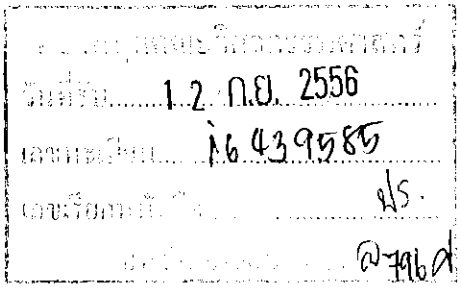
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
3 1001 00382401 9

ศึกษาการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

STUDY OF CHARGE AND DISCHARGE LEAD – ACID BATTERY

นายอุดมศักดิ์ วังคีรี รหัส 51361902

นายดุสิต วิสิฐสกนธ์ รหัส 51362992



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ศึกษาการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายอุดมศักดิ์	วังคีรี	รหัส 51361902
	นายคุสิต	วิสิฐสกนธ์	รหัส 51362992
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2554		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

.....กรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ
(ดร.มุฑิตา สงฆ์จันทร์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ศึกษาการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายอุดมศักดิ์ วังคีรี รหัส 51361902
	นายดุสิต วิสิฐสกนธ์ รหัส 51362992
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จัดทำเพื่อศึกษาอัดประจุและการคายประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด BV 130Z ที่ใช้ในรถไฟฟ้าต้นแบบคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการทดสอบการอัดประจุมีเครื่องชาร์ต 2 เครื่อง คือเครื่องชาร์ตที่ใช้สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟสและเครื่องชาร์ตสำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส พบว่าระบบไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ หรือไฟบ้านทั่วไปก็สามารถใช้อัดประจุให้กับแบตเตอรี่รถไฟฟ้าได้แต่จะใช้เวลานาน สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟสได้ทำการทดลองโดยการกำหนดกระแสในการอัดประจุให้คงที่ตลอดการอัดประจุโดยค่ากระแสที่กำหนดไว้คือ 25 แอมแปร์ 20 แอมแปร์ 15 แอมแปร์ และ 10 แอมแปร์ เพื่อดูว่าแบบไหนเหมาะสมที่สุดจาการทดลองพบว่าค่ากระแสที่ 15 แอมแปร์-20 แอมแปร์ เหมาะสมที่สุดโดยค่ากระแสที่ใช้ดูจากมิเตอร์วัดกระแสที่อยู่กับเครื่องชาร์ต ส่วนการทดสอบการคายประจุทำการคายประจุ 2 แบบคือคายประจุโดยการต่อหลอดไฟกับการคายประจุโดยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้พบว่าการคายประจุทั้งสองแบบมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันดูจากกราฟผลการทดลองคือค่าความถ่วงจำเพาะกับแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงเมื่อทำการคายประจุการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถทิ้งไว้จะใช้เวลานานเนื่องจากไม่ได้ขับเคลื่อนรถทำให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสน้อย

Project title	Study of Charge and Discharge Lead-Acid Battery		
Name	Mr.Udomsak	Wangkeeree	ID.51361902
	Mr.Dusit	Wisitsakon	ID.51362992
Project advisor	Dr.Akaraphunt	Vongkunghae	
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2011		

Abstract

This project has been accomplished for the study of charge and discharge of lead-acid battery BV 130Z which is used for electric bus prototype in the Faculty of Engineering, Naresuan University. For the charging test, there were two chargers which are a single-phase 220Vac electrical system and an SSR-control three-phase 380Vac electrical system. The experiment shows that the single-phase 220Vac system can be used for charging the electric bus but it will take a long time for changing. For the SSR-control three-phase 380Vac electrical system, the experiment is set with constant current charging by setting current 25A, 20A, 15A, and 10A to determine appropriate current. The results are that the current 15A to 20A is suitable. In addition, the experiment of discharging is undertaken done with two types of discharging by light bulbs and by electric bus engine, both types of discharging are similar. The specific gravity value and the voltage of battery are decreasing with discharging time.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนโครงงานขอขอบพระคุณอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัครพันธ์ วงศ์กังแห ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษาพร้อมทั้งได้คอยชี้แนะแนวทางตลอดการทำโครงงาน และขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่าง ๆ อันมีประโยชน์ต่อการดำเนินโครงงานอย่างยิ่ง จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์

นอกจากนี้คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้เขียนโครงงาน ทางผู้เขียนโครงงานใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาอย่างหาที่เปรียบมิได้ที่ให้ความรัก ความหวังดี กำลังใจ และคอยสนับสนุนในทุก ๆ ด้านตลอดมา

นายอุดมศักดิ์ วังคีรี

นายดุสิต วิสิฐสกนธ์

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 แผนการดำเนินงาน 2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 4
2.1.1 วัสดุทำปฏิกิริยา (Active Material) 5
2.1.2 โครงแผ่นธาตุ (Support Grids) 5
2.1.3 แผ่นกั้น (Separator) 5
2.1.4 สารละลายอิเล็กโทรไลท์ (Electrolyte) 5
2.1.5 หม้อแบตเตอรี่ (Container) 6
2.2 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด 6
2.2.1 แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition: SLI) 6
2.2.2 แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery) 7
2.2.3 แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery) 7

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่ 7
2.3.1 นิยามและความหมาย 7
2.3.2 คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบตเตอรี่ 10
2.3.3 คุณสมบัติในสภาวะการคายประจุแบตเตอรี่ 10
2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 11
2.5 การประจุและจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ 12
2.5.1 สภาวะอัดไฟทรงตัวของแบตเตอรี่ (Float Charge) 12
2.5.2 สภาวะแบตเตอรี่จ่ายพลังงาน (Discharge) 12
2.5.3 สภาวะเริ่มอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ใหม่ (Charge) 13
2.5.4 สภาวะอัดประจุปรับเท่าของแบตเตอรี่ (Equalization Charge) 13
2.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าความจุของแบตเตอรี่ 14
2.6 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่ 15
2.7 ความสำพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิและแรงดันขณะวงจรเปิด 15
2.8 การตรวจวัดประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่ 16
2.8.1 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ (แบตเตอรี่แบบน้ำเท่านั้น) 16
2.8.2 วิธีการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายภายในแบตเตอรี่ 17
2.8.3 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 17
2.9 ข้อความระวังเกี่ยวกับแบตเตอรี่ 18

บทที่ 3 ออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลอง 19
3.1 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 19
3.1.1 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยไฟ 1 เฟส 20
3.1.2 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยไฟ 3 เฟส 23
3.2 การทดลองการคายประจุแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 27
3.2.1 ทดสอบการคายประจุของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าโดยใช้โหลดภายนอก 27
3.2.2 ทดสอบการคายประจุรถไฟฟ้าด้วยการติดเครื่องทิ้งไว้ 29

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 30

4.1 ผลการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยไฟ 1 เฟส 30

4.2 ผลการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยไฟ 3 เฟส 36

4.2.1 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 25 แอมแปร์ 37

4.2.2 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์ 39

4.2.3 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์ 41

4.2.4 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์ 44

4.2.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบการอัดประจุด้วยกระแสต่างๆ 48

4.3 ผลการคายประจุแบตเตอรี่ 50

4.3.1 ผลการคายประจุด้วยการนำหลอดไฟมาต่อกับแบตเตอรี่ 50

4.3.2 ผลการคายประจุด้วยการติดเครื่องทิ้งไว้ 55

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง 64

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 65

5.1 สรุปผลการทดลอง 65

5.2 ข้อเสนอแนะ 65

เอกสารอ้างอิง 67

ภาคผนวก ก รายละเอียดของ Agilent InfiniiVision 300 X-Series Oscilloscopes 68

ภาคผนวก ข รายละเอียดของ Agilent 34401A Multimeter 76

ภาคผนวก ค รายละเอียดของ Agilent 1147A 50 MHz Current Probe 79

ภาคผนวก ง รายละเอียดของ Agilent N2791A 25 MHz High Voltage Differential Probes 83

ภาคผนวก จ รายละเอียดของ Agilent U1273A/U1273AX Handheld Digital Multimeter 87

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 91

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองขณะทำการอัดประจุ 30

4.2 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 25 แอมแปร์ 37

4.3 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์ 39

4.4 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์ 41

4.5 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์ 44

4.6 ตารางบันทึกผลการคายประจุด้วยหลอดไฟ.....50

4.7 ตารางบันทึกผลการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้.....55

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 4
2.2 ปฏิกิริยาขณะคายประจุและประจุของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 11
2.3 สภาวะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด 12
2.4 ความสามารถในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด 14
2.5 ไฮโดรมิเตอร์ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของสารละลาย 16
2.6 การดูดสารละลายภายในแบตเตอรี่ 16
2.7 การอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ 16
3.1 ตำแหน่งของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าต้นแบบคณะวิศวกรรมศาสตร์ 19
3.2 จุดต่อไฟ 3 เฟส สายเฟสคือ สีแดง สีดำ สีน้ำเงิน ส่วนสีเทาคือสายนิวทรอน 20
3.3 เครื่องชาร์จไฟแบตเตอรี่สำหรับการชาร์จไฟแบบ 1 เฟส 20
3.4 จุดเชื่อมต่อเครื่องชาร์จเข้ากับแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ต้องปิดเบรกเกอร์ก่อนการชาร์จทุกครั้ง 21
3.5 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าขณะทำการอัดประจุไฟ 1 เฟส 22
3.6 ด้านหน้าเครื่องชาร์จ 23
3.7 ด้านหลังเครื่องชาร์จ 24
3.8 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิไว้กับแบตเตอรี่ 25
3.9 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดอุณหภูมิภายนอก 25
3.10 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าขณะทำการอัดประจุแบบไฟ 3 เฟส 26
3.11 เครื่องชาร์จและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดขณะทำการชาร์จ 27
3.12 โหลดที่ใช้ในการคายประจุเป็นหลอดไฟ 200 วัตต์ อนุกรมกัน 2 หลอดแล้วนำมาขนานกัน 28
3.13 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าสำหรับการคายประจุโดยใช้โหลดภายนอก 28
3.14 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าขณะทำการคายประจุโดยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ 29
4.1 กราฟแสดงแรงดันต่างๆขณะทำการอัดประจุ 35
4.2 กราฟแสดงค่ากระแสกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุ 35
4.3 กราฟอุณหภูมิขณะทำการอัดประจุ 36
4.4 กราฟแรงดัน VmaxVmin และค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 25 แอมแปร์ 38
4.5 กราฟอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแส 25แอมแปร์ 38
4.6 กราฟแรงดัน VmaxVmin และค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์ 40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 กราฟอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแส 20 แอมแปร์..41
4.8 กราฟแรงดัน VmaxVmin และค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วย กระแสคงที่ 15 แอมแปร์ 43
4.9 กราฟแสดงอุณหภูมิขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์ 44
4.10 กราฟแรงดัน VmaxVmin และค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วย กระแสคงที่ 10 แอมแปร์ 47
4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์ 47
4.12 กราฟแสดงแรงดัน Vmax ที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสต่างกัน 48
4.13 กราฟแสดงแรงดัน Vmin ที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสต่างกัน 48
4.14 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสที่ต่างกัน 49
4.15 กราฟแสดงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสที่ต่างกัน 50
4.16 กราฟแสดงแรงดันกับค่าความถ่วงจำเพาะขณะทำการคายประจุด้วยหลอดไฟ....54
4.17 กราฟแสดงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการคายประจุด้วยหลอดไฟ....55
4.18 กราฟแสดงแรงดันกับค่าความถ่วงจำเพาะขณะทำการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถทิ้งไว้...63
4.19 กราฟแสดงอุณหภูมิขณะทำการคายประจุโดยการติดเครื่องรถทิ้งไว้....63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากทางคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรได้จัดทำรถไฟฟ้าต้นแบบเพื่อใช้รับส่งนิสิตนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งพลังงานหลักที่ใช้คือแบตเตอรี่ตะกั่วกรดขนาด12 โวลต์ นำมาต่ออนุกรมกัน 24 ลูกเพื่อให้ได้แรงดันที่สูงตามต้องการจึงได้ทำการศึกษาสมรรถนะของแบตเตอรี่โดยการบันทึกค่าความถ่วงจำเพาะ อุณหภูมิ แรงดัน ของแบตเตอรี่ขณะทำการประจุการค่ายประจุและเมื่อมีการใช้งานรถไฟฟ้าเพื่อนำค่ามาวิเคราะห์ ซึ่งทำให้สามารถบอกข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่และสามารถรู้ถึงอาการผิดปกติของแบตเตอรี่ เพื่อการบำรุงรักษาอย่างถูกต้องทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ยาวนาน และคุ้มค่ามากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

1.2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์แบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าต้นแบบขณะทำการอัดประจุ

1.2.3 เพื่อศึกษาวิเคราะห์แบตเตอรี่ของรถไฟฟ้าต้นแบบขณะทำการคายประจุ

1.2.4 เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าความถ่วงจำเพาะกับแรงดันขณะทำการอัดประจุและคายประจุได้

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและคุณลักษณะของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

1.3.2 ทำการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ได้

1.3.3 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับแรงดันของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ทำการศึกษาค้นคว้าการทำงานของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

1.4.2 ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับแรงดันของแบตเตอรี่

1.4.3 ทำการอัดประจุแบตเตอรี่พร้อมทั้งบันทึกค่า

1.4.4 ทำการคายประจุแบตเตอรี่พร้อมทั้งบันทึกค่า

1.4.5 รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผล

1.5 แผนการดำเนินงาน

การปฏิบัติงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน					
	ปี 2556					
	ม.ค	ก.พ	มี.ค.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ศึกษาข้อมูลและการทำงานของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด	■					
2. วัดค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายภายในแบตเตอรี่		■	■			
3. ทำการประจุไฟและคายประจุพร้อมบันทึกค่า			■	■		
4. ทำการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลแบตเตอรี่				■		
5. สรุปผลการทดลอง					■	
6. จัดทำรูปเล่มรายงาน						■

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

1.6.2 สามารถวิเคราะห์ การอัดประจุและการคายประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดของรถไฟฟ้าได้

1.6.3 สามารถทำการวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะของสารละลายภายในแบตเตอรี่ที่มีผลต่อแรงดันของแบตเตอรี่ขณะอัดประจุและคายประจุได้

1.6.4 สามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานที่นานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1.7.1 ค่าเอกสาร	500 บาท
1.7.2 ค่าจัดทำรูปเล่ม	1500 บาท
รวมเงินทั้งสิ้น	2000 บาท (สองพันบาทถ้วน)

(ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็นค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการจัดทำเล่มจนเสร็จสมบูรณ์)

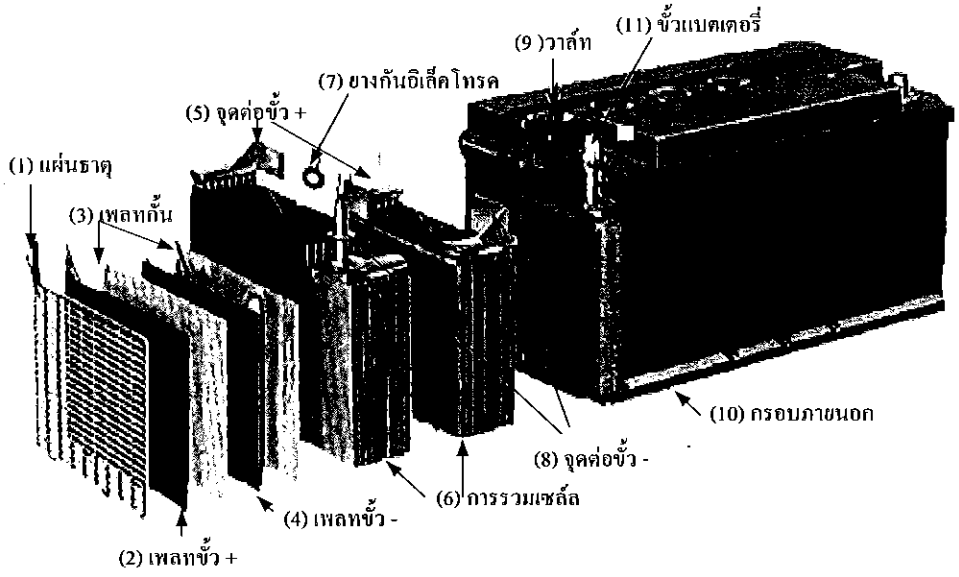
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในการใช้งานแบตเตอรี่สำหรับงานที่ต้องการแรงดันไฟฟ้าสูงๆนั้นจะต้องนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมกันเมื่อมีการใช้งานจะเกิดความแตกต่างของแรงดันระหว่างตัวแบตเตอรี่เนื่องจากคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกันการอัดประจุแบบปกติจะทำให้เกิดการอัดประจุแบบเกินและเมื่อใช้งานอาจจะเกิดการคายประจุแบบลึกขึ้นซึ่งไม่เป็นผลดีต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่จึงมีการศึกษาหลักการการทำงานของแบตเตอรี่และทดลองอัดประจุเพื่อหาความเหมาะสมในการอัดประจุ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด[1]

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญภายในประกอบไปด้วยแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวก และลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟุริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโตรไลต์เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโตรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมายเมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโตรไลต์แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เองและไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ภายในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้



รูปที่ 2.1 โครสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดวัสดุภายในที่นำมาทำอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทงานที่นำไปใช้งาน และการออกแบบของผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกัน ดังนี้

2.1.1 วัสดุทำปฏิกิริยา (Active Material)

ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักดิ์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น แผ่นธาตุบวกจะเป็น PbO_2 ผงตะกั่วออกไซด์มีสีน้ำตาลฉาบอยู่ในโครงแผ่นธาตุ ในขณะที่ขั้วลบจะเป็น Pb ผงตะกั่วมีสีเทาฉาบบนโครงแผ่นธาตุเช่นกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโตรไลท์กับวัสดุทำปฏิกิริยา

2.1.2 โครงแผ่นธาตุ (Support Grids)

โครงแผ่นธาตุ จะทำจากตะกั่วผสมอาจเป็น พลวง (Antimony) ดีบุก (Tin) บิสมัท (Bismuth) แคลเซียม (Calcium) ซิลิเนียม (Selenium) ซึ่งตะกั่ว-พลวงเป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดแรกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของตะกั่ว แต่ทำให้เกิดผลเสียคือเพิ่มความต้านทานในเซลล์ทำให้เกิดการคายประจุในตัวเองเร็วขึ้น และอายุการใช้งานสั้น ในระหว่างการประจุใหม่จะทำให้เกิดการก่อตัวของแก๊สพิษ SbH_3 จากการค้นคว้าทำให้เราทราบว่า ตะกั่ว-แคลเซียม มีข้อได้เปรียบมากกว่าตะกั่ว-พลวง ในกรณีแผ่นธาตุชนิดพลวงจะเจือซิลิเนียมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล เช่นกัน

2.1.3 แผ่นกั้น (Separator)

แผ่นกั้น มีหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็คโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นนั้น จะต้องมีความต้านทานการไหลของอิออนในสารละลายต่ำ นั่นก็หมายถึงต้องมีความพรุนให้อิออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบด้วย ในช่วงแรกนั้นแผ่นกั้นจะทำจากวัสดุจำพวกไม้โดยนำยางไม้ออกก่อน ต่อมาก็ใช้ยางตามธรรมชาติอบซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์ที่เป็นรูพรุนอันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตจำพวกโพลิไวนิลคลอไลด์หรือโพลิเอทิลีน แต่แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่นแบตเตอรี่รถยนต์การใช้แผ่นกั้นที่เป็นกระดาษจะคุ้มทุนกว่า

2.1.4 สารละลายอิเล็กโทรไลท์ (Electrolyte)

สารละลายอิเล็กโตรไลท์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นกรดซัลฟูริกซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.210 – 1.300 แต่จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศ ถ้าใช้สารละลายที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น การคายประจุในตัวเองและการผุกร่อนของแผ่นธาตุ แต่จะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศเขตหนาว

เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดต่ำลง ปกติถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กระแสสูงได้แก่ แบตเตอรี่รถยนต์จะใช้กรดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงไม่ว่าจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงหรือต่ำ แต่ปริมาณอิออนที่อยู่ในสารละลายก็ต้องเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในสารละลายนอกจากจะมีกรดซัลฟูริกแล้วมีสารอื่นที่เจือปนอยู่ด้วยเช่น แมงกานีส เหล็ก สารหนู คลอไรด์ ไนโตรเจนออกไซด์ โดยที่มีปริมาณมากน้อยจะขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำกรด ถ้าเป็นน้ำกรดเกรดเอ จะมีสารเจือปนไม่ควรเกิน 0.03665 เปอร์เซ็นต์

2.1.5 หม้อแบตเตอรี่ (Container)

หม้อแบตเตอรี่มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องจากไม้ แก้ว เซรามิก พลาสติก ซึ่งปัจจุบันนิยมทำมาจากพลาสติกจำพวก PVC หรือไม่ก็โพลิเอทิลีน และแบ่งออกเป็นช่องๆ ขึ้นกับการออกแบบโดยกำหนดให้หนึ่งช่องเซลล์มีความต่างศักดิ์ประมาณ 2 โวลต์ และต่ออนุกรมกันในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยกหรือรถยนต์จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถังต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายต่างกัน

2.2 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกันโดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆคือ

2.2.1 แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI)

เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่แบตเตอรี่ชนิดนี้มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบลักษณะการออกแบบแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยาการที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆในช่วงเวลาสั้นๆได้ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (Deep Cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ก็ยังมีการนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนาที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียวถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิด (Shallow Cycle) มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อาจใช้งานได้ถึงสองปีกับระบบอิสระขนาดเล็ก

2.2.2 แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมากส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้ารถยกไฟฟ้ารถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟแบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่าวัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆจะใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีเพื่อให้สามารถคายประจุได้มากแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีและมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวางเนื่องจากความสามารถในการเก็บประจุได้มากอายุการใช้งานนานและออกแบบมาให้มีความทนทาน

2.2.3 แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ระบบโทรศัพท์และระบบไฟฟ้าอื่นๆแบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้าและจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก

2.3 คุณสมบัติเชิงสมรรถนะของแบตเตอรี่[2]

2.3.1 นิยามและความหมาย

ก) แอมแปร์-ชั่วโมง (AH)

เป็นหน่วยพื้นฐานในการวัดความจุของแบตเตอรี่โดยใช้วิธีการคายประจุด้วยกระแสคงที่แล้วจับเวลาเป็นชั่วโมงจนใกล้จะคายประจุหมดความจุแอมแปร์ชั่วโมงได้จากการนำค่ากระแสคูณกับเวลาเป็นชั่วโมงตัวอย่างเช่นแบตเตอรี่ความจุ 80 แอมแปร์-ชั่วโมงหมายความว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นสามารถจ่ายไฟกระแสตรงคงที่ 8 แอมแปร์ได้นาน 10 ชั่วโมงหรือ 4 แอมแปร์ได้นาน 20 ชั่วโมง

ข) ความจุ (Capacity)

ในทางปฏิบัติ การวัดความจุของแบตเตอรี่ยังขึ้นกับขนาดของกระแสที่คายประจุหรือความเร็วในการใช้งานแบตเตอรี่ถ้ากระแสที่คายประจุเพิ่มขึ้นความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้จริงจะลดลงในการกำหนดคุณลักษณะการลดลงของความจุแบตเตอรี่แบบนี้จะมีการเขียนกำกับความจุของแบตเตอรี่ด้วยอัตราส่วนของความจุต่อเวลาสาเหตุที่เมื่อแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสต่ำมีความจุมากกว่าแบตเตอรี่คายประจุด้วยกระแสสูงเนื่องจากมีเวลาที่สารละลายอิเล็กโตรไลท์จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพลทลึกได้มากกว่าทำให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้นพลังงานไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากตามไปด้วยแต่การซึมของสารละลายเข้าไปในเพลทยิ่งลึกจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงดังนั้น

อัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งานดังนั้นอัตราการคายประจุจึงมีความสำคัญต่อทั้งความจุของแบตเตอรี่และอายุการใช้งาน แบตเตอรี่บางชนิดวัดความจุเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างความจุแอมแปร์ชั่วโมงและแรงดันปกติของแบตเตอรี่และหารด้วย 1000 เช่นแบตเตอรี่12 โวลต์ 100 แอมแปร์-ชั่วโมงมีความจุเท่ากับ 12 x (100/1000) = 1.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นต้น

ค) แรงดันคัทออฟ (Cut off voltage)

เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบบแบตเตอรี่ยอมให้มีได้ขณะคายประจุถ้าต่ำกว่านี้จะมีการเสียหายถาวรไม่สามารถเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ต่อไปได้โดยค่านี้จะกำหนดเฉพาะเจาะจงที่อัตราการคายประจุต่างๆกันบริษัทผู้ผลิตจะเป็นผู้กำหนดแรงดันต่ำสุดหรือแรงดันสุดท้ายของการคายประจุคู่กับอัตราการอัดประจุ

ง) รอบการใช้งาน (Cycle)

เมื่อประจุแบตเตอรี่จนเต็มนำไปใช้งานแล้วนำกลับมาประจุใหม่จนเต็มอีกครั้งหนึ่งเรียกรอบการใช้งานในการใช้งานมีรอบการใช้งานสองลักษณะคืองานที่มีการคายประจุน้อยและงานที่มีการคายประจุมากการจะใช้งานแบตเตอรี่แบบไหนนั้นขึ้นกับลักษณะของเซลล์และส่วนใหญ่จะไม่คายประจุจนหมดในการใช้งานที่มีการคายประจุมากที่ มีการคายประจุมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ต่อรอบการใช้งานขึ้นไป

จ) การคายประจุ (Discharge)

คือกระบวนการที่แบตเตอรี่คายประจุไฟฟ้าออกมากำหนดในรูปของกระแสการคายประจุหรืออัตราการคายประจุสำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดคือปฏิกิริยาที่ตะกั่ว ตะกั่วไดอ๊อกไซด์และกรดซัลฟุริกเปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟสและน้ำ

ฉ) การประจุ (Charge)

คือกระบวนการที่แบตเตอรี่ประจุไฟฟ้ากำหนดในรูปของกระแสประจุหรืออัตราการประจุสำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดคือปฏิกิริยาที่ตะกั่วซัลเฟสและน้ำเปลี่ยนเป็นตะกั่วตะกั่วไดอ๊อกไซด์และกรดซัลฟุริก

ช) อัตราการอัดประจุ และคายประจุ (Rate of Charge/Discharge)

คืออัตราส่วนของความจุต่อเวลาเป็นชั่วโมงเช่นแบตเตอรี่ขนาดความจุ 30 แอมแปร์-ชั่วโมง ที่ C/10 หรือ C10 หมายถึงแบตเตอรี่สามารถคายประจุ 3 แอมแปร์ในเวลา 10 ชั่วโมง (C/10 หรือ C10

หมายถึงขนาดของกระแสที่คายประจุในที่นี้คือ 30/10 = 3 แอมแปร์) ในแบตเตอรี่ลูกเดียวกันเมื่อเปลี่ยนเป็น C/5 ความจุจะลดลง

ซ) แรงดันขณะเปิดวงจร (Open circuit voltage)

คือแรงดันที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาวะสมดุลไม่มีการประจุหรือไม่มีการคายประจุแรงดันนี้จะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ความถ่วงจำเพาะและอุณหภูมิ

ฌ) ผลกระทบของอุณหภูมิ (Temperature Effects)

สำหรับแบตเตอรี่ที่เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิห้อง หรือเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าซึ่งเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงเป็นสองเท่าเช่นกันและนอกจากนั้นอุณหภูมิสูงยังมีผลในการเร่งการสึกหรอของเพลทบวกเนื่องมาจากผลของการเกิดก๊าซและการสูญเสียน้ำส่วนอุณหภูมิต่ำอาจจะมีผลทำให้อายุการใช้งานนานขึ้นแต่อย่างไรก็ตามทำให้ความจุลดลงในแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

ญ) ผลกระทบของอัตราการคายประจุ (Effects of Discharge Rates)

ความจุเต็มของแบตเตอรี่จะลดลงเมื่อมีการคายประจุซึ่งการคายประจุสูงจะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าขณะวงจรเปิด (OCV) ทำให้แรงดันนี้มีค่าต่ำลงและอาจจะส่งผลถึงการเลือกจุดแรงดันต่ำสุด (cut off voltage) ของแบตเตอรี่

ฎ) การเกิดก๊าซและปฏิกิริยาเมื่อมีการประจุเกิน

การเกิดก๊าซและปฏิกิริยาเมื่อมีการประจุเกิน เซลล์ของแบตเตอรี่เมื่อได้รับการประจุเต็ม วัสดุทำปฏิกิริยาในอิเล็กโทรด เปลี่ยนรูปจากสภาวะการคายประจุเป็นสภาวะการประจุเต็มทั้งหมด ถ้ายังทำการประจุต่อไป จะเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นขึ้นแทนที่อิเล็กโทรด ปฏิกิริยาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยาแยกน้ำทำให้เกิดก๊าซ เรียกการเกิดก๊าซเนื่องจากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรด โดยฟองออกซิเจนจะเกิดที่ผิวเพลทขั้วบวกและไฮโดรเจนเกิดที่ผิวเพลทขั้วลบการเกิดก๊าซแบบช้าๆ ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ แต่การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแบบช้าๆ กลับทำให้เกิดประโยชน์เนื่องจากฟองก๊าซจะทำให้เกิดการผสมกันของสารละลายอิเล็กโตรไลท์ไม่ให้เกิดการแยกชั้นความเข้มข้น (Stratification) ถ้ายังมีการเกิดแก๊สอย่างต่อเนื่อง สารละลายอิเล็กโตรไลท์จะมีความเข้มข้นสูงขึ้นและระดับของสารละลายจะลดลง ดังนั้นต้องเติมน้ำกลั่นลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายลดลงต่ำกว่าตำแหน่งต่ำสุด ยังมีปฏิกิริยาเคมีอื่นๆที่เกิดช่วงสภาวะการประจุเกินคือการแยกตัวของโครงสร้างอิเล็กโทรด ปฏิกิริยานี้สร้างความเสียหายรุนแรงมากกว่าการเกิดก๊าซ เพราะวัสดุที่แยกตัว

ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ดังนั้นในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด จึงมีความต้องการระบบควบคุมการประจุ เพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดขึ้น

2.3.2 คุณสมบัติในสภาวะการประจุแบตเตอรี่

วิธีการและขั้นตอนการประจุแบตเตอรี่มีหลายลักษณะวิธีการประจุแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิธีการที่กำหนดมาโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่การประจุแบบต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

ก) Bulk or Normal Charge เป็นการประจุแบบปกติในช่วงเริ่มต้นของรอบการประจุ โดยสามารถทำการประจุได้ที่อัตราต่างๆ กัน ที่ทำให้แรงดันของแบตเตอรี่ยังไม่ถึงแรงดันก๊าซซึ่ง การประจุแบบนี้ จะทำให้ความจุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ ของความจุทั้งหมด

ข) Float or Finishing Charge เมื่อทำการประจุแบตเตอรี่จนใกล้จะเต็มวัสดุทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปแบบเริ่มต้น หลังจาก นั้น ต้องมีการควบคุมอาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันที่จะทำการประจุต่อไปเพื่อป้องกันไม่ให้มีการประจุเกินเข้าแบตเตอรี่ การประจุแบบนี้มักทำที่อัตราการประจุต่ำถึงกลาง

ค) Equalizing Charge บางครั้งเรียก Refreshing Charge เป็นการประจุด้วยกระแสคงที่ ที่แรงดันสูง เพื่อให้เซลล์แต่ละเซลล์ได้รับการประจุเท่าเทียมกัน ในขณะที่ทำการประจุแบบนี้ เซลล์ที่มีสภาวะการประจุเต็มแล้วจะเกิดก๊าซ ในขณะที่เซลล์ที่ยังไม่เต็มจะได้รับการประจุให้เต็มการประจุแบบนี้ทำเพื่อบำรุงรักษาระบบเป็นช่วงเวลาที่แน่นอน สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้งานรายวันที่มีการคายประจุมาก ควรทำการประจุแบบ Equalizing Charge 1-2 สัปดาห์ต่อครั้ง

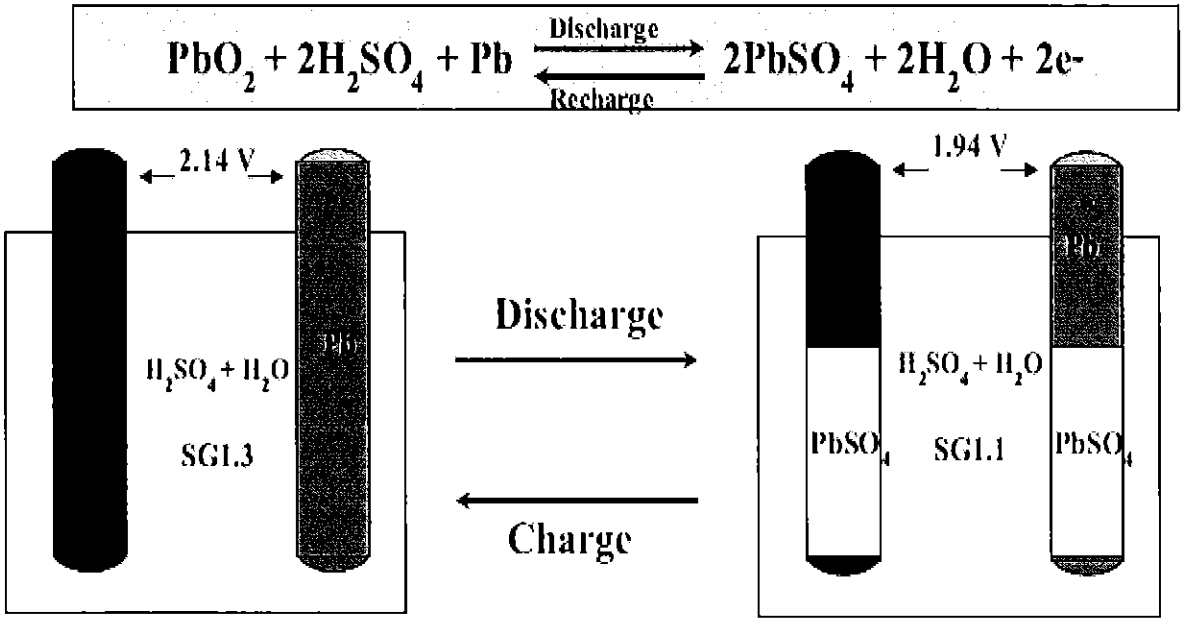
2.3.3 คุณสมบัติในสภาวะการคายประจุแบตเตอรี่

ก) ความลึกของการคายประจุ (Depth of Discharge : DOD) คือเปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไป หรือคายประจุออกไป เปรียบเทียบกับความจุทั้งหมด

ข) Stage of Charge (SOC) สถานะของแบตเตอรี่ เป็นค่าที่บอกความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละเวลาที่ใช้งาน มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างความจุของแบตเตอรี่ในขณะนั้นต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม เช่น แบตเตอรี่มี SOC 100 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่าแบตเตอรี่อยู่ในสถานะประจุเต็ม แบตเตอรี่มี SOC 50 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่ามีความจุเหลืออยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ความลึกของการคายประจุ และการอัดประจุ ค่าดีโอดี (DOD, Depth of Discharge) เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความจุซึ่งถูกใช้งานไปแล้วจากเดิมทีมีการอัดประจุเต็มพิกัด ในทางส่วนกลับของค่าดีโอดีคือ ค่าเอสโอซี (SOC, State of Charge) เป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความจุที่คงใช้งานได้ อาจพิจารณา

คล้ายแก้วน้ำซึ่งมีน้ำอยู่ระดับหนึ่งซึ่งจะมีส่วนที่ว่างเปล่าหรือส่วนจะต้องเติมให้เต็ม ดังนั้นค่าดีโอดีและค่าเอสโอซีคือ ความสูงของส่วนที่ว่างเปล่าไม่มีน้ำในแก้วและความสูงของน้ำที่มีอยู่ในแก้วตามลำดับ

2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด[3]

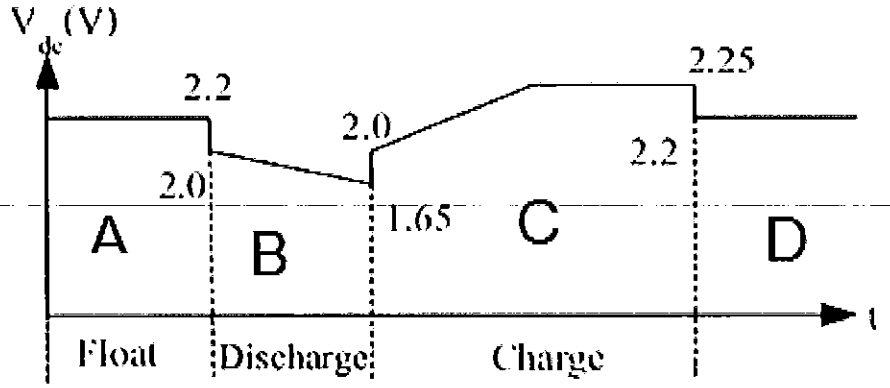


รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาขณะคายประจุและประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แผ่นตะกั่ว (Pb) เป็นขั้วลบ และแผ่นตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) เป็นขั้วบวกใช้สารละลายกรดกำมะถันเจือจาง (H_2SO_4) เป็นสารละลายไฟฟ้าเมื่อใช้ไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาดังรูป เมื่อใช้ไฟไปนานๆ ทั้งบวกและขั้วลบจะกลาย เป็นตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) และกรดกำมะถันจะเจือจาง (H_2SO_4) จนความถ่วงจำเพาะลดลงเหลือประมาณ 1.15 ก็จะต้องนำไปประจุไฟใหม่จะเห็นได้ว่าเมื่ออัดไฟแล้วขั้วบวกจะกลายเป็น แผ่นตะกั่วไดออกไซด์ (PbO_2) และขั้วลบก็จะกลายเป็นแผ่นตะกั่ว (Pb) เหมือนเดิมกรดกำมะถันก็จะเข้มข้นจนถึงความถ่วงจำเพาะ 1.27 จึงจ่ายไฟฟ้าได้ดีเหมือนเดิม

ปฏิกิริยาขณะคายประจุ และการประจุ ของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมในแบตเตอรี่นั้นอยู่ในรูปของปฏิกิริยาทางเคมี โดยพลังงานไฟฟ้าที่ถูกสะสมไว้จะถูกนำออกมาใช้เมื่อมีความต้องการ และสามารถประจุพลังงานเข้าไปใหม่ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง

2.5 การประจุและจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่[2]



รูปที่ 2.3 สภาวะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

โดยปกติแล้วแบตเตอรี่มีการรับและจ่ายพลังงานตาม รูปที่ 2.3 สามารถแบ่งออกได้ 4 ช่วงดังนี้

A.สภาวะอัดไฟทรงตัวของแบตเตอรี่ (Float Charge)

B.สภาวะแบตเตอรี่จ่ายพลังงาน (Discharge)

C.สภาวะเริ่มอัดประจุให้แบตเตอรี่ใหม่ (Charge)

D.สภาวะอัดไฟปรับเท่าของแบตเตอรี่ (Equalization Charge)

2.5.1 สภาวะอัดไฟทรงตัวของแบตเตอรี่ (Float Charge)

สภาวะอัดไฟทรงตัวของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นสภาวะที่แบตเตอรี่ได้รับแรงดันคงที่ในการอัดประจุในสภาพที่มีประจุเต็มตลอดเวลาโดยมีแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมประมาณ 2.20 โวลต์ต่อเซลล์โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2.3

2.5.2 สภาวะแบตเตอรี่จ่ายพลังงาน (Discharge)

สภาวะจ่ายพลังงาน (Discharge) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดเป็นสภาวะที่แบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาการจ่ายไฟฟ้าในช่วงนี้จะมีแรงดันไฟฟ้าลดลงจากสภาวะอัดไฟทรงตัวข้างต้นคือจาก 2.20 โวลต์ต่อเซลล์เป็นแรงดันไฟฟ้าปกติ (Normal voltage) ของแบตเตอรี่ที่ 2.00 โวลต์ต่อเซลล์โดยแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงไปเรื่อยๆจนถึงแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย (End voltage) เช่น 1.65 โวลต์ต่อเซลล์ทั้งนี้แรงดันที่ลดลงมาจะสัมพันธ์กับพลังงานที่จ่ายออกมาโดยปกติแล้วไม่ควรให้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดจ่ายพลังงานจนแรงดันไฟฟ้าลดลงต่ำกว่า 1.60 โวลต์ต่อเซลล์ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใกล้กับแรงดันจุดตาย (Dead End voltage) ซึ่งมีค่าประมาณ 1.55 โวลต์ต่อเซลล์ กล่าวคือเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงถึงจุดตายแบตเตอรี่จะสูญเสียความสามารถในการอัดไฟและจ่ายไฟซึ่งแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานสั้นลงอย่างรวดเร็วหรือไม่ก็ชำรุดเสียหายอย่างรุนแรง

2.5.3 สภาวะเริ่มอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ใหม่ (Charge)

สภาวะอัดไฟให้กับแบตเตอรี่ใหม่ (Charge) เป็นสภาวะที่กระแสเข้าไปอัดประจุให้กับแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะถูกยกขึ้นจากแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายเป็นแรงดันไฟฟ้าปกติ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดนั้นจะเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย 1.65 โวลต์เป็นแรงดันไฟฟ้าปกติ 2 โวลต์แล้วจึงอัดประจุไปเรื่อยๆจนเต็มการอัดประจุแบตเตอรี่มี 2 ช่วงคือ

- ช่วงการแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current)

แรงดันไฟฟ้าช่วงนี้จะถูกยกสูงขึ้นจนถึง 2.25 โวลต์ต่อเซลล์หลังจากนั้นจึงอัดประจุช่วงถัดไป

- ช่วงแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant voltage)

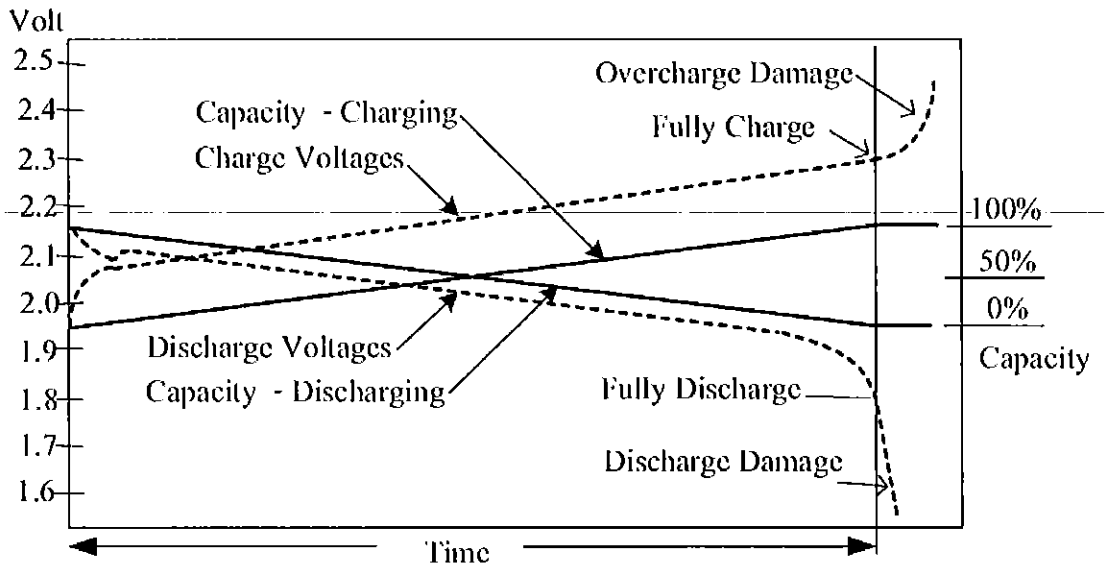
เมื่อแบตเตอรี่ถูกอักประจุจนเต็มก็จะกลับสูสภาวะปกติดังเดิมโดยปกติแล้วการที่จะอัดประจุให้แบตเตอรี่จนถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ของพิกัดแบตเตอรี่จะใช้เวลาประมาณ 10 เท่าของเวลาที่แบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกไปเช่นแบตเตอรี่จ่ายพลังงานออกไป 5 นาทีจะอัดประจุแบตเตอรี่เต็ม 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาประมาณ 50 นาทีหลังจากนั้นก็ทำการอัดประจุต่อไปจนเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งบางครั้งใช้เวลาถึง 10 ชั่วโมงแล้วแบตเตอรี่จึงจะกลับเข้าสู่สภาวะอัดไฟทรงตัวตามปกติต่อไป

2.5.4 สภาวะอัดประจุปรับเท่าของแบตเตอรี่ (Equalization Charge)

สภาวะอัดประจุปรับเท่าของแบตเตอรี่ (Equalization Charge) เป็นภาวะที่อธิบายว่าตามปกติแล้วแบตเตอรี่ที่ใช้งานอยู่นั้นแม้ว่าจะมีการอัดประจุให้แบตเตอรี่ในสภาวะอัดประจุคงตัวตลอดเวลาก็ตามในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่อาจจะจ่ายพลังงานและอัดไฟได้ไม่เท่ากันเป็นผลให้ความถ่วงจำเพาะของแต่ละเซลล์ต่างกันจึงจำเป็นต้องอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าในสภาวะอัดไฟทรงตัวเราจึงเรียกแรงดันไฟฟ้านี้ว่าแรงดันไฟฟ้าปรับเท่า ซึ่งมีค่าประมาณ 2.40 โวลต์ต่อเซลล์สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดการอัดไฟแบบปรับเท่าให้แบตเตอรี่อาจกระทำทุก 1 เดือนโดยแต่ละครั้งใช้เวลา 6–8 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแบตเตอรี่แต่ละรายกำหนดมา) หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนกลับมาอัดประจุ

ให้กับแบตเตอรี่ด้วยสภาวะอัดไฟทรงตัวต่อไป

2.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับค่าความจุของแบตเตอรี่[2]



รูปที่ 2.4 ความสามารถในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

จากรูปที่ 2.4 เป็นการเปรียบเทียบแรงดันกับระดับประจุของแบตเตอรี่ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองช่วงคือ

ก) ช่วงการอัดประจุ

แรงดันของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเริ่มอัดประจุแล้วจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงที่ตำแหน่งประจุ 100 เปอร์เซ็นต์เมื่ออัดประจุต่อไปอีกแรงดันของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ข) ช่วงการคายประจุ

การทำงานจะตรงข้ามกับช่วงอัดประจุคือเมื่อเริ่มต้นคายประจุแรงดันของแบตเตอรี่จะตกลงเล็กน้อยแล้วค่อยๆลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดที่คายประจุ 100 เปอร์เซ็นต์แรงดันของแบตเตอรี่จะตกลงอย่างรวดเร็ว

2.6 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในแบตเตอรี่[4]

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ใช้สัญลักษณ์ S.G. หรือ ถพ. เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) หมายถึง อัตราส่วน ระหว่างความหนาแน่นของน้ำกรด เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของ ของไหลมาตรฐาน ซึ่งของไหลมาตรฐานนั้น สำหรับของเหลวใช้น้ำเป็นของไหลมาตรฐานซึ่งมีความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 1.00 และความหนาแน่นของน้ำกรดจะอยู่ที่ 1.835 เนื่องจากค่าของความหนาแน่นของวัตถุ และความหนาแน่น ของของไหลมาตรฐาน จะแปรเปลี่ยนได้ตามอุณหภูมิ ดังนั้น ในการใช้ ค่าความถ่วงจำเพาะ ที่ต้องการความละเอียดรอบคอบหรือต้องการค่าที่ถูกต้อง จึงต้องระบุ ไว้ด้วยว่า เป็นค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิเท่าใด โดยทั่วไปสารละลาย ของกรดกำมะถันเจือจางกับน้ำกลั่นน้ำยาทางไฟฟ้าซึ่งใช้อยู่ในแบตเตอรี่ปัจจุบันนี้มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.26 ถึง1.280 (ที่ 20 องศาเซลเซียส, 68 องศาฟาเรนไฮต์) เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มความแตกต่างนี้เนื่องมาจากอัตราส่วนโดยเฉพาะของน้ำกลั่นและกรดกำมะถันในแต่ละแบบ น้ำยาทางไฟฟ้าที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.260 ประกอบไปด้วยน้ำกลั่น 65 เปอร์เซ็นต์ และกรดกำมะถัน 35เปอร์เซ็นต์ส่วนน้ำยาทางไฟฟ้าที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.280 ประกอบไปด้วยน้ำกลั่น 63 เปอร์เซ็นต์ และกรดกำมะถัน 37 เปอร์เซ็นต์

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิและแรงดันขณะวงจรเปิด[5]

ในการทดสอบความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่โดยใช้ ไฮโดรมิเตอร์วัด การอ่านค่าที่ถูกต้องจะต้องให้น้ำกรดอยู่ในอุณหภูมิมาตรฐานคือ 80 องศาฟาเรนไฮต์ (26.7 องศาเซลเซียส) ดังนั้น ทุกๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 องศาฟาเรนไฮต์ ความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้น บวก 0.004 และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิมาตรฐานทุกๆ 10 องศาฟาเรนไฮต์ ความถ่วงจำเพาะก็จะลดลง 0.004 เช่นกัน และแรงดันขณะวงจรเปิดจะขึ้นกับลักษณะการออกแบบแบตเตอรี่ความถ่วงจำเพาะกับอุณหภูมิโดยปกติแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 1 Cell จะมีค่าแรงดันอยู่ที่ประมาณ 2 โวลต์ ดังนั้นแบตเตอรี่ที่ผลิตออกมาจึงมีขนาดแรงดันเริ่มต้นที่ 2โวลต์ , 4โวลต์ , 6โวลต์ , 8โวลต์, 12โวลต์ แรงดันปกติของแบตเตอรี่ชนิด Lead Acid นั้น จะมีสมการดังนี้ OCโวลต์ = 0.84 + S.G. ซึ่ง OCV = Open Circuit Voltage การวัดค่า OCV แบตเตอรี่จะต้องปลดออกจากระบบ ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงในลักษณะดังกล่าวก็คือการปล่อยให้ขั้วของแบตเตอรี่ลอยไว้

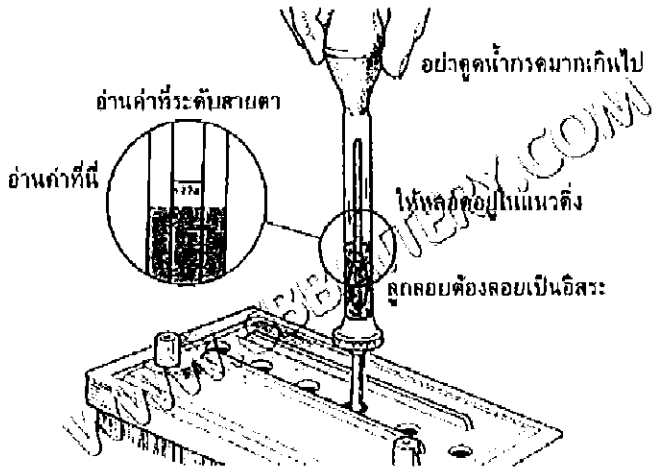
2.8 การตรวจวัดประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่[4]

การวัดแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและการอ่านค่าความถ่วงเฉพาะสามารถบอกค่าของระดับการชาร์จ และ ดิสชาร์จ ของแบตเตอรี่ อายุ และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ได้การตรวจเช็คแรงดันไฟฟ้าและความถ่วงจำเพาะสามารถแสดงถึงสถานะขณะ ชาร์จ ดิสชาร์จ และช่วยทำให้รู้ถึงสัญญาณของการดูแลที่ไม่ถูกต้องเช่น การชาร์จไฟไม่พอ และการเติมน้ำมากเกินไป

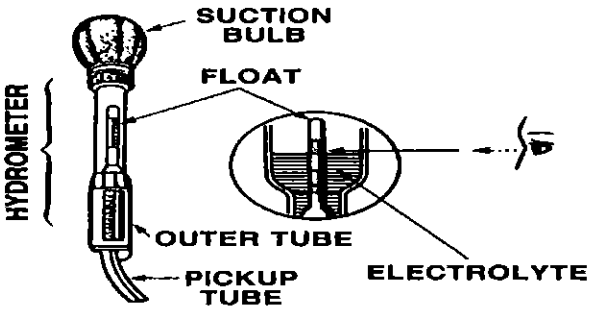
2.8.1 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ (แบตเตอรี่แบบน้ำเท่านั้น)

รูปที่ 2.5 ไฮโดรมิเตอร์ ใช้วัดความถ่วงจำเพาะของสารละลาย

การดูดสารละลายและการอ่านค่า ไฮโดรมิเตอร์ สามารถทำได้ตามรูป



รูปที่ 2.6 การดูดสารละลายภายในแบตเตอรี่



รูปที่ 2.7 การอ่านค่า Hydrometer

ในการอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์จะสังเกตเห็นว่ามีแถบสีอยู่สามแถบสี แถบสีแดงจะมีค่าตั้งแต่ 1.00-1.15 แถบสีขาวจะมีค่าตั้งแต่ 1.15-1.2 และแถบสีเขียวหรือบางยี่ห้อเป็นสีเหลืองมีค่าตั้งแต่ 1.25-1.3

2.8.2 วิธีการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายภายในแบตเตอรี่[6]

ก) ก่อนทำการวัดห้ามใส่น้ำกลั่นเข้าไป

ข) กลั้วไฮโดรมิเตอร์ 2 ถึง 4 ครั้งก่อนจะทำการดูดน้ำกรดตัวอย่างออกมาและควรจะมีตัวอย่างอิเล็กโทรไลต์เพียงพอในไฮโดรมิเตอร์เพื่อพยุงการลอยตัวได้สำเร็จ

ค) อ่านค่า บันทึกค่า และเก็บอิเล็กโทรไลต์กลับเข้าหม้อในแบตเตอรี่

ง) ตรวจเช็คหม้อในแบตเตอรี่อื่น ทำตาม 3 ขั้นตอนข้างต้นอีกครั้ง

จ) ปิดฝาครอบรูระบายไว้เหมือนเดิมและทำความสะอาดอิเล็กโทรไลต์ที่หกออกมา

2.8.3 การทดสอบแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด[6]

เพื่อการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ถูกต้อง แบตเตอรี่ต้องไม่ถูกทำอะไรมาก่อน (ทั้งชาร์จไฟหรือปล่อยไฟ) อย่างน้อย 6 ชั่วโมงถ้าเป็นไปได้ควรจะ 24 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบแรงดันขณะวงจรเปิด

ก) ตัดการเชื่อมต่อทุกอย่างจากแบตเตอรี่

ข) วัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โวลต์มิเตอร์กระแสตรง (DC)

ค) ชาร์จไฟแบตเตอรี่ ถ้าปริมาณไฟฟ้าในแบตเตอรี่อยู่ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 70 เปอร์เซ็นต์

ถ้าแบตเตอรี่มีค่าแรงดันต่ำมาก มีปัญหาเกิดขึ้น ตามนี้

ก) แบตเตอรี่ไม่ถูกชาร์จไฟมานานเกินไป

ข) แบตเตอรี่มีบางเซลล์ภายในแบตเตอรี่ที่ไม่ดี

2.9 ข้อควรระวังเกี่ยวกับแบตเตอรี่[7]

ก) อย่าให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟเกินความสามารถ (Over Discharge) เพราะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลงกว่าปกติ

ข) อย่าประจุไฟแบตเตอรี่มากเกินไปควรประจุไฟให้ถูกต้องเหมาะสมมิเช่นนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ค) อย่าให้อุณหภูมิของอิเล็กโทรไลต์สูงเกินกว่า 50 องศาเซลเซียส

ง) รักษาระดับอิเล็กโทรไลต์ให้อยู่ที่ระดับสูงสุดด้วยการเติมน้ำกลั่น

จ) เมื่อมีการประจุไฟจะเกิดแก๊สไฮโดรเจนจึงต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดเปลวไฟหรือประกายไฟบริเวณส่วนบนของแบตเตอรี่เพราะจะเกิดการระเบิดขึ้นได้

ฉ) รักษาแบตเตอรี่ให้แห้งสะอาดอยู่เสมอเพื่อป้องกันการรั่วซึมและผุกร่อน

ช) อย่านำโลหะหรือเครื่องมือเช่นประแจไขควงวางบนสะพานไฟเพราะอาจเกิดการสปาร์คสะเก็ดไฟทำให้แบตเตอรี่ชำรุดเสียหาย

ซ) อย่าสูบบุหรี่บริเวณที่มีการประจุไฟแบตเตอรี่

ฌ) ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเมื่อมีการเติมอิเล็กโทรไลต์ เช่น แว่นตาถุงมือยาง

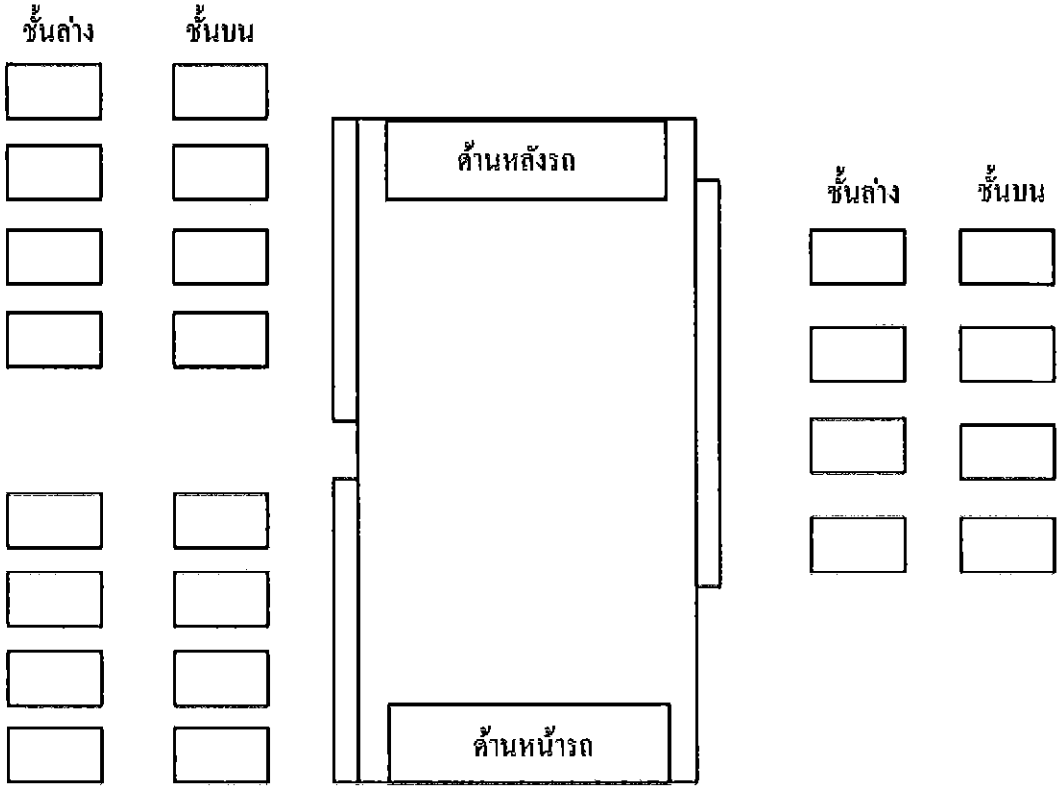
ฌ) ตรวจสอบทุกครั้งเมื่อมีการเชื่อมต่อปลั๊ก ของแบตเตอรี่เข้ากับปลั๊กของเครื่องชาร์จต้องเป็นขนาดเดียวกันและขั้วบวกลบถูกต้อง

ฌ) อย่าถอดหรือขยับปลั๊กเมื่อกำลังทำการอัดประจุแบตเตอรี่

บทที่ 3

ออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้ทดลองกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ใช้กับรถไฟฟ้าต้นแบบของคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 12 โวลต์ซึ่งต่อแบบอนุกรมทั้งหมด 24 ลูก ซึ่งมีการวางตำแหน่งของแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.1

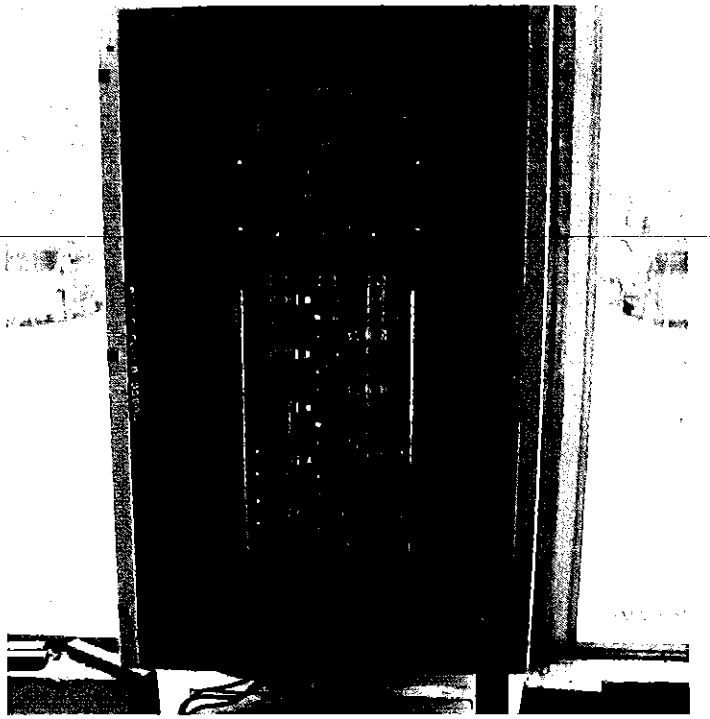


รูปที่ 3.1 ตำแหน่งของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าต้นแบบคณะวิศวกรรมศาสตร์

3.1 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

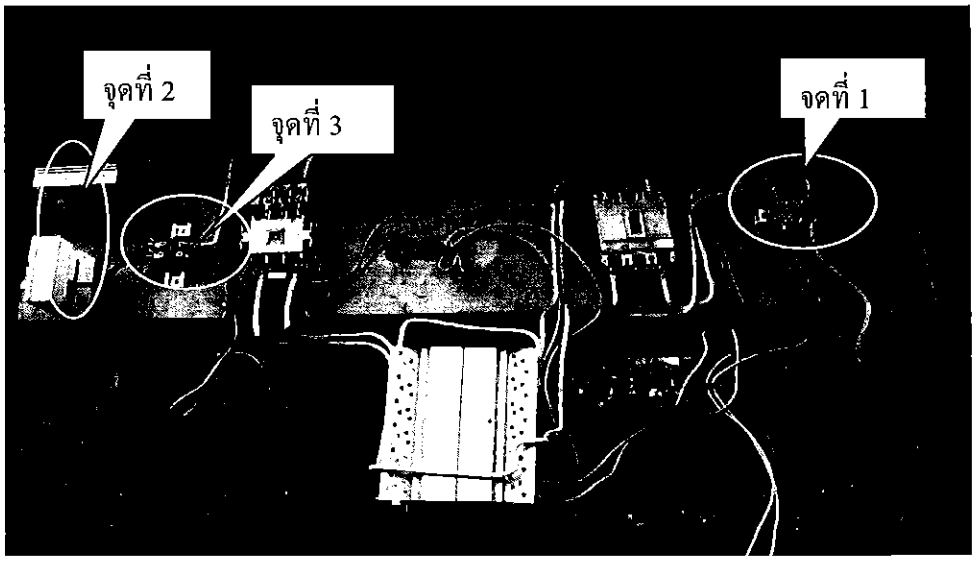
การทดสอบอัดประจุจะทำการทดสอบ2 แบบคือ การทดสอบการอัดประจุด้วไฟฟ้า 1 เฟส กับการอัดประจุด้วยระบบเครื่องชาร์จ 3 เฟสก่อนเริ่มทำการทดสอบการอัดประจุทุกครั้งต้องดูก่อนว่าไม่ได้เปิดระบบจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ให้กับรถไฟฟ้าเพราะอาจทำให้ระบบไฟฟ้าของรถเสียหายได้

3.1.1 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยไฟ 1 เฟส



รูปที่ 3.2 จุดต่อไฟ 3 เฟส สายเฟสคือ สี แดง ดำ น้ำเงิน ส่วนสีเทาคือสายนิวทรอน

ในการทดสอบอัดประจุวงจรด้วยไฟ 1 เฟสนี้เป็นการแปลงไฟจากระบบไฟฟ้า 3 เฟสมาเป็น 1 เฟสโดยการต่อสายไฟจากเฟสใดเฟสหนึ่งและสายนิวทรอนอีกเส้นหนึ่งจะทำให้ได้แรงดัน 220 โวลต์ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแรงดันนี้เป็นแรงดันที่จ่ายให้กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับการชาร์จด้วยไฟฟ้า 1 เฟส



รูปที่ 3.3 เครื่องชาร์จไฟแบตเตอรี่สำหรับการชาร์จไฟแบบ 1 เฟส

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

ก) HP 34001A MULTIMETER วัดแรงดันจุดที่ 1

ข) Agilent MSO-X 3014 A Oscilloscope วัดแรงดันขณะชาร์จจุดที่ 2 และ 3

ค) Agilent 1147A 50 MHz Current Probe วัดกระแสขณะชาร์จคล้องสายสีแดง จุดที่ 3

ง) เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิ

จ) ไฮโดรมิเตอร์วัดค่าความถ่วงจำเพาะ (S.G.)

จุดที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ ดูจากรูปที่ 3.3

ก) วัดค่าแรงดันทำการวัดจุดที่ 1

ข) วัดค่าแรงดันโวลต์แบตเตอรี่ทำการวัดจุดที่ 2

ค) วัดค่ากระแสทำการวัดจุดที่ 3

รูปที่ 3.4 จุดเชื่อมต่อเครื่องชาร์จเข้ากับแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ต้องปิดเบรกเกอร์ก่อนการชาร์จทุกครั้ง

Time (min)	Temp Outside (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	AC line (Vac)	Current max (A)	S.G.

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าขณะทำการอัดประจุแบบไฟ 1 เฟส

ตัวแปรต่างๆจากตาราง

1. Temp outside (องศาเซลเซียส) = ค่าอุณหภูมิห้องวัดโดยใช้เทอโมมิเตอร์
2. Temp Battery (องศาเซลเซียส) = ค่าอุณหภูมิของสารละลายภายในแบตเตอรี่วัดโดยใช้เทอโมมิเตอร์
3. Vmin = แรงดันของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จอ่านค่าจากเครื่องวัด Agilent MSO-X 3014 A Oscilloscope
4. Vmax = แรงดันยอดคลื่นที่เครื่องชาร์จจ่ายให้แบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จอ่านค่าจากเครื่องวัด Agilent MSO-X 3014 A Oscilloscope
5. Current max= ค่ากระแสสูงสุดขณะทำการชาร์จแบตเตอรี่อ่านค่าจากเครื่องวัด Agilent MSO-X 3014 A Oscilloscope
6. S.G.= ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จอ่านค่าจาก ไฮโดรมิเตอร์

สำหรับขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

ก) ทำการตรวจเช็คแบตเตอรี่โดยการวัดค่าความถ่วงจำเพาะและแรงดันก่อนทำการอัดประจุ

ข) ตรวจเช็คเครื่องชาร์จให้มั่นใจว่ายังไม่ได้เปิดระบบการชาร์จก่อนทำการชาร์จ

ค) ต่อสายชาร์จของเครื่องชาร์จเข้ากับที่ชาร์จรถไฟฟ้า

ง) ตรวจเช็คสายไฟและเบรกเกอร์ของรถไฟฟ้าอีกครั้งเพื่อความปลอดภัย

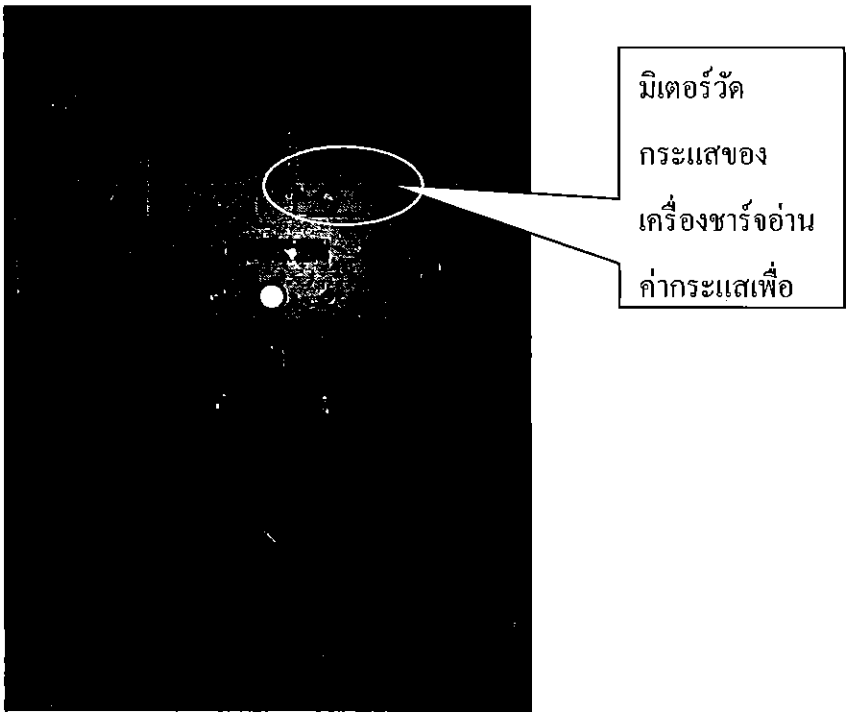
จ) ต่ออุปกรณ์การวัดค่าต่างๆที่ต้องการเข้ากับเครื่องชาร์จ

ฉ) ทำการเปิดระบบชาร์จอย่างถูกวิธี

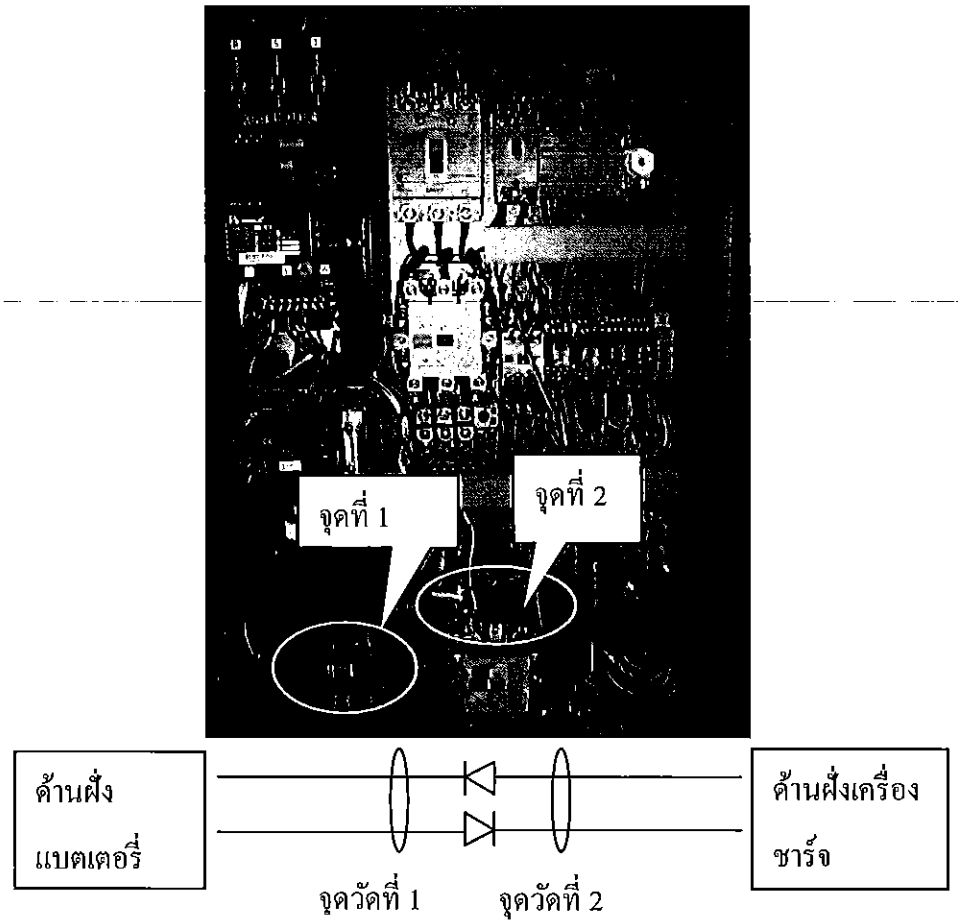
ช) ทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะพร้อมกับบันทึกค่าต่างลงในตารางบันทึกค่าที่เตรียมไว้โดยจะทำการบันทึกทุกๆ 30 นาที

3.1.2 การทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยระบบเครื่องชาร์จ 3 เฟส

การทดสอบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยระบบเครื่องชาร์จ3 เฟส 4 สาย คือมีไฟ 3 สายอีกสายคือสายนิวทรอนซึ่งไฟระหว่างเฟสจะมีค่า 380 โวลต์ ระบบไฟฟ้าสามเฟสนี้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับการชาร์จด้วยไฟฟ้า 3 เฟส



รูปที่ 3.6 ด้านหน้าเครื่องชาร์จ



รูปที่ 3.7 ด้านหลังเครื่องชาร์จ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

ก) HP33120A FUNCTION GENERATOR ใช้ต่อกับเครื่องชาร์จเพื่อควบคุมการทำงานของ SSR-control

ข) Agilent MSO-X 3014 A Oscilloscope วัดแรงดันขณะชาร์จโวลต์dc จุดที่ 1 และ 2

ค) Agilent Techno logies N2791A 25MHz Differential Probe วัดแรงดันขณะชาร์จ จุดที่ 1 และ 2

ง) AP-101 Temperature Controller เครื่องวัดอุณหภูมิ

จ) ไฮโดรมิเตอร์วัดค่าความถ่วงจำเพาะ (S.G.)

จุดที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆ

ก) วัดค่าแรงดันแบตเตอรี่วัดจากจุดที่ 1 ในรูป 3.7

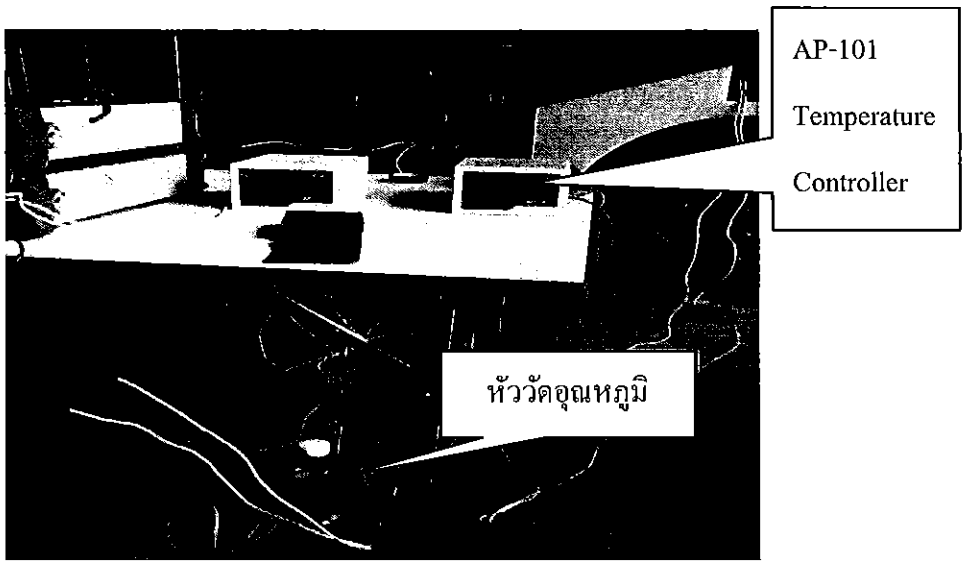
ข) วัดรูปคลื่นที่ใช้ในการ จากจุดที่ 2 ในรูป 3.7

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ค) อ่านค่ากระแสจากมิเตอร์วัดกระแส ในรูป 3.6

ง) วัดค่าอุณหภูมิโดยใช้เครื่อง AP-101 Temperature Controller 2 เครื่อง ทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิไว้ 2 จุด คือที่แบตเตอรี่เพื่อวัดอุณหภูมิแบตเตอรี่และที่บริเวณห่างจากจุดที่วัดอุณหภูมิแบตเตอรี่ประมาณ 2 เมตร เหนือพื้นห้องประมาณ 5 เซนติเมตรเพื่อวัดอุณหภูมิห้องดังรูป

รูปที่ 3.8 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิไว้กับแบตเตอรี่



รูปที่ 3.9 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิเพื่อวัดอุณหภูมิห้อง

Time (min)	Temp Outside (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G.

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าขณะทำการอัดประจุแบบไฟ 3 เฟส

ตัวแปรต่างๆจากตาราง

1. Temp outside = อ่านค่าจากเครื่อง AP-101 Temperature Controller ต่อกับหัววัดอุณหภูมิภายนอกดังรูปที่ 3.9
2. Temp Battery = อ่านค่าจากเครื่อง AP-101 Temperature Controller ต่อกับหัววัดอุณหภูมิที่ติดกับแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.8
3. Vmin = แรงดันของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จอ่านค่าจากเครื่องวัดAgilent MSO-X 3014 A Oscilloscope
4. Vmax = แรงดันยอดคลื่นที่เครื่องชาร์จจ่ายให้แบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จอ่านค่าจากเครื่องวัดAgilent MSO-X 3014 A Oscilloscope
5. Current = ค่ากระแสอ่านค่าจากมิเตอร์วัดกระแสของเครื่องชาร์จดังรูปที่ 3.6
6. S.G.= ค่าความถ่วงจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จอ่านค่าจาก ไฮโดรมิเตอร์

ในการทดลองนี้จะทดลองอัดประจุโดยการกำหนดค่ากระแสคงที่ ตลอดการชาร์จมีขั้นตอนการชาร์จดังนี้

ก) ทำการตรวจเช็คแบตเตอรี่โดยการวัดค่าความถ่วงจำเพาะและแรงดันก่อนทำการอัดประจุ

ข) ตรวจเช็คเครื่องชาร์จให้มั่นใจว่ายังไม่ได้เปิดระบบการชาร์จก่อนทำการชาร์จ

ค) ต่อสายชาร์จของเครื่องชาร์จเข้ากับที่ชาร์จรถไฟฟ้า

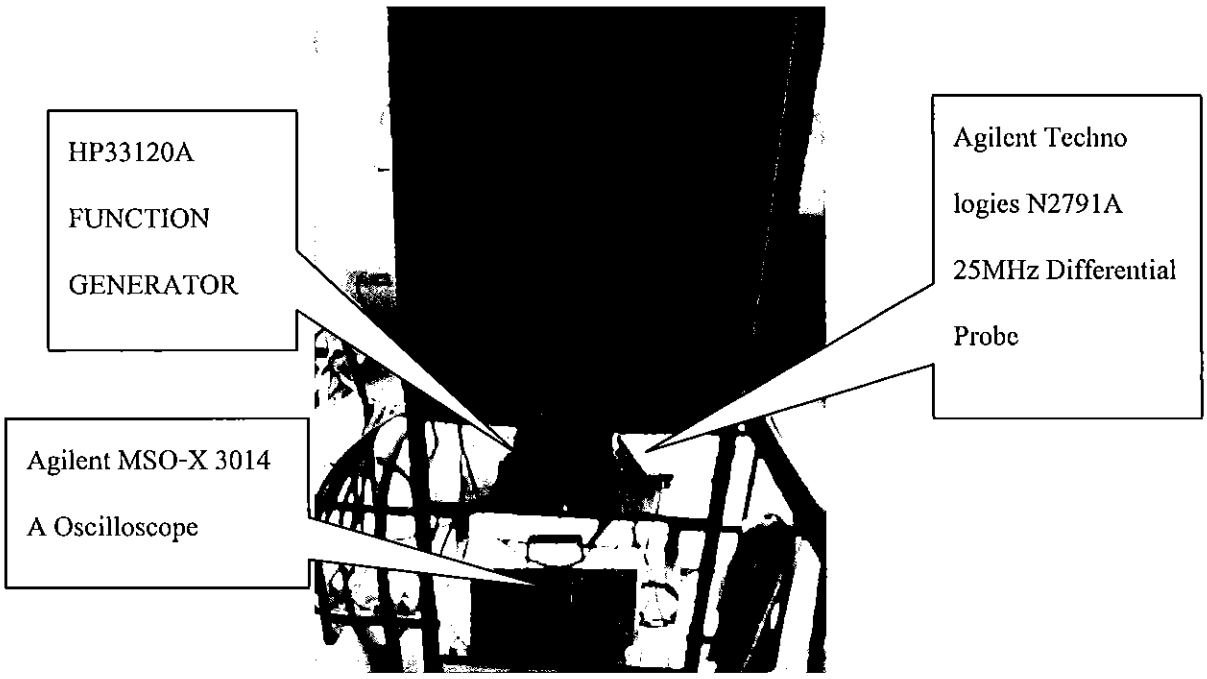
ง) ตรวจเช็คสายไฟและเบรกเกอร์อีกครั้งเพื่อความปลอดภัย

จ) ต่อเครื่อง hp 33120A FUNCTION GENERATOR เข้ากับตู้ชาร์จแล้วทำการ ตั้งค่าไว้ดังนี้ Freq : 25Hz, Amp: 10โวลต์PP, offset: +5 VDC, DUTTY 50

ฉ) ต่ออุปกรณ์การวัดค่าต่างๆที่ใช้ในการวัด

ช) เปิดตู้ชาร์จ

ซ) การบันทึกรูปคลื่นและวัดค่าความถ่วงจำเพาะพร้อมกับบันทึกค่าต่างๆลงในตารางบันทึกค่าที่เตรียมไว้โดยจะทำการบันทึกทุกๆ 10นาที



รูปที่ 3.11 เครื่องชาร์จและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดขณะทำการชาร์จ

3.2 การทดลองการคายประจุแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

การทดสอบการคายประจุจะทำหลังจากการอัดประจุจนเต็มแล้วโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น2แบบดังนี้

3.2.1 ทดสอบคายประจุของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าโดยใช้โหลดภายนอก

การทดสอบนี้ต้องปิดเบรกเกอร์ที่แบตเตอรี่จ่ายไฟให้กับรถและต้องไม่เปิดระบบการชาร์จ สำหรับการทดสอบมีขั้นตอนดังนี้

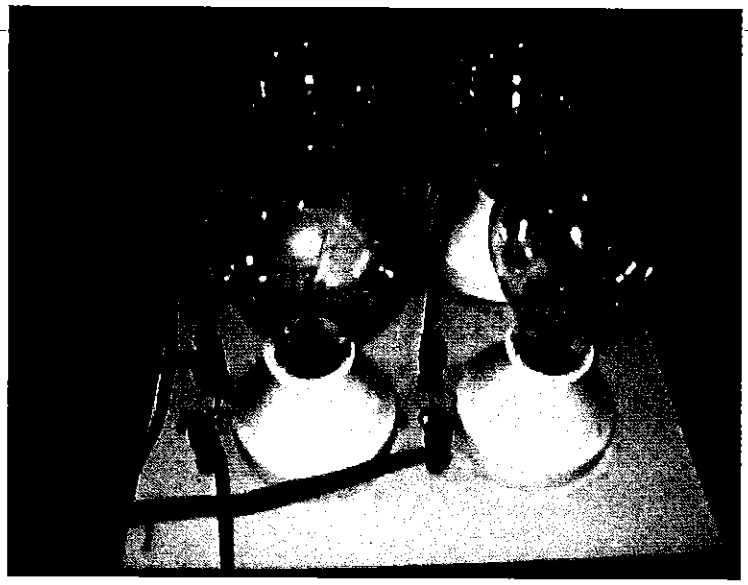
ก) นำโหลดที่ใช้ในการคายประจุดังรูปที่ 3.12

ข) ต่ออุปกรณ์การวัดค่าต่างๆ

ค) ต่อโหลดเข้ากับแบตเตอรี่เพื่อทำการคายประจุ

ง) ทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะพร้อมกับบันทึกค่าต่างลงในตารางบันทึกค่าที่เตรียมไว้ โดยจะทำการบันทึกทุกๆ 15 นาที

จ) เมื่อได้ค่าต่ำสุดที่ต้องการก็ทำการปลดโหลดออกเพื่อหยุดการคายประจุ



รูปที่ 3.12 โหลดที่ใช้ในการคายประจุ เป็นหลอดไฟ 200W อนุกรมกัน 2 หลอดแล้วนำมาขนานกัน

Time (min)	S.G.	Temp Out side(°C)	Temp Battey (°C)	Volt Battery (Vdc)

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าสำหรับการคายประจุโดยใช้โหลดภายนอก

3.2.2 ทดสอบการคายประจุรถไฟฟ้าด้วยการติดเครื่องทิ้งไว้

ก) ทำการปลดสายเชื่อมต่อกับเครื่องชาร์จออกจากรถไฟฟ้า

ข) ต่ออุปกรณ์วัดค่าแรงดันที่ขั้วที่แบตเตอรี่จ่ายไฟให้กับรถเพื่อทำการวัดค่าแรงดัน

ค) ทำการเปิดเบรกเกอร์เพื่อจ่ายไฟจากแบตเตอรี่เพื่อให้แบตเตอรี่จ่ายไฟให้กับรถไฟฟ้า

ง) ทำการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้

จ) ทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะพร้อมกับบันทึกค่าแรงดันลงในตารางบันทึกค่าที่เตรียมไว้โดยจะทำการบันทึกทุกๆ 10 นาที

ฉ) เมื่อได้ค่าแรงดันต่ำสุดที่ต้องการแล้วก็ทำการดับเครื่องพร้อมทั้งปิดเบรกเกอร์เพื่อตัดการเชื่อมต่อระหว่างแบตเตอรี่กับรถไฟฟ้าค่าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าค่าที่โรงงานกำหนดเพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เสียหาย

Time (min)	S.G.	Temp Out side(°C)	Temp Battery (°C)	Volt Battery (Vdc)

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างตารางบันทึกค่าขณะทำการคายประจุโดยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบนี้ทดสอบกับแบตเตอรี่รุ่น GS BV 130Z 130 แอมแปร์-ชั่วโมงของรถไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรมีทั้งหมด 24 ลูกต่ออนุกรมกัน

4.1 ผลการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยไฟ 1 เฟส

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองขณะทำการอัดประจุ

Time (min)	Temp Out side(°C)	Temp Battery(°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	AC line (Vac)	Current max(A)	S.G
0	31.1	32	290	315	230.68	57	1.1
30	32.3	32	290	314	226.43	56	1.1
60	32.8	32	290	312	225.26	56	1.1
90	33	33	290	312	226.89	54	1.1
120	33.2	33	292	312	225.97	54	1.1
150	33.4	33	292	314	228.69	56	1.11
180	33.6	33	292	314	228.18	56	1.11
210	33.3	33	294	314	228.43	56	1.11
240	34.7	33	294	314	228.37	54	1.11
270	34.4	34	294	316	229.19	56	1.12
300	35.7	34	294	318	231.56	56	1.12
330	35	34	294	318	231.68	56	1.12
360	36	34	296	318	231.94	56	1.12
390	35.5	34	296	318	231.59	54	1.13
420	32.8	33	296	318	231.61	54	1.13
450	29	34	296	318	232.25	54	1.13

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองขณะทำการอัดประจุ(ต่อ)

Time (min)	Temp Out side(°C)	Temp Battery(°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	AC line (Vac)	Current max (A)	S.G
480	28.2	33	298	318	232.08	54	1.13
510	28.4	33	298	318	232.13	54	1.14
540	28.5	33	298	318	232.09	54	1.15
570	29.1	33	298	320	230.44	48	1.15
600	29.3	32	298	318	230.32	48	1.15
630	29	32	298	318	231.39	52	1.15
660	29.2	32	300	318	229.66	46	1.15
690	29.5	32	300	316	228.31	40	1.15
720	29.2	32	300	316	229.12	40	1.16
750	29.2	32	300	316	229.15	42	1.16
780	28.7	32	300	316	228.42	40	1.16
810	28.7	32	300	318	229.53	40	1.16
840	29	32	300	318	229.58	40	1.16
870	28.7	32	300	316	230.33	40	1.17
900	28.9	32	302	316	229.49	34	1.17
930	28.9	31	302	318	229.79	36	1.17
960	28.9	31	302	318	229.22	34	1.17
990	28.8	31	302	318	229.65	34	1.17
1020	28.6	31	303	318	229.93	36	1.18
1050	28.5	31	303	320	228.92	34	1.18
1080	28.6	31	303	320	229.49	36	1.19
1110	28.5	31	303	320	229.56	36	1.19
1140	28.4	31	303	320	230.3	36	1.19
1170	28.2	31	303	320	230.16	36	1.19
1200	28.6	30	303	320	230.98	38	1.19
1230	28.5	30	303	320	230.89	36	1.19

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองขณะทำการอัดประจุ(ต่อ)

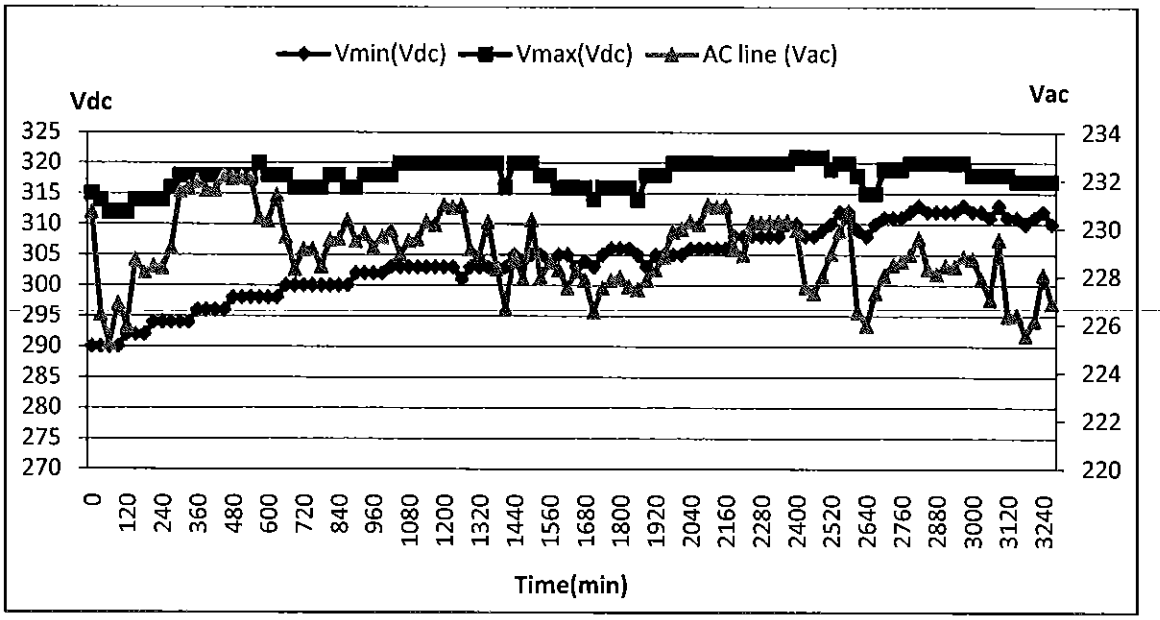
Time (min)	Temp Out side(°C)	Temp Battery(°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	AC line (Vac)	Current max (A)	S.G
1260	28.8	30	301	320	230.95	36	1.2
1290	28.9	30	303	303	229.14	32	1.2
1320	29.1	30	303	320	228.89	30	1.2
1350	29.2	30	303	320	230.28	34	1.2
1380	30.4	30	303	320	228.33	30	1.2
1410	31.3	31	303	316	226.65	24	1.2
1440	32	31	305	320	228.79	30	1.2
1470	32.2	31	304	320	227.91	26	1.2
1500	32.9	32	305	320	230.36	30	1.2
1530	33.1	32	305	318	227.94	22	1.2
1560	33.5	32	304	318	228.6	23.4	1.2
1590	34.4	32	305	316	228.29	21.8	1.2
1620	34.4	32	305	316	227.53	18.4	1.2
1650	34.8	32	303	316	228.23	20.8	1.2
1680	35	33	304	316	227.85	19.2	1.2
1710	35.5	33	303	314	226.55	16.8	1.2
1740	35.2	34	305	316	227.54	19.2	1.2
1770	35.4	34	306	316	227.85	19.2	1.21
1800	35.9	34	306	316	227.97	18.4	1.21
1830	35.9	35	306	316	227.58	16.8	1.21
1860	34.2	35	305	314	227.45	17.6	1.21
1890	34.2	35	303	318	227.86	18.2	1.21
1920	33.7	35	305	318	228.28	20	1.21
1950	30.9	35	305	318	228.82	20.8	1.21
1980	28.1	35	305	320	229.87	22.5	1.22
2010	30.4	35	305	320	229.99	23.6	1.22

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองขณะทำการอัดประจุ(ต่อ)

Time (min)	Temp Out side(°C)	Temp Battery(°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	AC line (Vac)	Current max (A)	S.G
2040	30.4	33	306	320	230.3	21.8	1.22
2070	30	33	306	320	230.16	21.5	1.22
2100	29.2	33	306	320	230.98	20.2	1.22
2130	28.7	33	306	320	230.89	18.8	1.22
2160	29.6	33	306	320	230.95	16	1.22
2190	29.2	33	308	320	229.14	16	1.23
2220	29.3	33	308	320	228.89	18	1.23
2250	29.3	33	308	320	230.28	14	1.23
2280	28.6	33	308	320	230.25	16	1.23
2310	28.9	33	308	320	230.28	16	1.23
2340	28.7	33	308	320	230.28	16	1.23
2370	28.6	33	310	320	230.32	16	1.23
2400	28.2	33	310	321	229.94	16	1.23
2430	28	33	308	321	227.56	10	1.23
2460	28	33	308	321	227.32	10	1.23
2490	28.1	33	309	321	228.03	10	1.23
2520	28.2	32	310	319	228.96	12	1.24
2550	27.5	32	312	320	229.9	11.1	1.24
2580	27.7	32	312	320	230.72	12	1.24
2610	27.8	32	309	318	226.52	6.7	1.24
2640	27.9	32	308	315	225.98	6.3	1.24
2670	27.9	32	310	315	227.32	7.5	1.24
2700	28.1	31	311	319	228.06	8.3	1.24
2730	28.5	31	311	319	228.48	7.1	1.24
2760	28.9	31	311	319	228.65	8.8	1.24

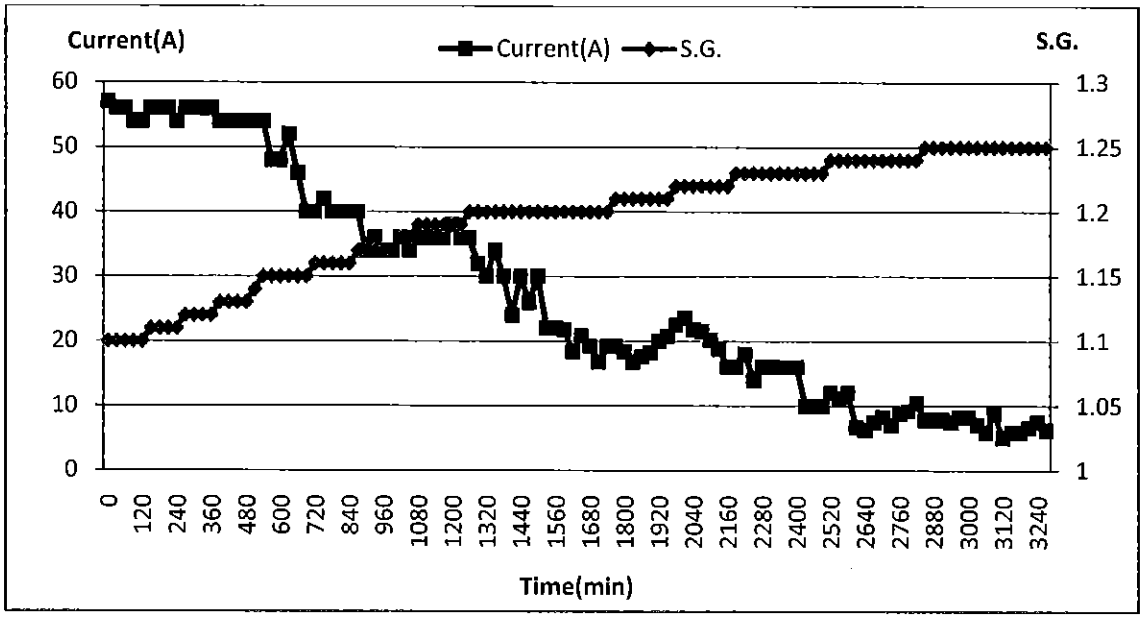
ตารางที่ 4.1 ตารางเวลาบันทึกผลการทดขณะทำการอัดประจุ(ต่อ)

Time (min)	Temp Out side(°C)	Temp Battery(°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	AC line (Vac)	Current max (A)	S.G
2790	29.3	31	312	320	228.92	9.2	1.24
2820	30.3	31	313	320	229.59	10.4	1.24
2850	31.1	31	312	320	228.32	7.9	1.25
2880	31.7	31	312	320	228.11	7.9	1.25
2910	31.9	31	312	320	228.45	7.9	1.25
2940	32.8	31	312	320	228.42	7.5	1.25
2970	33.2	32	313	320	228.83	8.3	1.25
3000	33.9	32	312	318	228.73	8.3	1.25
3030	34.1	32	312	318	227.9	7.1	1.25
3060	34.6	32	311	318	227.05	5.9	1.25
3090	34.5	32	313	318	229.54	8.8	1.25
3120	34.9	32	311	318	226.37	5.1	1.25
3150	35.7	32	311	317	226.4	5.9	1.25
3180	35.9	34	310	317	225.54	5.9	1.25
3210	36.6	34	311	317	226.16	6.7	1.25
3240	36.2	34	312	317	228.09	7.5	1.25
3270	38.6	35	310	317	226.9	6.3	1.25



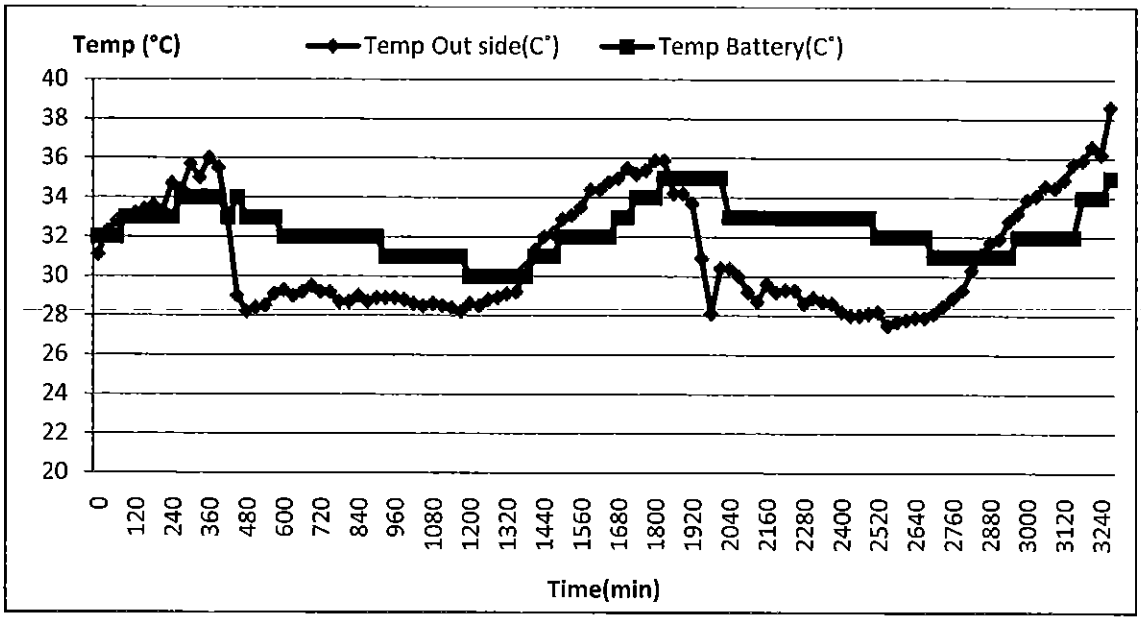
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงแรงดันต่างๆขณะทำการอัดประจุ

จากราฟในรูปที่ 4.1 จะสังเกตเห็นว่าแรงดัน AC line จะมีผลทำให้แรงดัน Vmaxเพิ่มขึ้น และลดลงตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการชาร์จ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่ากระแสกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุ

จากกราฟในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่ากระแสสูงสุดที่ใช้ในการชาร์จจะลดลงเมื่อแบตเตอรี่มีประจุมากขึ้นโดยสังเกตจารค่าความถ่วงจำเพาะหยุดทำการอัดประจุเมื่อเห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลานาน 4 ชั่วโมงตั้งแต่นาทีที่ 3000 จนถึง 3240



รูปที่ 4.3 กราฟอุณหภูมิขณะทำการอัดประจุ

จากราฟในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการอัดประจุนี้ไม่ทำให้แบตเตอรี่ร้อนหรือเดือดแต่อุณหภูมิแบตเตอรี่มีการขึ้นและลงตามสภาพอากาศภายนอก

4.2 ผลการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยไฟ 3 เฟส

ในการทดลองนี้จะทำการกำหนดค่ากระแสให้คงที่ตลอดการชาร์จโดยทำการอ่านค่ากระแสที่มิเตอร์วัดกระแสที่ติดอยู่กับเครื่องชาร์จ ก่อนการชาร์จทุกครั้งจะทำคายประประจุก่อนเพื่อให้ได้ระดับของค่าความถ่วงจำเพาะตอนที่เริ่มชาร์จในแต่ละครั้งเท่ากัน การทดลองที่จะทำการชาร์จทั้งหมด 4 ครั้งโดยทำการกำหนดค่ากระแสเพื่อหาความเหมาะสมในการชาร์จไว้ดังนี้ กำหนดกระแสในการชาร์จที่ 25 แอมแปร์ 20 แอมแปร์15 แอมแปร์ และ 10 แอมแปร์ เนื่องจากที่ 30 แอมแปร์ เบรกเกอร์ตัดไฟและที่น้อยกว่า 10 แอมแปร์ ระบบชาร์จไม่ทำงานขณะทำการชาร์จต้องคอยปรับกระแสให้ได้ค่าคงที่ตามต้องการเนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็มกระแสที่ใช้ในการชาร์จจะลดลง

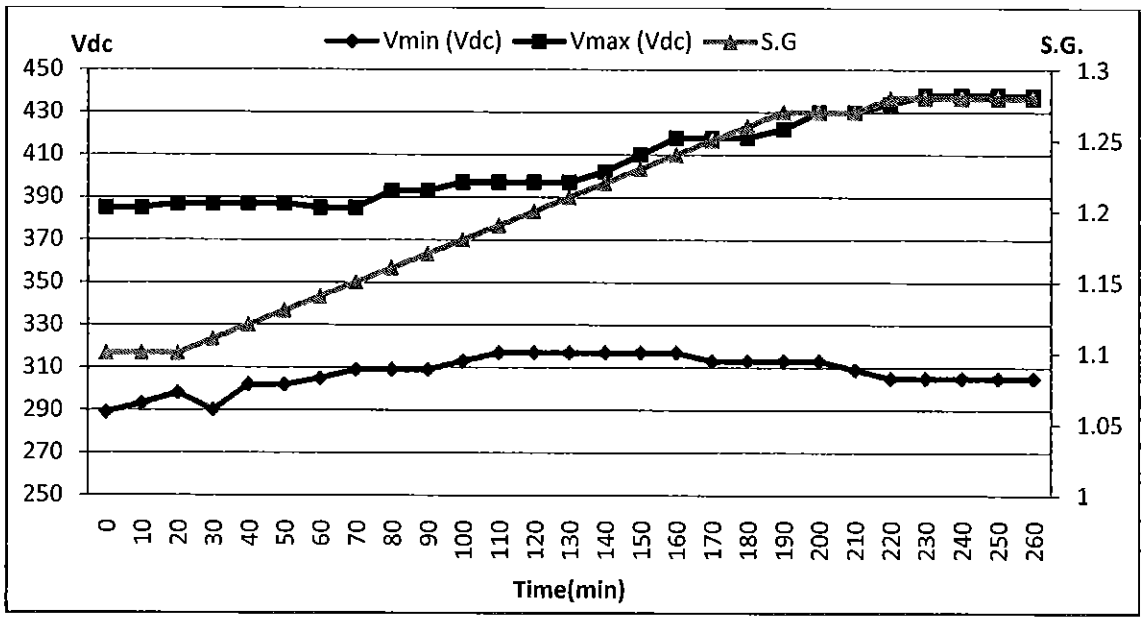
4.2.1 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 25 แอมแปร์

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 25 แอมแปร์

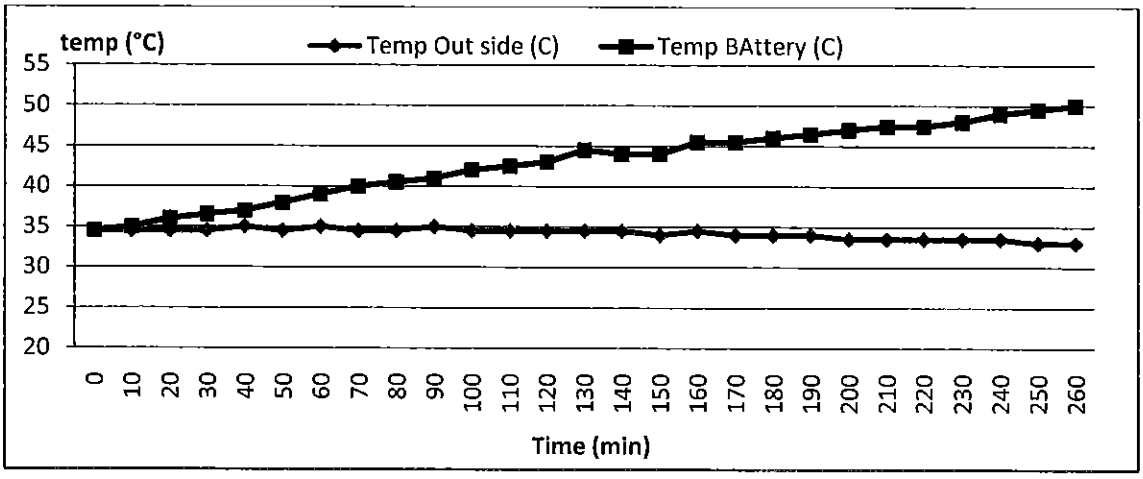
Time (min)	Temp Out side (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G
0	34.5	34.5	289	385	25	1.1
10	34.5	35	293	385	25	1.1
20	34.5	36	298	387	25	1.1
30	34.5	36.5	290	387	25	1.11
40	35	37	302	387	25	1.12
50	34.5	38	302	387	25	1.13
60	35	39	305	385	25	1.14
70	34.5	40	309	385	25	1.15
80	34.5	40.5	309	393	25	1.16
90	35	41	309	393	25	1.17
100	34.5	42	313	397	25	1.18
110	34.5	42.5	317	397	25	1.19
120	34.5	43	317	397	25	1.2
130	34.5	44.5	317	397	25	1.21
140	34.5	44	317	402	25	1.22
150	34	44	317	410	25	1.23
160	34.5	45.5	317	418	25	1.24
170	34	45.5	313	418	25	1.25
180	34	46	313	418	25	1.26
190	34	46.5	313	422	25	1.27
200	33.5	47	313	430	25	1.27
210	33.5	47.5	309	430	25	1.27
220	33.5	47.5	305	434	25	1.28
230	33.5	48	305	438	25	1.28

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 25 แอมแปร์ (ต่อ)

Time (min)	Temp Out side (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G
240	33.5	49	305	438	25	1.28
250	33	49.5	305	438	25	1.28
260	33	50	305	438	25	1.28



รูปที่ 4.4 กราฟแรงดัน Vmax Vmin และค่าความจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแส 25 แอมแปร์



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแส 25 แอมแปร์

จากกราฟรูปที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อทำการชาร์จด้วยกระแสคงที่ 25 แอมแปร์ ค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นไวมากในช่วง 3 ชั่วโมงแรกหลังจากนั้นค่าความถ่วงก็เริ่มคงที่ และค่าแรงดัน Vmin ลดลงช่วงหนึ่งจากนั้นก็คงที่ส่วนอุณหภูมิขณะทำการชาร์จจะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของแบตเตอรี่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ขณะทำการทดลองมีกลิ่นของสารละลายแรงมากเมื่ออุณหภูมิแบตเตอรี่สูงกว่า 45 เวลาในการทดลองทั้งหมด 4 ชั่วโมงครึ่งแล้วทำการหยุดชาร์จเมื่อเห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะไม่เพิ่มขึ้นเป็นเวลา 50 นาทีค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นสูงสุดที่เวลา 220 นาทีบ่งบอกว่าแบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที

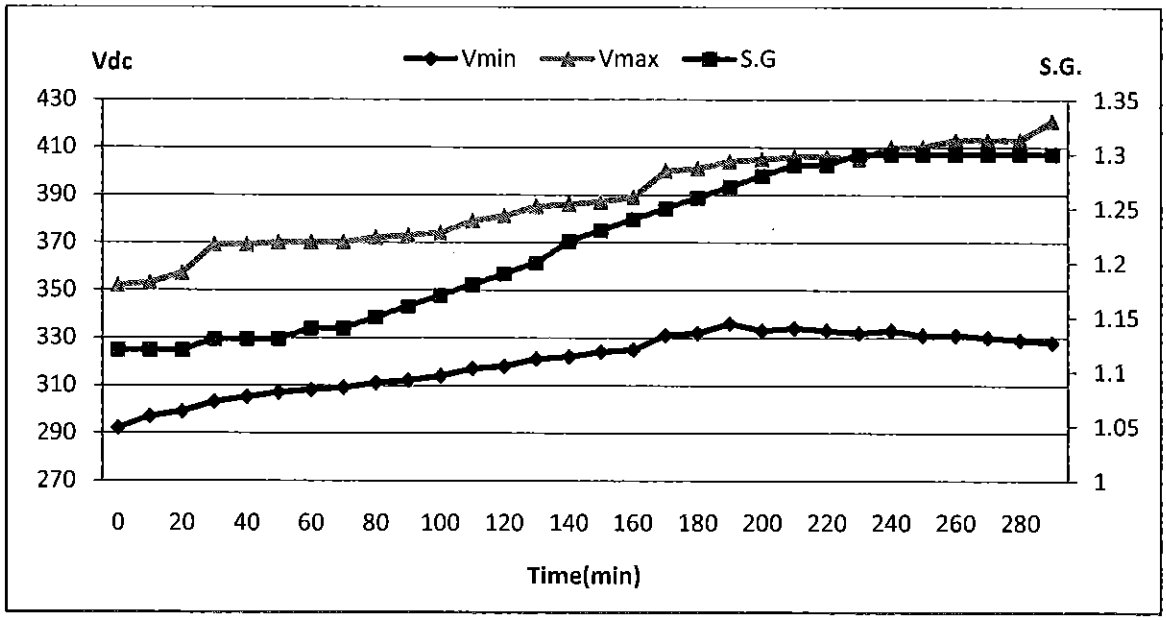
4.2.2 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์

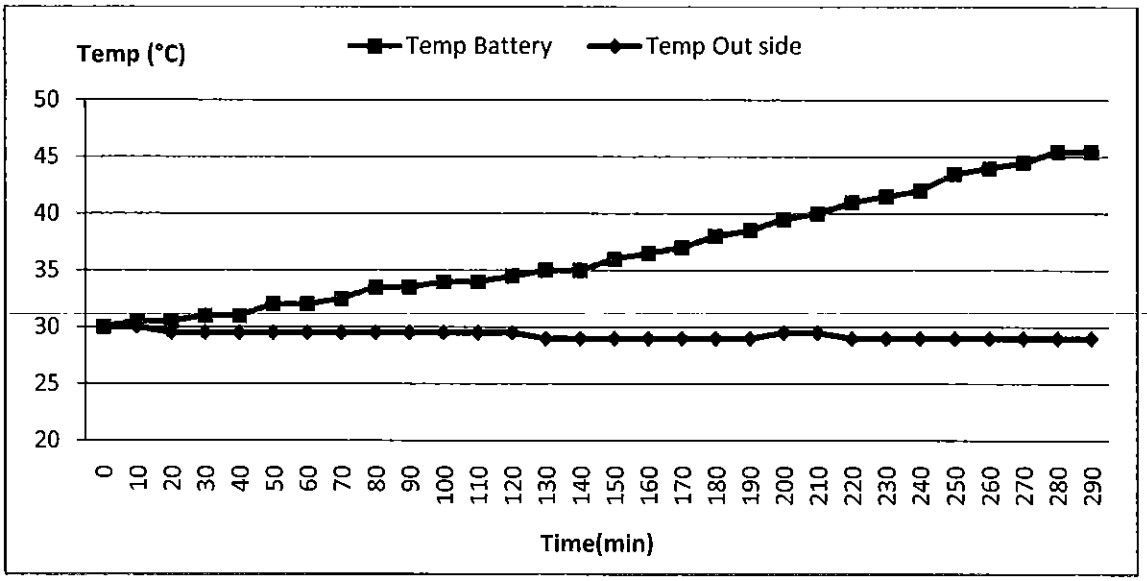
Time (min)	Temp Out side (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G
0	30	30	292	352	20	1.12
10	30	30.5	297	353	20	1.12
20	29.5	30.5	299	357	20	1.12
30	29.5	31	303	369	20	1.13
40	29.5	31	305	369	20	1.13
50	29.5	32	307	370	20	1.13
60	29.5	32	308	370	20	1.14
70	29.5	32.5	309	370	20	1.14
80	29.5	33.5	311	372	20	1.15
90	29.5	33.5	312	373	20	1.16
100	29.5	34	314	374	20	1.17
110	29.5	34	317	379	20	1.18
120	29.5	34.5	318	381	20	1.19
130	29	35	321	385	20	1.2
140	29	35	322	386	20	1.22
150	29	36	324	387	20	1.23
160	29	36.5	325	389	20	1.24

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์(ต่อ)

Time (min)	Temp Out side (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G
170	29	37	331	400	20	1.25
180	29	38	332	401	20	1.26
190	29	38.5	336	404	20	1.27
200	29.5	39.5	333	405	20	1.28
210	29.5	40	334	406	20	1.29
220	29	41	333	406	20	1.29
230	29	41.5	332	405	20	1.3
240	29	42	333	410	20	1.3
250	29	43.5	331	410	20	1.3
260	29	44	331	413	20	1.3
270	29	44.5	330	413	20	1.3
280	29	45.5	329	413	20	1.3
290	29	45.5	328	421	20	1.3



รูปที่ 4.6 กราฟแรงดัน Vmax Vmin และค่าความจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแส 20 แอมแปร์

จากกราฟรูปที่ 4.6 และ 4.7 เมื่อทำการชาร์จด้วยกระแสคงที่ 20 แอมแปร์จะเห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นถึง 1.3 เมื่อทำการชาร์จได้ 4 ชั่วโมงหลังจากนั้นทำการชาร์จต่ออีก 1 ชั่วโมงเพื่อดูค่าแรงดัน Vmax และ Vmin จะเห็นว่า Vmax ยังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากมีการปรับเพิ่มเพื่อให้ได้กระแสคงที่ส่วน Vmin มีแนวโน้มที่จะลดลง อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดการชาร์จ ใช้เวลาในการทดลองทั้งหมดประมาณ 5 ชั่วโมง ค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นสูงสุดที่เวลา 230 นาทีซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 4 ชั่วโมง

4.2.3 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์

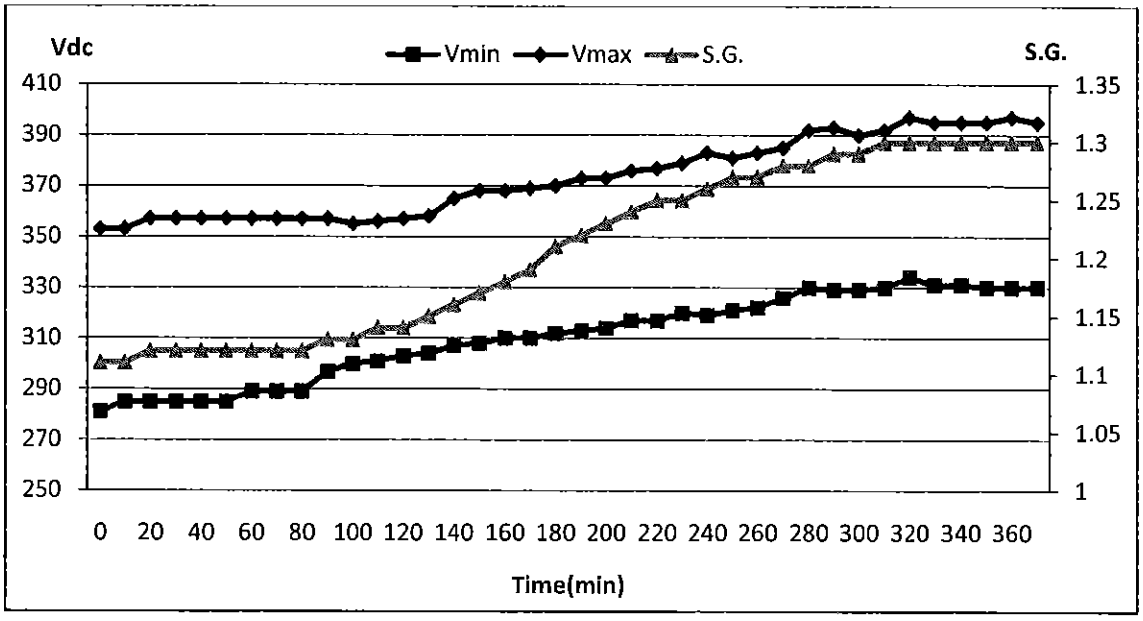
Time (min)	Temp Out side (°C)	TempBattery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G.
0	32.5	30.5	281	353	15	1.11
10	32.5	30.5	285	353	15	1.11
20	32.5	31	285	357	15	1.12
30	32	31.5	285	357	15	1.12
40	32	32	285	357	15	1.12
50	32	32.5	285	357	15	1.12
60	32	32.5	289	357	15	1.12

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์ (ต่อ)

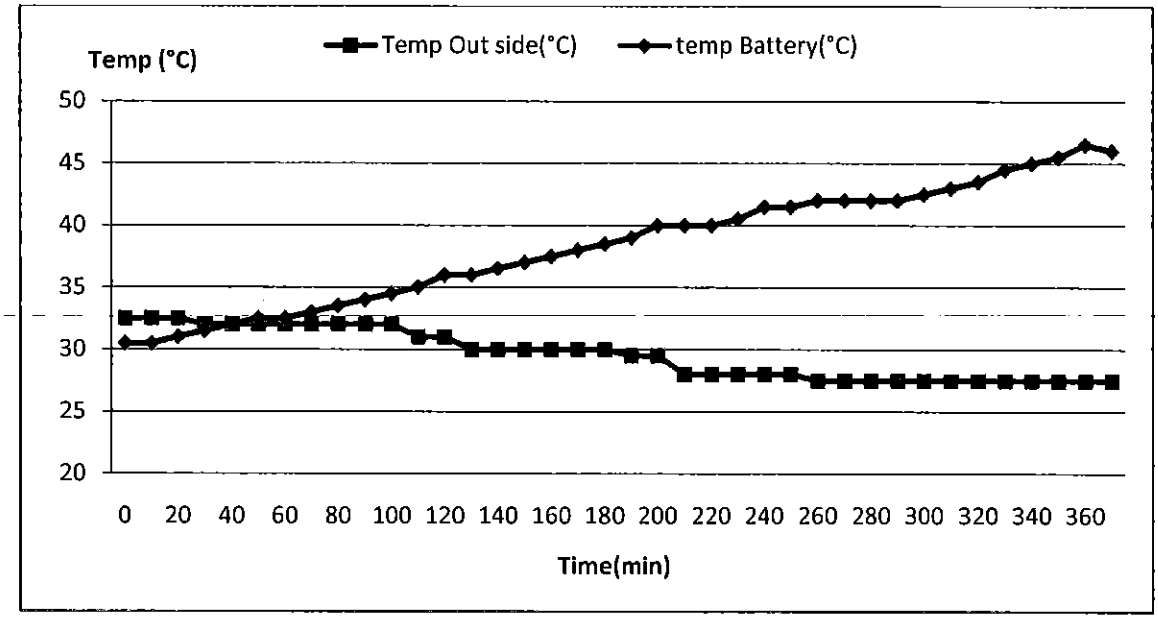
Time (min)	Temp Out side (°C)	TempBattery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G.
70	32	33	289	357	15	1.12
80	32	33.5	289	357	15	1.12
90	32	34	297	357	15	1.13
100	32	34.5	300	355	15	1.13
110	31	35	301	356	15	1.14
120	31	36	303	357	15	1.14
130	30	36	304	358	15	1.15
140	30	36.5	307	365	15	1.16
150	30	37	308	368	15	1.17
160	30	37.5	310	368	15	1.18
170	30	38	310	369	15	1.19
180	30	38.5	312	370	15	1.21
190	29.5	39	313	373	15	1.22
200	29.5	40	314	373	15	1.23
210	28	40	317	376	15	1.24
220	28	40	317	377	15	1.25
230	28	40.5	320	379	15	1.25
240	28	41.5	319	383	15	1.26
250	28	41.5	321	381	15	1.27
260	27.5	42	322	383	15	1.27
270	27.5	42	326	385	15	1.28
280	27.5	42	330	392	15	1.28
290	27.5	42	329	393	15	1.29
300	27.5	42.5	329	390	15	1.29
310	27.5	43	330	392	15	1.3
320	27.5	43.5	334	397	15	1.3

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์ (ต่อ)

Time (min)	Temp Out side (°C)	TempBattery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	Current (A)	S.G.
330	27.5	44.5	331	395	15	1.3
340	27.5	45	331	395	15	1.3
350	27.5	45.5	330	395	15	1.3
360	27.5	46.5	330	397	15	1.3
370	27.5	46	330	395	15	1.3



รูปที่ 4.8 กราฟแรงดัน Vmax Vmin และค่าความจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงอุณหภูมิขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่15 แอมแปร์

จากกราฟรูปที่ 4.8 และ 4.9 การชาร์จด้วยกระแสคงที่ 15 แอมแปร์ จะเห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าถึง 1.3 เมื่อเวลาในการชาร์จผ่านไป 5 ชั่วโมงหลังจากนั้นทำการชาร์จต่ออีก 1 ชั่วโมงเพื่อดูแรงดัน Vmax และ Vmin พบว่า Vmax ยังคงเพิ่มเนื่องจากมีการปรับเพิ่มเพื่อให้ได้กระแสคงที่ส่วน Vmin มีแนวโน้มที่จะคงที่ อุณหภูมิยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดการชาร์จใช้เวลาในการชาร์จทั้งหมด 6 ชั่วโมง ค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นสูงสุดที่เวลา 310 นาทีซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 5-6 ชั่วโมง

4.2.4 ผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์

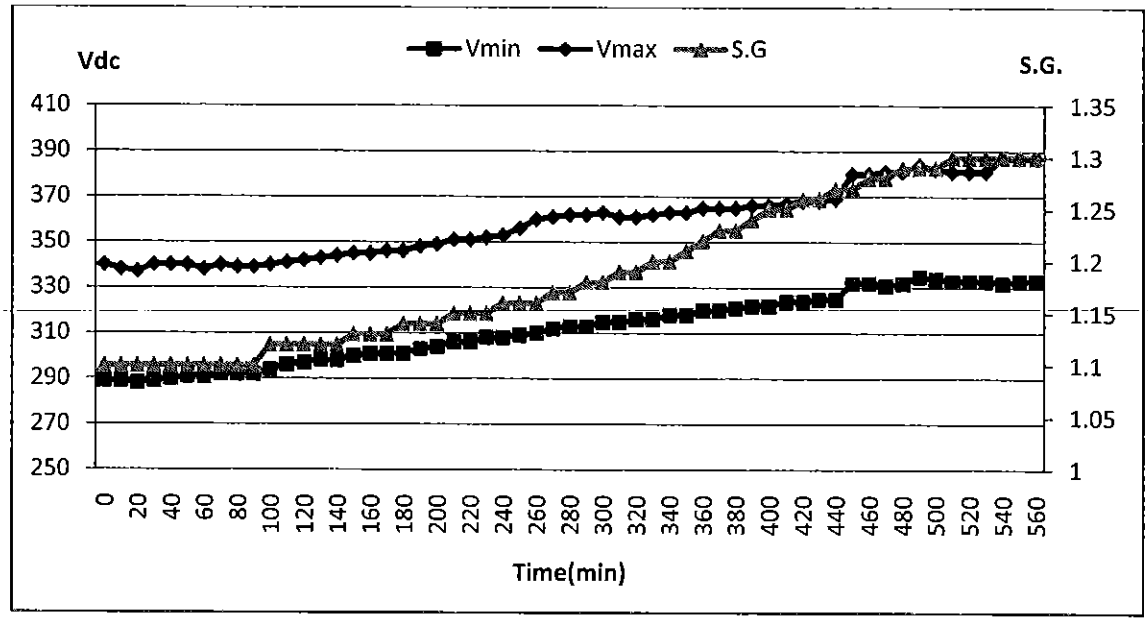
Time (min)	Temp Out side (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	S.G
0	32.5	32.5	289	340	1.1
10	32.5	32.5	289	338	1.1
20	32.5	32.5	288	337	1.1
30	32	33	289	340	1.1
40	32	33.5	290	340	1.1
50	32	33.5	291	340	1.1

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์ (ต่อ)

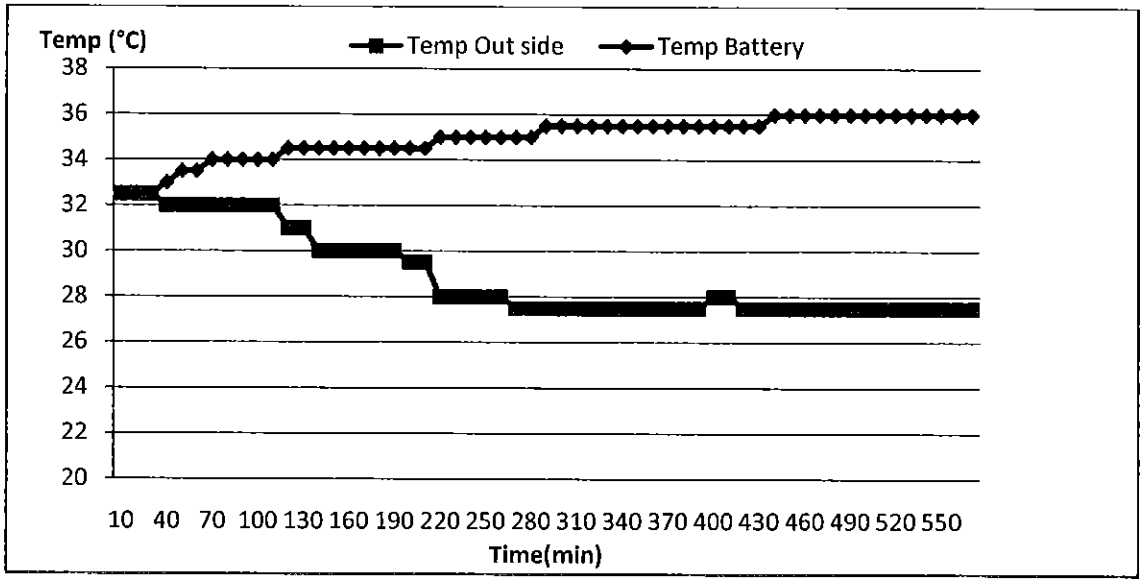
Time (min)	Temp Out side (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	S.G
60	32	34	291	338	1.1
70	32	34	292	340	1.1
80	32	34	292	339	1.1
90	32	34	292	339	1.1
100	32	34	294	340	1.12
110	31	34.5	296	341	1.12
120	31	34.5	297	342	1.12
130	30	34.5	298	343	1.12
140	30	34.5	298	344	1.12
150	30	34.5	300	345	1.13
160	30	34.5	301	345	1.13
170	30	34.5	301	346	1.13
180	30	34.5	301	346	1.14
190	29.5	34.5	303	348	1.14
200	29.5	34.5	304	349	1.14
210	28	35	306	351	1.15
220	28	35	306	351	1.15
230	28	35	308	352	1.15
240	28	35	308	353	1.16
250	28	35	309	356	1.16
260	27.5	35	310	360	1.16
270	27.5	35	312	361	1.17
280	27.5	35.5	313	362	1.17
290	27.5	35.5	313	362	1.18
300	27.5	35.5	315	363	1.18
310	27.5	35.5	315	361	1.19

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการอัดประจุด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์(ต่อ)

Time (min)	Temp Out side (°C)	Temp Battery (°C)	Vmin (Vdc)	Vmax (Vdc)	S.G
320	27.5	35.5	316	361	1.19
330	27.5	35.5	316	362	1.2
340	27.5	35.5	318	363	1.2
350	27.5	35.5	318	363	1.21
360	27.5	35.5	320	365	1.22
370	27.5	35.5	320	365	1.23
380	27.5	35.5	321	365	1.23
390	28	35.5	322	366	1.24
400	28	35.5	322	366	1.25
410	27.5	35.5	324	367	1.25
420	27.5	35.5	324	368	1.26
430	27.5	36	325	368	1.26
440	27.5	36	325	369	1.27
450	27.5	36	332	380	1.27
460	27.5	36	332	380	1.28
470	27.5	36	331	381	1.28
480	27.5	36	332	381	1.29
490	27.5	36	335	384	1.29
500	27.5	36	334	382	1.29
510	27.5	36	333	381	1.3
520	27.5	36	333	381	1.3
530	27.5	36	333	381	1.3
540	27.5	36	332	387	1.3
550	27.5	36	333	387	1.3
560	27.5	36	333	387	1.3



รูปที่ 4.10 กราฟแรงดัน Vmax Vmin และค่าความจำเพาะของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่10 แอมแปร์

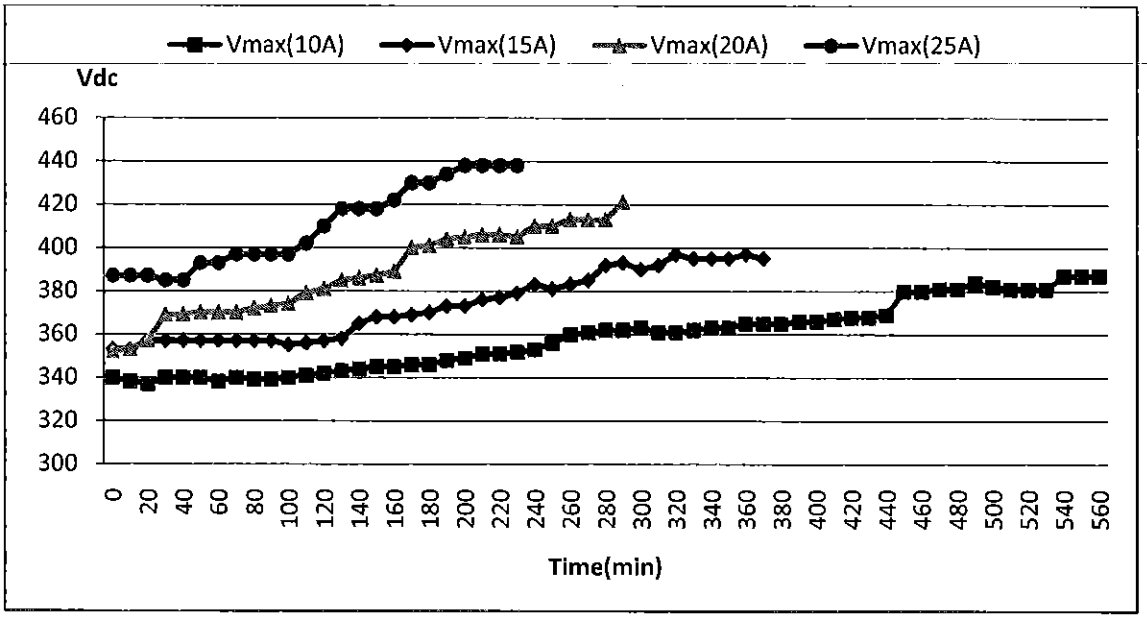


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงอุณหภูมิขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสคงที่10 แอมแปร์

จากกราฟรูปที่ 4.10 และ 4.11 การชาร์จด้วยกระแสคงที่ 10 แอมแปร์พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะสูงถึง 1.3 เมื่อเวลาในการชาร์จผ่านไป 8 ชั่วโมง 30 นาทีและทำการชาร์จต่ออีก 1 ชั่วโมง เพื่อดูค่า Vmax และ Vmin เห็นได้ว่า Vmax และ Vmin จะเริ่มคงที่หลังจากที่ค่าความถ่วงจำเพาะถึง 1.28 ส่วนอุณหภูมิเริ่มคงที่เมื่อเวลาการชาร์จผ่านไป 7 ชั่วโมง ที่ 36 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการ

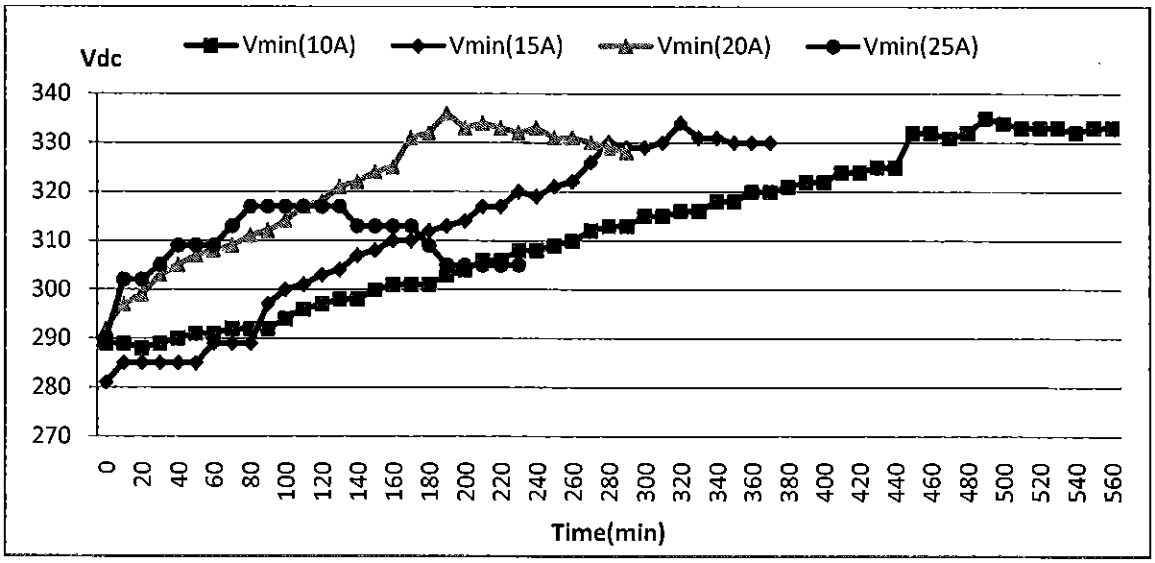
ชาร์จทั้งหมด 9 ชั่วโมง ค่าความถ่วงจำเพาะขึ้นสูงสุดที่เวลา 510 นาทีซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่เต็มภายในเวลา 8-9 ชั่วโมง

4.2.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบการอัดประจุด้วยกระแสต่างๆ



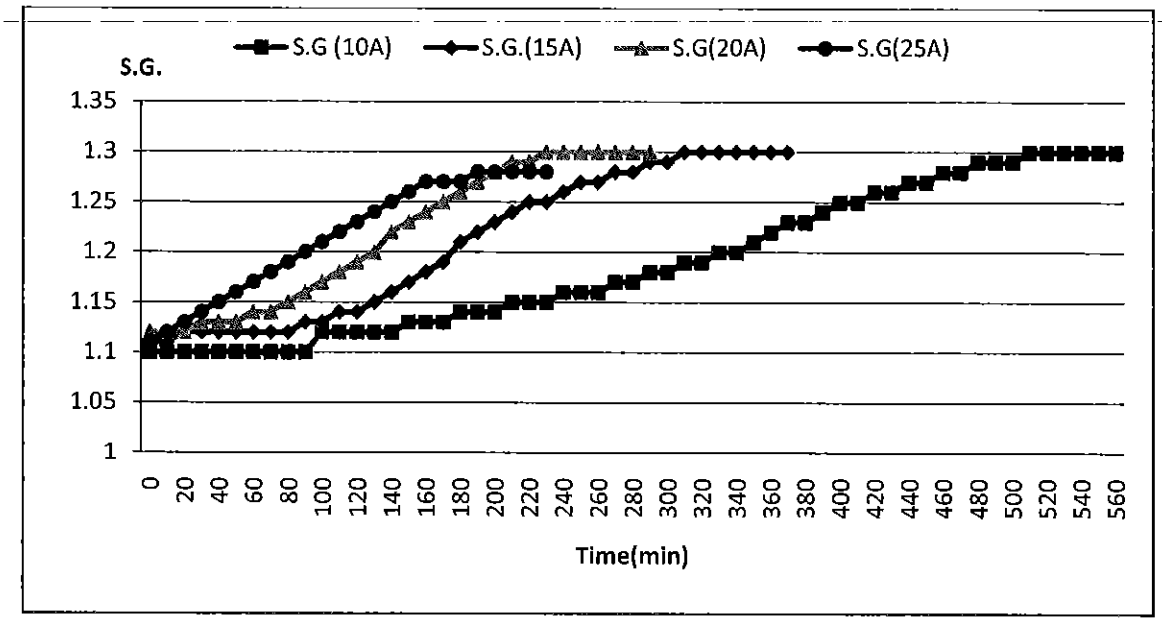
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงแรงดัน Vmax ที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสที่ต่างกัน

จากกราฟ รูปที่ 4.12 จะเห็นว่าแรงดัน Vmax จะเพิ่มขึ้นตลอดการชาร์จในทุกๆแบบ เนื่องจากเมื่อมีการปรับแรงดันเพิ่มเพื่อให้กระแสคงที่ Vmax ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยส่วนค่าสูงสุดจะเห็นได้ว่าในการชาร์จที่ใช้กระแสสูงก็จะมีค่าแรงดัน Vmax สูงตามไปด้วย



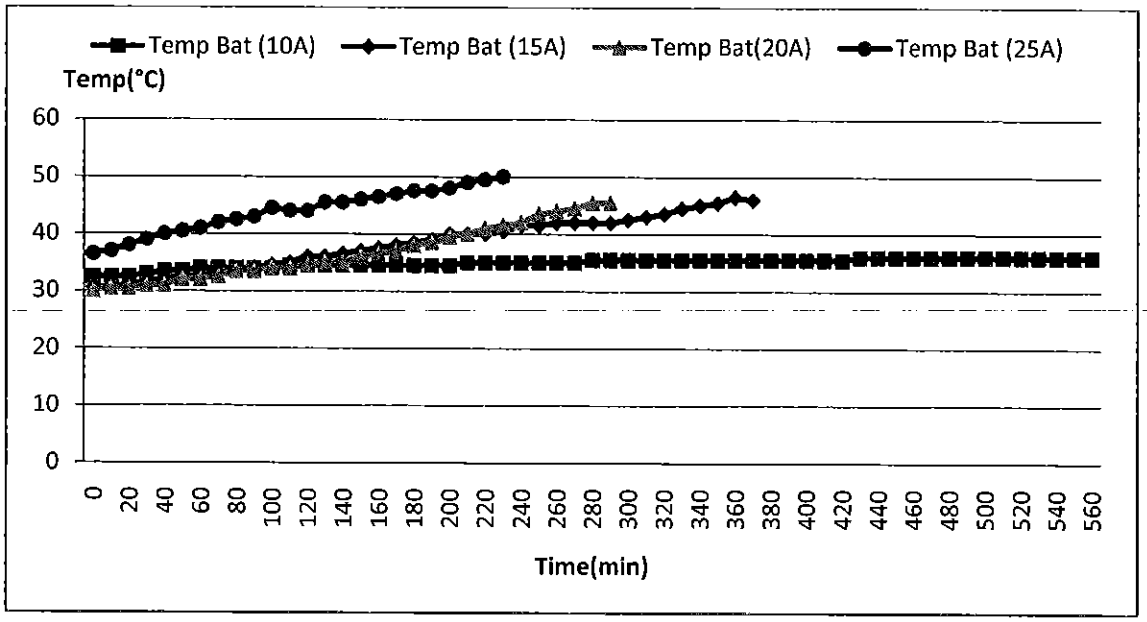
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงแรงดัน Vminที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสที่ต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าที่การชาร์จด้วยกระแส 25แอมแปร์ แรงดัน Vmin ซึ่งคือแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่จะขึ้นไวมากในชั่วโมงแรกของการชาร์จแต่พบว่าหลังจากนั้นแรงดันคงที่และลดลงในชั่วโมงหลังๆ ต่างจากที่ 20 15 และ 10 แอมแปร์ที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ก็ใช้เวลาที่ต่างกันเนื่องจากที่กระแสสูงกว่าแรงดันก็จะขึ้นไวกว่า



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสที่ต่างกัน

จากกราฟรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะที่เพิ่มขึ้นมากน้อยขึ้นอยู่กับกระแสที่ใช้การชาร์จแต่พบว่าที่การชาร์จ 25 แอมแปร์มีค่าความถ่วงที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ค่าสูงสุดที่ได้คือ 1.28 ส่วนการชาร์จ ที่ 20 15 และ 10 แอมแปร์สามารถชาร์จจนค่าความถ่วงเพิ่มสูงถึง 1.3



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่ได้จากการอัดประจุด้วยกระแสที่ต่างกัน

จากราฟรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าการชาร์จด้วยกระแสที่สูงมีผลทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการชาร์จสูงตามไปด้วยการชาร์จด้วยกระแสต่ำสุดจะทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะชาร์จต่ำที่สุด

4.3 ผลการคายประจุแบตเตอรี่

การทดลองการคายประจุนี้ทำเพื่อดูว่าเมื่อมีการคายประจุออก ค่าแรงดัน ค่าความถ่วงจำเพาะ และ อุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กันอย่างไรจึงทำการบันทึกค่าต่างๆเพื่อนำไปวิเคราะห์

4.3.1 ผลการคายประจุด้วยการนำหลอดไฟมาต่อกับแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.6 ผลการคายประจุด้วยหลอดไฟ

Time(min)	S.G	Temp Outside(°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
0	1.26	31.1	32.1	298.56
15	1.26	32.3	32.3	298.464
30	1.25	32.8	33	298.416
45	1.25	33	33.6	298.392
60	1.25	33.2	33.6	298.368
75	1.25	33.4	33.8	298.248

ตารางที่ 4.6 ผลการคายประจุด้วยหลอดไฟ (ต่อ)

Time(min)	S.G	Temp Outside(°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
90	1.25	33.6	34.6	298.248
105	1.25	33.3	34.4	298.224
120	1.25	34.7	34.4	298.2
135	1.25	34.4	35	298.176
150	1.25	35.7	35.5	298.152
165	1.25	35	35	298.104
180	1.25	36	35.1	298.08
195	1.25	35.5	34.8	298.056
210	1.25	32.8	34.4	297.984
225	1.25	29	34.6	297.96
240	1.24	28.2	34.3	297.912
255	1.24	28.4	34.1	297.864
270	1.24	28.5	33.7	297.792
285	1.24	29.1	33.8	297.72
300	1.24	29.3	33.4	297.672
315	1.23	29	33.8	297.6
330	1.23	29.2	33.6	297.528
345	1.23	29.5	34.5	297.456
360	1.23	29.2	34.2	297.36
375	1.23	29.2	35	297.264
390	1.23	28.7	35.7	297.168
405	1.23	28.7	35.6	297.072
420	1.23	29	34	296.976
435	1.23	28.7	35	296.856
450	1.22	28.9	33	296.76
465	1.22	28.9	32.5	296.664

ตารางที่ 4.6 ผลการคายประจุด้วยหลอดไฟ (ต่อ)

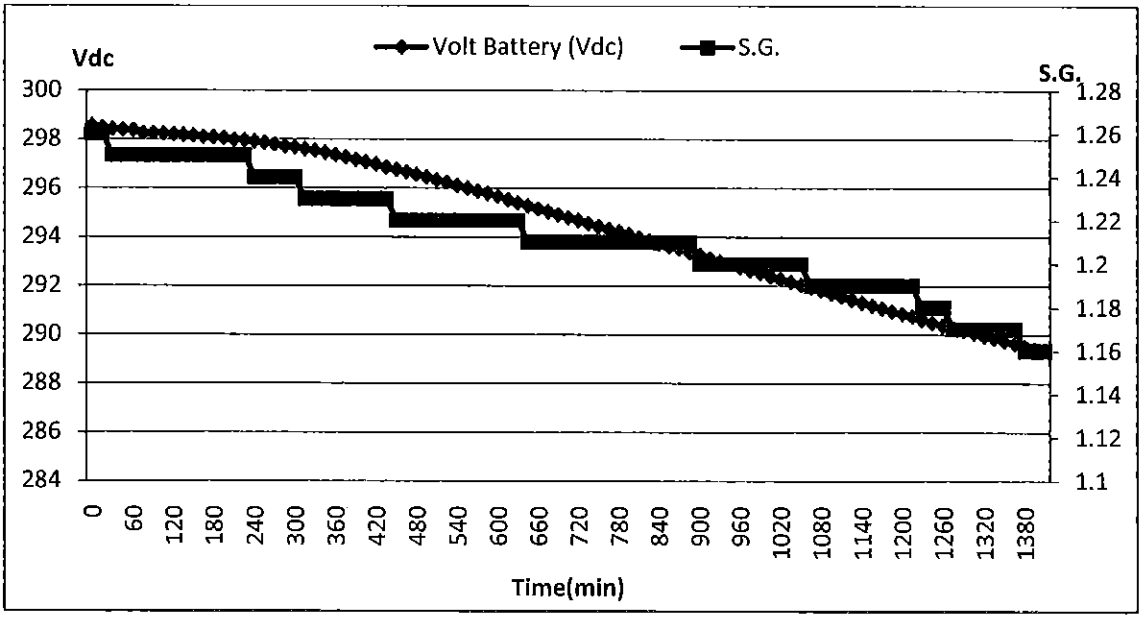
Time(min)	S.G	Temp Outside(°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
480	1.22	28.9	32.3	296.544
495	1.22	28.8	32	296.448
510	1.22	28.6	32	296.328
525	1.22	28.5	32.5	296.232
540	1.22	28.6	30.8	296.112
555	1.22	28.5	31.1	295.992
570	1.22	28.4	31.2	295.872
585	1.22	28.2	30.7	295.776
600	1.22	28.6	30	295.656
615	1.22	28.5	29.9	295.536
630	1.22	28.8	29.6	295.392
645	1.21	28.9	29.7	295.272
660	1.21	29.1	29.6	295.152
675	1.21	29.2	29.8	295.032
690	1.21	30.4	30.3	294.912
705	1.21	31.3	29.5	294.792
720	1.21	32	29.9	294.672
735	1.21	32.2	30.5	294.552
750	1.21	32.9	30.3	294.432
765	1.21	33.1	29.8	294.312
780	1.21	33.5	29.4	294.216
795	1.21	34.4	30	294.096
810	1.21	34.4	29.5	293.976
825	1.21	34.8	29	293.832
840	1.21	35	29.6	293.712
855	1.21	35.5	28.5	293.616
870	1.21	35.2	29.1	293.52

ตารางที่ 4.6 ผลการคายประจุด้วยหลอดไฟ (ต่อ)

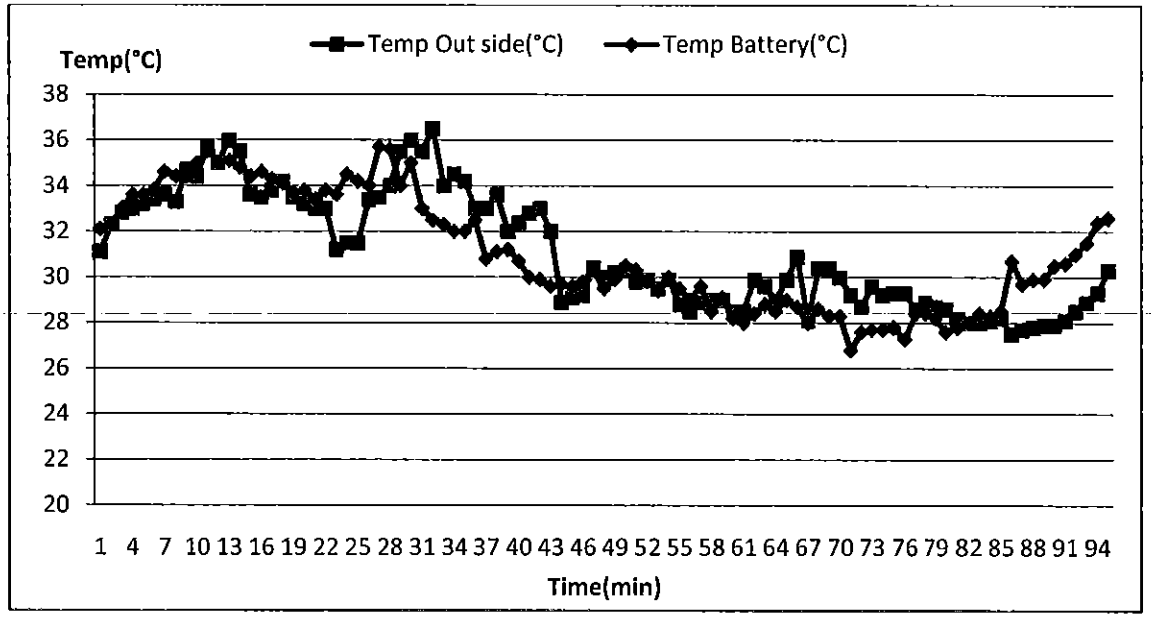
Time(min)	S.G	Temp Outside(°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
885	1.21	35.4	28.2	293.376
900	1.2	35.9	28	293.256
915	1.2	35.9	28.4	293.112
930	1.2	34.2	28.8	292.992
945	1.2	34.2	28.5	292.872
960	1.2	33.7	29	292.752
975	1.2	30.9	28.7	292.632
990	1.2	28.1	28	292.512
1005	1.2	30.4	28.6	292.392
1020	1.2	30.4	28.3	292.272
1035	1.2	30	28.3	292.152
1050	1.2	29.2	26.8	292.032
1065	1.19	28.7	27.6	291.936
1080	1.19	29.6	27.7	291.816
1095	1.19	29.2	27.7	291.672
1110	1.19	29.3	27.8	291.552
1125	1.19	29.3	27.3	291.432
1140	1.19	28.6	28.4	291.312
1155	1.19	28.9	28.4	291.192
1170	1.19	28.7	28.2	291.072
1185	1.19	28.6	27.6	290.952
1200	1.19	28.2	27.8	290.856
1215	1.19	28	28	290.76
1230	1.18	28	28.4	290.616
1245	1.18	28.1	28.3	290.496
1260	1.18	28.2	28.5	290.376
1275	1.17	27.5	30.7	290.256

ตารางที่ 4.6 ผลการคายประจุด้วยหลอดไฟ (ต่อ)

Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
1290	1.17	27.7	29.7	290.16
1305	1.17	27.8	29.9	290.064
1320	1.17	27.9	29.9	289.944
1335	1.17	27.9	30.5	289.848
1350	1.17	28.1	30.6	289.728
1365	1.17	28.5	31	289.632
1380	1.16	28.9	31.5	289.512
1395	1.16	29.3	32.4	289.416
1410	1.16	30.3	32.6	289.32



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงแรงดันกับค่าความถ่วงจำเพาะขณะทำการคายประจุด้วยหลอดไฟ



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ขณะทำการคายประจุด้วยหลอดไฟ

4.3.2 ผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องทิ้งไว้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้

Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
0	1.27	31.1	32	303.55
10	1.27	32.3	32	297.78
20	1.27	32.8	32	297.69
30	1.27	33	33	297.88
40	1.27	33.2	33	297.85
50	1.27	33.4	33	297.83
60	1.27	33.6	33	297.79
70	1.27	33.3	33	297.71
80	1.27	34.7	33	297.65
90	1.27	34.4	34	297.52
100	1.27	35.7	34	297.43
110	1.27	35	34	297.33
120	1.27	36	34	297.24

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ (ต่อ)

Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
130	1.27	35.5	34	297.18
140	1.26	32.8	33	297.11
150	1.26	29	34	297.06
160	1.26	28.2	33	297
170	1.26	28.4	33	296.94
180	1.26	28.5	33	296.9
190	1.26	29.1	33	296.87
200	1.26	29.3	32	296.84
210	1.26	29	32	296.82
220	1.26	29.2	32	296.74
230	1.26	29.5	32	296.72
240	1.26	29.2	32	296.68
250	1.26	29.2	32	296.63
260	1.25	28.7	32	296.6
270	1.25	28.7	32	296.54
280	1.25	29	32	296.45
290	1.25	28.7	32	296.39
300	1.25	28.9	32	296.33
310	1.25	28.9	31	296.28
320	1.25	28.9	31	296.24
330	1.24	28.8	31	296.2
340	1.24	28.6	31	296.13
350	1.24	28.5	31	296.09
360	1.24	28.6	31	296
370	1.24	28.5	31	295.95
380	1.24	28.4	31	295.85
390	1.24	28.2	31	295.82

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ (ต่อ)

Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
400	1.24	28.6	30	295.76
410	1.24	28.5	30	295.69
420	1.24	28.8	30	295.64
430	1.24	28.9	30	295.57
440	1.24	29.1	30	295.5
450	1.24	29.2	30	295.37
460	1.24	30.4	30	295.34
470	1.23	31.3	31	295.3
480	1.23	32	31	295.2
490	1.23	32.2	31	295.13
500	1.23	32.9	32	295.07
510	1.23	33.1	32	295
520	1.23	33.5	32	294.92
530	1.23	34.4	32	294.85
540	1.23	34.4	32	294.79
550	1.23	34.8	32	294.66
560	1.23	35	33	294.59
570	1.23	35.5	33	294.53
580	1.23	35.2	34	294.49
590	1.23	35.4	34	294.42
600	1.23	35.9	34	294.35
610	1.22	35.9	35	294.26
620	1.22	34.2	35	294.15
630	1.22	34.2	35	294.11
640	1.22	33.7	35	294.02
650	1.22	30.9	35	293.93
660	1.22	28.1	35	293.83

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ (ต่อ)

Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
670	1.22	30.4	35	293.79
680	1.22	30.4	33	293.69
690	1.22	30	33	293.61
700	1.22	29.2	33	293.53
710	1.22	28.7	33	293.43
720	1.22	29.6	33	293.36
730	1.22	29.2	33	293.25
740	1.22	29.3	33	293.19
750	1.22	29.3	33	293.08
760	1.21	28.6	33	293
770	1.21	28.9	33	292.89
780	1.21	28.7	33	292.84
790	1.21	28.6	33	292.76
800	1.21	28.2	33	292.62
810	1.21	28	33	292.53
820	1.21	28	33	292.46
830	1.21	28.1	33	292.4
840	1.21	28.2	32	292.29
850	1.21	27.5	32	292.18
860	1.21	27.7	32	292.11
870	1.21	27.8	32	292.01
880	1.21	27.9	32	291.91
890	1.2	27.9	32	291.8
900	1.2	28.1	31	291.73
910	1.2	28.5	31	291.63
920	1.2	28.9	31	291.55
930	1.2	29.3	31	291.44

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ (ต่อ)

Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
940	1.2	30.3	31	291.34
950	1.2	31.1	31	291.23
960	1.2	31.7	31	291.14
970	1.2	31.9	31	291.06
980	1.2	32.8	31	290.97
990	1.2	33.2	32	290.85
1000	1.2	33.9	32	290.79
1010	1.19	34.1	32	290.68
1020	1.19	34.6	32	290.59
1030	1.19	34.5	32	290.47
1040	1.19	34.9	32	290.35
1050	1.19	35.7	32	290.29
1060	1.19	35.9	34	290.19
1070	1.19	36.6	34	290.09
1080	1.19	36.2	34	289.94
1090	1.19	36.6	35	289.87
1100	1.19	31.1	32	289.76
1110	1.18	32.3	32	289.67
1120	1.18	32.8	32	289.57
1130	1.18	33	33	289.45
1140	1.18	33.2	33	289.34
1150	1.18	33.4	33	289.27
1160	1.18	33.6	33	289.18
1170	1.18	33.3	33	289.09
1180	1.18	34.7	33	288.9
1190	1.18	34.4	34	288.82
1200	1.18	35.7	34	287.86

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ (ต่อ)

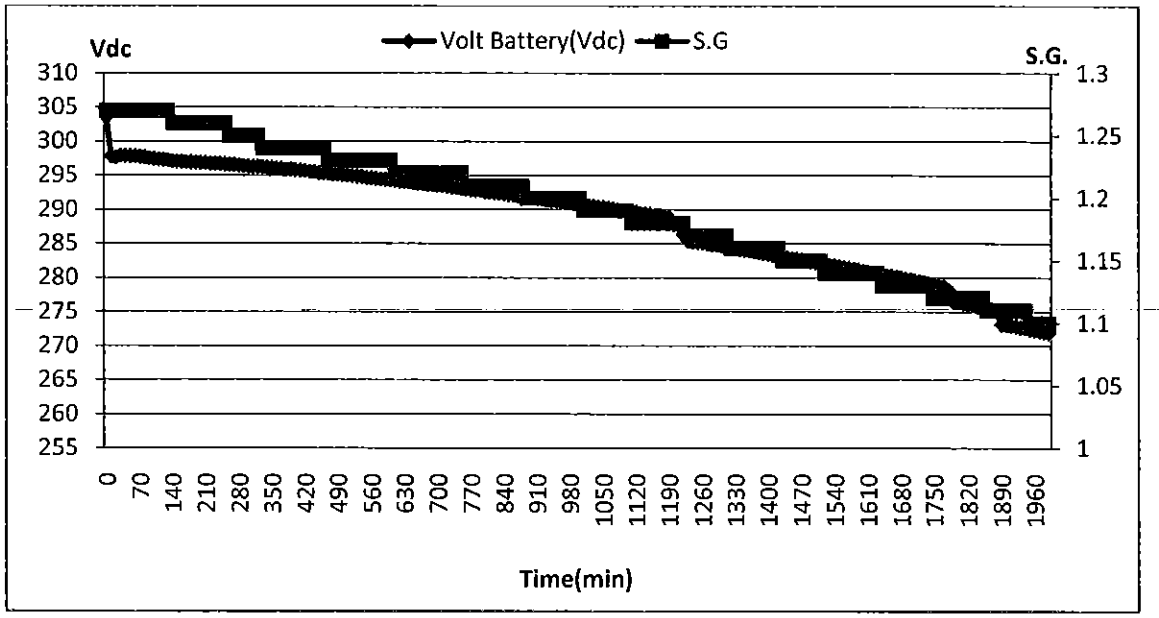
Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
1210	1.18	35	34	287.71
1220	1.18	36	34	286.36
1230	1.17	35.5	34	285.4
1240	1.17	32.8	33	285.29
1250	1.17	29	34	285.17
1260	1.17	28.2	33	285.07
1270	1.17	28.4	33	284.97
1280	1.17	28.5	33	284.8
1290	1.17	29.1	33	284.73
1300	1.17	29.3	32	284.64
1310	1.17	29	32	284.49
1320	1.16	29.2	32	284.36
1330	1.16	29.5	32	284.29
1340	1.16	29.2	32	284.15
1350	1.16	29.2	32	284.03
1360	1.16	28.7	32	283.95
1370	1.16	28.7	32	283.82
1380	1.16	29	32	283.7
1390	1.16	28.7	32	283.58
1400	1.16	28.9	32	283.45
1410	1.16	28.9	31	283.3
1420	1.16	28.9	31	283.21
1430	1.15	28.8	31	283.09
1440	1.15	28.6	31	282.95
1450	1.15	28.5	31	282.83
1460	1.15	28.6	31	282.75
1470	1.15	28.5	31	282.61

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ (ต่อ)

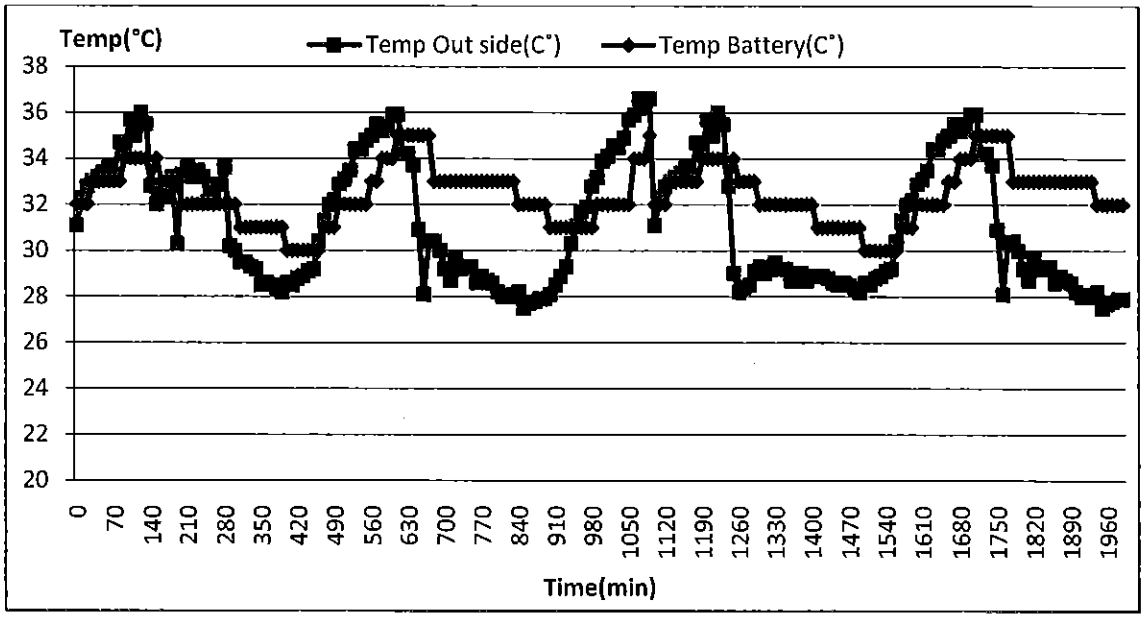
Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
1480	1.15	28.4	31	282.47
1490	1.15	28.2	31	282.34
1500	1.15	28.6	30	282.25
1510	1.15	28.5	30	282.17
1520	1.14	28.8	30	282.03
1530	1.14	28.9	30	281.89
1540	1.14	29.1	30	281.77
1550	1.14	29.2	30	281.65
1560	1.14	30.4	30	281.53
1570	1.14	31.3	31	281.42
1580	1.14	32	31	281.3
1590	1.14	32.2	31	281.17
1600	1.14	32.9	32	280.98
1610	1.14	33.1	32	280.87
1620	1.14	33.5	32	280.75
1630	1.14	34.4	32	280.65
1640	1.13	34.4	32	280.51
1650	1.13	34.8	32	280.37
1660	1.13	35	33	280.27
1670	1.13	35.5	33	280.11
1680	1.13	35.2	34	279.99
1690	1.13	35.4	34	279.86
1700	1.13	35.9	34	279.79
1710	1.13	35.9	35	279.56
1720	1.13	34.2	35	279.48
1730	1.13	34.2	35	279.33
1740	1.13	33.7	35	279.18

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถไฟฟ้าทิ้งไว้ (ต่อ)

Time(min)	S.G	Temp Outside (°C)	Temp Battery(°C)	Volt Battery (Vdc)
1750	1.12	30.9	35	279.02
1760	1.12	28.1	35	278.86
1770	1.12	30.4	35	278.67
1780	1.12	30.4	33	278.14
1790	1.12	30	33	276.5
1800	1.12	29.2	33	276.41
1810	1.12	28.7	33	276.3
1820	1.12	29.6	33	276.16
1830	1.12	29.2	33	276.04
1840	1.12	29.3	33	275.84
1850	1.12	29.3	33	275.76
1860	1.11	28.6	33	275.68
1870	1.11	28.9	33	275.43
1880	1.11	28.7	33	275.03
1890	1.11	28.6	33	273.19
1900	1.11	28.2	33	273.11
1910	1.11	28	33	272.99
1920	1.11	28	33	272.9
1930	1.11	28.1	33	272.7
1940	1.11	28.2	32	272.61
1950	1.1	27.5	32	272.44
1960	1.1	27.7	32	272.33
1970	1.1	27.8	32	272.2
1980	1.1	27.9	32	272.05
1990	1.1	27.9	32	271.96



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงแรงดันกับค่าความถ่วงจำเพาะขณะทำการคายประจุด้วยการติดเครื่องรถทิ้งไว้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงอุณหภูมิขณะทำการคายประจุแบตเตอรี่โดยการติดเครื่องรถทิ้งไว้

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การชาร์จด้วยระบบไฟฟ้า 1 เฟส 220โวลต์ จะใช้เวลาในการชาร์จที่นานมากจากการทดลองทำการชาร์จใช้เวลาทั้งหมด 52 ชั่วโมง เมื่อสังเกตเห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดที่สามารถวัดได้คือ 1.25 และจะเห็นว่าแรงดัน AC ที่เป็นแหล่งจ่ายให้กับเครื่องชาร์จมีแรงดันที่ไม่คงที่ส่งผลให้แรงดันที่เข้าแบตเตอรี่ในแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากันแต่เมื่อมองไปที่กระแสจะสังเกตเห็นว่าในช่วงท้ายๆของการทดลองจะเหลือกระแสที่ใช้ในการชาร์จน้อยก็แสดงให้เห็นว่ามีพลังงานที่เข้าแบตเตอรี่น้อยเนื่องจากแบตเตอรี่มีประจุไฟฟ้ามากขึ้น

การทดลองชาร์จแบตเตอรี่ด้วยระบบเครื่องชาร์จ 3 เฟสโดยการใช้กระแสที่แตกต่างกันในการชาร์จแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการชาร์จด้วยกระแสที่สูง 25 แอมแปร์ จะทำให้แบตเตอรี่ได้รับพลังงานมากเกินไปก็จะเกิดการสูญเสียพลังงานทำให้ไม่สามารถอัดประจุได้เต็มที่เปรียบเสมือนการเติมน้ำลงแก้วการที่เราเติมน้ำแรงเกินไปก็จะเกิดการหกหรือล้นออกทำให้ได้น้ำที่ไม่เต็มแก้วพอดี และเมื่อชาร์จด้วยกระแส 20 แอมแปร์และ 15 แอมแปร์มีผลการทดลองที่คล้ายกันแตกต่างกันที่ระยะเวลาชาร์จ 1 ชั่วโมงแต่ก็ยังทำให้แบตเตอรี่มีความร้อนอยู่เนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็มไม่ได้มีการปรับให้กระแสลดลงยังคงอัดพลังงานเข้าแบตเตอรี่เท่าเดิมทำให้แบตเตอรี่ยังคงเกิดความร้อนและจะเห็นได้ว่าการที่ชาร์จด้วยกระแส 10 แอมแปร์ จะไม่ทำให้แบตเตอรี่เกิดความร้อนมากแต่ก็ใช้ระยะเวลาในการชาร์จนาน

การทดลองการคายประจุพบว่าในการคายประจุทั้งสองแบบมีรูปกราฟที่เป็นไปแนวทางเดียวกันคือเมื่อแรงดันลดค่าความถ่วงจำเพาะก็ลดลงตามแรงดันเวลาที่ใช้ในการคายประจุต่างกันเนื่องจากการติดเครื่องรถทิ้งไว้โดยไม่ได้ขับเคลื่อนรถกินกระแสน้อยมากจึงใช้เวลาในการคายประจุนานมาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองอัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่รุ่น GS BV 130Z ที่ใช้กับรถไฟฟ้าต้นแบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะมีความสัมพันธ์กับแรงดันแบตเตอรี่ทั้งขณะอัดประจุและคายประจุคือเมื่อมีการอัดประจุค่าความถ่วงที่เพิ่มขึ้นเร็วแรงดันดันของการอัดประจุก็จะเพิ่มขึ้นเร็วด้วยสังเกตจากผลการทดลองอัดประจุด้วยระบบเครื่องชาร์จ 3 เฟสและเมื่อมีการคายประจุค่าความถ่วงจำเพาะก็ลดตามแรงดัน

จากการทดลองอัดประจุด้วยระบบไฟฟ้า 1 เฟสพบว่าไฟ 220โวลต์ หรือไฟบ้านที่ใช้กันทั่วไปสามารถใช้อัดประจุให้กับแบตเตอรี่รถไฟฟ้าได้โดยใช้เครื่องชาร์จสำหรับการชาร์จด้วยระบบไฟฟ้า 1 เฟสได้แต่ใช้เวลานาน

ในระบบเครื่องชาร์จ3 เฟส การอัดประจุด้วยกระแสที่ต่างกันจากการทดลองทำให้เห็นว่ากระแสที่เหมาะสมที่จะใช้ในการอัดประจุจากเครื่องชาร์จนี้คือการใช้กระแสที่ 20 แอมแปร์ และ 15 แอมแปร์เนื่องจากที่ 25 แอมแปร์เร็วแต่ช่วงแรกๆแต่ไม่สามารถชาร์จได้ค่าสูงสุดของการชาร์จซึ่งดูจากค่าความถ่วงจำเพาะและที่ 15 แอมแปร์ใช้เวลาในการชาร์จนานแต่จะดีเรื่องอุณหภูมิเนื่องจากไม่ทำให้แบตเตอรี่ร้อน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ก) ในการทดสอบอัดประจุในแต่ครั้งผู้ทดสอบจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการปฏิบัติงาน

ข) ในการวัดค่าความถ่วงจำเพาะขณะแบตเตอรี่ร้อนมากควรมีแว่นตาและผ้าปิดจะมูกด้วยเนื่องจากเมื่อแบตเตอรี่เดือดจะมีน้ำกรดกระเด็นออกมาทางช่องอากาศของแบตเตอรี่และจะมีกลิ่นของน้ำกรดแรงมาก

ค) ในการทดลองชาร์จด้วยตู้ชาร์จไฟฟ้า 3 เฟสผู้ทดลองควรมีความรู้เกี่ยวกับระบบการทำงานของตู้การเปิดและการปิดตู้ก่อนเพื่อความปลอดภัย

ง) ในการทดลองอัดประจุที่กระแสสูงควรสังเกตอาการของแบตเตอรี่ให้ดีถ้าพบว่าร้อนเกินไปควรจะหยุดทำกรทดลอง

จ) ก่อนการทดลองและหลังการทดลองควรตรวจเช็คอุปกรณ์ต่างๆอย่างถี่ถ้วนเพื่อความปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

[1] แบตเตอรี่รถยนต์.com [Online], Aโวลต์ailable :http://แบตเตอรี่-รถยนต์.blogspot.com/2012/11/blog-post_7124.html [2013, March 20].

[2] Karnjanapiboon, C., Rungruengphalanggul, Y. and Boonyaroonate, I., 2003, "The Low Stress โวลต์oltage BalanceCharging Circuit for Series Connected Batteries Based onBUCK-BOOST Topology", International Symposium on Circuits and Systems, 25-28 May 2003, Bangkok, pp. 1100-1104.

[3] Detchko Paโวลต์loโวลต์. Lead-Acid Batteries: Science and Technology A Handbook of Lead-Acid Battery Technology and its Influence on the Product. Elseโวลต์ier Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, The NetherlandsThe Bouleโวลต์ard, Langford lame, Kidlington, OX5 1GB, UK First edition 2011.

[4] BATTERY SERโวลต์ICE-Atoshop 101 [Online], Aโวลต์ailable :www.autoshop101.com/forms/hweb4.pdf[2013, March 22].

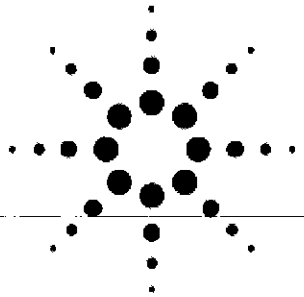
[5] PowerElectricForklift [Online], Aโวลต์ailable :http://powerelectricforklift.blogspot.com/2011/09/blog-post_23.html [2013, March 20].

[6] Trojan BATTERY COMPANY [Online], Aโวลต์ailable :http://www.trojanbattery.com/batterymaintenance/testing.aspx [2013, March 20].

[7] ข้อเรียนรู้เกี่ยวกับแบตเตอรี่ [Online], Aโวลต์ailable :www.getecc.com/brochure/chartเปอร์เซ็นต์20battery.pdf[2013, March 19].

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของ Agilent Infiniiโวลต์ision 300 X-Series Oscilloscopes



Agilent InfiniiVision 3000 X-Series Oscilloscopes

User's Guide

Agilent Technologies

InfiniiVision 3000 X-Series Oscilloscopes—At a Glance

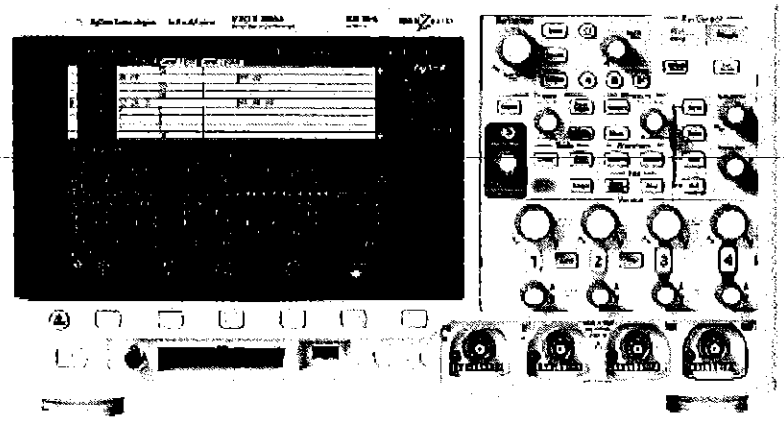
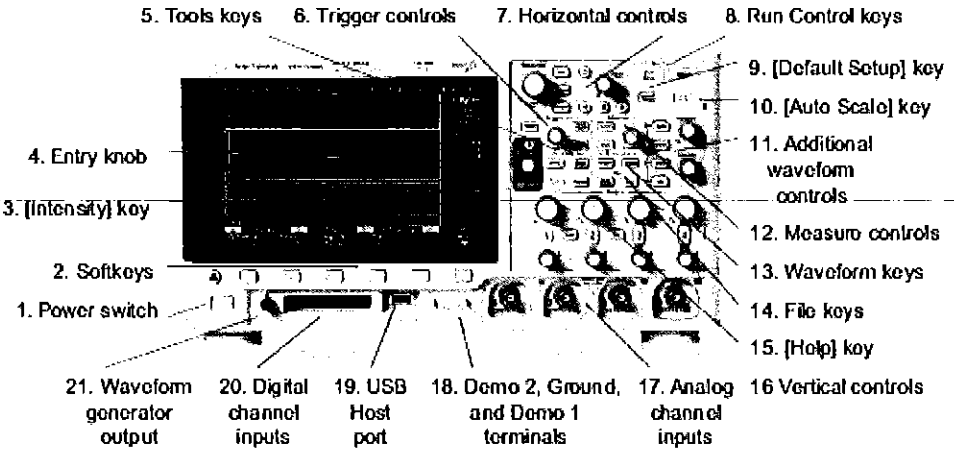


Table 1 3000 X-Series Model Numbers, Bandwidths, Sample Rates

Bandwidth	100 MHz	200 MHz	350 MHz	500 MHz	1 GHz
Sample Rate (interleaved, non-interleaved)	4 GSa/s, 2 GSa/s	4 GSa/s, 2 GSa/s	4 GSa/s, 2 GSa/s	4 GSa/s, 2 GSa/s	5 GSa/s, 2.5 GSa/s
2-Channel + 16 Logic Channels MSO	MSO-X 3012A		MSO-X 3032A	MSO-X 3052A	MSO-X 3102A
4-Channel + 16 Logic Channels MSO	MSO-X 3014A	MSO-X 3024A	MSO-X 3034A	MSO-X 3054A	MSO-X 3104A
2-Channel DSO	DSO-X 3012A		DSO-X 3032A	DSO-X 3052A	DSO-X 3102A
4-Channel DSO	DSO-X 3014A	DSO-X 3024A	DSO-X 3034A	DSO-X 3054A	DSO-X 3104A

The Agilent InfiniiVision 3000 X-Series oscilloscopes deliver these features:

- 100 MHz, 200 MHz, 350 MHz, 500 MHz, and 1 GHz bandwidth models.



1.	Power switch	Press once to switch power on; press again to switch power off. See "Power-On the Oscilloscope" on page 29.
2.	Softkeys	The functions of these keys change based upon the menus shown on the display directly above the keys. The Back/Up key moves up in the softkey menu hierarchy. At the top of the hierarchy, the Back/Up key turns the menus off, and oscilloscope information is shown instead.
3.	[Intensity] key	Press the key to illuminate it. When illuminated, turn the Entry knob to adjust waveform intensity. You can vary the intensity control to bring out signal detail, much like an analog oscilloscope. Digital channel waveform intensity is not adjustable. More details about using the Intensity control to view signal detail are on "To adjust waveform intensity" on page 131.

4.	Entry knob	The Entry knob is used to select items from menus and to change values. The function of the Entry knob changes based upon the current menu and softkey selections. Note that the curved arrow symbol ↻ above the entry knob illuminates whenever the entry knob can be used to select a value. Also, note that when the Entry knob ↻ symbol appears on a softkey, you can use the Entry knob, to select values. Often, rotating the Entry knob is enough to make a selection. Sometimes, you can push the Entry knob to enable or disable a selection. Pushing the Entry knob also makes popup menus disappear.
5.	Tools keys	The Tools keys consist of: • **[Utility]** key — Press this key to access the Utility Menu, which lets you configure the oscilloscope's I/O settings, use the file explorer, set preferences, access the service menu, and choose other options. See Chapter 20, "Utility Settings," starting on page 295. • **[Quick Action]** key — Press this key to perform the selected quick action: measure all snapshot, print, save, recall, freeze display, and more. See "Configuring the [Quick Action] Key" on page 311. • **[Analyze]** key — Press this key to access analysis features like trigger level setting, measurement threshold setting, Video trigger automatic set up and display, mask testing (see Chapter 15, "Mask Testing," starting on page 243), or the DSOX3PWR power measurement and analysis application. • **[Wave Gen]** key — Press this key to access waveform generator functions. See Chapter 17, "Waveform Generator," starting on page 259.
6.	Trigger controls	These controls determine how the oscilloscope triggers to capture data. See Chapter 10, "Triggers," starting on page 143 and Chapter 11, "Trigger Mode/Coupling," starting on page 179.

7.	Horizontal controls	The Horizontal controls consist of: • Horizontal scale knob — Turn the knob in the Horizontal section that is marked to adjust the time/div (sweep speed) setting. The symbols under the knob indicate that this control has the effect of spreading out or zooming in on the waveform using the horizontal scale. • Horizontal position knob — Turn the knob marked ◀ ▶ to pan through the waveform data horizontally. You can see the captured waveform before the trigger (turn the knob clockwise) or after the trigger (turn the knob counterclockwise). If you pan through the waveform when the oscilloscope is stopped (not in Run mode) then you are looking at the waveform data from the last acquisition taken. • **[Horiz]** key — Press this key to open the Horizontal Menu where you can select XY and Roll modes, enable or disable Zoom, enable or disable horizontal time/division fine adjustment, and select the trigger time reference point. • Zoom ⓞ key — Press the ⓞ zoom key to split the oscilloscope display into Normal and Zoom sections without opening the Horizontal Menu. • **[Search]** key — Lets you search for events in the acquired data. • **[Navigate]** keys — Press this key to navigate through captured data (Time), search events, or segmented memory acquisitions. See "Navigating the Time Base" on page 60. For more information see Chapter 2, "Horizontal Controls," starting on page 49.
8.	Run Control keys	When the **[Run/Stop]** key is green, the oscilloscope is running, that is, acquiring data when trigger conditions are met. To stop acquiring data, press **[Run/Stop]**. When the **[Run/Stop]** key is red, data acquisition is stopped. To start acquiring data, press **[Run/Stop]**. To capture and display a single acquisition (whether the oscilloscope is running or stopped), press **[Single]**. The **[Single]** key is yellow until the oscilloscope triggers. For more information, see "Running, Stopping, and Making Single Acquisitions (Run Control)" on page 187.
9.	**[Default Setup]** key	Press this key to restore the oscilloscope's default settings (details on "Recall the Default Oscilloscope Setup" on page 31).

10.	**[Auto Scale]** key	When you press the **[AutoScale]** key, the oscilloscope will quickly determine which channels have activity, and it will turn these channels on and scale them to display the input signals. See "Use Auto Scale" on page 32.
11.	Additional waveform controls	The additional waveform controls consist of: • **[Math]** key — provides access to math (add, subtract, etc.) waveform functions. See Chapter 4, "Math Waveforms," starting on page 73. • **[Ref]** key — provides access to reference waveform functions. Reference waveforms are saved waveforms that can be displayed and compared against other analog channel or math waveforms. See Chapter 5, "Reference Waveforms," starting on page 101. • **[Digital]** key — Press this key to turn the digital channels on or off (the arrow to the left will illuminate). When the arrow to the left of the **[Digital]** key is illuminated, the upper multiplexed knob selects (and highlights in red) individual digital channels, and the lower multiplexed knob positions the selected digital channel. If a trace is repositioned over an existing trace the indicator at the left edge of the trace will change from Dnn designation (where nn is a one or two digit channel number from 0 to 15) to D*. The "*" indicates that two channels are overlaid. You can rotate the upper knob to select an overlaid channel, then rotate the lower knob to position it just as you would any other channel. For more information on digital channels see Chapter 6, "Digital Channels," starting on page 105. • **[Serial]** key — This key is used to enable serial decode. The multiplexed scale and position knobs are not used with serial decode. For more information on serial decode, see Chapter 7, "Serial Decode," starting on page 125. • Multiplexed scale knob — This scale knob is used with Math, Ref, or Digital waveforms, whichever has the illuminated arrow to the left. For math and reference waveforms, the scale knob acts like an analog channel vertical scale knob. • Multiplexed position knob — This position knob is used with Math, Ref, or Digital waveforms, whichever has the illuminated arrow to the left. For math and reference waveforms, the position knob acts like an analog channel vertical position knob.

12.	Measure controls	The measure controls consist of: • Cursors knob — Push this knob select cursors from a popup menu. Then, after the popup menu closes (either by timeout or by pushing the knob again), rotate the knob to adjust the selected cursor position. • **[Cursors]** key — Press this key to open a menu that lets you select the cursors mode and source. • **[Meas]** key — Press this key to access a set of predefined measurements. See Chapter 14, "Measurements," starting on page 215.
13.	Waveform keys	The **[Acquire]** key lets you select Normal, Peak Detect, Averaging, or High Resolution acquisition modes (see "Selecting the Acquisition Mode" on page 193) and use segmented memory (see "Acquiring to Segmented Memory" on page 199). The **[Display]** key lets you access the menu where you can enable persistence (see "To set or clear persistence" on page 133), clear the display, and adjust the display grid (graticule) intensity (see "To adjust the grid intensity" on page 135).
14.	File keys	Press the **[Save/Recall]** key to save or recall a waveform or setup. See Chapter 18, "Save/Recall (Setups, Screens, Data)," starting on page 275. The **[Print]** key opens the Print Configuration Menu so you can print the displayed waveforms. See Chapter 19, "Print (Screens)," starting on page 289.
15.	**[Help]** key	Opens the Help Menu where you can display overview help topics and select the Language. See also "Access the Built-In Quick Help" on page 47.

16.	Vertical controls	The Vertical controls consist of: • Analog channel on/off keys — Use these keys to switch a channel on or off, or to access a channel's menu in the softkeys. There is one channel on/off key for each analog channel. • Vertical scale knob — There are knobs marked for each channel. Use these knobs to change the vertical sensitivity (gain) of each analog channel. • Vertical position knobs — Use these knobs to change a channel's vertical position on the display. There is one Vertical Position control for each analog channel. • **[Label]** key — Press this key to access the Label Menu, which lets you enter labels to identify each trace on the oscilloscope display. See Chapter 9, "Labels," starting on page 137. For more information, see Chapter 3, "Vertical Controls," starting on page 63.
17.	Analog channel inputs	Attach oscilloscope probes or BNC cables to these BNC connectors. With the InfiniiVision 3000 X-Series oscilloscopes, you can set the input impedance of the analog channels to either 50 Ω or 1 MΩ. See "To specify channel input impedance" on page 66. The InfiniiVision 3000 X-Series oscilloscopes also provide the AutoProbe interface. The AutoProbe interface uses a series of contacts directly below the channel's BNC connector to transfer information between the oscilloscope and the probe. When you connect a compatible probe to the oscilloscope, the AutoProbe interface determines the type of probe and sets the oscilloscope's parameters (units, offset, attenuation, coupling, and impedance) accordingly.
18.	Demo 2, Ground, and Demo 1 terminals	• Demo 2 terminal — This terminal outputs the Probe Comp signal which helps you match a probe's input capacitance to the oscilloscope channel to which it is connected. See "Compensate Passive Probes" on page 34. With certain licensed features, the oscilloscope can also output demo or training signals on this terminal. • Ground terminal — Use the ground terminal for oscilloscope probes connected to the Demo 1 or Demo 2 terminals. • Demo 1 terminal — With certain licensed features, the oscilloscope can output demo or training signals on this terminal.

19.	USB Host port	This port is for connecting USB mass storage devices or printers to the oscilloscope. Connect a USB compliant mass storage device (flash drive, disk drive, etc.) to save or recall oscilloscope setup files and reference waveforms or to save data and screen images. See Chapter 18, "Save/Recall (Setups, Screens, Data)," starting on page 275. To print, connect a USB compliant printer. For more information about printing see Chapter 19, "Print (Screens)," starting on page 289. You can also use the USB port to update the oscilloscope's system software when updates are available. You do not need to take special precautions before removing the USB mass storage device from the oscilloscope (you do not need to "eject" it). Simply unplug the USB mass storage device from the oscilloscope when the file operation is complete. **CAUTION: ⚠ Do not connect a host computer to the oscilloscope's USB host port.** Use the device port. A host computer sees the oscilloscope as a device, so connect the host computer to the oscilloscope's device port (on the rear panel). See "I/O Interface Settings" on page 295. There is a second USB host port on the back panel.
20.	Digital channel inputs	Connect the digital probe cable to this connector (MSO models only). See Chapter 6, "Digital Channels," starting on page 105.
21.	Waveform generator output	Outputs sine, square, ramp, pulse, DC, or noise on the Gen Out BNC. Press the **[Wave Gen]** key to set up the waveform generator. See Chapter 17, "Waveform Generator," starting on page 259.

Front Panel Overlays for Different Languages

Front panel overlays, which have translations for the English front panel keys and label text, are available in 10 languages. The appropriate overlay is included when the localization option is chosen at time of purchase.

To install a front panel overlay:

1 Gently pull on the front panel knobs to remove them.

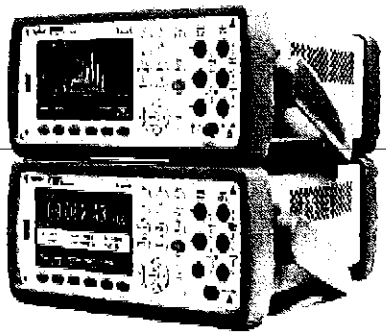
2 Insert the overlay's side tabs into the slots on the front panel.

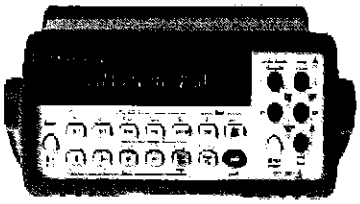
ภาคผนวก ข

รายละเอียดของ Agilent 34401A Multimeter

Agilent 34401A Multimeter

Data Sheet





See Agilent's Truevolt Series of DMMs

- **Display DMM results in ways you never have before**
- **Measure with unquestioned Truevolt confidence**
- **Move to the next generation 34401A DMM with 100% assurance**

www.agilent.com/find/dmm

- Measure up to 1000 volts with 6½ digits resolution
- 0.0015% basic dcV accuracy (24 hour)
- 0.06% basic acV accuracy (1 year)
- 3 Hz to 300 kHz ac bandwidth
- 1000 readings/s direct to GPIB

Superior Performance

The Agilent Technologies 34401A multimeter gives you the performance you need for fast, accurate bench and system testing. The 34401A provides a combination of resolution, accuracy and speed that rivals DMMs costing many times more. 6½ digits of resolution, 0.0015% basic 24-hr dcV accuracy and 1,000 readings/s direct to GPIB assure you of results that are accurate, fast, and repeatable.

Use It on Your Benchtop

The 34401A was designed with your bench needs in mind. Functions commonly associated with bench operation, like continuity and diode test, are built in. A Null feature allows you to remove lead resistance and other fixed offsets in your measurements. Other capabilities like min/max/avg readouts and direct dB and dBm measurements make checkout with the 34401A faster and easier.

The 34401A gives you the ability to store up to 512 readings in internal memory. For trouble-shooting, a reading hold feature lets you concentrate on placing your test leads without having to constantly glance at the display.

Use It for Systems Testing

For systems use, the 34401A gives you faster bus throughput than any other DMM in its class. The 34401A can send up to 1,000 readings/s directly across GPIB in user-friendly ASCII format.

You also get both GPIB and RS-232 interfaces as standard features. Voltmeter Complete and External Trigger signals are provided so you can synchronize to other instruments in your test system. In addition, a TTL output indicates Pass/Fail results when limit testing is used.

To ensure both forward and backward compatibility, the 34401A includes three command languages (SCPI, Agilent 3478A and Fluke®8840A/42A), so you don't have to rewrite your existing test software. An optional rack mount kit is available.

Easy to Use

Commonly accessed attributes, such as functions, ranges, and resolution are selected with a single button press.

Advanced features are available using menu functions that let you optimize the 34401A for your applications.

The included Agilent IntuiLink software allows you to put your captured data to work easily, using PC applications such as Microsoft Excel or Word to analyze, interpret, display, print, and document the data you get from the 34401A. You can specify the meter setup and take a single reading or log data to the Excel spreadsheet in specified time intervals. Programmers can use ActiveX components to control the DMM using SCPI commands. To find out more about IntuiLink, visit www.agilent.com/find/intuilink

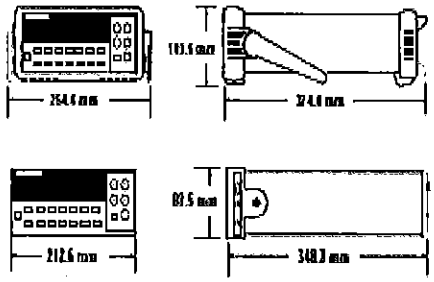
1-Year Warranty

With your 34401A, you get full documentation, a high-quality test lead set, calibration certificate with test data, and a 1-year warranty, all for one low price.

Accuracy Specifications ± (% of reading + % of range)[1]

Function	Range[3]	Frequency, etc.	24 Hour[2] 23°C ±1°C	90 Day 23°C ±5°C	1 Year 23°C ±5°C	Temperature Coefficient 0°C – 18°C 28°C – 55°C
DC voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0040 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	10.00000 V		0.0015 + 0.0004	0.0020 + 0.0005	0.0035 + 0.0005	0.0005 + 0.0001
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0045 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	1000.000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0010	0.0045 + 0.0010	0.0005 + 0.0001
True rms AC voltage[4]	100.0000 mV	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.03	1.00 + 0.04	1.00 + 0.04	0.100 + 0.004
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.03	0.35 + 0.04	0.35 + 0.04	0.035 + 0.004
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.03	0.05 + 0.04	0.06 + 0.04	0.005 + 0.004
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.05	0.11 + 0.05	0.12 + 0.05	0.011 + 0.005
		50 kHz – 100 kHz	0.55 + 0.08	0.60 + 0.08	0.60 + 0.08	0.060 + 0.008
		100 kHz – 300 kHz[6]	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.20 + 0.02
	1.000000 V to 750.000 V	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.02	1.00 + 0.03	1.00 + 0.03	0.100 + 0.003
		5 Hz –10 Hz	0.35 + 0.02	0.35 + 0.03	0.35 + 0.03	0.035 + 0.003
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.02	0.05 + 0.03	0.06 + 0.03	0.005 + 0.003
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.04	0.11 + 0.05	0.12 + 0.04	0.011 + 0.005
		50 kHz – 100 kHz[5]	0.55 + 0.08	0.60 + 0.08	0.60 + 0.08	0.060 + 0.008
		100 kHz – 300 kHz[6]	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	4.00 + 0.50	0.20 + 0.02
Resistance[7]	100.0000 Ω	1 mA Current Source	0.0030 + 0.0030	0.008 + 0.004	0.010 + 0.004	0.0005 + 0.0005
	1.000000 kΩ	1 mA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0005 + 0.0001
	10.00000 kΩ	100 µA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0005 + 0.0001
	100.0000 kΩ	10 µA	0.0020 + 0.0005	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0005 + 0.0001
	1.000000 MΩ	5.0 µA	0.002 + 0.001	0.008 + 0.001	0.010 + 0.001	0.0010 + 0.0002
	10.00000 MΩ	500 nA	0.015 + 0.001	0.020 + 0.001	0.040 + 0.001	0.0030 + 0.0004
	100.0000 MΩ	500 nA || 10 MΩ	0.300 + 0.010	0.800 + 0.010	0.800 + 0.010	0.1500 + 0.0002
DC current	10.00000 mA	< 0.1 V Burden Voltage	0.005 + 0.010	0.030 + 0.020	0.050 + 0.020	0.0020 + 0.0020
	100.0000 mA	< 0.6 V	0.010 + 0.001	0.030 + 0.005	0.050 + 0.005	0.0020 + 0.0005
	1.000000 A	< 1.0 V	0.050 + 0.006	0.080 + 0.010	0.100 + 0.010	0.0050 + 0.0010
	3.00000 A	< 2.0 V	0.100 + 0.020	0.120 + 0.020	0.120 + 0.020	0.005 + 0.0020
True rms AC current[4]	1.000000 A	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.04	1.00 + 0.04	1.00 + 0.04	0.100 + 0.006
		5 Hz – 10 Hz	0.30 + 0.04	0.30 + 0.04	0.30 + 0.04	0.035 + 0.006
		10 Hz – 5 kHz	0.10 + 0.04	0.10 + 0.04	0.10 + 0.04	0.015 + 0.006
	3.00000 A	3 Hz – 5 Hz	1.10 + 0.06	1.10 + 0.06	1.10 + 0.06	0.100 + 0.006
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.06	0.35 + 0.06	0.35 + 0.06	0.035 + 0.006
		10 Hz – 5 kHz	0.15 + 0.06	0.15 + 0.06	0.15 + 0.06	0.015 + 0.006
Frequency or period[8]	100 mV to 750 V	3 Hz – 5 Hz	0.10	0.10	0.10	0.005
		5 Hz – 10 Hz	0.05	0.05	0.05	0.005
		10 Hz – 40 Hz	0.03	0.03	0.03	0.001
		40 Hz – 300 kHz	0.006	0.01	0.01	0.001
Continuity	1000.0 Ω	1 mA test current	0.002 + 0.030	0.008 + 0.030	0.010 + 0.030	0.001 + 0.002
Diode test[9]	1.0000 V	1 mA test current	0.002 + 0.010	0.008 + 0.020	0.010 + 0.020	0.001 + 0.002

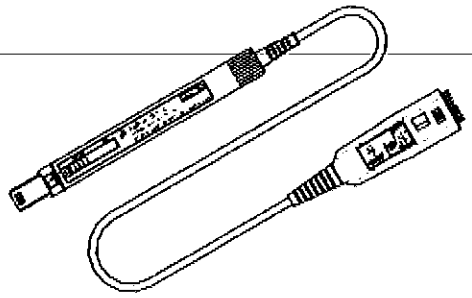
1. Specifications are for 1 hr warm-up and 6½ digits, slow ac filter.
2. Relative to calibration standards.
3. 20% over range on all ranges except 1000 Vdc and 750 Vac ranges.
4. For sinewave input > 5% of range. For inputs from 1% to 5% of range and < 50 kHz, add 0.1% of range additional error.
5. 750 V range limited to 100 kHz or 8 x 10^7 VoltHz.
6. Typically 30% of reading error at 1 MHz.
7. Specifications are for 4 wire ohms function or 2-wire ohms using Math Null. Without Math Null, add 0.2 Ω additional error in 2-wire ohms function.
8. Input >100 mV. For 10 mV to 100 mV inputs multiply % of reading error x10.
9. Accuracy specifications are for the voltage measured at the input terminals only. 1 mA test current is typical. Variation in the current source will create some variation in the voltage drop across a diode junction.



ภาคผนวก ค

รายละเอียดของ Agilent 1147A 50 MHz Current Probe

Agilent 1147A 50 MHz Current Probe



User's Guide

Publication number 01147-92007
March 2012

For Safety information, Regulatory information, and publishing information, see the pages at the end of this book.

© Copyright Agilent Technologies 2000-2012
All Rights Reserved.

Agilent Technologies

Measurement Procedure

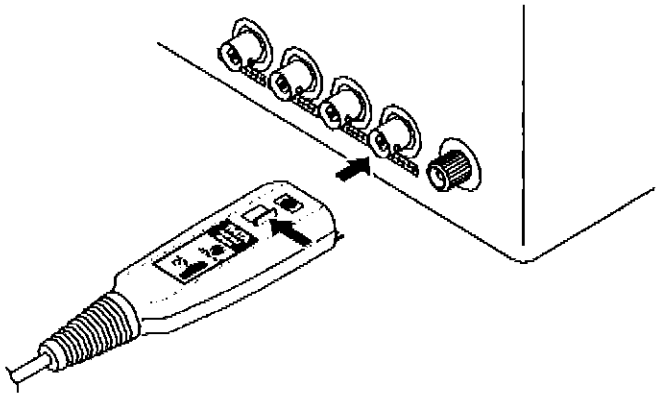
Preparations for Measurement

1 Power on the Infiniium oscilloscope.

2 Connect the probe terminator to one of the scope channels.
When the probe is connected to a scope channel, the AutoProbe interface will recognize the probe as an 1147A and will automatically make several settings on the channel to which the probe is connected:

a The channel input resistance will be set to 1MΩ.

b The channel input coupling will be set to DC.



NOTE

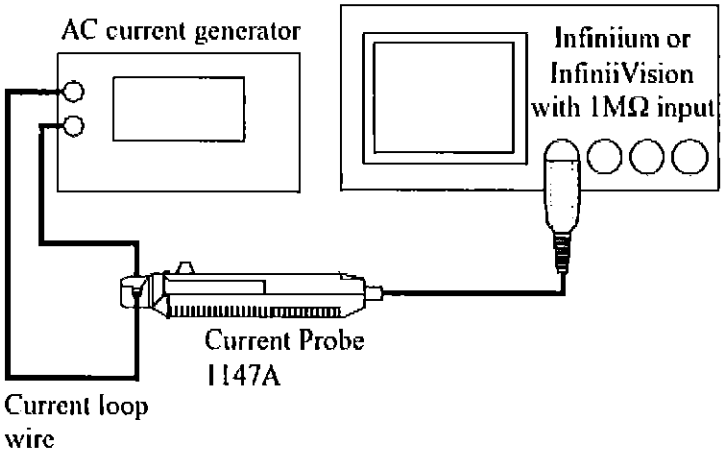
- This probe is NOT compatible with 50Ω only Infiniium oscilloscopes (for example, the DSO80000 or 90000 series oscilloscopes). The input coupling is automatically selected to DC, as the Terminator is plugged into the AutoProbe interface.

(1) AC Accuracy

1 Press the DEMAG button on the Terminator.
2 Connect the wire to the current terminals of the AC current generator.
3 Clamp the wire with the 1147A and lock the sensor head.
4 Set the Infiniium setups as follows:

Averaging: 16
Time: 5 ms/div
Vertical axis: 5-A/div
Trigger level: 0 mV
Trigger slope: Rise
Measurement mode: Vrms (Voltage)
Measurement Area: Entire Display
RMS Type: AC
Other setups: APPROPRIATE

5 Set the Generator setups to AC 10 Arms, 50 Hz, and sine wave.
6 Generate the wave, measure the current and record it.
7 Remove the wire and the generator from the 1147A.

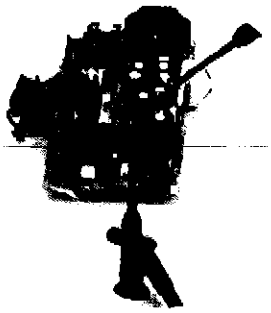


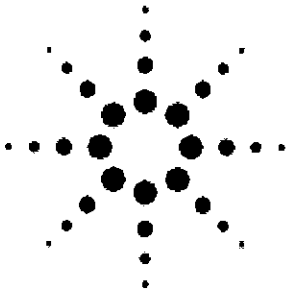
ภาคผนวก ง

รายละเอียดของ Agilent N2791A 25 MHz High โวลต์oltage Differential Probes

N2790A 100 MHz, N2791A 25 MHz and N2891A 70 MHz High-voltage Differential Probes

Data Sheet





Oscilloscope users often need to make floating measurements where neither point of the measurement is at earth ground. Use the N2790A, N2791A or N2891A high-voltage differential probe to make safe and accurate floating measurements with an oscilloscope. The N2790A, N2791A and N2891A high-voltage differential probes allow conventional earth-grounded Agilent oscilloscopes to be used for floating signal measurements.

With a differential amplifier in the probe head, the N2790A is rated to measure differential voltage up to 1,400 VDC + peak AC with high CMRR (common mode rejection ratio) of >50 dB at 1 MHz. The N2791A and N2891A can measure differential voltage up to 700 V and 7 kV differential or common mode respectively. The N2790A, N2791A and N2891A differential probe offers sufficient dynamic range and bandwidth for your application to make the floating measurements found in power electronics circuits safely and accurately.

The N2790A, N2791A and N2891A differential probe offers user selectable attenuation settings that make it highly versatile, allowing it to be used for a broad range of applications. The probe comes with probe tip accessories for use with both small or large components in tight places. The N2790A and N2891A also have an overrange indicator which alerts the user when the probe input exceeds the dynamic range of the probe.

The N2791A and N2891A are compatible with any oscilloscope with 1 Mohm BNC input. The N2791A and N2891A probe's power is supplied by included 4x AA batteries or USB host port of the scope or PC via a supplied USB power cable. The N2790A is compatible with the Agilent's AutoProbe interface where the probe's power is supplied by the Agilent oscilloscope's probe interface.

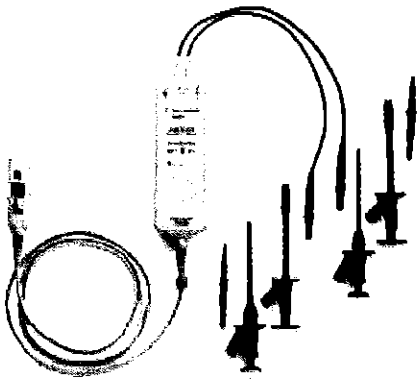


Figure 1. N2790A high voltage differential probe with standard accessories

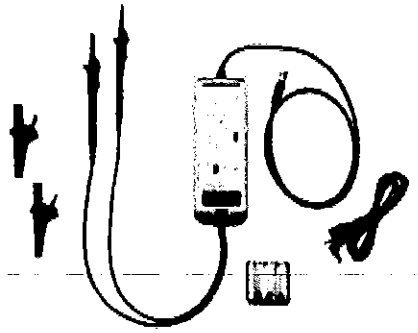


Figure 2. N2791A 25-MHz high-voltage differential probe with standard accessories

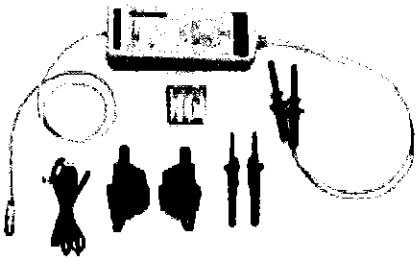


Figure 3. N2891A 70-MHz high-voltage differential probe with standard accessories.

Agilent oscilloscope compatibility	Max number of N2790A probes supported by oscilloscope
InfiniiVision 5000, 6000 (except 100 MHz), and 7000 Series with version 5.26.0001 software	4
InfiniiVision 3000 X- and 4000 X-Series	4
Infiniium 8000, 54830 Series with version 5.7 software	4
Infiniium 9000 Series with version 2.0 software	4

myAgilent

www.agilent.com/find/myagilent
A personalized view into the information most relevant to you.

AXIe

www.axiestandard.org
AdvancedTCA® Extensions for Instrumentation and Test (AXIe) is an open standard that extends the AdvancedTCA for general purpose and semiconductor test. Agilent is a founding member of the AXIe consortium.

LXI

www.lxistandard.org
LAN eXtensions for Instruments puts the power of Ethernet and the Web inside your test systems. Agilent is a founding member of the LXI consortium.

Agilent Channel Partners

www.agilent.com/find/channelpartners
Get the best of both worlds: Agilent's measurement expertise and product breadth, combined with channel partner convenience.

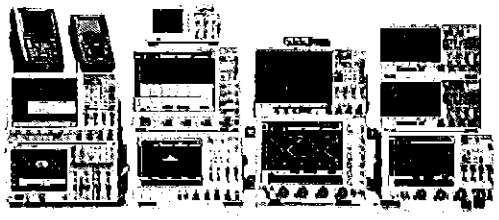
Three-Year Warranty

www.agilent.com/find/ThreeYearWarranty
Agilent's combination of product reliability and three-year warranty coverage is another way we help you achieve your business goals: increased confidence in uptime, reduced cost of ownership and greater convenience.

Agilent Advantage Services

www.agilent.com/find/AdvantageServices
Accurate measurements throughout the life of your instruments.

DEKRA Certified ISO 9001:2008
www.agilent.com/quality



Agilent Technologies Oscilloscopes
Multiple form factors from 20 MHz to >90 GHz | Industry leading specs | Powerful applications

For more information on Agilent Technologies' products, applications or services, please contact your local Agilent office. The complete list is available at:
www.agilent.com/find/contactus

Americas

Canada	(877) 894 4414
Brazil	(11) 4197 3600
Mexico	01800 5064 800
United States	(800) 829 4444

Asia Pacific

Australia	1 800 629 485
China	800 810 0189
Hong Kong	800 938 693
India	1 800 112 929
Japan	0120 (421) 345
Korea	080 769 0800
Malaysia	1 800 888 848
Singapore	1 800 375 8100
Taiwan	0800 047 866
Other AP Countries	(65) 375 8100

Europe & Middle East

Belgium	32 (0) 2 404 93 40
Denmark	45 45 80 12 15
Finland	358 (0) 10 855 2100
France	0825 010 700* *0.125 €/minute
Germany	49 (0) 7031 464 6333
Ireland	1890 924 204
Israel	972-3-9288-504/544
Italy	39 02 92 60 8484
Netherlands	31 (0) 20 547 2111
Spain	34 (91) 631 3300
Sweden	0200-88 22 55
United Kingdom	44 (0) 118 927 6201

For other unlisted countries:
www.agilent.com/find/contactus

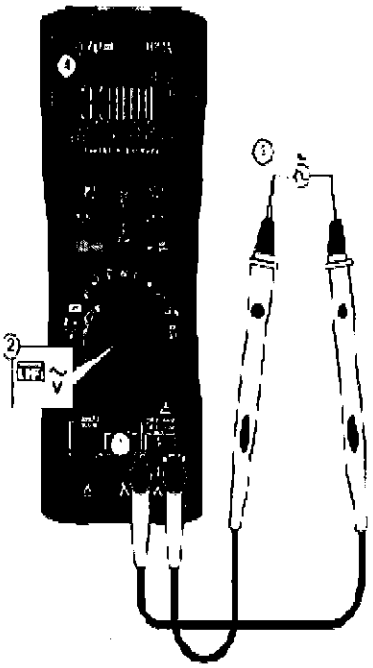
Product [illegible] http://www.agilent.com/find/cor
in this d[illegible]
without notice.

© Agilent Technologies, Inc. 2012, 2013
Published in USA, April 8, 2013
5990-3780EN

Agilent Technologies

ภาคผนวก จ

รายละเอียดของ Agilent U1273A/U1273AX Handheld Digital Multimeter



Agilent U1273A/U1273AX Handheld Digital Multimeter

User's Guide

Agilent Technologies

Overview

Front panel

The front panel parts of your multimeter are described in this section. Click the respective "Learn more" pages for more information on each part.

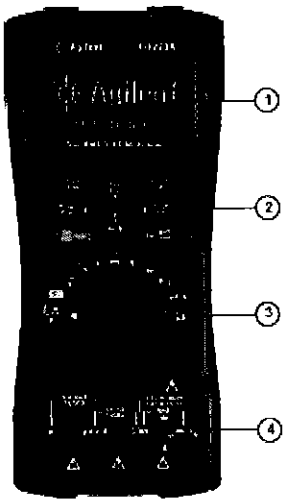


Figure 1-10 Front panel

Table 1-2 Front panel parts

Legend	Description	Learn more on:
1	Display screen	page 24
2	Keypad	page 20
3	Rotary switch	page 18
4	Terminals	page 30

Rear panel

The rear panel parts of your multimeter are described in this section. Click the respective "Learn more" pages for more information on each part.

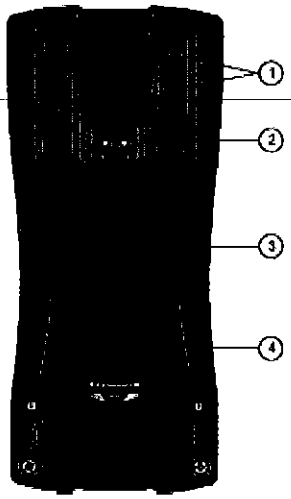


Figure 1-11 Rear panel

Table 1-3 Rear panel parts

Legend	Description	Learn more on:
1	Test probe holders	-
2	IR communication port	page 11
3	Battery and fuse access cover	page 3
4	Tilt stand	page 11

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ-นามสกุล นายอุดมศักดิ์ วังคีรี

ภูมิลำเนา 13 หมู่ 11 ต.บ้านกลาง อ. หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- โรงเรียนเมืองกลางวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปี 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: **udomsakwk@hotmail.com**

ชื่อ-นามสกุล นายดุสิต วิสิฐสกนธ์

ภูมิลำเนา 13 หมู่ 14 ต. เขาค้อ อ. เขาค้อ จ. เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- โรงเรียนร่มเกล้าเขาค้อเพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปี 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail**: dusit_ee2992@hotmail.com**