภาพที่ 4.11 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A



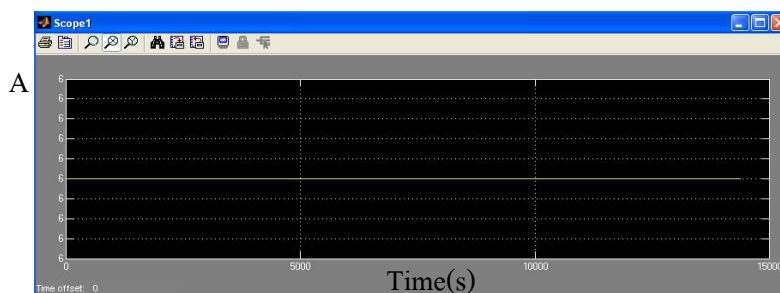
ภาพที่ 4.12 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C

จากภาพที่ 4.12 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A



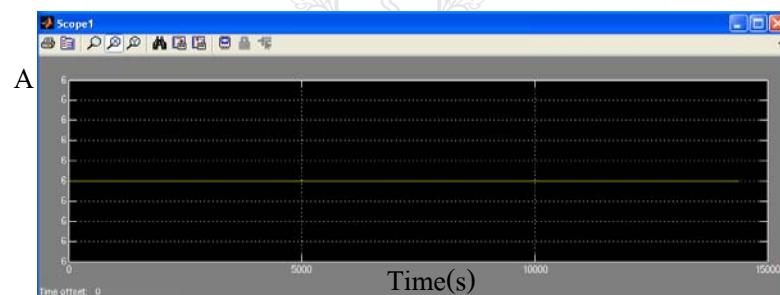
ภาพที่ 4.13 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C

จากภาพที่ 4.13 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A



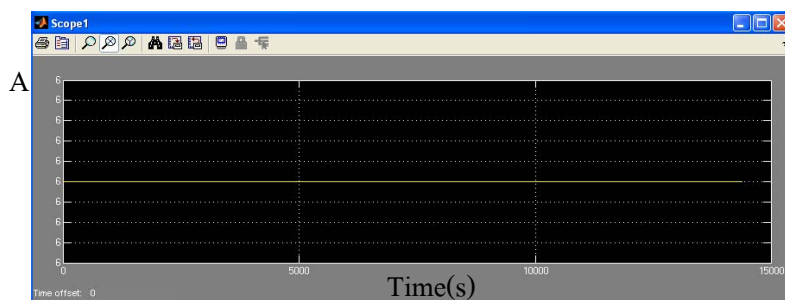
ภาพที่ 4.14 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A



ภาพที่ 4.15 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C

จากภาพที่ 4.15 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A



ภาพที่ 4.16 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C

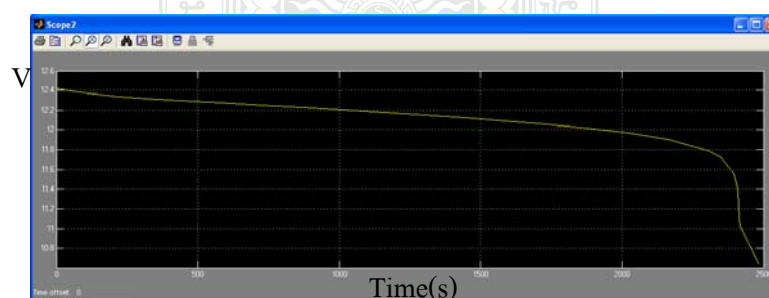
จากภาพที่ 4.16 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะอัดประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C กระแสจะคงที่ที่ 6 A หลังจากเริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่าไว้ที่ 6 A

ดังนั้น จะเห็นว่ากราฟค่ากระแสไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 25-60 °C กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุจะคงที่ ตั้งแต่เริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่า Simulation โดยกำหนดค่ากระแสในการอัดประจุไว้คงที่ที่ 6 A

4.1.2 ผลการทดสอบการคายประจุ (Discharge Test)

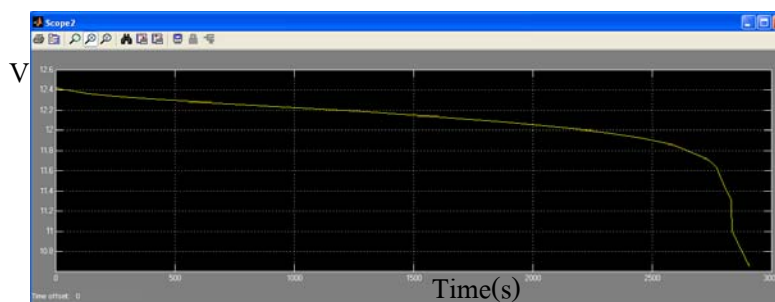
1) ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุ

ทดลองโดยการปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 °C ซึ่งจะปรับขึ้นทุก 5 °C แสดงผลกราฟที่ได้จากการ Simulation ดังภาพ



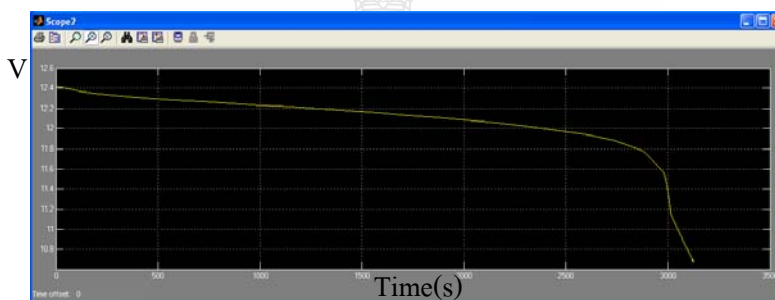
ภาพที่ 4.17 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C

จากภาพที่ 4.17 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 40 นาที



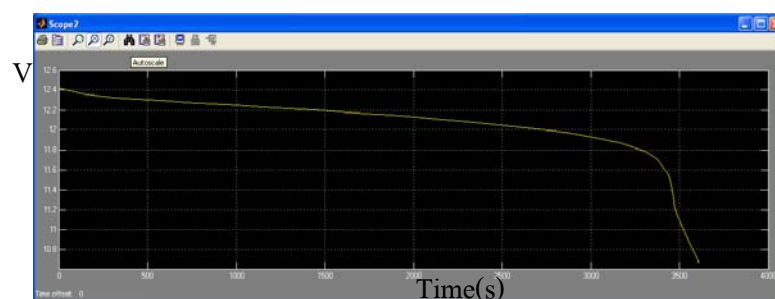
ภาพที่ 4.18 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C

จากภาพที่ 4.18 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 47 นาที



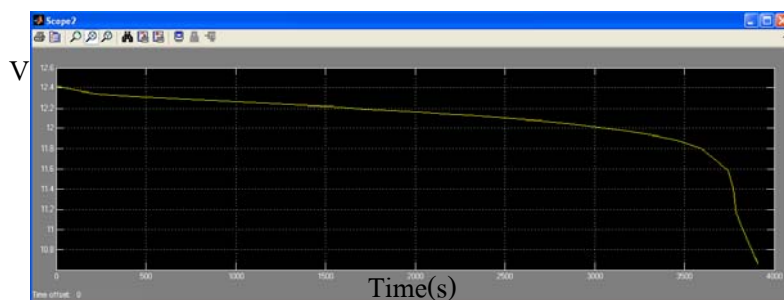
ภาพที่ 4.19 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C

จากภาพที่ 4.19 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 50 นาที



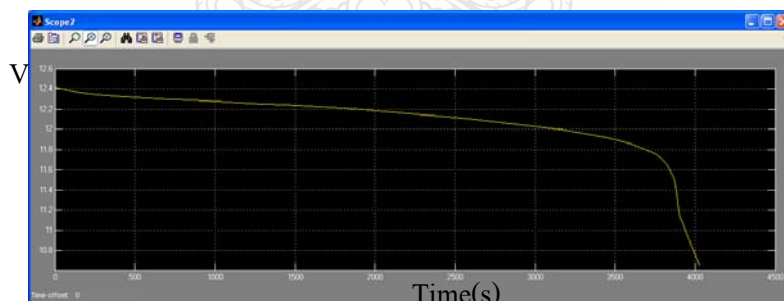
ภาพที่ 4.20 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C

จากภาพที่ 4.20 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 55 นาที



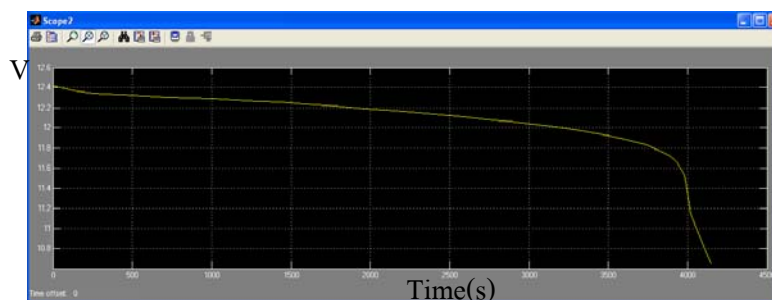
ภาพที่ 4.21 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ $45\text{ }^{\circ}\text{C}$

จากภาพที่ 4.21 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 58 นาที



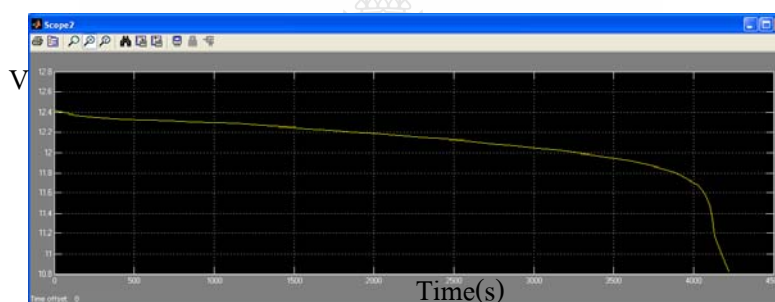
ภาพที่ 4.22 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

จากภาพที่ 4.22 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 62 นาที



ภาพที่ 4.23 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C

จากภาพที่ 4.23 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 67 นาที

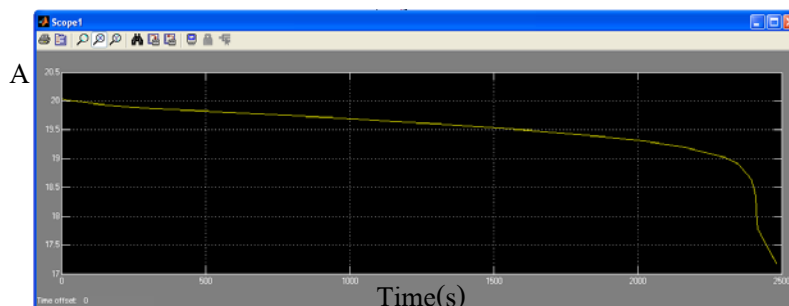


ภาพที่ 4.24 ผล Simulation แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C

จากภาพที่ 4.24 จะเห็นว่าผลของแรงดันขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C แรงดันค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 70 นาที

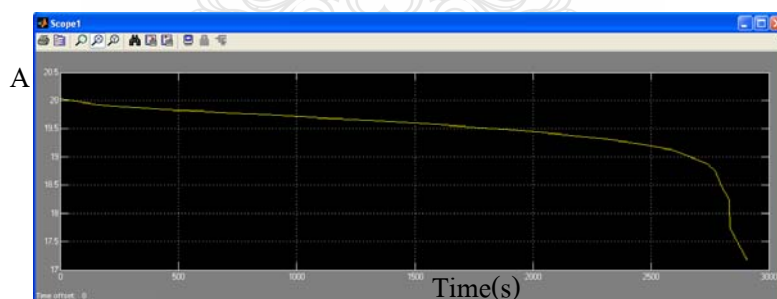
ดังนั้น จะเห็นว่ากราฟค่าแรงดันไฟฟ้า จากแรงดันของแบตเตอรี่ 12 V ที่อุณหภูมิ 25 °C แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุจะค่อยๆ ลดลงจนถึงค่าแรงดันที่ประจุของแบตเตอรี่หมด ใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาในการคายประจุแบตเตอรี่จนหมด ประมาณ 70 นาที

2) ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ
 ทดลองโดยการปรับอุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 °C ซึ่งจะปรับขึ้นทุก 5 °C แสดงผลกราฟที่
 ได้จากการ Simulation ดังภาพ



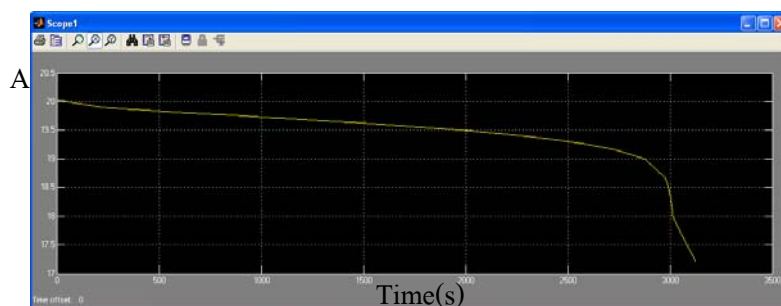
ภาพที่ 4.25 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C

จากภาพที่ 4.25 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 25 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 40 นาที



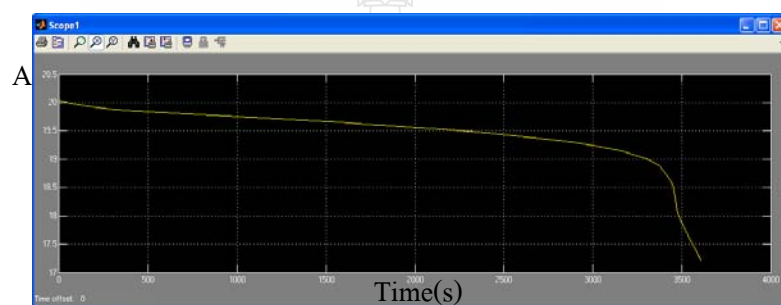
ภาพที่ 4.26 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C

จากภาพที่ 4.26 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 30 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 47 นาที



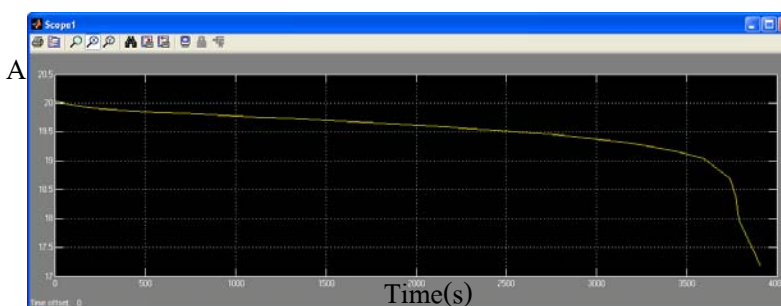
ภาพที่ 4.27 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C

จากภาพที่ 4.27 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 35 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 50 นาที



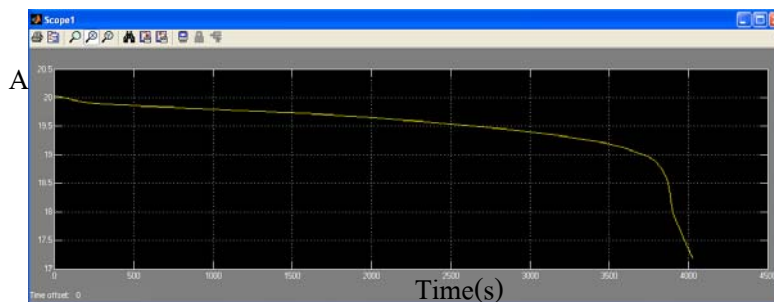
ภาพที่ 4.28 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C

จากภาพที่ 4.28 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 40 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 55 นาที



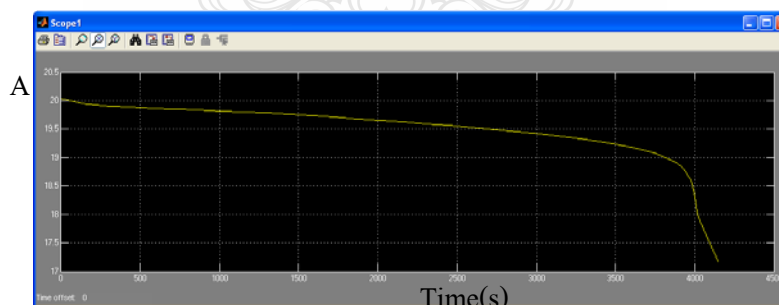
ภาพที่ 4.29 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C

จากภาพที่ 4.29 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 45 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 58 นาที



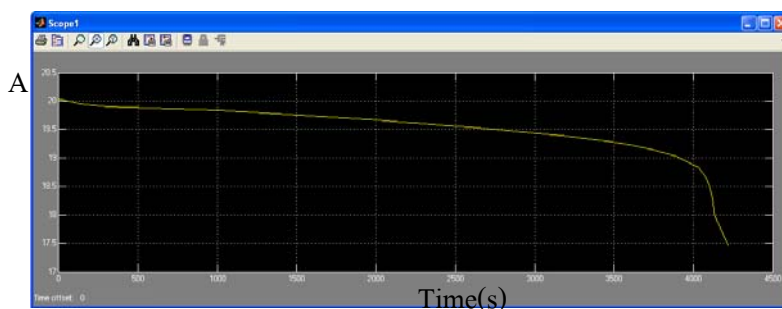
ภาพที่ 4.30 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C

จากภาพที่ 4.30 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 50 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 62 นาที



ภาพที่ 4.31 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C

จากภาพที่ 4.31 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 55 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 67 นาที



ภาพที่ 4.32 ผล Simulation กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C

จากภาพที่ 4.32 จะเห็นว่าผลของกระแสขณะคายประจุแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิ 60 °C กระแสค่อยๆ ลดลงหลังจากเริ่มคายประจุจนถึงจุดที่แบตเตอรี่คายประจุจนหมด ใช้เวลาประมาณ 70 นาที

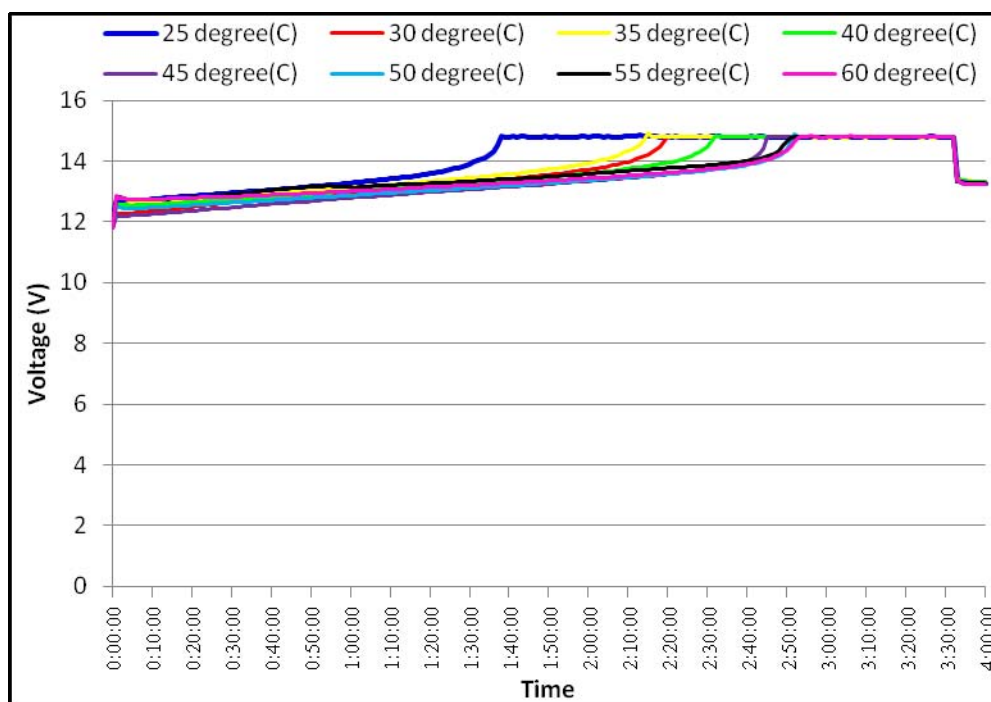
ดังนั้น จะเห็นว่ากราฟค่ากระแสไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 25 °C กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งแบตเตอรี่หมด ใช้เวลาประมาณ 40 นาที จากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จนที่อุณหภูมิ 60 °C เวลาที่ใช้ในการคายประจุแบตเตอรี่จนหมด ใช้เวลาประมาณ 70 นาที

4.2 ผลการทดสอบแบตเตอรี่ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลในการทดสอบจริง

4.2.1 ผลการทดสอบการอัดประจุ (Charge Test)

1) ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH ทดสอบการอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 14.8 V กระแสไฟฟ้า 6 A และเวลาในการอัดประจุเท่ากับ 4 ชั่วโมง แสดงผลกราฟที่ได้ดังภาพที่ 4.33

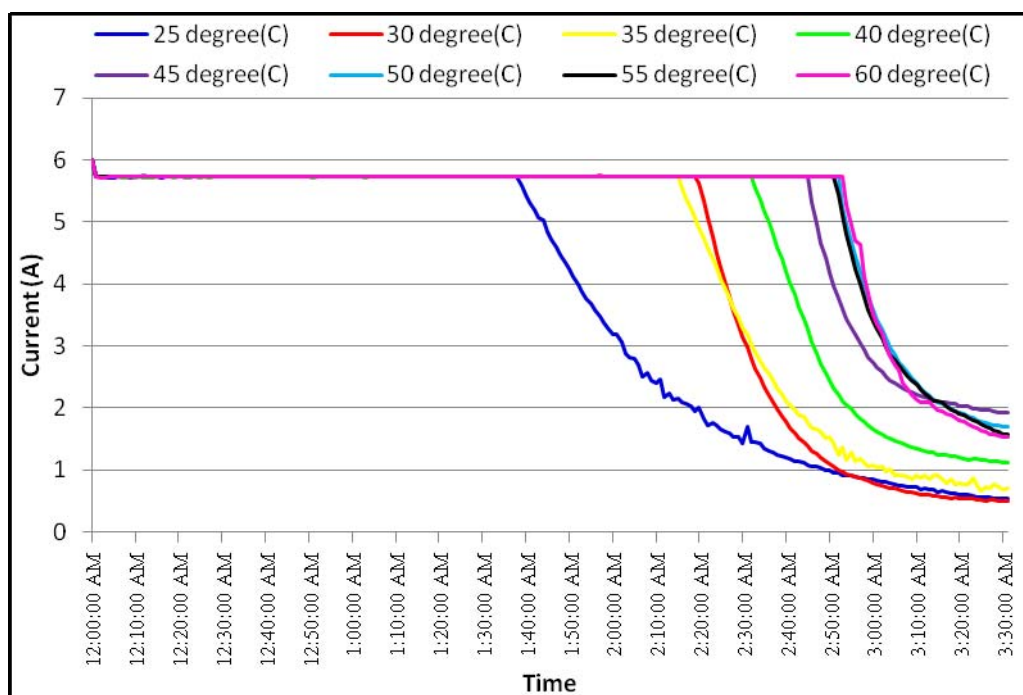


ภาพที่ 4.33 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH

จากภาพที่ 4.33 พบว่าเวลาที่ใช้ในการอัดประจุที่อุณหภูมิต่างกัน จะเห็นว่า ที่อุณหภูมิ 25°C แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันที่เรากำหนดที่ 14.8V ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาที และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนกระทั่งที่อุณหภูมิ 60 °C เวลาที่ใช้ในการอัดประจุ ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

2) ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH ทดสอบการอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 14.8 V กระแสไฟฟ้า 6 A และเวลาในการอัดประจุเท่ากับ 4 ชั่วโมง แสดงผลกราฟที่ได้ดังภาพที่ 4.34



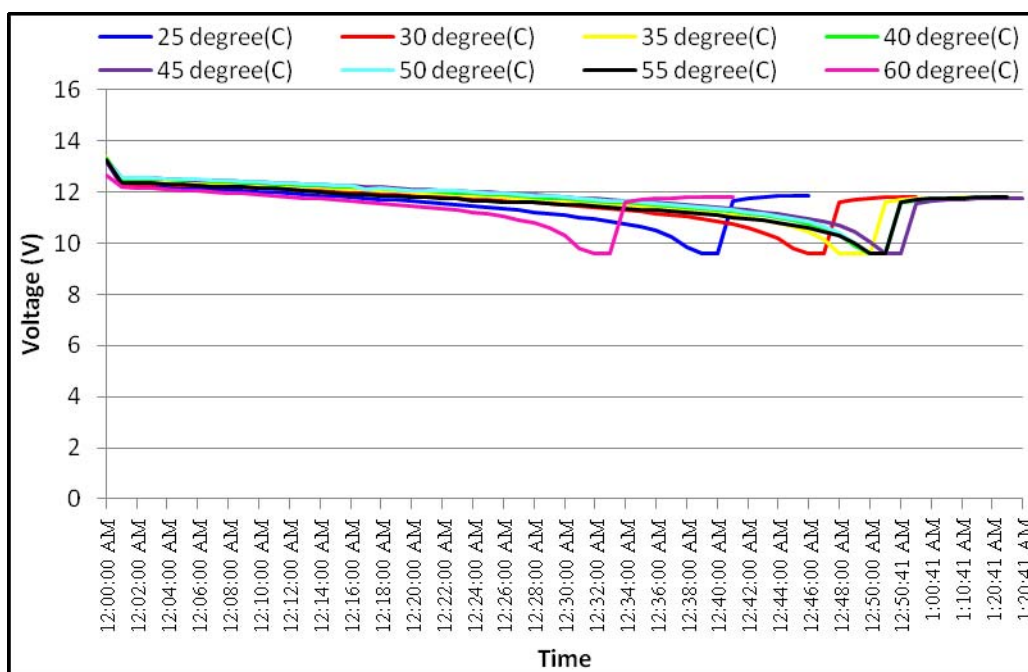
ภาพที่ 4.34 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH

จากภาพที่ 4.34 พบว่า เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระแสที่ใช้อัดประจุก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ โดยอุณหภูมิที่ 25 °C การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาที และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่ง ที่อุณหภูมิ 60 °C การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

4.2.2 ผลการทดสอบการคายประจุ (Discharge Test)

1) ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH ทดสอบการคายประจุที่อัตราการคายประจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง (C rate) เท่ากับ C_1 แรงดันไฟฟ้า 9.6 V กระแสไฟฟ้า 20 A และเวลาในการคายประจุเท่ากับ 1.5 ชั่วโมง แสดงผลกราฟที่ได้ดังภาพที่ 4.35

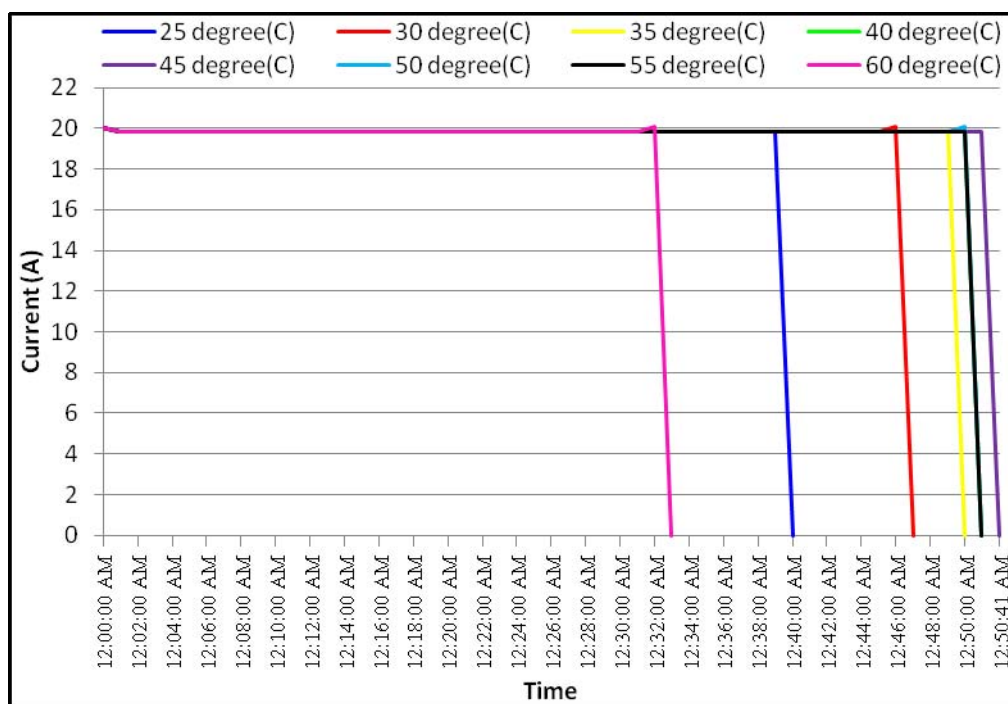


ภาพที่ 4.35 ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH

จากภาพที่ 4.35 พบว่าเวลาที่ใช้ในการคายประจุที่อุณหภูมิต่างกัน ที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่อแรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุลดลงถึงค่าแรงดันที่กำหนดในตอนเริ่มต้นที่ 9.6 V ใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเมื่อค่าของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่จะเพิ่มขึ้นด้วย จนถึงอุณหภูมิ 45 °C เวลาในการคายประจุจะใช้เวลาประมาณ 50 นาที จากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เวลาในการคายประจุกลับลดลง โดยที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาในการคายประจุประมาณ 32 นาที

2) ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH ทดสอบการคายประจุที่อัตราการคายประจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง (C rate) เท่ากับ C_1 แรงดันไฟฟ้า 9.6 V กระแสไฟฟ้า 20 A และเวลาในการคายประจุเท่ากับ 1.5 ชั่วโมง แสดงผลกราฟที่ได้ดังภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.36 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH

จากภาพที่ 4.36 พบว่า การคายประจุที่กระแสคงที่เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 45 °C จากนั้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุจะลดลงเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ 25 °C การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่ง ที่อุณหภูมิ 45 °C การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 50 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิที่สูงมากกว่า 45 °C เวลาที่ใช้คายประจุลดลง ซึ่งอุณหภูมิที่ 60 °C การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 32 นาที

4.3 สรุป

จากผลการทดสอบแบตเตอรี่ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดสอบการอัดและคายประจุจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กับผลการอัดและคายประจุแบตเตอรี่จริง

การทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 25-60 °C จะเห็นว่าในการอัดประจุแบตเตอรี่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 25 °C แรงดันไฟฟ้าขณะอัดประจุจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันสูงสุดของแบตเตอรี่คือ 14.6-14.8 V ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาทีและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการอัดประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 10 นาที ส่วน

ค่ากระแสไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 25-60 °C กระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุจะคงที่ ตั้งแต่เริ่มอัดประจุจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ 4 ชั่วโมง เนื่องจากการตั้งค่า Simulation โดยกำหนดค่ากระแสในการอัดประจุไว้คงที่ที่ 6 A ในขณะที่การคายประจุแบตเตอรี่ ทั้งค่ากระแสและแรงดัน เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 25 °C แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ ใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาในการคายประจุแบตเตอรี่ทั้งหมด ประมาณ 70 นาที

การทดสอบแบตเตอรี่จริง ในการอัดประจุแบตเตอรี่จะเห็นว่าทั้งค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม ที่อุณหภูมิ 25 °C การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาที และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่งที่อุณหภูมิ 60 °C การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ขณะที่การคายประจุแบตเตอรี่ ทั้งค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเมื่อค่าของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จนถึงอุณหภูมิ 45 °C เวลาในการคายประจุจะใช้เวลาประมาณ 50 นาที จากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เวลาในการคายประจุกลับลดลง โดยที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาในการคายประจุประมาณ 32 นาที



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะสรุปผลการทดสอบซึ่งจุดมุ่งหมายสำคัญคือ ศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ ว่าเมื่อมีการนำมาใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิห้องว่าจะมีผลอย่างไรเพื่อประโยชน์ในการนำแบตเตอรี่ไปใช้งานที่ถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพสิ่งแวดล้อมต่าง จึงได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบและการเลือกใช้แบตเตอรี่ในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

5.1 สรุป

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมรรถนะของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดในระบบประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้พบว่า

5.1.1 ผลการทดสอบ

1) การทดสอบการอัดประจุ

ในการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการอัดประจุจนเวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาที และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการอัดประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 10 นาที

ส่วนการทดสอบอัดประจุแบตเตอรี่จริง เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม ค่าแรงดัน กระแสของแบตเตอรี่ต่อเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ มีคุณลักษณะเหมือนกัน คือเวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยในส่วนของแรงดันและกระแสเนื่องจากในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลให้อัตราการคายประจุด้วยตัวเองของแบตเตอรี่สูงขึ้นเป็นสองเท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 °C ค่าแรงดันและกระแสจึงใช้เวลาในการอัดประจุนานขึ้น

2) การทดสอบการคายประจุ

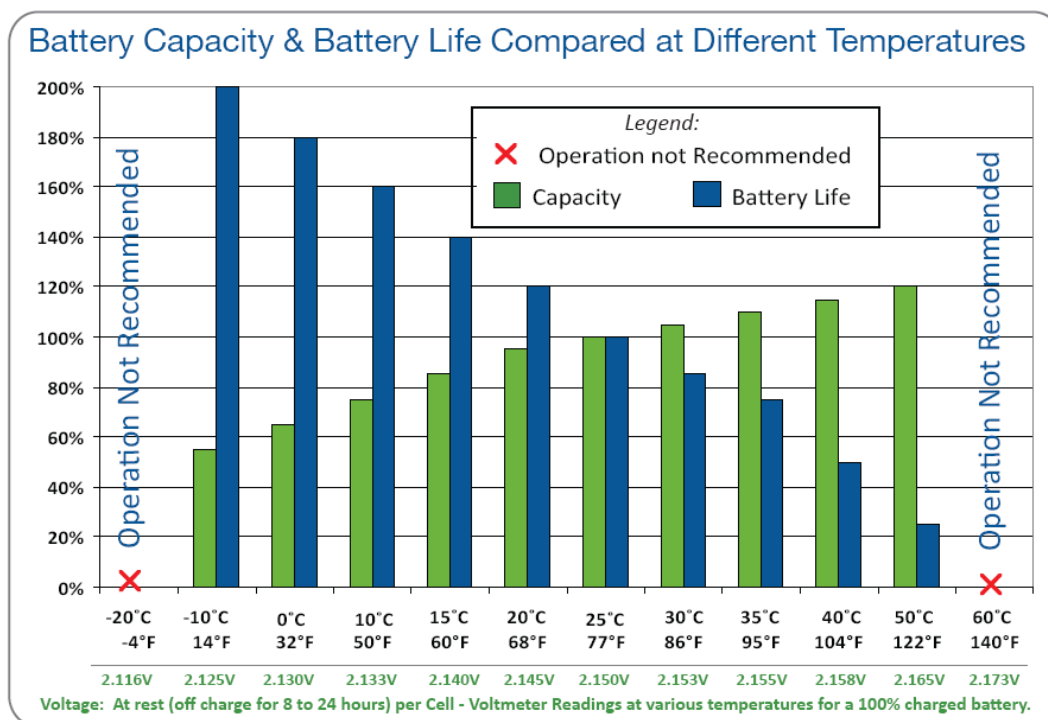
ในการทดสอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 25 °C ใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุก็จะเพิ่มขึ้นตามด้วย จนที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลาในการคายประจุแบตเตอรี่จนหมด ประมาณ 70 นาที

ส่วนการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่พบว่าค่าแรงดัน กระแสของแบตเตอรี่ต่อเวลาที่ใช้ในการคายประจุ มีลักษณะเหมือนกัน คือ เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จนถึงที่อุณหภูมิ 45 °C เนื่องจากในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ก็จะเกิดเร็วขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น การคายประจุจึงใช้เวลานาน แต่หลังจากอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 °C ขึ้นไป ความร้อนที่มากเกินไปมีผลให้แบตเตอรี่เสื่อมประสิทธิภาพเร็ว เป็นผลให้การคายประจุของแบตเตอรี่เร็วขึ้น ดังนั้นระดับอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้ดีที่สุดคืออุณหภูมิที่ 45 °C



ภาพที่ 5.1 แบตเตอรี่เสียหายจากการทดสอบที่อุณหภูมิสูง 60 °C

ดังนั้นจะเห็นว่า การทดสอบการอัดและคายประจุแบตเตอรี่จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และจากการทดสอบการอัดและคายประจุแบตเตอรี่จริง ผลการทดสอบที่ออกมา มีลักษณะใกล้เคียงและสอดคล้องกัน จึงพอสรุปได้ดังนี้ว่าการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่นั้นสามารถใช้งานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-45 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิตามมาตรฐานการใช้งานแบตเตอรี่ โดยในการคายประจุอุณหภูมิสูงขึ้นยังทำงานได้ดี แต่จะทำให้อายุการใช้งานลดลง แสดงดังภาพที่ 5.2 และจากการทดสอบจริง เมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 45 °C จะทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถทนความร้อนในอุณหภูมิที่สูงเกินไป ทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย



ภาพที่ 5.2 ความจุและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิต่างๆ [17]

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้จะช่วยประเมินประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ สามารถบอกได้ว่าแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพอย่างไร เหมาะสมใช้งานในอุณหภูมิเท่าใด แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานเหลืออีกเท่าไร การที่เราจะประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานของแบตเตอรี่นี้เป็นการชี้ให้เห็นลักษณะการใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน เพื่อที่จะได้นำไปใช้งานได้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ซึ่งจากการทดลองแนะนำว่าไม่ควรใช้งานแบตเตอรี่ในอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส

รายการอ้างอิง

- [1] Manwell, J.F. and McGwan, J.G., 1993, Lead acid battery storage model for hybrid energy system, Solar Energy, Vol. 50, No. 5, pp. 399-405.
- [2] Copetti, J.B., Lorenzo, E. and Chenlo, F., 1993, A General Battery Model for PV System Simulation, Progress in photovoltaics research and applications, Vol.1, pp.283-292.
- [3] Mayer, D. and Biscaglia, S., 1989, Modeling and analysis of lead acid battery operation, 9 E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Germany, pp. 245-248.
- [4] Armenta-Deu, C., 1994, Capacity effects on the determination of the state-of-charge in lead - acid cells, Renewable Energy, Vol. 4, No. 2, pp. 249-256.
- [5] Liuchen, Chang and Cecilia, Ng, A Solar Battery Charger with Improved Energy Utilization, pp.105-108
- [6] Lamaison, R. M. Bordonau, J. Esquivel, A. Peracaula, J, 1999, Analysis and design of a resonant battery charger for photovoltaic systems, pp.463 - 468 vol.2
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, พฤษภาคม 2552, การอบรมเทคนิคการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [8] Bode, H., 1977, Lead-acid battery, Ohio, John Wiley & Sons, 381 p.
- [9] Vinal, G.W., 1955, Storage battery, 4 ed., New York, John Wiley & Sons, 437 p.
- [10] Semyonov, L., 1967, Storage Batteries Maintenance Manual, Moscow, Mir, 271 p.
- [11] Linden, D., 1995, Handbook of batteries, 2th ed., New York, McGraw-Hill, pp. 2.1-24.15
- [12] Dynasty division, VRLA battery Life expectancy and temperature, C&D Technologies, Inc.
- [13] วชิระ ซาหา, 2528, อนินทรีย์เคมี, ศิลปบรรณาคาร
- [14] ปรีชา พหลเทพ, 2538, เคมีฟิสิกส์ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- [15] Robyn A. Jackey, A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for Electrical System Component Selection, The Math Works, Inc. 2007-01-0778.
- [16] Robyn Jackey, 28 Oct 2009, Automotive Electrical System Simulation and Control, The Math Works, Inc.
- [17] Discover, Version1.02.2009, Temperature Effects on Battery Performance & Life, www.discover-energy.com

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกค่าผลการทดสอบ

1:55:00	14.79	13.63	13.82	13.54	13.30	13.33	13.53	13.40	3.68	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
1:56:00	14.80	13.65	13.84	13.55	13.31	13.33	13.54	13.40	3.58	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
1:57:00	14.80	13.66	13.86	13.56	13.31	13.34	13.55	13.41	3.48	5.76	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
1:58:00	14.81	13.69	13.89	13.58	13.32	13.35	13.55	13.42	3.38	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
1:59:00	14.81	13.70	13.91	13.59	13.33	13.36	13.56	13.43	3.28	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:00:00	14.80	13.72	13.93	13.60	13.34	13.37	13.58	13.44	3.18	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:01:00	14.84	13.74	13.96	13.61	13.35	13.38	13.59	13.44	3.18	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:02:00	14.83	13.76	13.99	13.62	13.36	13.39	13.61	13.45	3.06	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:03:00	14.82	13.79	14.03	13.64	13.37	13.40	13.61	13.46	2.88	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:04:00	14.78	13.81	14.06	13.65	13.38	13.41	13.62	13.47	2.82	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:05:00	14.81	13.83	14.10	13.67	13.39	13.41	13.63	13.47	2.80	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:06:00	14.80	13.86	14.13	13.68	13.40	13.42	13.64	13.49	2.70	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:07:00	14.79	13.89	14.18	13.69	13.41	13.44	13.65	13.49	2.50	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:08:00	14.77	13.91	14.23	13.71	13.43	13.44	13.66	13.51	2.56	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:09:00	14.81	13.95	14.28	13.73	13.44	13.45	13.67	13.51	2.44	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:10:00	14.81	13.98	14.33	13.75	13.44	13.46	13.68	13.52	2.40	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:11:00	14.81	14.02	14.39	13.77	13.45	13.48	13.69	13.53	2.46	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:12:00	14.84	14.07	14.46	13.78	13.47	13.49	13.70	13.54	2.18	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:13:00	14.85	14.11	14.56	13.80	13.48	13.49	13.71	13.55	2.24	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:14:00	14.81	14.17	14.71	13.82	13.49	13.51	13.71	13.56	2.14	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:15:00	14.82	14.23	14.91	13.84	13.50	13.51	13.72	13.56	2.16	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:16:00	14.84	14.30	14.80	13.86	13.51	13.52	13.73	13.57	2.08	5.74	5.54	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:17:00	14.81	14.38	14.79	13.88	13.52	13.53	13.74	13.58	2.06	5.74	5.38	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:18:00	14.79	14.47	14.80	13.90	13.54	13.55	13.75	13.59	2.02	5.74	5.22	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74

2:19:00	14.80	14.65	14.79	13.93	13.55	13.56	13.76	13.61	1.94	5.74	5.08	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:20:00	14.81	14.80	14.80	13.95	13.56	13.57	13.77	13.62	2.00	5.62	4.90	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:21:00	14.80	14.79	14.80	13.98	13.57	13.58	13.78	13.63	1.82	5.34	4.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:22:00	14.81	14.80	14.79	14.02	13.59	13.59	13.79	13.64	1.72	5.06	4.58	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:23:00	14.80	14.80	14.80	14.05	13.61	13.61	13.80	13.65	1.76	4.76	4.40	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:24:00	14.80	14.80	14.80	14.10	13.62	13.61	13.81	13.66	1.72	4.50	4.26	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:25:00	14.80	14.80	14.80	14.14	13.63	13.63	13.82	13.67	1.66	4.26	4.08	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:26:00	14.79	14.80	14.80	14.19	13.65	13.64	13.83	13.68	1.62	4.00	3.92	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:27:00	14.80	14.80	14.80	14.24	13.66	13.65	13.84	13.69	1.60	3.78	3.76	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:28:00	14.81	14.80	14.80	14.30	13.68	13.67	13.85	13.71	1.54	3.56	3.60	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:29:00	14.80	14.80	14.80	14.38	13.69	13.68	13.85	13.72	1.54	3.34	3.46	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:30:00	14.79	14.80	14.80	14.47	13.71	13.70	13.87	13.73	1.42	3.14	3.30	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:31:00	14.83	14.80	14.80	14.62	13.73	13.71	13.88	13.75	1.70	2.98	3.18	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:32:00	14.84	14.80	14.80	14.85	13.75	13.73	13.88	13.76	1.44	2.80	3.02	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
2:33:00	14.82	14.80	14.80	14.80	13.77	13.74	13.90	13.78	1.44	2.62	2.90	5.54	5.74	5.74	5.74	5.74
2:34:00	14.79	14.80	14.81	14.80	13.78	13.76	13.91	13.79	1.42	2.48	2.76	5.36	5.74	5.74	5.74	5.74
2:35:00	14.79	14.80	14.80	14.81	13.82	13.78	13.93	13.80	1.34	2.34	2.64	5.18	5.74	5.74	5.74	5.74
2:36:00	14.79	14.80	14.80	14.81	13.84	13.79	13.94	13.83	1.30	2.20	2.54	4.98	5.74	5.74	5.74	5.74
2:37:00	14.80	14.81	14.80	14.80	13.87	13.81	13.95	13.85	1.28	2.08	2.44	4.80	5.74	5.74	5.74	5.74
2:38:00	14.80	14.80	14.81	14.80	13.90	13.83	13.97	13.86	1.24	1.98	2.32	4.60	5.74	5.74	5.74	5.74
2:39:00	14.79	14.80	14.80	14.80	13.94	13.85	14.00	13.88	1.22	1.86	2.22	4.40	5.74	5.74	5.74	5.74
2:40:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.00	13.87	14.02	13.90	1.20	1.78	2.12	4.20	5.74	5.74	5.74	5.74
2:41:00	14.81	14.81	14.80	14.81	14.06	13.90	14.04	13.93	1.18	1.68	2.04	4.02	5.74	5.74	5.74	5.74
2:42:00	14.80	14.79	14.79	14.80	14.14	13.92	14.06	13.96	1.14	1.60	1.96	3.82	5.74	5.74	5.74	5.74

2:43:00	14.81	14.80	14.79	14.81	14.24	13.96	14.10	13.99	1.14	1.52	1.88	3.62	5.74	5.74	5.74	5.74
2:44:00	14.81	14.79	14.81	14.79	14.42	13.99	14.13	14.03	1.12	1.44	1.86	3.44	5.74	5.74	5.74	5.74
2:45:00	14.80	14.79	14.80	14.79	14.82	14.03	14.16	14.06	1.08	1.38	1.76	3.26	5.74	5.74	5.74	5.74
2:46:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.07	14.21	14.10	1.06	1.30	1.68	3.06	5.32	5.74	5.74	5.74
2:47:00	14.80	14.80	14.83	14.80	14.80	14.13	14.26	14.15	1.06	1.26	1.66	2.88	4.96	5.74	5.74	5.74
2:48:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.19	14.35	14.21	1.04	1.20	1.62	2.72	4.66	5.74	5.74	5.74
2:49:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.26	14.52	14.28	1.00	1.14	1.52	2.56	4.42	5.74	5.74	5.74
2:50:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.37	14.63	14.36	1.00	1.10	1.54	2.44	4.18	5.74	5.74	5.74
2:51:00	14.80	14.79	14.80	14.80	14.80	14.58	14.77	14.48	0.96	1.06	1.42	2.32	3.98	5.74	5.74	5.74
2:52:00	14.80	14.80	14.84	14.79	14.80	14.89	14.79	14.65	0.96	1.00	1.24	2.22	3.76	5.74	5.44	5.74
2:53:00	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	14.81	14.81	14.81	0.92	0.98	1.36	2.12	3.60	5.24	5.12	5.74
2:54:00	14.80	14.79	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	0.90	0.94	1.16	2.04	3.44	4.96	4.80	5.28
2:55:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	0.90	0.92	1.28	1.98	3.28	4.68	4.50	4.94
2:56:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.81	14.81	14.79	14.86	0.88	0.88	1.14	1.90	3.18	4.44	4.24	4.70
2:57:00	14.80	14.80	14.78	14.80	14.81	14.80	14.80	14.80	0.86	0.86	1.18	1.82	3.04	4.20	4.00	4.64
2:58:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	0.86	0.84	1.12	1.78	2.94	3.98	3.78	4.12
2:59:00	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	14.79	14.79	14.78	0.84	0.82	1.06	1.72	2.82	3.78	3.58	3.84
3:00:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.80	14.80	14.82	0.84	0.78	1.08	1.66	2.74	3.58	3.40	3.50
3:01:00	14.80	14.80	14.77	14.80	14.80	14.80	14.80	14.79	0.82	0.76	1.04	1.62	2.64	3.42	3.26	3.36
3:02:00	14.79	14.80	14.79	14.80	14.80	14.80	14.80	14.81	0.80	0.74	1.06	1.58	2.58	3.26	3.12	3.20
3:03:00	14.80	14.79	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.81	0.80	0.72	0.98	1.54	2.50	3.12	2.98	3.00
3:04:00	14.80	14.80	14.76	14.80	14.80	14.80	14.80	14.82	0.78	0.70	1.02	1.50	2.44	2.98	2.86	2.84
3:05:00	14.80	14.80	14.78	14.80	14.80	14.80	14.80	14.81	0.76	0.70	0.92	1.46	2.40	2.86	2.78	2.68
3:06:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.84	0.74	0.68	0.92	1.44	2.36	2.74	2.68	2.60

3:07:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.80	0.74	0.66	0.92	1.42	2.32	2.66	2.60	2.40
3:08:00	14.80	14.79	14.82	14.80	14.81	14.79	14.80	14.80	0.72	0.64	0.88	1.38	2.28	2.56	2.50	2.30
3:09:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	0.72	0.64	0.84	1.36	2.26	2.48	2.44	2.22
3:10:00	14.80	14.80	14.78	14.80	14.80	14.81	14.79	14.80	0.72	0.62	0.92	1.34	2.22	2.40	2.38	2.14
3:11:00	14.80	14.80	14.84	14.80	14.80	14.80	14.80	14.82	0.68	0.60	0.86	1.32	2.20	2.32	2.30	2.10
3:12:00	14.80	14.80	14.79	14.81	14.80	14.80	14.79	14.80	0.70	0.60	0.90	1.30	2.18	2.26	2.24	0.26
3:13:00	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	0.68	0.60	0.84	1.28	2.16	2.20	2.18	0.28
3:14:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	0.68	0.58	0.92	1.28	2.14	2.14	2.12	0.28
3:15:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.80	14.81	14.80	0.64	0.58	0.90	1.24	2.10	2.10	2.12	0.28
3:16:00	14.80	14.80	14.75	14.81	14.81	14.79	14.80	14.80	0.66	0.56	0.84	1.24	2.10	2.06	2.08	0.28
3:17:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	0.64	0.56	0.78	1.24	2.08	2.02	2.02	0.28
3:18:00	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	14.80	14.78	14.80	0.62	0.54	0.84	1.22	2.06	1.98	1.96	0.28
3:19:00	14.80	14.80	14.82	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	0.62	0.56	0.76	1.22	2.06	1.94	1.94	0.28
3:20:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	0.60	0.54	0.78	1.20	2.02	1.92	1.90	0.28
3:21:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.81	14.80	0.60	0.54	0.76	1.18	2.02	1.90	1.88	0.28
3:22:00	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	14.81	14.80	14.80	0.60	0.54	0.76	1.16	2.02	1.86	1.84	0.28
3:23:00	14.80	14.80	14.79	14.80	14.81	14.81	14.81	14.80	0.58	0.54	0.86	1.18	1.98	1.84	1.80	0.28
3:24:00	14.80	14.80	14.77	14.81	14.80	14.80	14.80	14.80	0.56	0.52	0.74	1.18	1.98	1.80	1.78	0.28
3:25:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.81	14.79	14.80	14.80	0.56	0.52	0.66	1.16	1.96	1.78	1.74	0.28
3:26:00	14.81	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.81	0.56	0.50	0.72	1.16	1.96	1.76	1.70	0.28
3:27:00	14.81	14.79	14.78	14.81	14.80	14.79	14.80	14.81	0.56	0.52	0.70	1.14	1.96	1.74	1.68	0.28
3:28:00	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.79	14.80	14.80	0.54	0.52	0.76	1.14	1.94	1.72	1.64	0.28
3:29:00	14.80	14.80	14.80	14.81	14.80	14.79	14.80	14.80	0.54	0.50	0.72	1.14	1.92	1.72	1.62	0.26
3:30:00	14.80	14.79	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	14.80	0.54	0.50	0.68	1.12	1.92	1.70	1.58	0.28

3:30:00	14.80	14.79	14.79	14.81	14.80	14.80	14.80	14.80	0.54	0.50	0.70	1.12	1.92	1.70	1.58	0.28
3:30:00	14.80	14.79	14.79	14.81	14.80	14.80	14.80	14.80								
3:35:00	13.38	13.45	13.42	13.39	13.33	13.34	13.34	13.36								
3:40:00	13.30	13.37	13.37	13.36	13.32	13.33	13.32	13.30								
3:45:00	13.28	13.35	13.36	13.35	13.31	13.31	13.30	13.26								
3:50:00	13.26	13.33	13.35	13.34	13.30	13.30	13.29	13.25								
3:55:00	13.26	13.33	13.34	13.33	13.29	13.30	13.28	13.24								
4:00:00	13.26	13.33	13.34	13.33	13.28	13.29	13.27	13.24								
4:00:00	13.26	13.33	13.33	13.32	13.28	13.29	13.27	13.24								
4:00:00	13.26	13.33	13.33	13.32	13.28	13.29	13.27	13.24								

Data Discharged Battery

Run Time	End Voltage (V)								Current (A)							
	25	30	35	40	45	50	55	60	25	30	35	40	45	50	55	60
12:00:00 AM	13.22	13.27	13.34	13.33	13.25	13.27	13.27	12.67	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
12:01:00 AM	12.26	12.33	12.47	12.53	12.56	12.57	12.35	12.21	19.82	19.84	19.84	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82
12:02:00 AM	12.25	12.33	12.47	12.53	12.55	12.57	12.36	12.17	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:03:00 AM	12.23	12.32	12.46	12.52	12.54	12.55	12.34	12.14	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:04:00 AM	12.20	12.30	12.44	12.50	12.52	12.53	12.31	12.10	19.82	19.82	19.82	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82
12:05:00 AM	12.18	12.28	12.42	12.48	12.50	12.51	12.29	12.07	19.82	19.84	19.82	19.82	19.84	19.82	19.84	19.84
12:06:00 AM	12.15	12.26	12.40	12.45	12.48	12.49	12.25	12.04	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:07:00 AM	12.12	12.24	12.37	12.43	12.46	12.47	12.23	12.00	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:08:00 AM	12.09	12.22	12.35	12.41	12.44	12.45	12.21	11.97	19.82	19.84	19.82	19.82	19.84	19.82	19.84	19.82
12:09:00 AM	12.06	12.19	12.33	12.38	12.41	12.43	12.20	11.94	19.84	19.84	19.82	19.82	19.82	19.84	19.82	19.84
12:10:00 AM	12.02	12.16	12.30	12.36	12.39	12.40	12.17	11.90	19.82	19.82	19.82	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82
12:11:00 AM	11.99	12.14	12.27	12.33	12.36	12.38	12.14	11.86	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:12:00 AM	11.95	12.11	12.24	12.30	12.35	12.35	12.10	11.82	19.82	19.84	19.82	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82
12:13:00 AM	11.92	12.08	12.22	12.28	12.32	12.33	12.07	11.78	19.82	19.82	19.82	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82
12:14:00 AM	11.88	12.05	12.19	12.25	12.29	12.30	12.02	11.74	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:15:00 AM	11.84	12.02	12.16	12.22	12.27	12.28	11.98	11.70	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:16:00 AM	11.81	11.99	12.13	12.20	12.24	12.25	11.92	11.66	19.84	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:17:00 AM	11.77	11.96	12.11	12.17	12.22	12.11	11.89	11.61	19.82	19.84	19.82	19.82	19.84	19.82	19.84	19.82
12:18:00 AM	11.73	11.93	12.07	12.14	12.19	12.15	11.88	11.56	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:19:00 AM	11.69	11.90	12.04	12.11	12.16	12.13	11.84	11.51	19.84	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82
12:20:00 AM	11.64	11.87	12.01	12.08	12.13	12.08	11.83	11.46	19.82	19.84	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82



ภาคผนวก ข

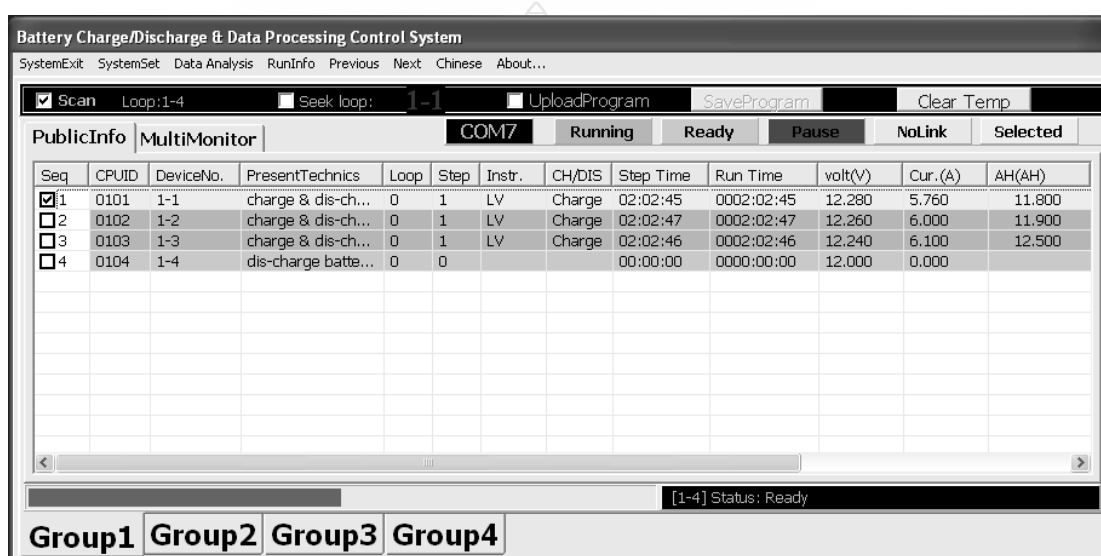
Program MTB-Series

โปรแกรม MTB – Series

วิธีการตั้งค่า ของ โปรแกรม MTB-series ในการทดสอบ

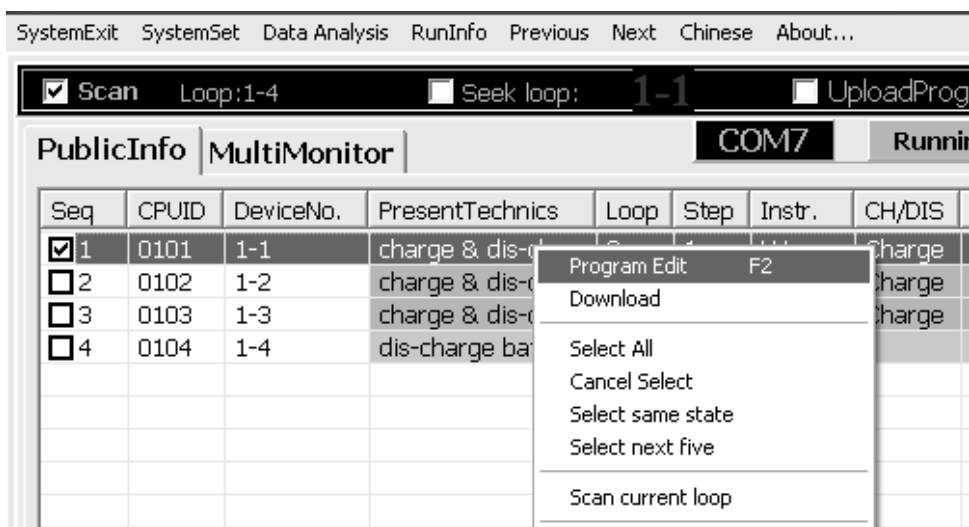


- 1) เริ่มต้น เปิดโปรแกรม MTB-series ที่ บนหน้าจอ Desktop ของ Computer
- 2) เปิดสวิตซ์ ON ที่เครื่อง MTB เครื่องที่จะใช้ทดสอบ ที่หน้าต่างของโปรแกรมจะแสดงเครื่อง MTB ที่เปิดแต่ละเครื่องที่เปิดอยู่ ดังภาพ ข.1



ภาพที่ ข.1 หน้าต่างของโปรแกรม MTB-series

- 3) เลือกเครื่อง MTB ที่จะใช้ทดสอบ โดยคลิกเลือกที่ช่องสี่เหลี่ยม ที่หน้าต่างของโปรแกรม MTB
- 4) คลิกขวาเพื่อเข้าไปที่เมนูการทำงาน เลือกคลิกที่ Program Edit จากเมนูการทำงาน เพื่อเข้าไป ตั้งค่าการทำงานดังภาพที่ ข.2



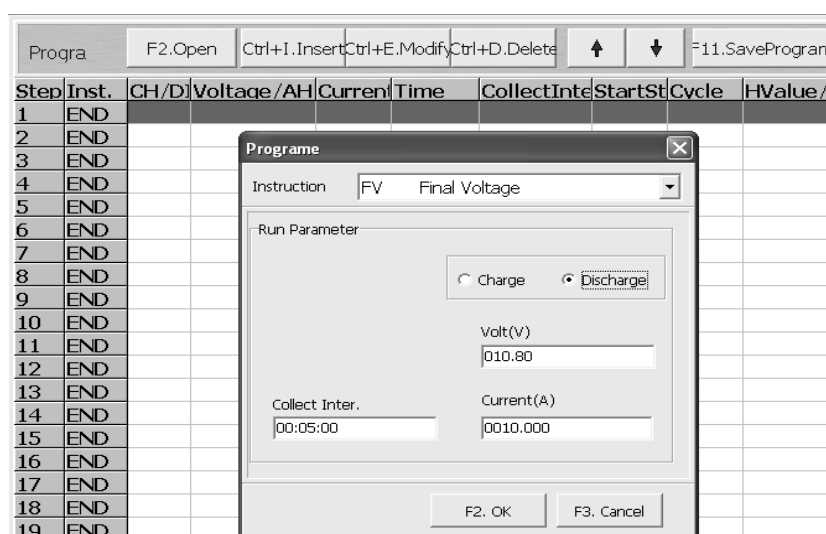
ภาพที่ ข.2 เมนูการทำงาน

5) เลือก Double click ในช่อง Instruction ดังภาพที่ ข.3เลือกโหมดที่ต้องการทดสอบ



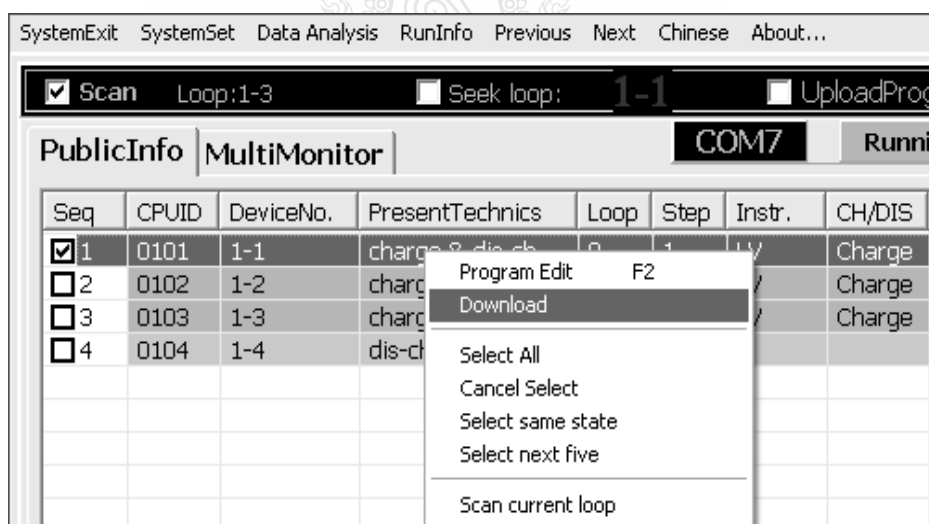
ภาพที่ ข.3 หน้าต่างเมนู Program Edit

6) เลือกโหมดที่ต้องการทดสอบ เช่น LV FV เป็นต้น



ภาพที่ ข.4 เมนูคำสั่ง FV

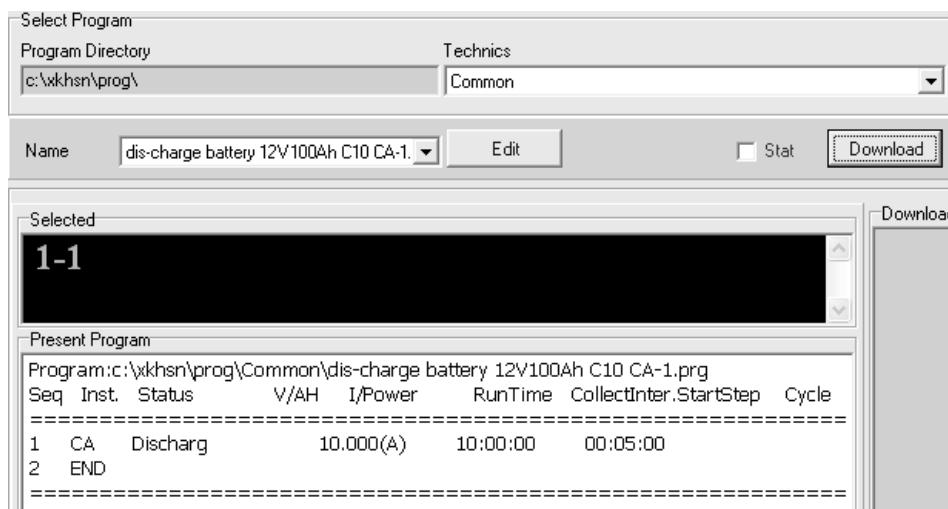
7) ตั้งค่าต่างๆ เช่น เลือกโหมดชาร์จหรือดิสชาร์จ ตั้งค่าแรงดัน กระแสและเวลาดังภาพที่ ข.4 แล้วคลิก OK



ภาพที่ ข.5 เมนูการทำงาน

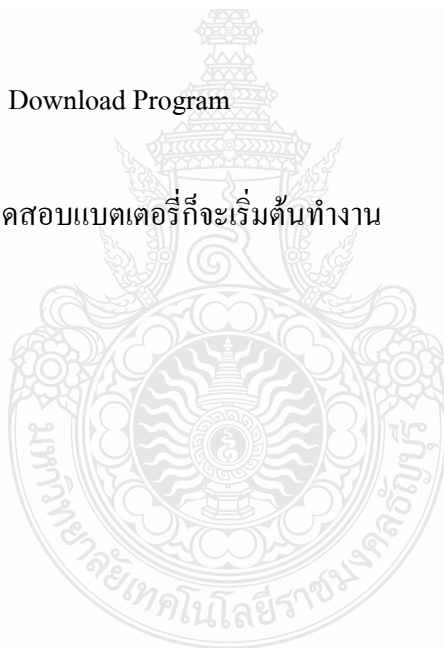
8) คลิกที่เครื่อง MTB เครื่องที่จะใช้ทดสอบที่หน้าต่าง โปรแกรมดังภาพที่ ข.5 เครื่องหมายถูก จะแสดงในช่องสี่เหลี่ยม แล้วคลิกขวา จากนั้นเลือกเมนู Download

9) เลือกโปรแกรมที่เราสร้างไว้ แล้วคลิก Download ดังภาพที่ ข.6



ภาพที่ ข.6 หน้าต่างเมนูการ Download Program

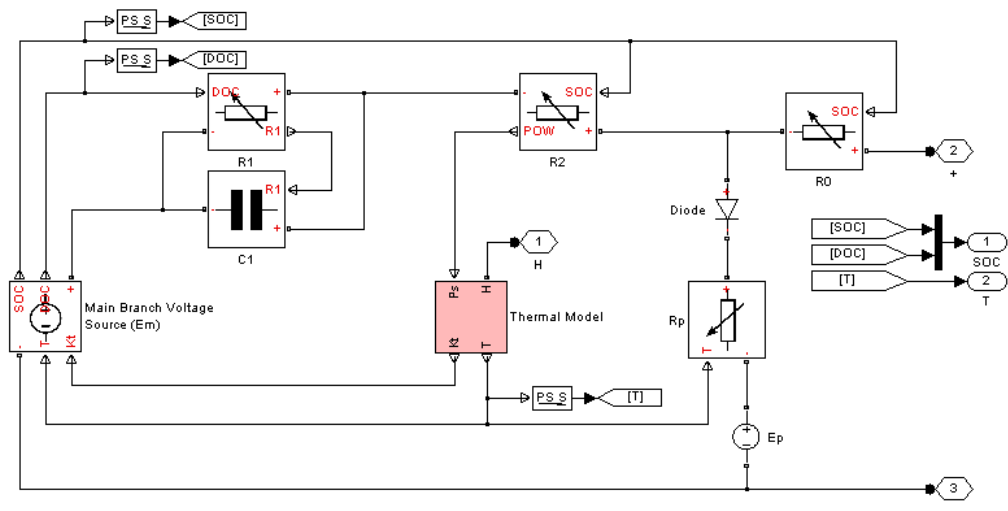
10) คลิก OK เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ก็จะเริ่มดำเนินงาน



ภาคผนวก ค

M FILE แบบจำลองทางคณิตศาสตร์





% Initialization file for demo ssc_lead_acid_battery.mdl. Demo based on
 % Jackey, R. "A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for
 % Electrical System Component Selection", SAE World Congress & Exhibition,
 % April 2007, ref. 2007-01-0778
 %
 % Copyright 2008-2009 The MathWorks, Inc.

%% Battery Model Parameters - 20Ah

NominalCap = 20; %(Ah)

%% Battery Block Initial Conditions

% Initial State of Charge (% of full charge)

% Initial Electrolyte Temperature (C, typically same as ambient temp)

SOC_init = 0.8;

theta_init = 25;

%% Battery Block Thermal Parameters

Ctheta = 400; %(J/C) Thermal Capacitance

Area = 0.01; %(m^2) Surface area of battery exposed to air

Rtheta = 20; %(W/m^2/K) Convective heat transfer coefficient

%% Battery Block Capacity Parameters

% Charge/discharge cycles at ranges of current/temp

Kc = 1.2; %()

Costar = 1.8e+005; %(As)

Kt_Temps = [25 40 60 75]; % Temperature breakpoints for Kt LUT

Kt = [0.80,1.10,1.20,1.12;]; %() LUT output values

delta = 0.73; %()

Istar = 15; %(A) Nominal Current (=cap/disch_t)

theta_f = -40; %(C) Electrolyte Freezing Temp

%% Battery Block Parasitic Branch Parameters

% End of charge cycle at ranges of current/temp

Ep = 1.95; %(V) Parasitic emf

Gpo = 2.0e-011; %(s)

Vpo = 0.12; %(V)

Ap = 2.0; %()

Taup = 3; % (s)

%% Battery Block Main Branch Parameters

Emo = 2.18; % (V) [max o.c. volts per cell]

Ke = 0.0006; %(V/C)

Ao = -0.6; % ()

Roo = 0.0042; % (Ohm)

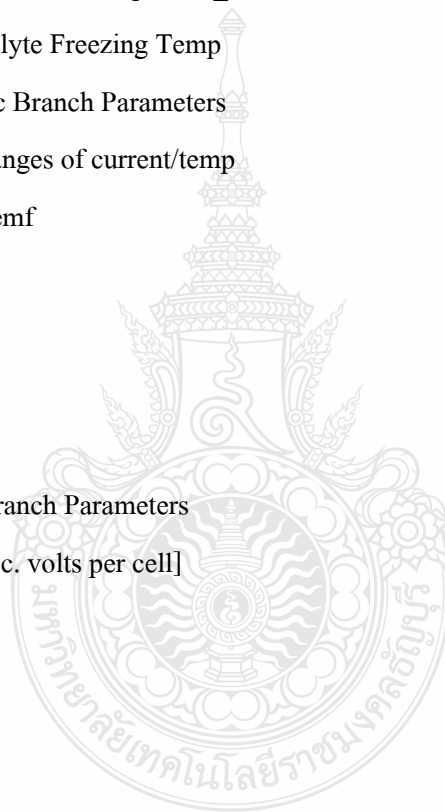
R10 = 0.0010; %(Ohm)

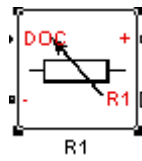
A21 = -10.0; %()

A22 = -8.75; %()

R20 = 0.11; %(Ohm)

Tau1 = 100; %(s)





component R1

% Main Branch Resistance, R1

% This block implements the main branch resistance $R1 = -R10 \cdot \ln(DOC)$ where

% DOC is depth of charge and R10 is a constant. The minimum depth of charge

% parameter protects the solver from the infinite gradient of $dR1/dDOC$ that

% occurs as DOC goes to zero. Below the minimum depth of charge, the

% logarithm function is linearly extrapolated whilst matching the gradient.

% Copyright 2008-2009 The MathWorks, Inc.

inputs

DOC = {8, '1'}; % DOC:right

end

nodes

p = foundation.electrical.electrical; % +:left

n = foundation.electrical.electrical; % -:right

end

outputs

R1 = {1, 'Ohm'}; % R1:left

end

parameters

R10 = {1, 'Ohm'}; % Resistance, R10

DOC_min = {1e-6, '1'}; % Minimum depth of charge


```

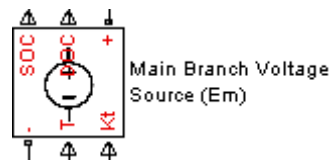
end

variables
    i = { 0, 'A' }; % Current through variable
    v = { 0, 'V' }; % Voltage across variable
end

function setup
    through( i, p.i, n.i ); % Through variable i from node p to node n
    across( v, p.v, n.v ); % Across variable v from p to n
    if R10 <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Resistance, R10')
    end
    if DOC_min <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Minimum depth of charge')
    end
end

equations
    if DOC <= DOC_min % Linear extrapolation to prevent infinite dR1/dDOC as DOC->0
        R1 == -R10*(log(DOC_min) + (1/DOC_min)*(DOC-DOC_min));
    elseif DOC > 0.99999
        R1 == -R10*log(0.99999); % Lower limit on R1 as DOC->1
    else
        R1 == -R10*log(DOC); % Logarithmic relationship
    end
    v == i*R1;
end
end

```



component Em

% Main Branch Voltage Source, Em

% This block implements the main branch voltage source. Voltage is defined

% by $E_m = E_{m0} - K_e * T * (1 - SOC)$ where $SOC = 1 - Q_e / C(0, T)$ is the state of

% charge, Q_e is extracted charge, and C is given by $C(i, T) =$

% $K_c * C_0 * K_t(T) / (1 + (K_c - 1)(i / I_{star})^{\delta})$. The block also calculates

% the depth of charge, $DOC = 1 - Q_e / C(I_{avg}, T)$ where I_{avg} is the

% component current i filtered by a first order lag $1 / (Tau_1 * s + 1)$.

% Copyright 2008-2009 The MathWorks, Inc.

outputs

SOC = {0.8, '1'}; % SOC:top

DOC = {0.8, '1'}; % DOC:top

end

nodes

p = foundation.electrical.electrical; % +:top

n = foundation.electrical.electrical; % -:bottom

end

inputs

T = {300, 'K'}; % T:bottom

Kt = {1, '1'}; % Kt:bottom

end

parameters

Em0 = {1, 'V'}; % Open-circuit voltage at full charge, Em0

Ke = {1, 'V/K'}; % Maximum voltage drop per Kelvin, Ke

Kc = {1, '1'}; % Battery capacity constant, Kc

C0 = {1, 'A*s'}; % No-load capacity at 0 degC, C0

Istar = {1, 'A'}; % Nominal battery current, Istar

delta = {1, '1'}; % delta

Tau1 = {1, 's'}; % Main branch time constant, Tau1>0

Qinit = {0, 'A*s'}; % Initial extracted charge

end

variables

i = {0, 'A'}; % Current through variable

v = {0, 'V'}; % Voltage across variable

Iavg = {0, 'A'}; % Average current given by $I/(Ts+1)$

Qe = {0, 'A*s'}; % Extracted charge

end

function setup

through(i, p.i, n.i); % Through variable i from node p to node n

across(v, p.v, n.v); % Across variable v from p to n

if Em0<=0

 pm_error('simscape:GreaterThanZero','Open-circuit voltage at full charge, Em0');

end

if Kc<=0

 pm_error('simscape:GreaterThanZero','Battery capacity constant, Kc');

end

if C0<=0

```

    pm_error('simscape:GreaterThanZero','No-load capacity at 0 degC, C0');
end
if Istar<=0
    pm_error('simscape:GreaterThanZero','Nominal batter current, Istar');
end
if Tau1<=0
    pm_error('simscape:GreaterThanZero','Main branch time constant, Tau1');
end
if Qinit<0
    pm_error('simscape:GreaterThanOrEqualToZero','Initial extracted charge');
end
Qe = Qinit;
Iavg = 0;
end

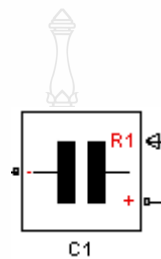
equations
let
    % cap_u is usable battery capacity, and cap_t is total battery capacity
    cap_u = if Iavg<=0, Kc*C0*Kt else Kc*C0*Kt/(1 + ((Kc-1)*power(Iavg/Istar,delta))) end;
    cap_t = Kc*C0*Kt;
in
    i == -Tau1*Iavg.der - Iavg;
    Qe.der == -i;
    if cap_t>{1e-9,'A*s'} % Protect against divide by zero
        SOC == 1 - Qe/cap_t;
    else
        SOC == 1 - Qe/{1e-9,'A*s'};
    end
end
if cap_u>{1e-9,'A*s'} % Protect against divide by zero

```

```

    DOC == 1 - Qe/cap_u;
else
    DOC == 1 - Qe/{1e-9,'A*s'};
end
v == Em0 - Ke*T*(1-SOC);
end
end
end

```



```

component C1
% Main Branch Capacitance, C1
% This block implements the main branch capacitance.
% C1 = Tau1/R1 where Tau1 is the main branch time constant and
% R1 is the main branch resistance.

% Copyright 2008-2009 The MathWorks, Inc.

inputs
    R1 = {1, 'Ohm'}; % R1:left
end

nodes
    p = foundation.electrical.electrical; % +:left
    n = foundation.electrical.electrical; % -:right
end

```

parameters

```
Tau1 = {1, 's'}; % Main branch time constant, Tau1>0
```

```
Cmin = {1e-8, 'F'}; % Minimum capacitance, Cmin>0
```

end

variables

```
i = {1, 'A'}; % Current through variable
```

```
v = {1, 'V'}; % Voltage across variable
```

```
Q = {0, 'F*V'}; % Charge variable
```

end

function setup

```
through( i, p.i, n.i ); % Through variable i from node p to node n
```

```
across( v, p.v, n.v ); % Across variable v from p to n
```

```
Q = 1; % Initially uncharged
```

```
if Cmin<=0
```

```
    pm_error('simscape:GreaterThanZero','Minimum capacitance, Cmin>0');
```

```
end
```

```
if Tau1<=0
```

```
    pm_error('simscape:GreaterThanZero','Main branch time constant, Tau1>0');
```

```
end
```

end

equations

```
if (Tau1/Cmin > R1)
```

```
    v == Q*R1/Tau1;
```

```
else
```

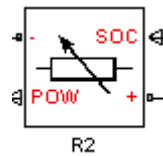
```
    v == Q/Cmin;
```

```
end
```

```

i == Q.der;
end
end

```



```

component R2
% Main Branch Resistance, R2
% This block implements the main branch resistance, R2.
%  $R2 = R20 * \exp(A2 * (1 - SOC)) / (1 + \exp(A22 * i / Istar))$ 

% Copyright 2008-2009 The MathWorks, Inc.

inputs
SOC = { .8, '1' }; % SOC:left
end

nodes
p = foundation.electrical.electrical; % +:left
n = foundation.electrical.electrical; % -:right
end

variables
i = { 0, 'A' }; % Current through variable
v = { 0, 'V' }; % Voltage across variable
end

```

```

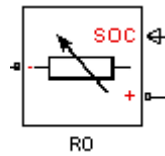
outputs
    pow = {0,'W'}; % POW:right
end

parameters
    R20 = {1, 'Ohm'}; % R20
    A21 = {0, '1'}; % A21
    A22 = {0, '1'}; % A22
    Istar = {1, 'A'}; % Nominal battery current, Istar
end

function setup
    through( i, p.i, n.i ); % Through variable i from node p to node n
    across( v, p.v, n.v ); % Across variable v from p to n
    if R20 <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','R20');
    end
    if Istar <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Nominal battery current, Istar');
    end
end

equations
    v == i*R20*exp(A21*(1-SOC))/(1 + exp(A22*i/Istar));
    pow == v*i;
end
end

```

component R0

% Terminal Resistance, R0

% This block implements the terminal resistance.

% $R0 = R00*(1+A0*(1-SOC))$

% Copyright 2008-2009 The MathWorks, Inc.

inputs

SOC = { .8, '1' }; % SOC:left

end

nodes

p = foundation.electrical.electrical; % +:left

n = foundation.electrical.electrical; % -:right

end

variables

i = { 0, 'A' }; % Current through variable

v = { 0, 'V' }; % Voltage across variable

end

parameters

R00 = { 1, 'Ohm' }; % Resistance at full charge, R00

A0 = { 1, '1' }; % Resistance dependence on state of charge, A0

end

```

function setup
    through( i, p,i, n,i ); % Through variable i from node p to node n
    across( v, p,v, n,v ); % Across variable v from p to n

    if R00 <= 0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','R00')
    end

end

end

equations
    v == i*R00*(1 + A0*(1-SOC));
end
end

```

component Rp

% Parasitic Branch Resistance, Rp

% This block implements the parasitic branch resistance.

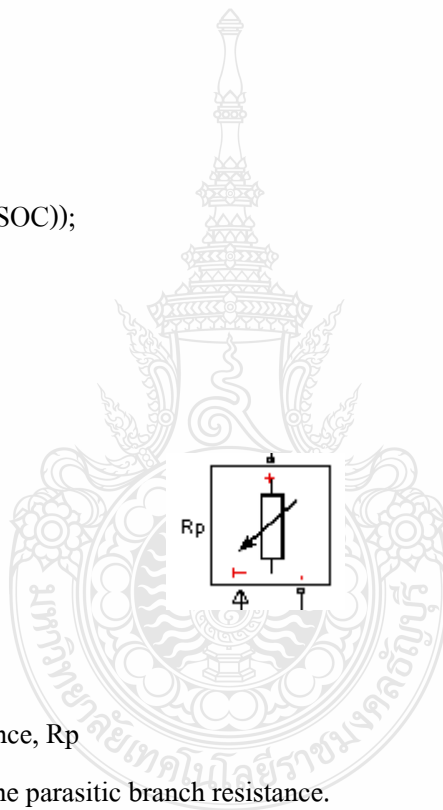
% $R_p = 1/(G_{p0} \exp(v/(T_{ps}+1)/V_{p0}) + A_p(1-T/T_f))$

% Copyright 2008-2009 The MathWorks, Inc.

```

inputs
    theta = {300, 'K'}; % T:right
end

```



```

nodes
    p = foundation.electrical.electrical; % +:left
    n = foundation.electrical.electrical; % -:right
end

parameters
    Gp0 = {1, '1/Ohm'}; % Gp0
    Vp0 = {1, 'V'}; % Voltage constant, Vp0
    Ap = {1, '1'}; % Ap
    Tf = {230, 'K'}; % Electrolyte Freezing Temperature, Tf
end

variables
    i = {0, 'A'}; % Current through variable
    v = {0, 'V'}; % Voltage across variable
end

function setup
    through( i, p.i, n.i ); % Through variable i from node p to node n
    across( v, p.v, n.v ); % Across variable v from p to n
    if Gp0<=0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Gp0');
    end
    if Vp0<=0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Voltage constant, Vp0');
    end
    if Ap<=0
        pm_error('simscape:GreaterThanZero','Ap');
    end

```

end

if Tf>={273,'K'}

pm_error('simscape:LessThan','Electrolyte freezing temperature, Tf','zero degrees C');

end

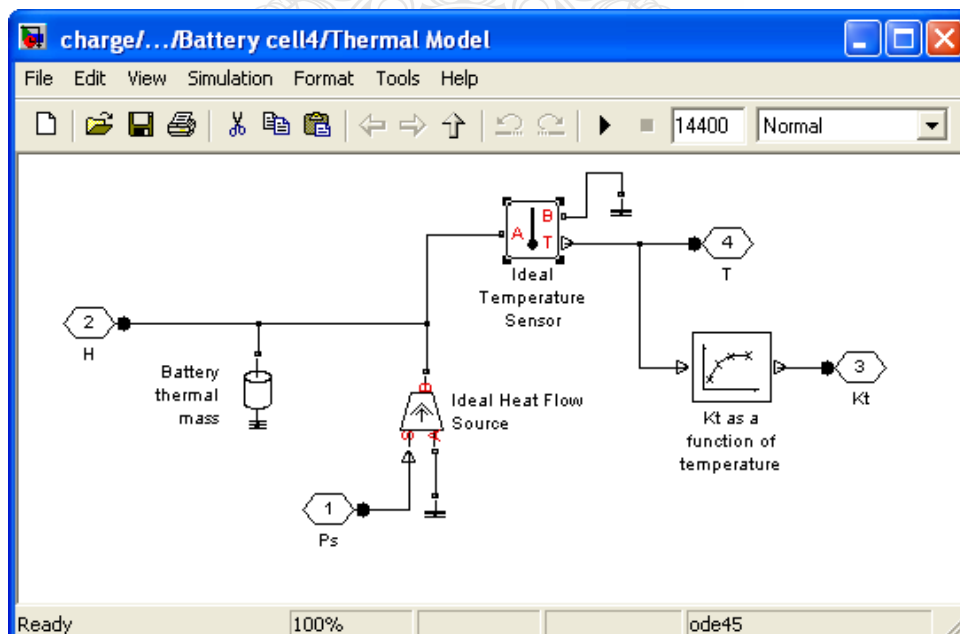
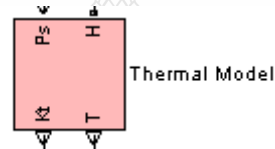
end

equations

$i = v * G_{p0} * \exp(v / V_{p0} + A_p * (1 - ((\theta - \{273, 'K'\}) / (T_f - \{273, 'K'\})))));$

end

end





ภาคผนวก ง
DATA SHEET



RT 12200 (12V20Ah)

RT 12200 is a general purpose battery with 5 years floating design life, meet with IEC, JIS standard. With heavy duty grid, thickness plates, special additives, RT series battery have long and reliable standby service life.



Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	20Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 5.90 Kg
Max. Discharge Current	200 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 14 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	13.7 to 13.9 VD C/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	6 A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VD C/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Faston F3/F13
Constainer Material	A.B.S. (UL94-HB), Flammability resistance of UL94-V2 can be available upon request.



MR2839



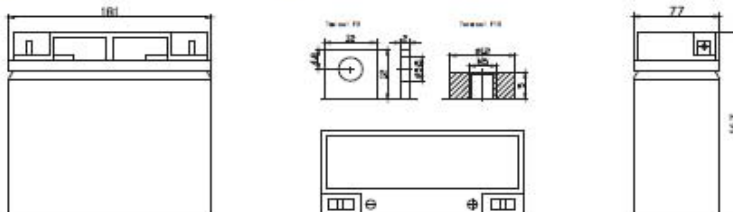
GEM32086-0910-E-16



ISO9001:2000 Certificate

Dimensions

Unit: mm Dimension: 181(L)×77(W)×167(H)



Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	79.000	52.800	40.600	23.460	13.880	7.2348	5.1200	4.2000	3.4814	2.3092	1.9992	1.1220
10.0V	76.146	50.744	39.298	23.100	13.800	7.1826	5.1000	4.1800	3.4608	2.3000	1.9788	1.0812
10.2V	72.030	49.176	38.396	22.920	13.700	7.1652	5.0800	4.1600	3.4402	2.2908	1.9584	1.0608
10.5V	65.072	46.021	36.397	22.400	13.500	7.0783	5.0600	4.1400	3.4196	2.2816	1.9380	1.0200
10.8V	58.114	42.885	34.378	21.860	13.300	6.9565	5.0200	4.1200	3.3990	2.2724	1.8972	0.9792
11.1V	51.215	39.729	32.379	21.320	13.120	6.8522	4.9800	4.1000	3.3784	2.2632	1.8768	0.9588

Constant Power Discharge Characteristics : W(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	864.00	561.60	456.36	281.52	166.44	86.713	61.320	50.160	49.069	27.764	23.634	13.211
10.0V	841.50	561.00	449.81	276.96	165.96	86.191	61.200	50.040	48.698	27.541	23.392	12.726
10.2V	824.67	544.17	439.49	275.16	165.60	85.983	61.080	50.040	48.575	27.505	23.149	12.484
10.5V	745.23	521.73	416.60	268.56	162.84	84.626	60.720	49.680	48.451	27.430	22.907	11.999
10.8V	665.68	488.07	393.60	262.20	160.08	83.478	60.240	49.320	48.328	27.318	22.543	11.635
11.1V	586.25	454.41	370.71	255.84	157.32	82.226	59.760	48.960	48.204	27.318	22.180	11.272

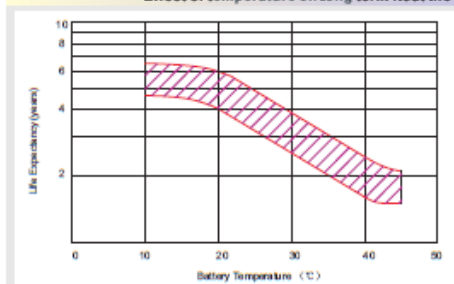
All mentioned values are average values.

RT 12200

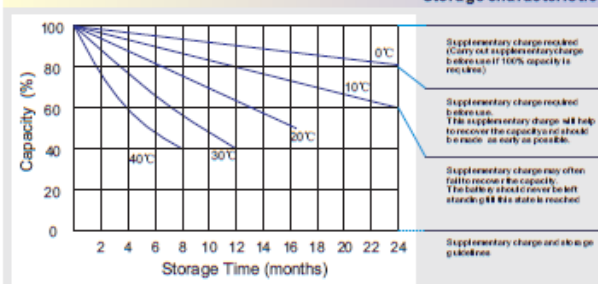
12V20Ah



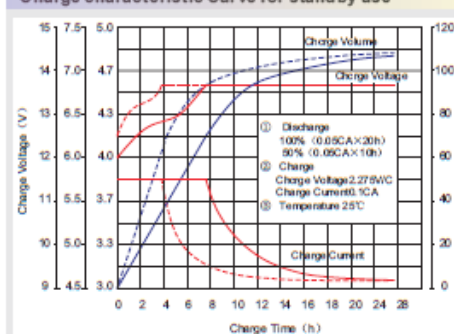
Effect of temperature on long term float life



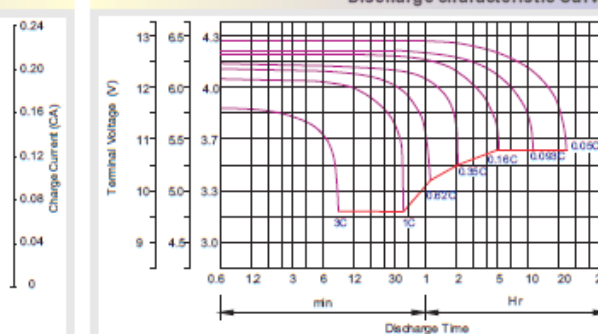
Storage characteristic



Charge characteristic Curve for standby use



Discharge characteristic Curve



Capacity Factors With Different Temperature

Battery Type		-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
GEL Battery	6V&12V	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%
	2V	60%	75%	85%	88%	92%	99%	100%	103%	105%	106%
AGM Battery	6V&12V	46%	66%	76%	83%	90%	98%	100%	103%	107%	109%
	2V	55%	70%	80%	85%	92%	99%	100%	104%	108%	110%

Discharge Current VS. Discharge Voltage

Final Discharge Voltage V/cell	1.75V	1.70V	1.60V
Discharge Current (A)	(A) ≤0.2C	0.2C < (A) < 1.0C	(A) ≥1.0C

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

Constant Voltage	-0.2Cx2h+2.4-2.45V/Cellx24h, Max. Current 0.3CA
Constant Current	-0.2Cx2h+0.1CAx12h
Fast	-0.2Cx2h+0.3CAx4.0h

Maintenance & Cautions

Float Service:
※ Every month, recommend inspection every battery voltage.
※ Every three months, recommend equalization charge for one time.
Equalization charge method:
Discharge: 100% rate capacity discharge.
Charge: Max. current 0.3CA, constant voltage 2.4-2.45V/Cell charge 24h.
※ Effect of temperature on float charge voltage: -3mV/°C/Cell.
※ Length of service life will be directly affected by the number of discharge cycles, depth of discharge, ambient temperature and charging voltage.



ภาคผนวก จ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

1. พรชัย พรหฤทัย, บุญยัง ปลั่งกลาง, การทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9 ระหว่างวันที่ 2-3 พฤษภาคม 2554 ณ ห้องเมอร์ลินแกรนด์บอลรูม จ.ภูเก็ต
2. พรชัย พรหฤทัย, บุญยัง ปลั่งกลาง, การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด, การประชุมสัมมนาทางวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 ระหว่างวันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554 ณ Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต

การประชุมวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7
7th Conference on Energy Network of Thailand
3-5 พฤษภาคม 2554
ณ Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-NETT 2011

[ตารางนายคณบดีมหาวิทยาลัย](#)
[ตารางอธิการบดี](#)
[ตารางคณบดี](#)
[ตารางประธานจัดงาน](#)

[เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย](#)
[คณะกรรมการจัดงาน](#)
[ผู้ทรงคุณวุฒิ](#)
[Search](#)

[จำนวนบทความ](#)
[บทความยอดเยี่ยม](#)
[กำหนดการ](#)
[แผนที่ห้องประชุม](#)

บทความกลุ่ม Renewable Energy		บทความกลุ่ม Applied Energy	
Renewable Energy 01	AEN01-AEN06	Applied Energy 01	BEN01-BEN06
Renewable Energy 02	AEN07-AEN12	Applied Energy 02	BEN07-BEN12
Renewable Energy 03	AEN13-AEN18	Applied Energy 03	BEN13-BEN18
Renewable Energy 04	AEN19-AEN24	Applied Energy 04	BEN19-BEN24
Renewable Energy 05	AEN25-AEN31	Applied Energy 05	BEN25-BEN31
Renewable Energy 06	AEN32-AEN38	Applied Energy 07	BEN32-BEN38
Renewable Energy 08	AEN39-AEN44	Applied Energy 09	BEN39-BEN44
Renewable Energy 11	AEN45-AEN51	Applied Energy 12	BEN45-BEN51



ผู้ทรงคุณวุฒิเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย



ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัย/สถาบันองค์กร
ศ.ดร.บัณฑิต	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.บัณฑิต	เอื้ออาภรณ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.ทองเกียรติ	เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศ.ดร.หญิงศักดิ์	รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ศ.ดร.สมชาติ	โศภณฤกษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.วัฒนพงษ์	รักวีเชียร	มหาวิทยาลัยแพรตอร์
รศ.ดร.นำบุษ	สงศ์ธนาพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.จุไรรัตน์	ดวงเดือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.อุดมเกียรติ	นงนพแก้ว	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ธนาคม	สุนทรชัยนาคแสง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.สินชัย	ชินวรรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พิณิจ	งามสม	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.วิทยา	ธงเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.กนิษฐ์	วัฒนวิเชียร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.วราวุฒ	เดียม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงษ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.จากรุจิร	เจริญสุข	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิทธิ์	เอี่ยมสะอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร.เสริม	จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.ธนัชชัย	กุลวราวิชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยสุรนารี
รศ.ดร.ศุภชาติ	ไขใหญ่ชัยพัฒนา	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ.ดร.อดิศักดิ์	นาถกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ชัชวาล	ตันนทิกิติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร.ศักดิ์กมล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สุรชัย	มัจฉาชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าสุวรรณภูมิ
รศ.ดร.สมรัฐ	เกิดสุวรรณ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.เวทิน	ปิยรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.สมชัย	ศิริญาโรตม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมหมาย	ฉิวสะอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.พูลเกียรติ	นาคะวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ภาวิณี	ศักดิ์สุนทรศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.เจริญพร	เลิศสิทธิสนกร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.ณัฐพล	ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.กุลเชษฐ์	เพ็ชรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ฮาไพศักดิ์	ทิพย์นุมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ชาวลิต	ทินวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ประชาตินิติ	ไตรสุขุทธิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.นุภาพ	แย้มไธโรวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ผู้ทรงคุณวุฒิเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

E-NETT 2011

ชื่อ	นามสกุล	มหาวิทยาลัยสถาบัน/องค์กร
อ.วิไลภรณ์	ฉะวีงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ปรีสุทธิ	สุทธิพงษ์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.วิรัช	โรยเสินท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สถาพร	ทองวิค	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.กฤษณ์ไชยมณี	ภูมิศักดิ์ พิษณุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สุรินทร์	แสงงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.วินัย	จันทร์สิง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สโรชา	เจริญวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.มนตรีพิทย์	ดีอสุริยนต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ฉันทิพย์	ศานวณทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ฉัตรชัย	วีระฉัตรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ศุภเมธาธิ	เนียมกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.จักรี	ศรินทร์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ประจวบ	คำพูด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์ชัย	โอเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.พงษ์ศักดิ์	ธำภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.อำนาจ	เส็งจาวรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณัฐภัทร	พันธ์ทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ศิริชัย	ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สรพงษ์	ภาสุรีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.กิตติ	สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.วิษชากร	จารุศิริ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธนาธิป	สุนิยม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.อารี	ศุภสุทธิกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ณฤภัทร	ตั้งมั่นคงวารกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ฉันทนา	พันธุ์เหล็ก	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ดร.วรรัตน์	ปัสสรประกร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.วิศิษฐ์	ลีลาภาสิกุล	มหาวิทยาลัยสยาม
ดร.พัฒน	พิศความสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ณรงค์	ยิ่งกิมป่วน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.ชาญณรงค์	อัครเทพกาญจนาพ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ดร.ชลธิศ	เยี่ยมวรวิฑูริกุล	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร.วรรณิ	เอกศิลป์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ดร.ประชา	บุญยวาณิชกุล	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ธนาธิป	สุนิยม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.อำนาจ	ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยสุโขทัย
นายอำนาจ	องสิทธิ์	กระทรวงพลังงาน
ดร.บุษยามา	ข้าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สารบัญ

หน้า

Session	Applied Energy 02	
ประธาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
เวลา	14:45-16:00 วันอังคาร ที่ 3 พฤษภาคม 2554	
ห้องบรรยาย	Orchid B	

Main Menu

BEN07	การอบแห้งลาโยปอกเปลือกด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ณัฐกฤษ อัดณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	299
BEN08	การศึกษาความเข้มข้นและอัตราการไหลเอทานอลภายในเครื่องกลั่น หม้อ ต้มทองแดง ยุทธพงษ์ ทาคา ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	305
BEN09	การสร้างพลังงานจากเทอร์โมอิเล็กทริกซ์ (เพลเทียร์) เพื่อชาร์จแบตเตอรี่มือถือ วิรัช กองสิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตตาด	310
BEN10	การจัดความสัมพันธ์รีเลย์ป้องกันกระแสเกินเหมาะสมที่สุดโดยใช้การวิวัฒนาการ การผลต่าง สมบูรณ์ไทรวิทย์ รอดพร ธนัตชัย กุลธรรวามิซพงษ์ อนันท์ อุ่นศิริไฉย รัชฎาพร อุ่นศิริไฉย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	314
BEN11	คอนเวอเตอร์หลายระดับสำหรับประยุกต์ใช้ในการฟื้นฟูแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ที่เสื่อมสภาพโดยใช้เทคนิคการอัดประจุแบบพัลส์ความถี่ ฉัตรพล จิรโมหี ปะระภาษ ไพโรสุวรรณา สุรินทร์ คำพ่อย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	319
BEN12	การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดและคายประจุ ของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด พรชัย พรหฤทัย บุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	324

การทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดและคายประจุของ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

Experiment and Analysis of Temperature effect on Lead-Acid Battery

พรชัย พรหมทัต¹ บุญยัง ปลั่งกลาง²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี

ตำบลธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420, 089-521-8527 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: lava_pp10@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี

ตำบลธัญบุรี ปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3420, 088-899-2998 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: pboonyang@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นบทความที่กล่าวถึงการทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 25-80 องศาเซลเซียส โดยนำแบตเตอรี่ไปต่อกับแหล่งจ่ายเพื่อทำการอัดประจุและคายประจุในท้องที่หนึ่ง จากนั้นใช้เครื่องทำความร้อนปรับอุณหภูมิในห้องให้เป็นไปตามการทดสอบ คือตั้งแต่ 25-80 องศาเซลเซียส เก็บค่าแรงดัน กระแส โดยคอมพิวเตอร์ แสดงผลในรูปของกราฟของกระแส จากนั้นวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้รับเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแบตเตอรี่ต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ การทดสอบนี้จะทดสอบกับแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เมื่ออัดประจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้การอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็มใช้เวลานานขึ้น ส่วนการคายประจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้สั้นลงเวลาที่ใช้ในการคายประจุจริงใช้เวลานาน

คำสำคัญ: การอัดประจุและคายประจุ, อุณหภูมิ, แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

Abstract

This article describes The Experiment and Analysis of Temperature effect on Charge and Discharge of Lead-Acid Battery. The study will investigate the characteristic of charge and discharge of a lead-acid battery by temperatures ranging from 25-80 degrees Celsius. The experiment is set up by using a standard battery charge-discharge system. The temperature controller is used for the battery heater. The temperature according to the experiment is controlled in the range of 25-80 °C. The charge-discharge current is controlled by a computer. The investigation is done from the obtained data to analyze and compare the relationship to various temperatures. The VRLA batteries version RT 12200 12V 20AH (20 Hr) is used for this

study. The experiment, When charge the battery. Higher temperatures result in full charge the battery takes longer. Discharge the battery. Higher temperatures cause the battery to perform better. Time spent in the discharge, it takes a long time.

Keywords: Charge and Discharge, Temperature, Lead-Acid Battery

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างมากและรวดเร็ว แต่ในขณะที่แหล่งกำเนิดของพลังงานมีอยู่อย่างจำกัดต้องใช้ความรู้และเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาช่วยในการจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ แต่ว่าในช่วงที่การผลิตไฟฟ้ากินความต้องการนั้นก็จะต้องมีการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรอง แบตเตอรี่จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนในปัจจุบันมีการผลิตและการใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้พลังงานและมีการนำไปใช้งานในสถานที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของแต่ที่ ซึ่งในการใช้งานแบตเตอรี่ในสถานที่ต่างๆจะต้องมีการบำรุงรักษาและใช้งานแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับสถานที่นั้นๆ

การบำรุงรักษาแบตเตอรี่จะมีมากหรือน้อย ขึ้นกับการออกแบบและลักษณะการประยุกต์ใช้งาน รวมไปถึงการทำความปลอดภัยขณะบรรจุสายไฟหรือต่อไฟฟ้าการฉนวนกั้นยึดให้แน่น การเติมน้ำกลั่น และการทดสอบสมรรถนะของแบตเตอรี่เป็นระยะๆ การทดสอบสมรรถนะจะประกอบไปด้วยการบันทึกความต่างค่าเฉพาะอุณหภูมิของเซลล์ แรงดันของเซลล์หรือการทดสอบความจุ การวัดแรงดันและกระแสขณะทำงานประจุกสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการดูอาการผิดปกติของระบบได้

ดังนั้นอุณหภูมิในการใช้งานแบตเตอรี่จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาและวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่เพื่อศึกษาและทดสอบเกี่ยวกับการทำงานของแบตเตอรี่ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ โดยวิเคราะห์ที่กระแส ของแบตเตอรี่เมื่อมีการอัดและคายประจุที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

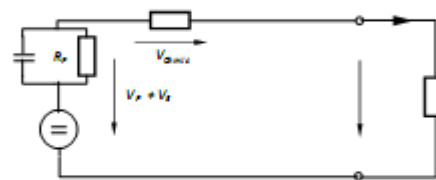
BEN12

Go Back

Go Back

2. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) ด้วยเหตุผลด้านาประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกกว่าและหาซื้อได้ง่ายในทุกๆ ที่ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบจมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟตจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเรื่อยๆ เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้อีกจากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (2)



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (3)

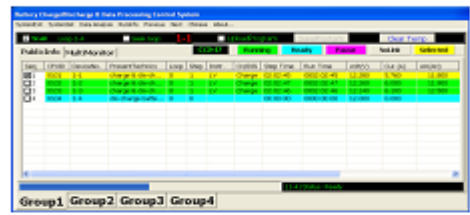
3. การดำเนินการทดสอบ

ในส่วนต่างๆของกระบวนการทดสอบแบตเตอรี่จะใช้เครื่อง Microprocessor Test for Battery (MTB-Series) ในการทดสอบการอัดประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ซึ่งสามารถใส่คำสั่งให้เครื่องทำงานได้ทั้งจากตัวเครื่องเองหรือให้เครื่องทำงานตามคำสั่งผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเก็บข้อมูลขณะทำการทดสอบโดยใช้ Data Logger เป็นตัวบันทึกข้อมูลและแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งเป็นการทดสอบการอัดประจุของแบตเตอรี่ (charge) และการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ (discharge) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25-80 องศาเซลเซียส โดยการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศาเซลเซียส สำหรับการปรับอุณหภูมิจะสามารถปรับได้โดยเครื่องปรับอุณหภูมิ (Temperature Controller) ที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 การทดสอบแบตเตอรี่และเก็บข้อมูล (5),(6),(7),(8)

จากข้อมูลที่ได้อาจทำการทดสอบและบันทึกผลก็จะนำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมารวมเพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลผลถึงคุณสมบัติต่างๆทั้งกระแส แรงดันและค่าความจุของแบตเตอรี่ชนิดอัดประจุและคายประจุแล้วผลจากการวิเคราะห์จะห้มาว่าค่าเป็นกราฟคุณสมบัติต่างๆทั้งกระแส แรงดันและค่าความจุของแบตเตอรี่ชนิดอัดประจุและคายประจุ



รูปที่ 3 โปรแกรมการตั้งค่าทดสอบการอัดและคายประจุด้วยเครื่อง MTB

ขั้นตอนการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

3.1 การทดสอบการอัดประจุ (Charge Test)

จะทดสอบการอัดประจุด้วยค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะกำหนดค่าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ ส่วนเวลาในการอัดประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ การทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการอัดประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ สำหรับขั้นตอนการทดสอบจะมีดังนี้

1. ต้องรททดสอบโดยใช้ขนาดต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วต่อของแบตเตอรี่
2. กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
3. กำหนดเวลาในการอัดประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ
4. กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มต้นตั้งแต่ 25 ถึง 80 องศาเซลเซียส
5. กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที

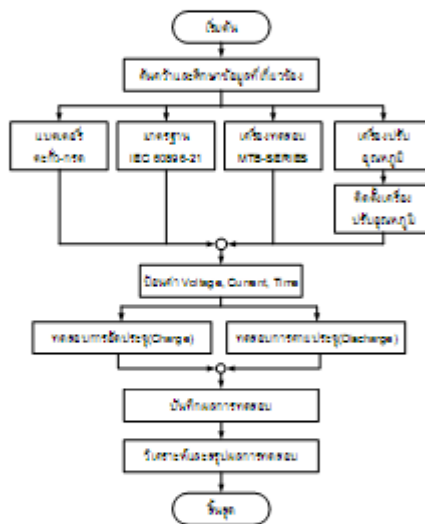
3.2 การทดสอบการคายประจุ (Discharge Test)

การทดสอบการคายประจุจะทำการทดสอบต่อจากการอัดประจุ โดยจะทดสอบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าคงที่จะกำหนดตามมาตรฐาน IEC 80888-21 ส่วนเวลาในการคายประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าและอัตราการคายประจุต่อเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด การ

ทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการคายประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบสำหรับขั้นตอนการทดสอบจะดังนี้

1. ส่วนจทดสอบโดยใช้สายต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่
2. กำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC
3. กำหนดเวลาในการคายประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าอัตราการคายประจุต่อเวลา
4. กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มต้นที่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส
5. กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที

Go Back



รูปที่ 4 สรุปขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบตเตอรี่

4. ผลการดำเนินการทดสอบ

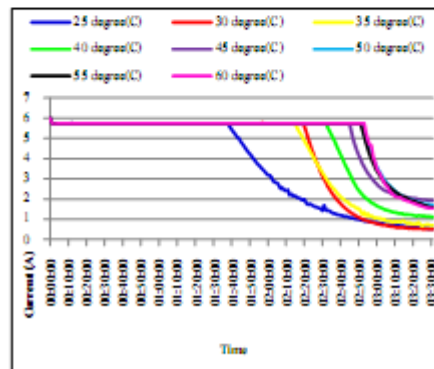
ผลของความต้านทานของแบตเตอรี่ต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ ที่ได้ทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) 1 ลูก โดยจะนำเสนอในรูปแบบกราฟแสดงค่าความต้านทานอัตราค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส ดังนี้

4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20Hr) ทดสอบการอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 14.8 V กระแสไฟฟ้า 8 A และเวลาในการอัดประจุเท่ากับ 4 ชั่วโมง บันทึกค่าดังตารางที่ 1 และ แสดงผลกราฟที่ได้ดังรูปที่ 5

Time	Current (A)/Temperature							
	25	30	35	40	45	50	55	60
12:00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
12:10	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12:20	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12:30	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12:40	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
12:50	5.74	5.74	5.74	5.72	5.74	5.74	5.74	5.74
01:00	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01:10	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01:20	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01:30	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01:40	4.48	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
01:50	3.38	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02:00	2.58	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02:10	2.02	5.74	5.22	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02:20	2.00	5.82	4.90	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02:23	1.42	3.14	3.30	5.74	5.74	5.74	5.74	5.74
02:30	1.44	2.82	2.90	5.84	5.74	5.74	5.74	5.74
02:40	1.14	1.52	1.88	3.82	5.74	5.74	5.74	5.74
02:47	1.08	1.30	1.88	3.08	5.32	5.74	5.74	5.74
02:50	0.98	1.00	1.24	2.22	3.78	5.74	5.44	5.74
02:57	0.92	0.98	1.38	2.12	3.80	5.24	5.12	5.74
03:00	0.90	0.94	1.18	2.04	3.44	4.98	4.80	5.28
03:10	0.78	0.70	1.02	1.50	2.44	2.98	2.88	2.84
03:20	0.72	0.84	0.88	1.38	2.28	2.58	2.50	2.30
03:30	0.82	0.54	0.84	1.22	2.08	1.98	1.98	0.28

ตารางที่ 1 ตารางเวลาบันทึกค่ากระแสและอัตราประจุที่อุณหภูมิ 25-60 C



รูปที่ 5 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200

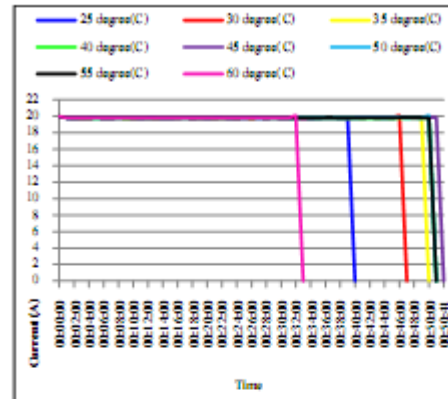
จากกราฟรูปที่ 5 พบว่า เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระแสที่ใช้อัดประจุก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ โดยอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การอัดประจุเต็มใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส การอัดประจุเต็มใช้เวลาประมาณเกือบ 3 ชั่วโมง ดังนั้นการอัดประจุโดยการป้อนกระแสคงที่ อุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่เต็มเร็วที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4.2 ลักษณะไฟฟ้าของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) ทดสอบการคายประจุที่อัตราการคายประจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง (C rate) เท่ากับ C, แรงดันไฟฟ้า 9.6 V กระแสไฟฟ้า 20 A และเวลาในการคายประจุเท่ากับ 1.5 ชั่วโมง บันทึกค่าดังตารางที่ 2 และ แสดงผลกราฟที่ได้ดังรูปที่ 6

Time	Current (A)/Temperature							
	25	30	35	40	45	50	55	80
12:00	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
12:10	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
12:20	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
12:30	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8
12:32	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	20.1
12:33	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	0.0
12:34	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:36	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:38	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:39	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:40	0.0	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:42		19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:44		19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:46		20.1	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:47		0.0	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:48			19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:49			19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	
12:50			0.0	19.8	19.8	20.1	19.8	
12:51				0.0	19.8	0.0	0.0	
12:52					0.0			

ตารางที่ 2 ตารางเวลาบันทึกกระแสและอุณหภูมิของแบตเตอรี่อุณหภูมิ 25-80 C



รูปที่ 6 ลักษณะไฟฟ้าของแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200

จากกราฟรูปที่ 6 พบว่า การคายประจุที่กระแสคงที่เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุจะลดลงเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 80 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิที่สูง 45 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้คายประจุลดลง ซึ่งอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส การคายประจุจนหมดใช้เวลาประมาณ 32 นาที ดังนั้นอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้ดีที่สุดคืออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส

5. สรุปผลการดำเนินการทดสอบ

จากการทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) จากกราฟพบว่า ในการทดสอบอัดประจุให้แบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระแสที่ใช้อัดประจุก็จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนเป็นศูนย์ เนื่องจากในขณะที่ยุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการคายประจุด้วยตัวเองของแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเป็นสองเท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจึงนานขึ้น ดังนั้นการอัดประจุโดยการป้อนกระแสคงที่อุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่เต็มเร็วที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนในการทดสอบการคายประจุที่กระแสคงที่เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากในขณะที่ยุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ก็จะเกิดเร็วขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น การคายประจุจึงใช้เวลานาน แต่หลังจากอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียสขึ้นไป ความร้อนที่มากเกินไปมีผลให้แบตเตอรี่เสื่อมประสิทธิภาพเร็ว เป็นผล

Go Back

ให้การคายประจุของแบตเตอรี่เร็วขึ้น ดังนั้นระดับอุณหภูมิที่ต่ำทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้ดีที่สุดคืออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส

จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยในการอัดประจุ เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนการคายประจุ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น การคายประจุจึงใช้เวลานาน




เอกสารอ้างอิง



- [1] อนันต์ ชีระเสถียร, สมชาติ ฟ้ากอบล "การทดสอบและศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด" ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ. 2553
- [2] หลักสูตรการอบรมเทคนิคการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้สอน ผู้เรียน นักเรียนและนักศึกษา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [3] ชัชวาล คงสมบูรณ์ "การศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทน" ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ. 2551
- [4] R. Jones "Charge control option for valve regulated lead acid batteries" TDI POWER August 17, 2004
- [5] <http://www.tradeper.co.uk/> รูปภาพเครื่องMTB
- [6] <http://www.riterpower.com/> รูปภาพแบตเตอรี่
- [7] <http://www.brandexdirectory.com/> รูปภาพเครื่องปรับอุณหภูมิ
- [8] <http://www.rmutphysics.com/> รูปภาพคอมพิวเตอร์



นายพรชัย พรพุดพิง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้า ศาสตราจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี มีความสนใจงานวิจัยเรื่องของพลังงานทดแทนและการพัฒนาเทคโนโลยี

Go Back






PEC-9

Faculty of Engineering
Prince of Songkla University

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9
The 9th PSU-Engineering Conference
2-3 พฤษภาคม 2554
ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไตรตรังค์) จังหวัดภูเก็ต

<http://www.pec.eng.psu.ac.th>

ผู้ให้การสนับสนุน |
 




**ประกาศเกียรติคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9
ระหว่างวันที่ 2 - 3 พฤษภาคม 2554
ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไทรตรังค์) จังหวัดภูเก็ต**

ด้วยการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9 (PEC-9) ได้รับความกรุณาจากผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน จากหลายสถาบัน/หน่วยงานที่ได้ใช้ความรู้และประสบการณ์ทางวิชาการ ในการพิจารณาบทความที่ส่งเข้าร่วมการประชุมวิชาการ PEC-9 ด้วยความอุตสาหะยังผลให้การประชุมวิชาการ PEC-9 ดำเนินการไปด้วยความสมบูรณ์และมีคุณภาพ นอกจากนี้แล้วความร่วมมือจากผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านยังก่อให้เกิดคุณภาพการทางวิชาการ อีกทั้งได้ร่วมสร้างบรรยากาศทางวิชาการ และเป็นการเผยแพร่ชื่อเสียงของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อีกด้วย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จึงใคร่ขอขอบพระคุณและประกาศเกียรติคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ดังรายนามต่อไปนี้ ไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ก. ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

1. รศ.ดร.สมเกียรติ	ปรัชญาวรากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ดร.เตือนใจ	สมบูรณ์วิวัฒน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ดร.ศุภกิตต์	โชติโก	คณะวิศวกรรมศาสตร์

2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1. รศ.ดร.อรรถกร	แก่งพล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ผศ.ดร.สมพร	สิริสำราญนุกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ผศ.ดร.สมศักดิ์	อรรคทิมากุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์

3. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

1. ผศ.ดร.วาทิต	ภักดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. ดร.จิรวรรณ	คล้อยภยันต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์

4. มหาวิทยาลัยมหิดล

1. รศ.ดร.ดวงพรรณ	ศฤงคารินทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2. รศ.ดร.จิตต์ลัดดา	ศักดิ์ภิญโญ	คณะวิทยาศาสตร์

5. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผศ.ดร.ประเสริฐ	เรียบร้อยเจริญ	คณะวิทยาศาสตร์
2. ดร.เกริก	ภิรมย์โสภา	คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ดร.ปวีณา	ชาวลิตวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์



6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- | | | |
|----------------|---------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.โมไนย | ไกรฤกษ์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.ดร.พิเชฐ | ม่วงนวล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

7. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- | | | |
|-------------------|---------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.พรเทพ | ขอขจายเกียรติ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.ดร.ชาญณรงค์ | สายแก้ว | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 3. ผศ.อนันต์ | เจ้าสกุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

8. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

- | | | |
|-----------------|-------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.สมบัติ | สินธุเชาวน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|-----------------|-------------|-------------------|

9. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- | | | |
|----------------|---------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.นิวิท | เจริญใจ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|----------------|---------|-------------------|

10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- | | | |
|-----------------|-------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.สุวิมล | อัจฉวานิชย์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|-----------------|-------------|-------------------|

11. มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

- | | | |
|---------------|--------|-------------------|
| 1. ผศ.สิริวิษ | ทัตสวน | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|---------------|--------|-------------------|

12. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

- | | | |
|---------------|---------|------------------------------------|
| 1. ผศ.วิจิตรา | เพชรกิจ | สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร |
|---------------|---------|------------------------------------|

13. มหาวิทยาลัยทักษิณ

- | | | |
|----------------|-------------|----------------|
| 1. ผศ.ดร.นุกูล | อินทระสังขา | คณะวิทยาศาสตร์ |
|----------------|-------------|----------------|

14. มหาวิทยาลัยรังสิต

- | | | |
|-------------|----------|-------------------|
| 1. ดร.พิษณุ | มนัสปิติ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|-------------|----------|-------------------|

ข. ผู้ทรงคุณวุฒิภายในมหาวิทยาลัย

1. คณะวิศวกรรมศาสตร์

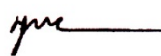
- | | | |
|-------------------|----------------|----------------------|
| 1. รศ.บุญเจริญ | วงศ์กิตติศึกษา | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า |
| 2. รศ.ดร.เกริกชัย | ทองหนู | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า |
| 3. ผศ.ดร.ณัฐธา | จินดาเพ็ชร | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า |

41. รศ.ดร.วรุฒ	วิสุทธิเมธางกูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
42. รศ.ดร.พฤษกร	สมิตไมตรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
43. ผศ.ดร.เจริญยุทธ	เดชายุกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
44. ผศ.ดร.ธีระยุทธ	หลิวจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
45. ดร.ฐานันตร์ศักดิ์	เทพญา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
46. ดร.กิตตินันท์	มลิวรรณ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
47. รศ.ดร.มิตรชัย	จงเขียวชำนาญ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
48. ผศ.ดร.ธเนศ	เคารพพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
49. ผศ.ดร.สุนทร	วิสุรพจน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
50. ผศ.ดร.พิชญา	ตันทัยย์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
51. ดร.นิคม	สุวรรณวร	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
52. ดร.แสงสุรีย์	วสุพงศ์อัยยะ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
53. ดร.อนันท์	ชกสุวิวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
54. ดร.สมชัย	หลิมศิริโรจน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
55. ดร.วชรินทร์	แก้วอภิชัย	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
56. ดร.อารีย์	ธีรภาพเสรี	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
57. อ.ฉัตรชัย	จันทร์พริ้ม	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
58. ดร.วัชรวัล	ตั้งคุปตานนท์	หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIT)

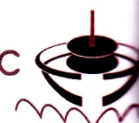
2. คณะวิทยาศาสตร์

1. ผศ.ดร.ภัทร	อัยรักษ์	ภาควิชาฟิสิกส์
2. ผศ.ดร.วิภาดา	เวทย์ประสิทธิ์	ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

ประกาศ ณ วันที่ 22 มีนาคม 2554



รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา
ประธานคณะอนุกรรมการวิชาการและการประชุม PEC-9



PEC9-091

**EXPERIMENT AND ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECT ON
CHARGE AND DISCHARGE OF LEAD-ACID BATTERY**Pornchai Pornharuthai¹ Boonyang Plangklang²^{1,2}Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Thanyaburi, Pathumthani 12110 Tel. 0-2549-3420 Fax. 0-2549-3422

E-mail: lava_pp10@hotmail.com, pboonyang@hotmail.com

Abstract

This article describes The Experiment and Analysis of Temperature effect on Charge and Discharge of Lead-Acid Battery. The study will investigate the characteristic of charge and discharge of a lead-acid battery by temperatures ranging from 25-60 degrees Celsius. The experiment is set up by using a standard battery charge-discharge system. The temperature controller is used for the battery heater. The temperature according to the experiment is controlled in the range of 25-60 °C. The charge-discharge current is controlled by a computer. The investigation is done from the obtained data to analyze and compare the relationship to various temperatures. The VRLA batteries version RT 12200 12V 20AH (20 Hr) is used for this study. The experiment, When charge the battery. Higher temperatures result in full charge the battery takes longer. Discharge the battery. Higher temperatures cause the battery to perform better. Time spent in the discharge, it takes a long time.

Key Words: Charge and Discharge, Temperature, Lead-Acid Battery

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9
2-3 พฤษภาคม 2554

การทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบบของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงต่อการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

Experiment and Analysis of Temperature effect on Charge and Discharge of Lead-Acid Battery

พรชัย พรหุทัย¹ บุญยัง ปลั่งกลาง²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี อำเภอรัตนบุรี ปทุมธานี 12110
โทร 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: lava_pp10@hoimail.com, pboonyang@hotmail.com

Pomchai Pornharuthai¹ Boonyang Plangklang²

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Thanyaburi, Pathumthani 12110 Tel. 0-2549-3420 Fax. 0-2549-3422 E-mail: lava_pp10@hoimail.com, pboonyang@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นบทความที่กล่าวถึงการทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส โดยนำแบตเตอรี่ไปต่อกับแหล่งจ่ายเพื่อทำการอัดประจุและคายประจุในหลายๆครั้ง จากนั้นใช้เครื่องทำความร้อน ปรับอุณหภูมิในห้องให้เป็นไปตามการทดสอบ คือตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส เก็บค่าแรงดัน กระแส โดยคอมพิวเตอร์ แสดงผลในรูปของกราฟของกระแส จากนั้นวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้รับเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแบตเตอรี่ต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ การทดสอบนี้จะทดสอบกับแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เมื่ออัดประจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้การอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็มใช้เวลานานขึ้น ส่วนการคายประจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น เวลาที่ใช้ในการคายประจุจึงใช้เวลานาน

คำสำคัญ: การอัดประจุและคายประจุ, อุณหภูมิ, แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

Abstract

This article describes The Experiment and Analysis of Temperature effect on Charge and Discharge of Lead-Acid Battery. The study will investigate the characteristic of charge and discharge of a lead-acid battery by temperatures ranging from 25-60 degrees Celsius. The experiment is set up by

using a standard battery charge-discharge system. The temperature controller is used for the battery heater. The temperature according to the experiment is controlled in the range of 25-60 °C. The charge-discharge current is controlled by a computer. The investigation is done from the obtained data to analyze and compare the relationship to various temperatures. The VRLA batteries version RT 12200 12V 20AH (20 Hr) is used for this study. The experiment, When charge the battery. Higher temperatures result in full charge the battery takes longer. Discharge the battery. Higher temperatures cause the battery to perform better. Time spent in the discharge, it takes a long time.

Keywords: Charge and Discharge, Temperature, Lead-Acid Battery

1. บทนำ

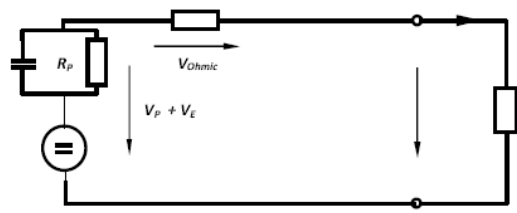
ในปัจจุบันการใช้พลังงานมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างมาก และรวดเร็วแต่ในขณะที่แหล่งกำเนิดของพลังงานมีอยู่อย่างจำกัด ต้องใช้ความรู้และเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาช่วยในการจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ แต่ในช่วงที่การผลิตไฟฟ้าเกินความต้องการนั้นก็ต้องมีการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสำรอง แบตเตอรี่จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนในปัจจุบันมีการผลิตและการใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้พลังงานและมีการนำไปใช้งานในสถานที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของแต่ละที่ซึ่งในการใช้งานแบตเตอรี่ใน

สถานที่ต่างๆจะต้องมีการบำรุงรักษาและใช้งานแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับสถานที่นั้นๆ

ดังนั้นอุณหภูมิในการใช้งานแบตเตอรี่จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาและวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่เพื่อศึกษาและทดสอบเกี่ยวกับการทำงานของแบตเตอรี่ที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ โดยวิเคราะห์ค่ากระแส แรงดัน และค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อมีการเก็บและคายประจุที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

2. แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) ด้วยเหตุผลนานาประการ ไม่ว่าจะเป็นราคาที่ถูกลงและหาซื้อได้ง่ายในทุกๆ ที่แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมาเรื่อยๆ เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน [2]



รูปที่ 1 วงจรสมมูลย์ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด [3]

3. การดำเนินการทดสอบ

ในส่วนต่างๆของกระบวนการทดสอบแบตเตอรี่จะใช้เครื่อง Microprocessor Test for Battery (MTB-Serie) ในการทดสอบการอัดประจุและการคายประจุของแบตเตอรี่ซึ่งสามารถใช้คำสั่งให้เครื่องทำงานได้ทั้งจากตัวเครื่องเองหรือให้เครื่องทำงานตามคำสั่งผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเก็บข้อมูลขณะทำการทดสอบโดยใช้ Data Logger เป็นตัวบันทึกข้อมูลและแสดงผลออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งเป็นการทดสอบการอัดประจุของแบตเตอรี่ (charge)และการทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่ (discharge) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส โดยการปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศาเซลเซียส สำหรับการปรับอุณหภูมิจะสามารถปรับได้โดยเครื่องปรับอุณหภูมิ (Temperture Controller) ที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 การทดสอบแบตเตอรี่และเก็บข้อมูล [5],[6],[7],[8]

จากข้อมูลที่ได้อาจการทดสอบและบันทึกผลก็จะนำค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบมารวบรวมเพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลผลถึงคุณสมบัติต่างๆทั้งกระแส แรงดันและค่าความจุของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุและคายประจุแล้วผลจากการวิเคราะห์หามาจะเป็นกราฟคุณลักษณะต่างๆทั้งกระแส แรงดันและค่าความจุของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุและคายประจุ

รูปที่ 3 โปรแกรมการตั้งค่าทดสอบการอัดและคายประจุด้วยเครื่อง MTB

ขั้นตอนการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

3.1 การทดสอบการอัดประจุ (Charge Test)

จะทดสอบการอัดประจุด้วยค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะกำหนดค่าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ ส่วนเวลาในการอัดประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ การทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้าและค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการอัดประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ สำหรับขั้นตอนการทดสอบจะมีดังนี้

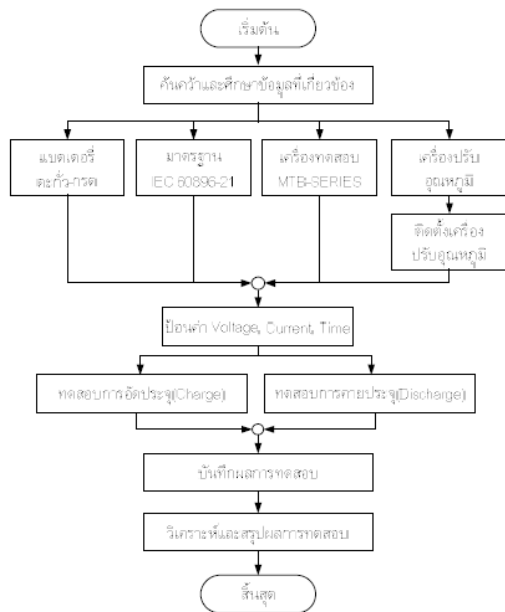
1. ต้องวงจรทดสอบโดยใช้สายต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่
2. กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามที่ผู้ผลิตแนะนำ
3. กำหนดเวลาในการอัดประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุ
4. กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มตั้งแต่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส

5. กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุก ๆ 1 นาที

3.2 การทดสอบการคายประจุ (Discharge Test)

การทดสอบการคายประจุจะทำการทดสอบต่อการคายประจุ โดยจะทดสอบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดสอบ โดยการกำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าคงที่จะกำหนดตามมาตรฐาน IEC 60896-21 ส่วนเวลาในการคายประจุจะกำหนดขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าและอัตราการคายประจุต่อเวลาที่ผู้ผลิตกำหนด การทดสอบนี้จะดูค่าแรงดันสุดท้าย กระแสไฟฟ้า และค่าความจุของแบตเตอรี่เมื่อการคายประจุเสร็จสิ้นเพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบสำหรับขั้นตอนการทดสอบจะมีดังนี้

1. ต้องจรถทดสอบโดยใช้สายต่อของเครื่องทดสอบต่อเข้ากับขั้วต่อของแบตเตอรี่
2. กำหนดค่าแรงดันสุดท้ายและกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC
3. กำหนดเวลาในการคายประจุขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าอัตราการคายประจุต่อเวลา
4. กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบโดยจะเริ่มตั้งแต่ 25 ถึง 60 องศาเซลเซียส
5. กำหนดเวลาในการบันทึกข้อมูล จะเก็บค่าทุก ๆ 1 นาที



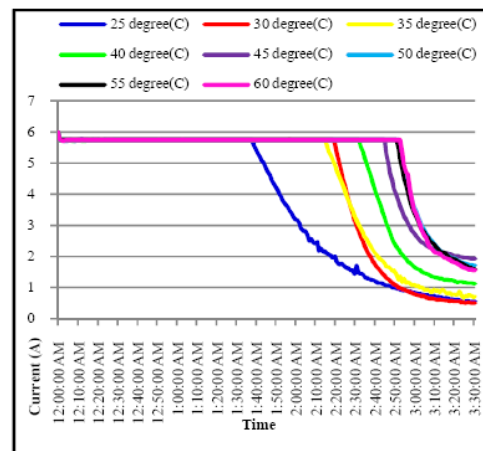
รูปที่ 4 สรุปขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบตเตอรี่

4. ผลการดำเนินการทดสอบ

ผลของความสัมพันธ์ของแบตเตอรี่ต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ ที่ได้ทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) 1 ลูก โดยจะนำเสนอในรูปแบบของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับอุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 25-60 องศาเซลเซียส ดังนี้

4.1 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20Hr) ทดสอบการอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้า 14.8 V กระแสไฟฟ้า 6 A และเวลาในการอัดประจุเท่ากับ 4 ชั่วโมง แสดงผลกราฟที่ได้ดังรูปที่ 5

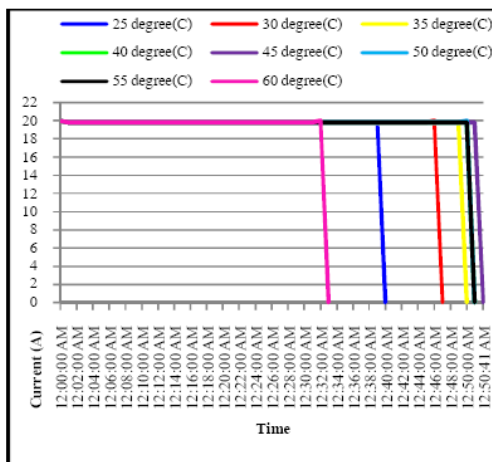


รูปที่ 5 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะอัดประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200

จากกราฟรูปที่ 5 พบว่า เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระแสที่ใช้อัดประจุก็จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนเป็นศูนย์โดยอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส การอัดประจุจนเต็มใช้เวลาประมาณเกือบ 3 ชั่วโมง ดังนั้นการอัดประจุโดยการป้อนกระแสคงที่ อุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่เต็มเร็วที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4.2 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ

แบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) ทดสอบการคายประจุที่อัตราการคายประจุต่อเวลาเป็นชั่วโมง (C rate) เท่ากับ C₁ แรงดันไฟฟ้า 9.6 V กระแสไฟฟ้า 20 A และเวลาในการคายประจุเท่ากับ 1.5 ชั่วโมง แสดงผลกราฟที่ได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะคายประจุแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200

จากกราฟรูปที่ 6 พบว่า การคายประจุที่กระแสดังที่เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จากนั้นเวลาที่ใช้ในการคายประจุจะลดลงเรื่อยๆตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส การคายประจุทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 40 นาที และเวลาจะนานขึ้นเรื่อยๆตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนกระทั่ง ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส การคายประจุทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 50 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิที่สูง 45 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้คายประจุลดลง ซึ่งอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส การคายประจุทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 32 นาที ดังนั้นอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้ดีที่สุดคืออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส

5. สรุปผลการดำเนินการทดสอบ

จากการทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ VRLA รุ่น RT 12200 12V 20AH (20 Hr) จากกราฟพบว่า ในการทดสอบอัดประจุให้แบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการอัดประจุจนเต็ม เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น หลังจากนั้นกระแสที่ใช้อัดประจุก็จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนเป็นศูนย์เนื่องจากในขณะอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการคายประจุด้วยตัวเองของแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเป็นสองเท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจึงนานขึ้น ดังนั้นการอัดประจุโดยการป้อนกระแสคงที่ อุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่เต็มเร็วที่สุดคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ส่วนในการทดสอบการคายประจุที่กระแสดังที่เวลาที่ใช้ในการคายประจุจะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนถึงที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากในขณะอุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาเคมีภายในแบตเตอรี่ก็จะเกิดเร็วขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น การคายประจุจึงใช้เวลานาน แต่หลังจากอุณหภูมิที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียสขึ้นไป ความร้อนที่มากเกินไปมีผลให้แบตเตอรี่เสื่อมประสิทธิภาพเร็ว เป็นผลให้การคายประจุของแบตเตอรี่เร็วขึ้น ดังนั้นระดับอุณหภูมิที่ทำให้แบตเตอรี่คายประจุได้ดีที่สุดคืออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส

จึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยในการอัดประจุ เวลาที่ใช้ในการอัดประจุจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่วนการคายประจุ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้ดีขึ้น การคายประจุจึงใช้เวลานาน

เอกสารอ้างอิง

ปริญญาานิพนธ์ภาษาไทย

- [1] อนันต์ ชีระเสถียร, สมชาติ ผาปกาล "การทดสอบและศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด" ปริญญาานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ.2553

วารสารภาษาไทย

- [2] หลักสูตรการอบรมเทคนิคการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้สอน ผู้เรียน นักเรียนและนักศึกษา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาานิพนธ์ภาษาไทย

- [3] ชัชวาล คงสมบูรณ์ "การศึกษาพฤติกรรมของแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับพลังงานทดแทน" ปริญญาานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี พ.ศ.2551

English Data

- [4] R. Jones "Charge control option for valve regulated lead acid batteries" TDI POWER August 17, 2004

ข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

- [5] <http://www.tradepar.co.uk/> รูปภาพเครื่อง MTB
- [6] <http://www.ritarpower.com/> รูปภาพแบตเตอรี่
- [7] <http://www.brandexdirectory.com/> รูปภาพเครื่องปรับอุณหภูมิ
- [8] <http://www.rmutphysics.com/> รูปภาพคอมพิวเตอร์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายพรชัย พรฤทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด	5 กรกฎาคม 2529
ที่อยู่	48 หมู่ 5 ตำบลลำไทร อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12150
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี พ.ศ. 2551

