

การเตรียมระบบแบตเตอรี่สำหรับใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า  
PREPARATION OF BATTERY FOR ELECTRIC BICYCLE



นายสุทิวส์	อ่ำใจ	รหัส 51362978
นายเกริกชัย	ทองมา	รหัส 51363876
นายปรีชา	อ่างดอนคา	รหัส 51364026

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 16008122
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร

๒๕๕๔




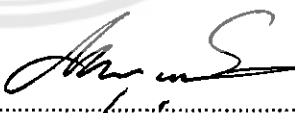
## ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ	การเตรียมระบบแบตเตอรี่สำหรับใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายสุทิวส์	อ่ำใจ	รหัส 51362978
	นายเกริกชัย	ทองมา	รหัส 51363876
	นายปรีชา	อ่างดอนคา	รหัส 51364026
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

  
.....กรรมการ  
(ผศ.ดร. ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

  
.....กรรมการ  
(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การเตรียมระบบแบตเตอรี่สำหรับใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายสุทิวส์	อ่ำใจ	รหัส 51362978
	นายเกริกชัย	ทองมา	รหัส 51363876
	นายปรีชา	อ่างตอนคา	รหัส 51364026
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	2554		

### บทคัดย่อ

โครงการงานการเตรียมแบตเตอรี่สำหรับจักรยานไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้าและทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า โดยเริ่มจากได้ทำการศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ และได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในการชาร์จและดิสชาร์จ เพื่อนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์และนำไปวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆดังนี้ คือ วัดกระแสขณะเริ่มต้นและค่ากระแสในย่านความเร็วต่างๆ นำผลข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหากำลังที่แบตเตอรี่ต้องจ่ายให้รถจักรยานไฟฟ้าในช่วงการขับที่ต่างๆ ซึ่งโครงการนี้ใช้พลังงานแบตเตอรี่ 24 V ประเภทตะกั่ว-กรด จ่ายไฟให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 W เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้า ซึ่งรถจักรยานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 23km/hr และสามารถสรุปผลการทดสอบได้ 4 ข้อ ดังนี้

1. แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสให้แก่รถจักรยานไฟฟ้ามากที่สุด ในขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ด้วยการบิดคันเร่งสุด ซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์ Peukert ทำให้แบตเตอรี่นั้นหมดเร็วกว่าที่ควร
2. กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่รถจักรยานไฟฟ้าใช้จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อรถจักรยานไฟฟ้าต้องการกำลังเพื่อใช้ในการเร่งและการขึ้นเนิน
3. การขับที่รถจักรยานไฟฟ้า แรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจะลดลงจนถึงค่าๆหนึ่ง แบตเตอรี่ก็จะไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ต่างๆ ทำให้รถจักรยานไฟฟ้าจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และนั่น ค่าแรงดันต่ำสุดที่รถจักรยานไฟฟ้าสามารถบิดคันเร่งได้คือ 19.6 V
4. เมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ แบตเตอรี่จะค่อยๆจ่ายกำลังให้แก่รถจักรยานไฟฟ้าเพื่อสร้างความเร็วให้มากขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อเราทำการเบรกรถจักรยานไฟฟ้านั้น แบตเตอรี่ก็จะหยุดจ่ายไฟฟ้าทันทีเพราะก้านเบรกของรถจักรยานไฟฟ้าได้ทำการติดตั้งตัวตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไว้นั่นเอง

Project title           Preparation of battery for Electric Bicycle  
Name                    Mr. Suthiwat Amjai           ID. 51362978  
                              Mr. Kekchai Thongma       ID. 51363876  
                              Mr. Preecha Angdonka      ID. 51364026  
Project advisor        Mr. Ananchai Youkaew, Ph.D.  
Major                   Mechanical Engineering  
Department            Mechanical Engineering  
Academic year         2011

---

### Abstract

Project preparation for electric bicycle battery. The purpose is to study use of batteries for used in electric bicycles and test batteries for used in electric bicycles, study characteristics of batteries and analyze relationships between charge and discharge. The data is analyzed by dividing into two parts; initial current measurement and any current speed which calculate into battery power. Electric bicycle is received energy from battery power. This study uses lead acid battery 24V to power electricity motor (250W) for driving electric bicycle. The electric bicycle can drive with at the maximum speed of 23 km/hr and the results of experiment 4 case

case 1 : the battery will supply current to bicycle while move by twisting the maximum throttle. this is a phenomenon Peukert

case 2 : the power of battery supply to the electric bicycle will have a higher . when driving speed of electric bicycles is increasing and more when driving uphill.

case 3 : when we ride an electric bicycle. voltage of lead acid battery lead is lower until one of the values . the battery can't supply current to the electric bicycle cause electric bicycle can't move. and the testing later is low voltage of electric bicycle can twist the throttle is 19.6 V

case 4 : when an electric bicycle movement . The current of batteries supply to electric bicycle for create speed more and more. however when we found that an electric bicycle. the battery will stop immediately. because the lever of brake has been installed to cut off the current of batteries

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้ความกรุณาในการตรวจทานเล่มปริญญานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ ดร. ภาณุ พุทธรังค์ และ อ.สุรัตน์ ปัญญาแก้ว และอาจารย์ท่านอื่นๆ ที่ได้กรุณาให้แนวความคิด ช่วยชี้แนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ ตลอดจนแนะนำการค้นคว้าหาแหล่งข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์เป็นอย่างมาก คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณนายชัชชัย อินเขียน ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้ในการดำเนินโครงงาน ซึ่งเอื้อเป็นอย่างมากต่อความสำเร็จในการดำเนินโครงงาน

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน รวมถึงทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่คอยเป็นกำลังใจ และบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึง จนทำให้ทำให้ประสบความสำเร็จดังเช่นทุกวันนี้

นายสุทิวส์      อำไจ  
นายเกริกชัย    ทองมา  
นายปรีชา        อ่างดอนคา

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
ABSTRACT.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตการทำโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2
บทที่ 2 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า.....	3
2.1 แบตเตอรี่.....	3
2.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.....	4
2.2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.....	4
2.2.2 ปฏิกริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.....	5
2.3 อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่.....	7
2.3.1 การคายประจุด้วยตนเอง.....	9
2.4 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่.....	10
2.5 กำลังที่ให้ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.....	12
2.6 ปรากฏการณ์ PEUKERT.....	13
บทที่ 3 การติดตั้งและทดสอบแบตเตอรี่.....	15
3.1 รถจักรยานที่ใช้ในโครงการ.....	15
3.2 มอเตอร์ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า.....	16
3.3 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า.....	16
3.4 การติดตั้งแบตเตอรี่บนรถจักรยานไฟฟ้า.....	17
3.5 การควบคุมการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้า.....	17
3.6 การเตรียมการทดสอบวัดค่ากระแสและแรงดันที่ใช้งาน.....	19

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	20
4.1 การวัดค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่.....	20
4.2 การวัดค่ากระแสและหากำลังของแบตเตอรี่ในยานความเร็วที่ใช้งาน.....	22
4.3 การวัดค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ในความเร็วคงที่.....	28
4.4 การทดลองซ้ำในรูปแบบต่าง (ออกตัว, คงที่, การเบรก).....	29
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	31
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	31
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป.....	32
เอกสารอ้างอิง.....	33
ภาคผนวก ก.....	34
ภาคผนวก ข.....	37
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	46

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบ.....	23
ตารางที่ 4.2 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆเฉลี่ยในการขึ้นเนิน.....	24
ตารางที่ 4.3 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆเฉลี่ยในการลงเนิน .....	26
ตารางที่ 4.4 กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่ระบบในช่วงความเร็วในทางเรียบ,ขึ้นเนินและลงเนิน ..	27





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เซลล์แบตเตอรี่.....	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด.....	5
รูปที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุ.....	6
รูปที่ 2.4 การคายประจุของแบตเตอรี่.....	6
รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่ออัดประจุ.....	7
รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12.....	8
รูปที่ 2.7 กราฟเปรียบเทียบความลึกในการคายประจุกับอายุการใช้งาน.....	8
รูปที่ 2.8 การคายประจุด้วยตนเองของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด NS 12-12.....	10
รูปที่ 2.9 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม.....	11
รูปที่ 2.10 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน.....	11
รูปที่ 2.11 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม.....	11
รูปที่ 2.12 แสดงแบบจำลอง Peukert ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (แบตเตอรี่ 42Ah).....	14
รูปที่ 3.1 รถจักรยานเสือภูเขาที่ใช้ในโครงการ.....	15
รูปที่ 3.2 มอเตอร์ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า.....	16
รูปที่ 3.3 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า.....	16
รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของรถจักรยานไฟฟ้าที่ได้ติดตั้ง.....	17
รูปที่ 3.5 แผงสวิตช์แสดงการทำงาน.....	18
รูปที่ 3.6 หน้าปัดแสดงปริมาณแบตเตอรี่ที่เหลือ.....	18
รูปที่ 3.7 วงจรของระบบที่ใช้ทำการทดลอง.....	19
รูปที่ 3.8 ระบบทดสอบที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์พร้อมทดสอบ.....	19
รูปที่ 4.1 การทดสอบวัดค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่.....	21
รูปที่ 4.2 ปริมาณกระแสของแบตเตอรี่ที่จ่ายในช่วงเริ่มเคลื่อนที่.....	21

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.3 แสดงแบบจำลอง Peukert ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดที่ใช้ในการทดลอง.....	22
รูปที่ 4.4 ระยะเวลาทดสอบวัดค่ากระแสในยานความเร็วต่างๆในทางเรียบ.....	22
รูปที่ 4.5 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบ.....	23
รูปที่ 4.6 ระยะเวลาทดสอบวัดค่ากระแสของความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน.....	24
รูปที่ 4.7 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน.....	25
รูปที่ 4.8 ระยะเวลาทดสอบวัดค่ากระแสของความเร็วต่างๆในทางลงเนิน.....	25
รูปที่ 4.9 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน.....	26
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าในทางเรียบ, ขึ้นเนิน และลงเนิน.....	27
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณกำลังที่รถจักรยานไฟฟ้าในทางเรียบ, ขึ้นเนิน และลงเนิน.....	28
รูปที่ 4.12 แรงดันของแบตเตอรี่ขณะขับขี่ด้วยความเร็ว 20 km/hr กำลังคงที่ประมาณ 190.5 W..	28
รูปที่ 4.13 เวลาที่ใช้ของการทดลองขับขี่ในรูปแบบต่าง.....	29
รูปที่ 4.14 กำลังของแบตเตอรี่ของการทดลองขับขี่ในรูปแบบต่างๆ.....	30

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันคนส่วนใหญ่กำลังมีความกังวลเกี่ยวกับการใช้น้ำมันที่มีอยู่จำกัดอย่างสิ้นเปลือง ส่งผลให้ราคาน้ำมันผันผวนเป็นอย่างมากจนไม่สามารถคาดคะเนได้ว่าราคาน้ำมันจะพุ่งขึ้นสูงไปอีกในเวลาใด รวมถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และมลพิษชั้นสู่ชั้นบรรยากาศทำให้เกิดการทำลายทั้งชั้นบรรยากาศและสิ่งแวดล้อมบนพื้นดิน ทำให้คนส่วนใหญ่ตระหนักถึงผลกระทบของการใช้น้ำมัน และหันมาพึ่งพาการใช้ยานพาหนะที่ใช้น้ำมันน้อยลง หรือใช้ยานพาหนะที่ใช้ทรัพยากรด้านอื่นเป็นเชื้อเพลิง โดยที่ทางภาครัฐและเอกชนหันมาสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฮบริดจ์ (Hybrid Car) ซึ่งเป็นรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนร่วมกับการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า และรถยนต์ขนาดเล็ก (Eco car) ซึ่งไม่ได้ทำให้เราเลิกพึ่งพาการใช้น้ำมัน เพียงแต่ลดการใช้น้ำมันให้น้อยลงเท่านั้น และในปัจจุบันผู้คนต่างใช้ชีวิตอย่างเร่งรีบแม้กระทั่งการเดินทางในระยะทางใกล้ (2-3 km) ยังนิยมใช้ยานพาหนะเพราะต้องการประหยัดเวลาและลดความเหนื่อยล้าในการเดินทาง ดังนั้นรถจักรยานไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้

ปัจจุบันอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายเล็กโตรไลต์ (electrolyte solution) ก็คือแบตเตอรี่ ซึ่งมีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากไม่ได้รับการดูแลรักษาหรือใช้งานผิดประเภท รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป จากข้อมูลดังกล่าวจึงต้องศึกษาหรือข้อมูลเฉพาะเกี่ยวกับแบตเตอรี่แต่ละประเภท เพื่อเลือกแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับจักรยานไฟฟ้าโดยจะและค่ายประจุของแบตเตอรี่ในขณะที่ใช้งาน วิเคราะห์ข้อมูลและเก็บข้อมูลไว้ใช้เปรียบเทียบซึ่งนำไปใช้ในงานวิจัยต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) ศึกษาคุณลักษณะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า
- 2) ทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

### 1.3 ขอบเขตการทำโครงการ

- 1) ทดสอบการขับเคลื่อนจักรยานไฟฟ้ารอบๆบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร
- 2) ทดสอบเก็บค่าแรงดันและกระแสในลักษณะการขับเคลื่อนต่างๆ
- 3) แหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนมาจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดขนาด 24 V

### 1.4 ขั้นตอนและการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ปี 2554						ปี 2555		
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.	ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของ แบตเตอรี่	■	■							
2.	รวบรวมข้อมูลและ เอกสาร	■	■	■	■	■				
3.	ทำการทดสอบแบตเตอรี่					■	■	■	■	
4.	วิเคราะห์และคำนวณ ข้อมูลที่เก็บมา						■	■	■	
5.	สรุปผลการดำเนินงาน และจัดทำรูปเล่มปริญญา นิพนธ์								■	■

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

การใช้รถจักรยานไฟฟ้าช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาสูง เนื่องจากแหล่งพลังงานที่ใช้นั้นมาจากแบตเตอรี่ ทำให้ลดการสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถเลือกใช้แบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการออกแบบที่ตั้งไว้

### 1.6 งบประมาณ

1) แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า	1,400 บาท
2) ตัววัดกระแสและแรงดัน	600 บาท
3) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับติดตั้ง	300 บาท
4) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญา นิพนธ์	900 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สามพันสองร้อยบาทถ้วน)	<u>3,200 บาท</u>
หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

## บทที่ 2

### แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

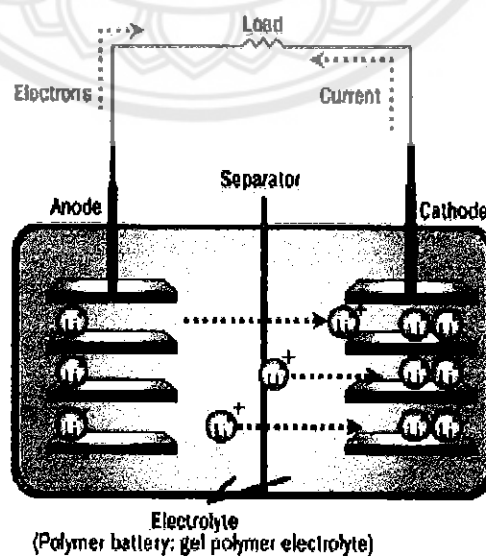
รถจักรยานไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้น ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่เป็นส่วนรับกำลังไฟฟ้าในการขับเคลื่อน แบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งถ้าไม่มีแบตเตอรี่รถจักรยานไฟฟ้าจะไม่สามารถเคลื่อนที่ออกไปได้

#### 2.1 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าตั้งแต่ 1 เซลล์หรือมากกว่า โดยเซลล์เหล่านี้จะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันทางไฟฟ้า เซลล์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน 4 ส่วน ดังนี้

- 1) ขั้วบวก (Positive Electrode, Anode)
- 2) ขั้วลบ (Negative Electrode, Cathode)
- 3) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)
- 4) ตัวคั่นเซลล์ (Separator)

ขั้วบวกเป็นส่วนที่สูญเสียอิเล็กตรอนเนื่องจากการทำปฏิกิริยาเคมีขึ้น ส่วนขั้วลบจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนภายหลังที่เกิดการทำปฏิกิริยาเคมีขึ้น สำหรับอิเล็กโทรไลต์จะเป็นตัวกลางให้อิเล็กตรอนไหลผ่านระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ส่วนตัวคั่นเซลล์จะใช้แยกส่วนของขั้วบวกและขั้วลบออกจากกันทางไฟฟ้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เซลล์แบตเตอรี่

สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แบตเตอรี่จะถูกกำหนดโดยวัสดุที่ใช้สร้าง ซึ่งแรงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่แต่ละขั้วอิเล็กโทรดจะให้ค่าศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่ง ตัวอย่างเช่นเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่ขั้วบวกจะให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ  $-1.685\text{ V}$  ส่วนที่ขั้วลบจะให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ  $+0.365\text{ V}$  จากศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองทำให้ได้ผลรวมของแรงดันเท่ากับ  $2.05\text{ โวลต์}$  ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้นี้จะเป็นศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

นอกจากศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากขั้วแต่ละขั้วของอิเล็กโทรดแล้ว ความเข้มข้นของกรดภายในแบตเตอรี่ก็มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าโดยทั่วไปที่ได้จากแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดจะประมาณ  $2.15\text{ V}$  สำหรับเซลล์นิกเกิล-แคดเมียมจะให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ  $1.2\text{ V}$  ส่วนเซลล์ลิเทียมจะให้แรงดันไฟฟ้าออกมาสูงถึง  $4\text{ V}$

สำหรับการแบ่งกลุ่มของแบตเตอรี่ สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มหลัก ดังนี้

- 1) แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary Battery)
- 2) แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery)

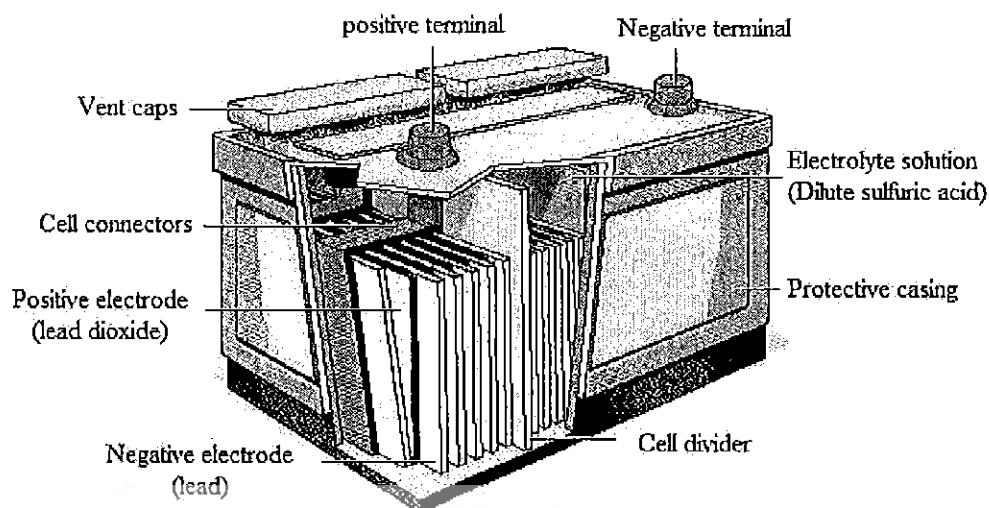
แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ หมายถึงแบตเตอรี่ที่ใช้งานเพียงครั้งเดียว เมื่อประจุไฟฟ้าแล้วจะต้องทิ้งไป ทั้งนี้เนื่องจากไม่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับใหม่ได้ แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิสามารถจะทำปฏิกิริยาทางเคมีแบบย้อนกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถเก็บประจุไฟใหม่และนำกลับใช้ได้

## 2.2 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ที่ใช้กับรถจักรยานไฟฟ้าที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามท้องตลาดนั้น เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดชนิดแห้ง มีข้อดีคือ น้ำหนักเบา บำรุงรักษาง่าย ขนาดไม่ใหญ่มาก และอายุการใช้งานนาน

### 2.2.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนต่าง ๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



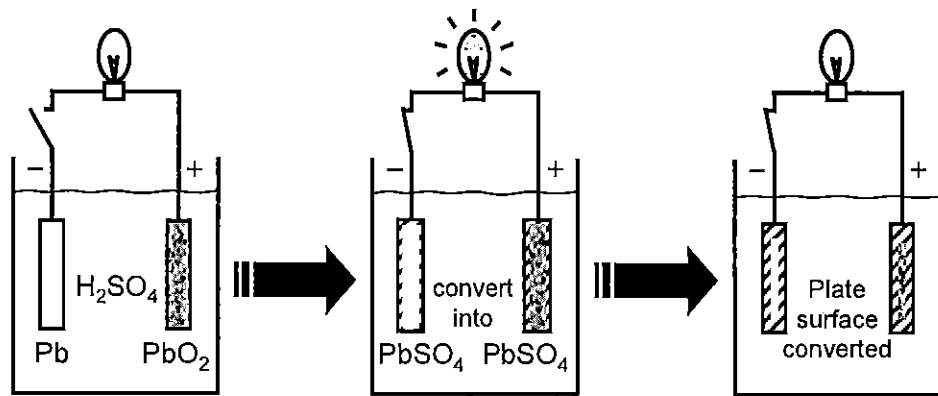
รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แผ่นธาตุ (Plates) ในแบตเตอรี่มี 2 ชนิดคือแผ่นบวกและแผ่นลบ แผ่นธาตุบวกทำจากตะกั่วออกไซด์ ( $PbO_2$ ) และแผ่นธาตุลบทำจากตะกั่ว ( $Pb$ ) วางเรียงสลับกันจนเต็มพอดิในแต่ละเซลล์แล้วกันไม่ให้แตะกันด้วยแผ่นกั้น (Separators) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ธาตุบวก และธาตุลบแตะกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นนี้มีลักษณะเป็นรูพรุนเพื่อให้ น้ำกรดหรือน้ำหรือน้ำยาอิลเล็กโตรไลต์ (Electrolyte) สามารถไหลถ่ายเทไปมาได้ และมีขนาดความกว้างยาวเท่ากับแผ่นธาตุบวกและแผ่นลบ น้ำยาอิลเล็กโตรไลต์ในแบตเตอรี่เป็นน้ำกรดกำมะถันเจือจางประกอบด้วยกรดกำมะถัน ( $H_2SO_4$ ) ประมาณ 38% ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดมีค่า 1.26-1.28 ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}C$

เซลล์ (Cell) ในแบตเตอรี่คือช่องที่บรรจุแผ่นธาตุบวกและธาตุลบซึ่งวางสลับกันและกันด้วยแผ่นกั้นแล้วจุ่มลงในกรด โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะสร้างให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 2 V ต่อเซลล์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละลูกจึงขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ในแบตเตอรี่นั้น ๆ เช่น แบตเตอรี่ที่มี 6 เซลล์จะให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 12 V

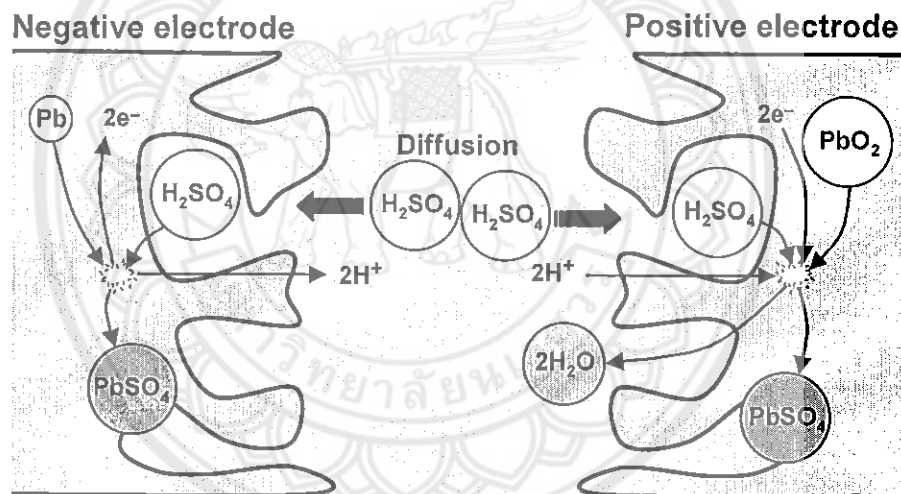
### 2.2.2 ปฏิกริยาทางเคมีในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

เราสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในแบตเตอรี่ขณะมีการคายประจุแสดงดังรูปที่ 2.3 กำหนดให้แบตเตอรี่มีประจุเต็ม (Fully charged condition) ก่อนจะต่อกับโหลด เนื้อสารที่ขั้วลบจะเป็นตะกั่วส่วนขั้วบวกจะเป็นตะกั่วออกไซด์ หลังจากนำโหลดมาต่อ แบตเตอรี่จะเริ่มคายประจุโดยเนื้อสารที่ขั้วลบและขั้วบวกจะทำปฏิกิริยากับสารละลายอิลเล็กโตรไลต์จนกลายเป็นตะกั่วซัลเฟต การคายประจุของแบตเตอรี่จะสิ้นสุดลงเมื่อเนื้อสารทั้งขั้วลบและขั้วบวกกลายเป็นตะกั่วซัลเฟตทั้งหมด



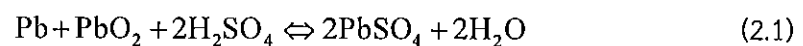
รูปที่ 2.3 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุ

ในระหว่างที่แบตเตอรี่กำลังคายประจุจะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากขั้วลบไปยังขั้วบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จึงเกิดกระแสไหลผ่านโหลด ซึ่งค่ากระแสที่แบตเตอรี่จ่ายได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่เนื้อสารสัมผัสกับน้ำกรด



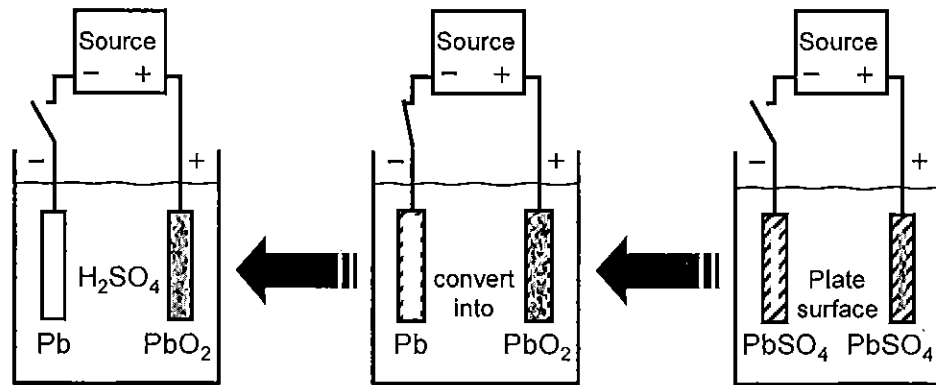
รูปที่ 2.4 การคายประจุของแบตเตอรี่

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่เป็นปฏิกิริยาชนิดย้อนกลับได้ (Reversible reaction) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการเคมีต่อไปนี้



จากสมการที่ (2.1) การคายประจุจะอธิบายได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจากซ้ายไปขวา ในขณะที่การอัดประจุแบตเตอรี่จะอธิบายได้โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสมการจากขวาไปซ้าย เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเข้ากับแบตเตอรี่ โดยเนื้อสารที่อยู่ภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับจากการอัดประจุ แสดงดังรูปที่ 2.5





รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาภายในแบตเตอรี่เมื่ออัดประจุ

### 2.3 อัตราการคายประจุของแบตเตอรี่

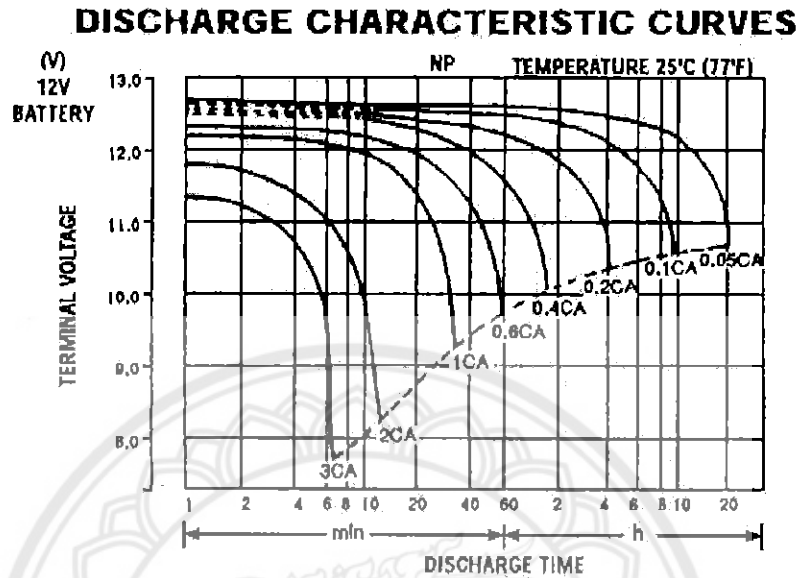
อัตราการคายประจุ หรือที่เรียกว่า ซีเรต ( $C_{rate}$ ) ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดไม่ควรเกิน 0.2C หรือ 20% ของความจุ ถ้าอัตราการคายประจุมากขึ้นประสิทธิภาพของมันจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ควรจะคายประจุในอัตราที่มากกว่า 1C

รอบของการใช้งานโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 200 ถึง 300 รอบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ความลึกของการคายประจุ (Depth of discharge: DOD) การอัดประจุ การบำรุงรักษาและอุณหภูมิในการใช้งานสาเหตุหลักที่ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานลดลงคือการกัดกร่อนที่แผ่นธาตุบวก ซึ่งการกัดกร่อนนี้จะเกิดมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

การใช้งานแบตเตอรี่จำเป็นต้องศึกษาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ ได้แก่

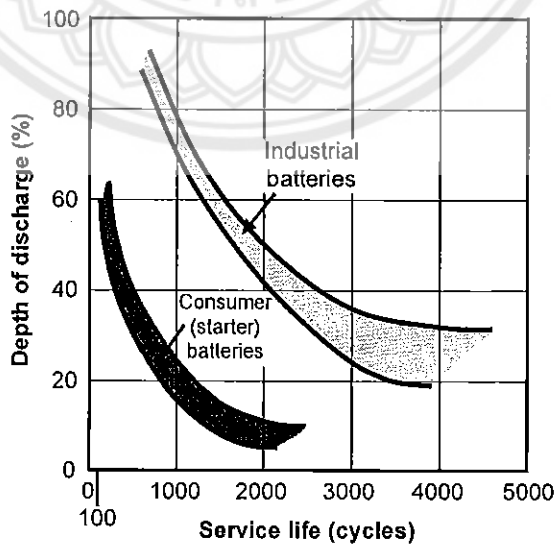
- 1) ความจุของแบตเตอรี่ (Battery capacity) มีหน่วยคือ “แอมแปร์-ชั่วโมง” (Ah) หรือ “วัตต์-ชั่วโมง” (Wh) ซึ่งบ่งบอกถึงพลังงานที่แบตเตอรี่จ่ายได้ เราสามารถคำนวณหาความจุของแบตเตอรี่ได้ด้วยการคายประจุของแบตเตอรี่ความจุที่ใช้งานได้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางโครงสร้าง ซึ่งเชื่อมโยงกับการออกแบบแบตเตอรี่ ได้แก่ ปริมาณของตะกั่วออกไซด์ น้ำกรด ความหนาของแผ่นโลหะ และผิวสัมผัสของโลหะ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน ได้แก่ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความจุของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะสูงขึ้น แต่จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ค่าพลังงานสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายได้ ณ ค่ากระแส และอุณหภูมิค่าหนึ่งที่กำหนดโดยผู้ผลิต เรียกว่า พิกัดความจุ (Rated capacity หรือ Nominal capacity) ของแบตเตอรี่
- 2) จุดสิ้นสุดของการคายประจุ (End of discharge) คือระดับแรงดันที่เรายอมให้แบตเตอรี่คายประจุได้ก่อนจะสิ้นสุดกระบวนการคายประจุจุดสิ้นสุดของการคายประจุจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสคายประจุ ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตดังรูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด NP4-12 ซึ่งค่าพิกัดความจุมีค่า 4 Ah ที่กระแส 0.2 A (0.05C) อุณหภูมิ 25°C และจุดสิ้นสุดการคายประจุที่ 10.7 V จะเห็นว่าถ้า

แบตเตอรี่คายประจุที่กระแสสูงกว่า 0.2 A จุดสิ้นสุดการคายประจุจะต่ำกว่าเนื่องจากยังมีเนื้อสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำกรดต่อได้อีก แต่ค่าความจุที่ใช้งานได้จะลดลงจากค่าพิกัด



รูปที่ 2.6 กราฟคุณลักษณะการคายประจุของแบตเตอรี่ NP4-12

3) อายุการใช้งาน (Service life) ของแบตเตอรี่ถูกกำหนดในรูปของจำนวนรอบของการอัดและคายประจุ (Charge-discharge cycle) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับความลึกในการคายประจุแต่ละครั้งดังแสดงในรูปที่ 2.7 ถ้าความลึกในการคายประจุมีค่าสูงจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง



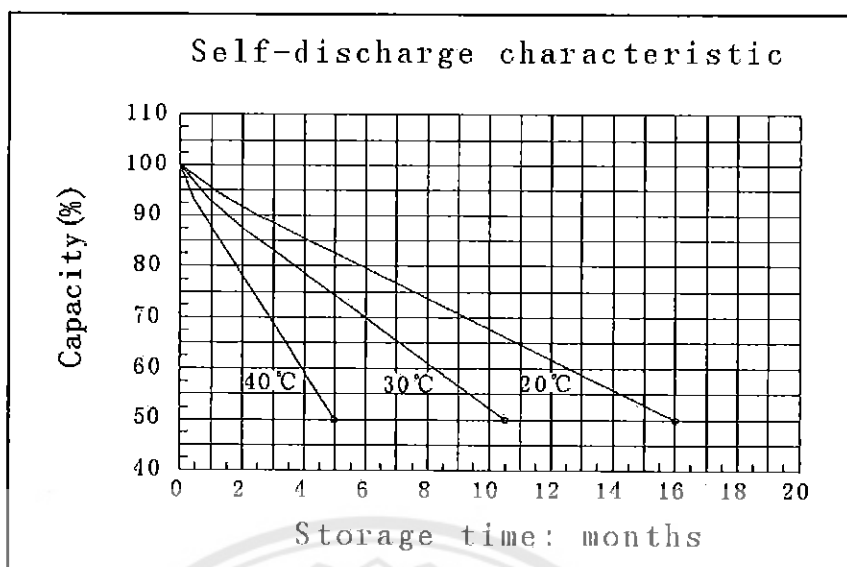
รูปที่ 2.7 กราฟเปรียบเทียบความลึกในการคายประจุกับอายุการใช้งาน

การคายประจุจนต่ำกว่าจุดสิ้นสุดของการคายประจุ (Deep discharge) จะทำให้แบตเตอรี่ทำงานหนักเกินไป หากเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ต้องรีบอัดประจุคืนให้เต็ม มิฉะนั้นจะเหลือผลึกตะกั่วซัลเฟตที่ขั้วบวกและขั้วลบ หากปล่อยไว้นานผลึกเหล่านี้จะโตขึ้นจนยากต่อการเปลี่ยนกลับคืนเป็นตะกั่ว (ที่ขั้วลบ) และตะกั่วออกไซด์ (ที่ขั้วบวก) ได้อีก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “การเกิดซัลเฟชัน” (Sulphation) ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นสั้นลงเนื่องจากสูญเสียเนื้อสารที่จะทำปฏิกิริยา ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องมีการป้องกันการคายประจุลึกกว่าจุดสิ้นสุดการคายประจุ (Deep discharge protection) โดยวิธีที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับคือ การวัดค่าและตรวจสอบแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ตลอดเวลา

- 4) จุดสิ้นสุดการอัดประจุ (End of charge) ในการอัดประจุแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้แรงดันของแหล่งจ่ายสูงกว่า เช่น ประมาณ 14.4 V สำหรับแบตเตอรี่ขนาด 12 V เมื่ออัดประจุจนแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้ น้ำในน้ำกรดแตกตัวเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วลบและก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวก ถ้าอัดประจุนานเกินไปจะทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแบตเตอรี่ลดลง นอกจากนี้การอัดประจุด้วยกระแสที่สูงยังทำให้เกิดความเครียดในเนื้อสาร ซึ่งทำให้การเกาะตัวของโมเลกุลในเนื้อสารแย่งจนส่งผลให้เนื้อสารบางส่วนหลุดออกจากขั้ว ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียความจุที่ใช้ได้ของแบตเตอรี่ ดังนั้นในระหว่างการอัดประจุจึงต้องมีการจำกัดแรงดันและกระแส เช่น การอัดประจุด้วยกระแสไม่เกิน 1 A และใช้แรงดันในการอัดประจุประมาณ 2.3-2.4 V/cell หรือ 14.4 V (สำหรับแบตเตอรี่ 12 V) ที่อุณหภูมิ 20°C

### 2.3.1 การคายประจุด้วยตนเอง

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดมีการคายประจุด้วยตัวเองน้อยมาก ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเปียก อัตราการคายประจุประมาณ 40% ต่อปี ส่วนแบตเตอรี่แบบแห้งจะมีอัตราการคายประจุน้อยกว่าแบบเปียกโดยเฉพาะแบตเตอรี่แบบเอจีเอ็มรุ่นใหม่ ๆ บางชนิดอัตราการคายประจุด้วยตัวเองไม่เกิน 2% ต่อเดือน นอกจากนี้แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดถึงแม้จะมีราคาถูก แต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเปียกจะมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มขึ้น เพราะต้องคอยตรวจสอบระดับของน้ำกรดเพื่อเติมน้ำกลั่นเมื่อระดับของน้ำกรดต่ำเกินไป และต้องหมั่นทำความสะอาดคราบต่างๆที่อาจจะเกิดเนื่องจากการกัดกร่อนของกรด อีกทั้งยังต้องระมัดระวังในเรื่องสถานที่เก็บแบตเตอรี่ ไม่ควรเก็บไว้ใกล้แหล่งความร้อนหรือประกายไฟเพราะในขณะที่อัดประจุ (โดยเฉพาะถ้าอัดประจุโดยเปิดฝาแบตเตอรี่) จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นซึ่งอาจทำให้ระเบิดได้



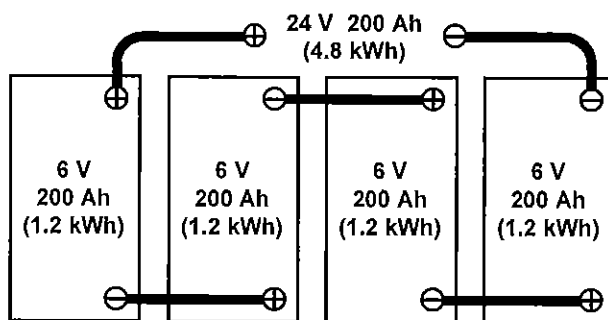
รูปที่ 2.8 การคายประจุด้วยตนเองของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด NS 12-12

ถ้าเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่อัดประจุได้ (Rechargeable batteries) ชนิดใหม่ๆแล้ว ที่น้ำหนักเท่ากัน แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดจะสามารถเก็บประจุได้น้อยกว่า จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับอุปกรณ์พกพาซึ่งต้องการแบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เพราะจะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าน้อย ทำให้ต้องอัดประจุแบตเตอรี่บ่อย หรือทำให้อุปกรณ์มีน้ำหนักมากจนเกินไป แต่เนื่องจากราคาดัชนีทุนเทียบกับพลังงานที่ได้ถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น เราจึงนิยมนำแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดมาทำให้มีขนาดใหญ่เพื่อใช้ในงานอื่นที่ไม่ต้องการพกพา

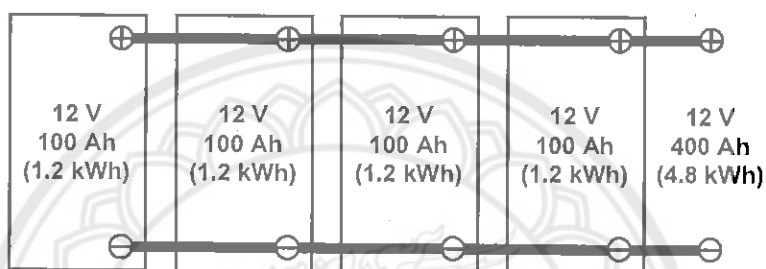
#### 2.4 การเชื่อมต่อแบตเตอรี่

การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม (Series connection) เป็นการนำขั้วต่างกันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมาต่อเรียงกันโดยสามารถทำการต่อได้ดังรูปที่ 2.9 จะทำให้มีค่าแรงดันด้านออกของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น การต่ออนุกรมนี้จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีพิกัดความจุเท่ากันพลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่อนุกรมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัวคูณกับพิกัดความจุของแบตเตอรี่

การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน (Parallel connection) เป็นการนำขั้วเดียวกันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนมาต่อเรียงกันโดยสามารถทำการต่อได้ดังรูปที่ 2.10 เป็นการเพิ่มกระแสด้านออกให้ได้ค่าที่ต้องการ การต่อขนานแรงดันแบตเตอรี่จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีพิกัดแรงดันเท่ากัน พลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่แบบขนานจะมีค่าเท่ากับแรงดันคูณกับผลรวมของพิกัดความจุของแบตเตอรี่แต่ละตัว

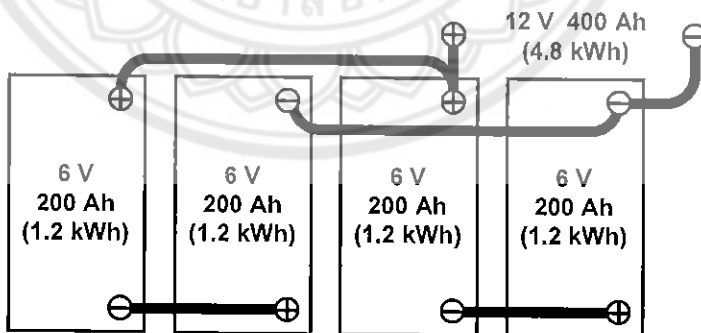


รูปที่ 2.9 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม



รูปที่ 2.10 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมและแบบขนานร่วมกัน (Series-parallel connection) แสดงได้ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งจะเป็นการเพิ่มทั้งพิกัดแรงดันและความจุพลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่แบบผสมจะมีค่าเท่ากับแรงดันคูณกับผลรวมของพิกัดความจุของแบตเตอรี่แต่ละตัว



รูปที่ 2.11 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

## 2.5 กำลังที่ให้ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

เมื่อรถจักรยานไฟฟ้านั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าๆหนึ่ง รถจักรยานไฟฟ้าจะต้องการกำลังจากมอเตอร์เพื่อที่จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ทำให้แบตเตอรี่ที่ใช้นั้นต้องจ่ายกำลังไฟให้แก่มอเตอร์เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

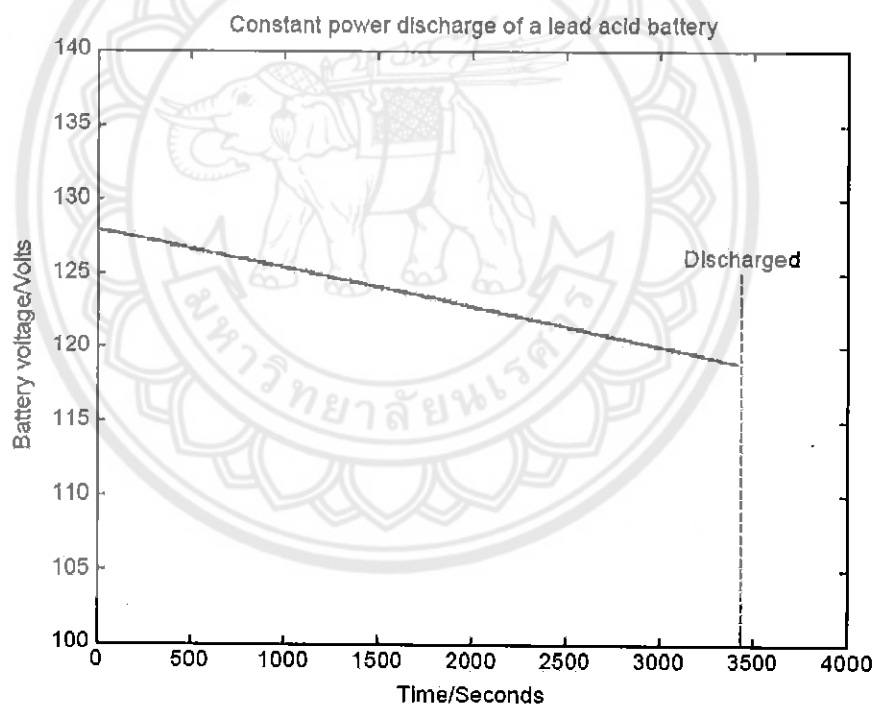
$$P = V \times I \quad (2.2)$$

เมื่อ  $P$  = กำลังที่แบตเตอรี่ต้องจ่ายให้กับระบบ หน่วยวัตต์ (W)

$I$  = กระแสของแบตเตอรี่ หน่วยแอมแปร์ (A)

$V$  = แรงดันของแบตเตอรี่ หน่วยโวลต์ (V)

ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น จะมีคุณลักษณะของแบตเตอรี่อย่างหนึ่งคือ เมื่อเราขับที่รถจักรยานไฟฟ้าไปด้วยความเร็วคงที่ แรงดันของแบตเตอรี่จะตกลงเรื่อยๆจนกว่าถึงค่าๆหนึ่งที่แบตเตอรี่นั้นไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ต่างๆได้ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่



รูปที่ 2.11 กราฟแรงดันกับเวลาขณะคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด 120 V 50 Ah ที่ 5000 W

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ตกจนถึงค่าๆหนึ่งแล้วนั้น แบตเตอรี่ก็จะไม่สามารถจ่ายกำลังไฟให้แก่อุปกรณ์ต่างๆในรถจักรยานไฟฟ้าได้ ต้องนำแบตเตอรี่ไปอัดประจุใหม่เพื่อนำกลับมาใช้งานอีกครั้งหนึ่ง

## 2.6 ปราบกฎการณ Peukert

การเกิดปรากฏการณ์ Peukert นั้น จะเกิดขึ้นในรถที่ใช้พลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อแบตเตอรี่จ่ายกระแสมากขึ้น (ใช้กระแสมากกว่าปกติ) ที่จะสร้างกำลังให้แอมป์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการออกตัว, เร่งและแซง ทำให้ความจุของแบตเตอรี่จะเหลือน้อยกว่าปกติว่าการขับที่ทั่วไปด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งสมการของความจุของ Peukert ที่เป็นค่าคงที่นั้น สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.3

$$C_p = I^k T \quad (2.3)$$

เมื่อ  $C_p$  = ความจุของ Peukert หน่วยแอมแปร์ชั่วโมง (Ah)

$I$  = กระแสของแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งใดๆ หน่วยแอมแปร์ (A)

$T$  = เวลาที่ใช้ในการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งใด หน่วยชั่วโมง (hr)

$k$  = สัมประสิทธิ์ของ Peukert

สมมติว่า แบตเตอรี่มีความจุ 40 Ah ที่อัตรา 5 hr ซึ่งหมายความว่าที่ความจุ 40 Ah จะสามารถคายประจุได้ชั่วโมงละ 8 A เป็นเวลา 5 ชั่วโมง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.3

$$I = \frac{40}{5} = 8A \quad (2.3)$$

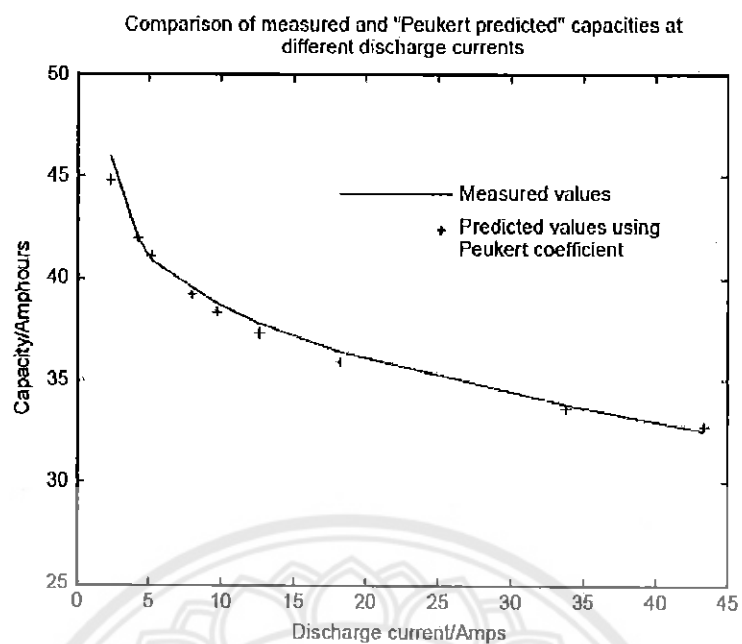
และถ้าสัมประสิทธิ์ของ Peukert เป็น 1.2 แล้วจะได้ความจุของ Peukert คือ

$$C_p = 8^{1.2} \times 5 = 60.6Ah \quad (2.4)$$

สุดท้ายแล้ว เราสามารถนำสมการที่ 2.3 เพื่อจะหาเวลาที่แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ในช่วงการจ่ายกระแสต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$T = \frac{C_p}{I^k} \quad (2.5)$$

เมื่อหาเวลาที่แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ และกระแสของแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาใดๆแล้ว สามารถนำค่าที่ได้มาแสดงผลเป็นกราฟรูปที่ 2.12 (สำหรับแบตเตอรี่ 42 Ah, 10 hr)



รูปที่ 2.12 แสดงแบบจำลอง Peukert ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (แบตเตอรี่ 42Ah)

จากกราฟที่ได้จะเห็นได้ว่า เมื่อแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น ปริมาณความจุของแบตเตอรี่ก็จะน้อยลงตามไปด้วย ทำให้ความจุของแบตเตอรี่นั้นหมดไวขึ้น ซึ่งเป็นไปตามปรากฏการณ์ Peukert



## บทที่ 3

### การติดตั้งและทดสอบแบตเตอรี่

จากการศึกษาแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ในบทที่ 2 ผู้ดำเนินโครงการได้ทำการออกแบบและแบตเตอรี่ที่จะใช้ในรถจักรยานไฟฟ้าและชุดอุปกรณ์วัดค่ากระแสและแรงดัน พร้อมทั้งเตรียมการทดสอบวัดค่ากระแสที่ใช้งาน ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

#### 3.1 รถจักรยานที่ใช้ในโครงการ

จักรยานที่ใช้ในโครงการครั้งนี้เป็นจักรยานเสือภูเขา TRINX เกียร์ 21 สปีด มีโช๊คหน้า โครงอลูมิเนียม ขนาด 26 นิ้ว สาเหตุที่ใช้จักรยานคันนี้ก็เพราะว่าจักรยานมีความทนทาน และแข็งแรง ที่สำคัญสามารถติดตั้งดิสเบรกได้ตามที่กลุ่มค้นคว้าและเบรกได้ออกแบบไว้ แต่จักรยานเสือภูเขานั้นมีชุดเกียร์ เราจึงต้องติดมอเตอร์ไว้ทางด้านซ้ายของตัวรถจักรยาน ทำให้มีการติดตั้งที่ยากขึ้น และต้องกลับขั้วของมอเตอร์เนื่องจากเราต้องติดตั้งมอเตอร์ไว้ทางด้านซ้ายของตัวรถจักรยาน แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รถจักรยานเสือภูเขาที่ใช้ในโครงการ

### 3.2 มอเตอร์ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

มอเตอร์ที่ใช้ในโครงการครั้งนี้ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น MY1016Z2 ขนาด 24 V , ให้กำลัง 250 W ซึ่งต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 24 V มาต่อกับมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์นั้นมีกำลังเต็มที่



รูปที่ 3.2 มอเตอร์ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

### 3.3 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

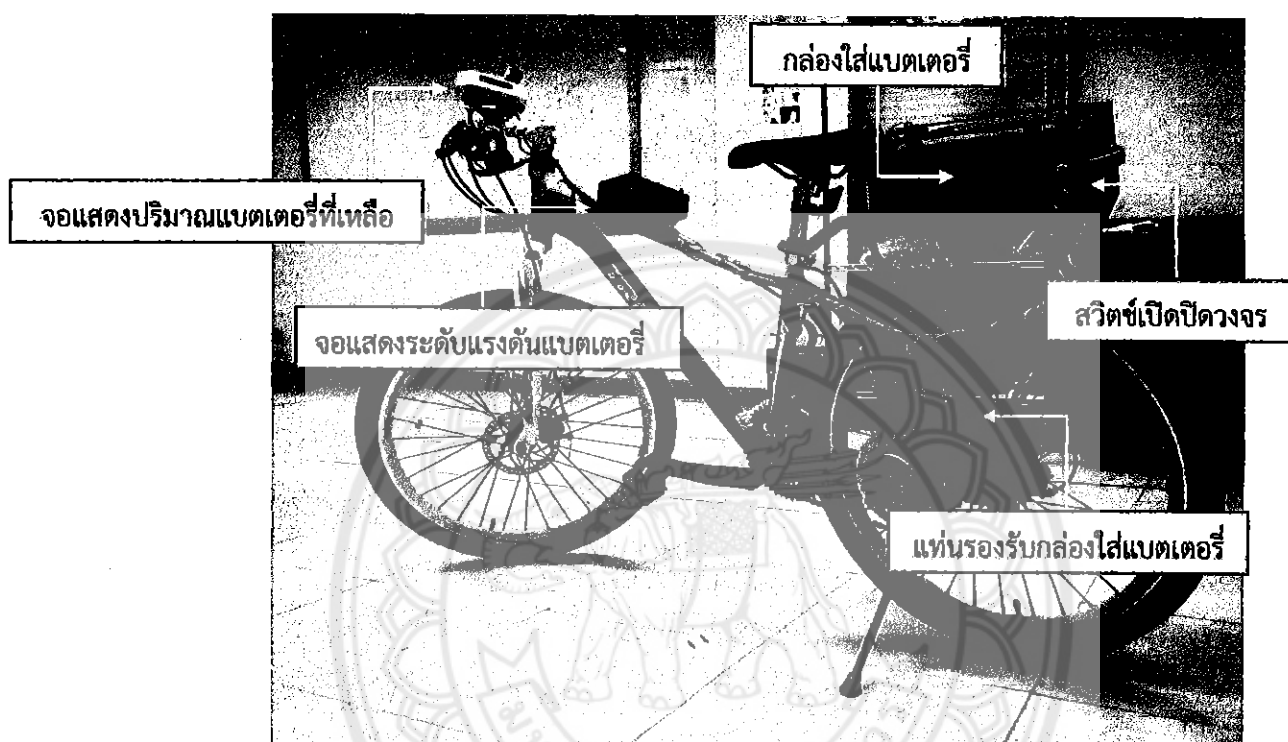
การทำงานของรถจักรยานไฟฟ้านั้นใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 20 Ah 12 V จำนวน 2 ก้อน มีน้ำหนักก้อนละ 3.5 kg นำมาต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม จะทำให้มีค่าแรงดันด้านออกของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเป็น 24 V การต่ออนุกรมนี้จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีพิกัดความจุเท่ากับพลังงานที่ได้จากการต่อแบตเตอรี่อนุกรมจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัวคูณกับพิกัดความจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 3.3 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

### 3.4 การติดตั้งแบตเตอรี่บนรถจักรยานไฟฟ้า

แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้านั้นต่อแบบอนุกรมจำนวน 2 ก้อน เชื่อมต่อกับคอนโทรลเลอร์ ซึ่งคอนโทรลเลอร์นั้นจะควบคุมการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่ที่ใช้ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ทั้ง 2 ก้อนนั้นจะอยู่ในกล่องใส่แบตเตอรี่ติดตั้งไว้ในแท่นรองรับกล่องใส่แบตเตอรี่ตามที่กลุ่มsupport ได้ออกแบบแท่นรองรับกล่องใส่แบตเตอรี่ไว้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของรถจักรยานไฟฟ้าที่ได้ติดตั้ง

### 3.5 การควบคุมการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้า

จักรยานไฟฟ้าจะสามารถขับเคลื่อนได้ก็ต่อเมื่อบิดกุญแจรถให้วงจรขับเคลื่อนทำงานและมีระดับแรงดันของแบตเตอรี่ที่สูงเพียงพอ (ไม่น้อยกว่า 11.7 V ต่อแบตเตอรี่ 1 ลูก) การควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่จักรยานไฟฟ้าสามารถทำได้ด้วยการบิดคันเร่งเพื่อเพิ่มความเร็วหรือผ่อนคันเร่งเพื่อลดความเร็วลง โดยมีหน้าจอดีแสดงระดับแรงดันของแบตเตอรี่อยู่บนแผงสวิทช์ควบคุมแบบการทำงานซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของจักรยานไฟฟ้าเพื่อให้สะดวกต่อการสังเกต แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผงสวิตซ์แสดงการทำงาน



รูปที่ 3.6 หน้าปัดแสดงปริมาณแบตเตอรี่ที่เหลือ

ในส่วนของจอแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่จะแสดงแรงดันจากแบตเตอรี่ 12 V เพียงหนึ่งลูกเนื่องจากจอแสดงระดับแรงดันแบตเตอรี่ใช้แรงดันไฟเลี้ยงวงจร 9 V ดังนั้นจึงเลือกใช้แรงดัน 12 V ซึ่งมีระดับแรงดันใกล้เคียงกันทำให้สามารถเชื่อมสายของวงจรวัดระดับแรงดันกับสายไฟเลี้ยงวงจรเข้าด้วยกันจึงรับไฟจากแหล่งจ่ายเดียวกันได้ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน โดยในการใช้งานยานพาหนะควร จะทำการประจุแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่มีแรงดันต่ำกว่า 11.7 V เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของ แบตเตอรี่

### 3.6 การเตรียมการทดสอบวัดค่ากระแสและแรงดันที่ใช้ใช้งาน

การเตรียมการทดสอบนั้น ได้ติดตั้งแอมมิเตอร์เข้าไปในวงจรเพื่อวัดค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้ โดยต่อแอมมิเตอร์แบบอนุกรมระหว่างขั้วบวกของแบตเตอรี่กับขั้วบวกของมอเตอร์ สามารถแสดงการ ต่อวงจร แสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรของระบบที่ใช้ทำการทดลอง

แต่เนื่องจากแอมมิเตอร์ที่ได้ติดตั้งบนอานกลางของรถจักรยานไฟฟ้านั้นเกิดการเสียหาย (ไฟได้ลัดวงจร) ทางผู้จัดทำโรงงานจึงได้นำแอมมิเตอร์ขนาด 10 A จำนวน 2 ตัว มาต่อแบบขนาน เพื่อให้รองรับกระแสได้สูงสุด 20 A แล้วจะนำไปต่อกับวงจรอีกครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ระบบทดสอบที่ติดตั้งเสร็จสมบูรณ์พร้อมทดสอบ

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

หลังจากศึกษาการเบตเตอร์ที่ใช้ในบทที่ 2 และทำการติดตั้งเบตเตอร์ในบทที่ 3 ผู้ดำเนินโครงการได้ทดสอบการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าที่สร้างขึ้น โดยสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ส่วนได้ดังนี้

#### 4.1 การวัดค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่

ในการเริ่มเคลื่อนที่รถจักรยานไฟฟ้าจะมีการใช้ปริมาณกระแสค่าๆ หนึ่งที่จ่ายให้กับมอเตอร์ โดยกระแสจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโพลตรวมคือรถจักรยานไฟฟ้าและผู้ขับขี่ เนื่องจากในการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์จะต้องเอาชนะแรงเสียดทานระหว่างเพลากับล้อ

##### ก) การทดสอบขณะไม่มีผู้ขับขี่

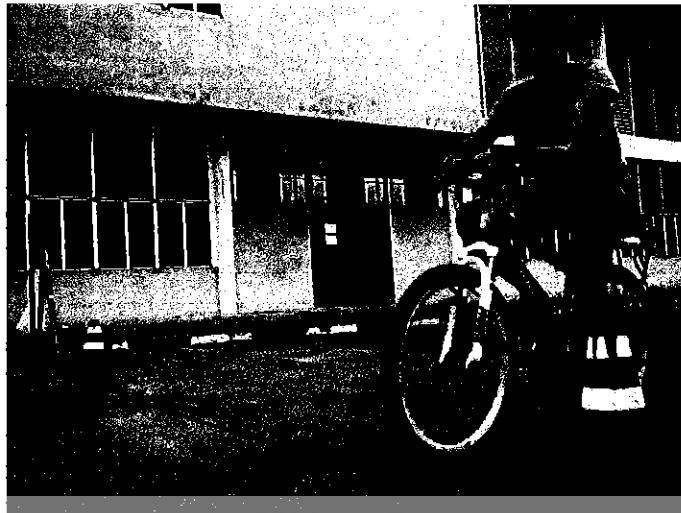
การทดสอบทำโดยการต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับมอเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ จากนั้นปิดคันเร่งขณะผู้ขับขี่ไม่ได้จักรยานไฟฟ้าแล้วอ่านค่ากระแสที่แอมมิเตอร์วัดได้ขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ โดยค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 0.24 A

##### ข) การทดสอบขณะมีผู้ขับขี่ (ปิดคันเร่งช้าๆ)

การทดสอบทำโดยการต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับมอเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ จากนั้นปิดคันเร่งขณะมีผู้ขับขี่ (น้ำหนักประมาณ 72 kg) ซื่ออยู่บนจักรยานไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 แล้วจึงอ่านค่ากระแสที่แอมมิเตอร์วัดได้ขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ โดยค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 0.96 A

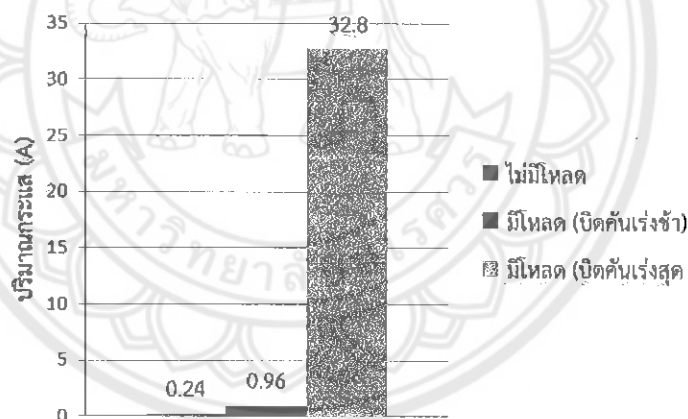
##### ค) การทดสอบขณะมีผู้ขับขี่ (ปิดคันเร่งสุด)

การทดสอบทำโดยการต่อแอมมิเตอร์อนุกรมกับมอเตอร์เพื่อวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ จากนั้นปิดคันเร่งขณะมีผู้ขับขี่ (น้ำหนักประมาณ 72 kg) ซื่ออยู่บนจักรยานไฟฟ้า แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 แล้วจึงอ่านค่ากระแสที่แอมมิเตอร์วัดได้ขณะที่เริ่มเคลื่อนที่ โดยค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่มีค่าเท่ากับ 32.8 A



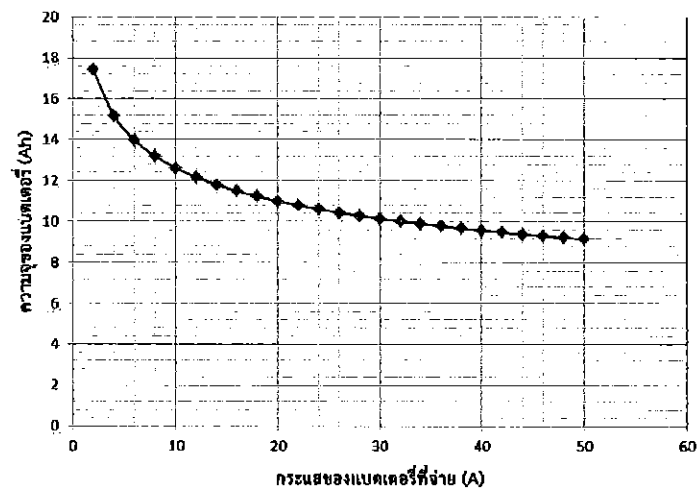
รูปที่ 4.1 การทดสอบวัดค่ากระแสขณะเริ่มเคลื่อนที่

จากการทดลองทั้งสามนั้น สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของกำลังเพื่อใช้เปรียบเทียบหาปริมาณกระแสที่แบตเตอรี่ที่ต้องจ่ายให้แก่รถจักรยานไฟฟ้าในช่วงเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ปริมาณกระแสของแบตเตอรี่ที่จ่ายในช่วงเริ่มเคลื่อนที่

จากกราฟจะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสให้แก่รถจักรยานไฟฟ้ามากที่สุดในขณะเริ่มเคลื่อนที่ด้วยการบิดคันเร่งสุด ซึ่งการกระทำแบบนี้จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Peukert กล่าวคือ สมมติว่าถ้าแบตเตอรี่จ่ายกระแสให้แก่รถจักรยานไฟฟ้า 5 A รถจักรยานไฟฟ้าจะวิ่งได้เวลา 1 ชั่วโมง แต่ถ้าวิ่งด้วยกระแส 20 A จะทำให้รถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้แค่ 25 นาทีเท่านั้น ดังนั้น การขับขี่รถจักรยานไฟฟ้าควรที่จะค่อยๆ เริ่มออกตัวแทนที่จะออกตัวแบบกระชาก จะทำให้รถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ระยะทางที่ไกลขึ้น ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และจากการทดลองก็สอดคล้องกับปรากฏการณ์ Peukert ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

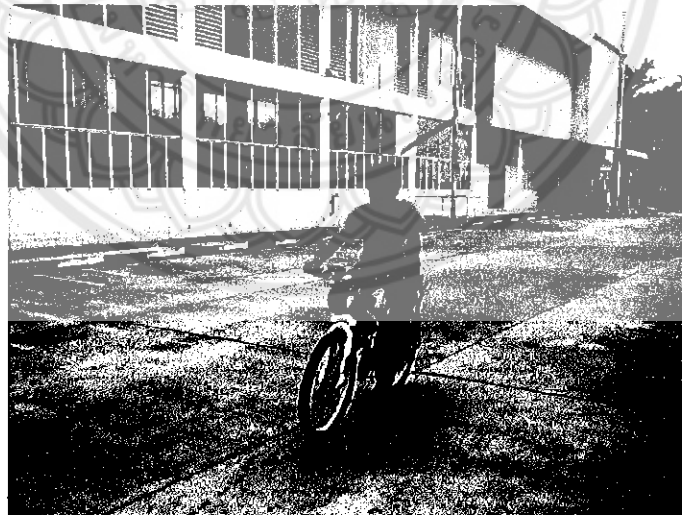


รูปที่ 4.3 แสดงแบบจำลอง Peukert ของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.2 การวัดค่ากระแสและหาค่ากำลังของแบตเตอรี่ในยานความเร็วที่ใช้งาน

ก) การทดสอบค่ากระแสของความเร็วต่างๆในทางเรียบ

การวัดค่ากระแสที่ความเร็วต่างๆ เพื่อหาค่าปริมาณกระแสสูงสุด และหาค่าความเร็วของรถจักรยานไฟฟ้าที่มีการใช้ปริมาณกระแสในยานความเร็วต่างๆ ซึ่งทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 4.4 แล้วนำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1



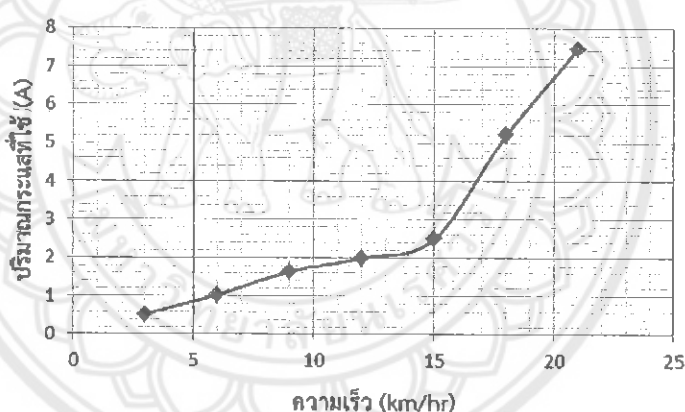
รูปที่ 4.4 ขณะการทดสอบวัดค่ากระแสในยานความเร็วต่างๆในทางเรียบ



ตารางที่ 4.1 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบ

ความเร็ว (km/hr)	ครั้งที่ 1 ปริมาณกระแสที่ใช้ (A)	ครั้งที่ 2 ปริมาณกระแสที่ใช้ (A)	ครั้งที่ 3 ปริมาณกระแสที่ใช้ (A)	ปริมาณกระแสที่ใช้เฉลี่ย (A)
3	0.55	0.51	0.49	0.52
6	1.01	1.00	1.07	1.03
9	1.65	1.69	1.59	1.64
12	1.99	1.95	2.04	1.99
15	2.45	2.56	2.46	2.49
18	5.23	5.19	5.20	5.21
21	7.53	7.43	7.43	7.46

จากข้อมูลปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบ จากตารางที่ 4.1 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบ

ค่ากระแสที่มอเตอร์ใช้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วในการขับเคลื่อนของรถจักรยานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากขึ้น มอเตอร์จึงสร้างแรงบิดได้มากขึ้น ทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น รถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้เร็วขึ้น

ข) การทดสอบวัดค่ากระแสของความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน

ในขณะที่รถจักรยานไฟฟ้าขึ้นเนิน (เนินมีระยะทาง 1 เมตร, ความสูง 23 เซนติเมตร) มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะต้องการกำลังมากกว่าปกติ เพราะจะต้องเอาชนะแรงที่มากกระทำในขณะที่ขึ้นเนิน ทำให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากกว่าปกติ ซึ่งได้ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 แล้วนำผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

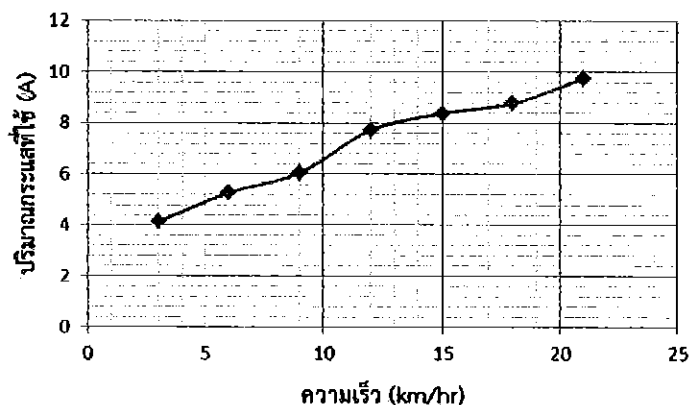


รูปที่ 4.6 ขณะการทดสอบวัดค่ากระแสของความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆเฉลี่ยในการขึ้นเนิน

ความเร็ว (km/hr)	ครั้งที่ 1 ปริมาณกระแสที่ใช้ (A)	ครั้งที่ 2 ปริมาณกระแสที่ ใช้ (A)	ครั้งที่ 3 ปริมาณกระแสที่ใช้ (A)	ปริมาณกระแสที่ใช้ รวม (A)
3	4.19	4.06	4.17	4.14
6	5.23	5.31	5.28	5.27
9	6.02	6.06	6.07	6.05
12	7.77	7.64	7.76	7.72
15	8.37	8.47	8.29	8.38
18	8.71	8.83	8.78	8.77
21	9.77	9.73	9.71	9.74

จากข้อมูลปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน จากตารางที่ 4.2 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน

ค่ากระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้จะมีค่าสูงขึ้นมากกว่าการขี่ในทางเรียบ เนื่องจากมอเตอร์ต้องการกำลังไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงเพื่อที่จะสามารถขึ้นเนินไปได้ ส่งผลให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากขึ้นกว่าการขี่ในทางเรียบ

ค) การทดสอบวัดค่ากระแสของความเร็วต่างๆในทางลงเนิน

ในขณะที่รถจักรยานไฟฟ้าขับลงเนินนั้น มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะต้องการกำลังน้อยกว่าปกติ เพราะมอเตอร์นั้นไม่ต้องการใช้กำลังสูงมากในการลงเนินเนื่องจากมีแรงส่งมาก่อนหน้านี้แล้ว ทำให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่น้อยกว่าการขี่ปกติ ซึ่งได้ทำการทดสอบ แสดงได้ดังรูปที่ 4.8 แล้วนำผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.8 ขณะการทดสอบวัดค่ากระแสของความเร็วต่างๆในทางลงเนิน

1600812

215

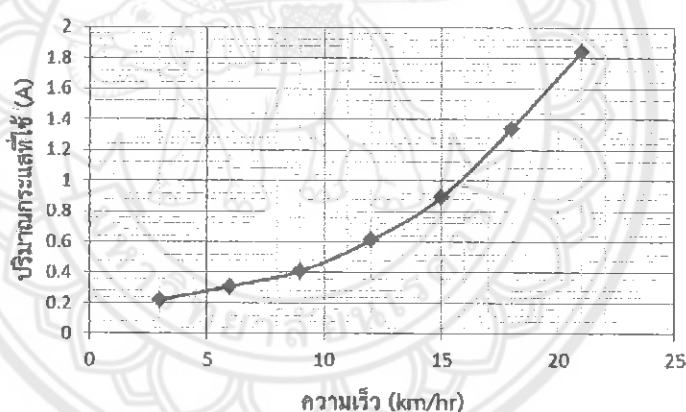
๓๗๗๑

๒๐๒๔

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆเฉลี่ยในการลงเนิน

ความเร็ว (km/hr)	ครั้งที่ 1 ปริมาณกระแสที่ใช้ (A)	ครั้งที่ 2 ปริมาณกระแสที่ใช้ (A)	ครั้งที่ 3 ปริมาณกระแสที่มือใช้ (A)	ปริมาณกระแสที่มือใช้รวม (A)
3	0.20	0.25	0.22	0.22
6	0.30	0.31	0.31	0.31
9	0.40	0.42	0.41	0.41
12	0.57	0.57	0.69	0.61
15	0.87	0.86	0.93	0.89
18	1.34	1.37	1.30	1.34
21	1.80	1.83	1.89	1.84

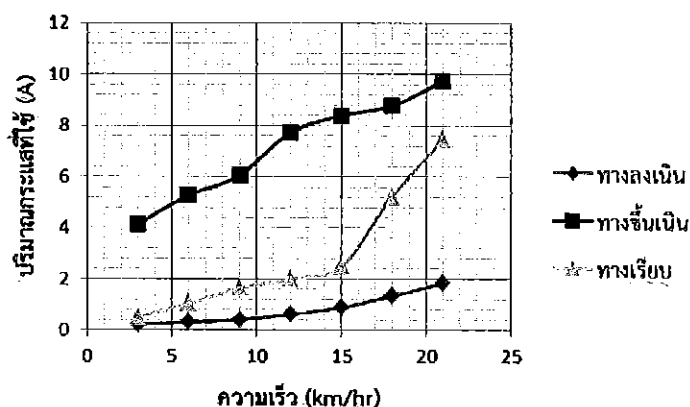
จากข้อมูลปริมาณกระแสที่มือมอเตอร์ใช้ที่ในความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน จากตารางที่ 4.3 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางขึ้นเนิน

ค่ากระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้จะมีค่าต่ำลงมากกว่าการขับขึ้นทางเรียบ เนื่องจากมอเตอร์ต้องการกำลังไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดน้อยกว่าปกติเพราะมีแรงส่งมาอยู่แล้ว ส่งผลให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่น้อยกว่าการขับขึ้นทางเรียบ

และจากผลการทดสอบปริมาณกระแสที่ใช้ทางเรียบ, ทางขึ้นเนินและลงเนินในตารางที่ 4.1, ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 สามารถนำค่าทั้งหมดมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.10



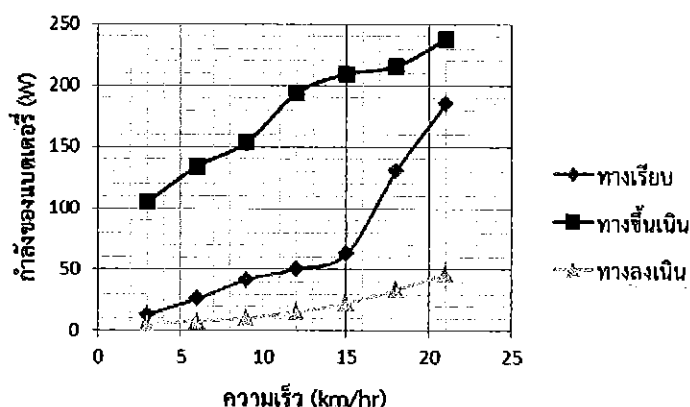
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณกระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าในทางเรียบ, ขึ้นเนิน และลงเนิน

จากกราฟ ค่ากระแสที่รถจักรยานไฟฟ้าใช้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วในการขับเคลื่อนของรถจักรยานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและจะใช้มากขึ้นไปอีกเมื่อขับขึ้นเนิน เนื่องจากมอเตอร์ต้องการกำลังไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงบิดต้านอันเกิดจากความฝืดระหว่างเพลากับล้อและเพื่อเพิ่มความเร็วยรอบของมอเตอร์ การเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์นั้นด้วยการบิดคันเร่ง ส่งผลให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (2.2) เมื่อเรานำค่าแรงดันที่วัดได้ในแต่ละความเร็วนั้นมาคูณกับกระแสที่ใช้ ก็จะได้กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับรถจักรยานไฟฟ้าในแต่ละย่านความเร็ว ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่ระบบในช่วงความเร็วในทางเรียบ, ขึ้นเนินและลงเนิน

ความเร็ว (km/hr)	กำลังของแบตเตอรี่ในทางเรียบ (W)	กำลังของแบตเตอรี่ในทางขึ้นเนิน (W)	กำลังของแบตเตอรี่ในทางลงเนิน (W)
3	13.208	105.156	5.508
6	26.162	133.858	7.874
9	41.656	153.67	10.414
12	50.347	193.772	15.433
15	62.748	209.500	22.339
18	130.250	215.742	33.500
21	185.008	237.656	46.736

จากข้อมูลกำลังของแบตเตอรี่ในตารางที่ 4.4 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.11

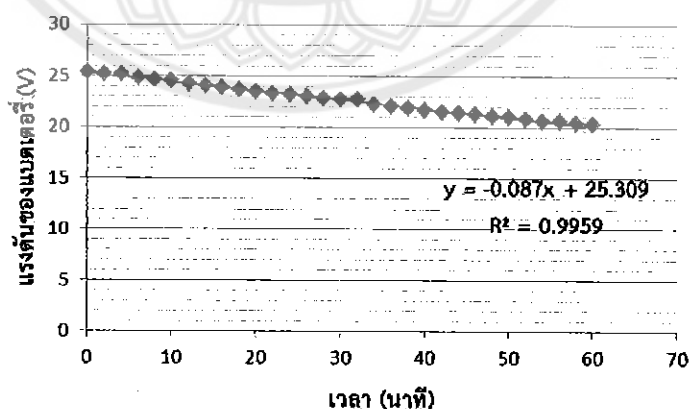


รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบปริมาณกำลังที่รถจักรยานไฟฟ้าในทางเรียบ, ขึ้นเนิน และลงเนิน

จากกราฟที่ได้ ค่ากำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่รถจักรยานไฟฟ้าใช้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วในการขับเคลื่อนของรถจักรยานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและจะใช้น้ำมากขึ้นไปอีกเมื่อขับขึ้นเนินเนื่องจากมอเตอร์ต้องการกำลังไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงบิดต้านอันเกิดจากความฝืดระหว่างเพลากับล้อและเพื่อเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ การเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์นั้นด้วยการบิดคันเร่ง ส่งผลให้มอเตอร์ดึงกระแสจากแบตเตอรี่มากขึ้น

#### 4.3 การวัดค่ากระแสและแรงดันของแบตเตอรี่ในความเร็วคงที่

และเมื่อได้ทำการทดลองขับด้วยความเร็วคงที่ 20 km/hr แรงดันเริ่มต้น 25.4 V กระแสที่ใช้ประมาณ 7.5 A กำลังที่ได้คือ 190.5 W เป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว สามารถนำค่าแรงดันของแบตเตอรี่ขณะขับรถจักรยานไฟฟ้าต่อเวลาที่ได้นั้น นำมาแสดงผลเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แรงดันของแบตเตอรี่ขณะขับด้วยความเร็ว 20 km/hr กำลังคงที่ประมาณ 190.5 W

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เราสามารถนำผลการทดลองที่ได้จากการขับซีรคจักรยานไฟฟ้าด้วยความเร็ว 20 km/hr กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนคงที่ประมาณ 190.5 W นำมาแสดงผลเป็นเป็นกราฟเส้นตรงดังสมการที่ 4.1

$$y = mx + c \quad (4.1)$$

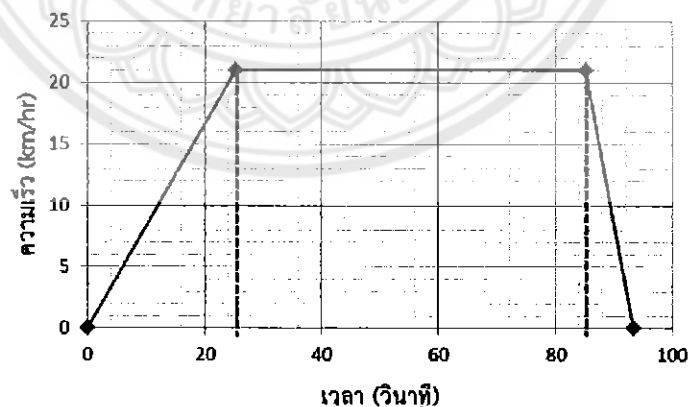
และเมื่อใช้วิธีการ Linear Regression ในการคำนวณแล้ว จะได้สมการเส้นตรงของแรงดันแบตเตอรี่ขณะขับซีด้วยความเร็วคงที่ดังสมการที่ 4.2

$$y = -0.087x + 25.309; R^2 = 0.9959 \quad (4.2)$$

จากสมการที่ได้ ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ ( $R^2 = 0.9959$ ) ซึ่งใกล้เคียงกับ 1 ดังนั้นสมการที่เราใช้จึงมีคุณภาพ ซึ่งจากการทดลองเมื่อเราขับซีรคจักรยานไฟฟ้าด้วยความเร็วคงที่นั้น แรงดันของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้นจะตกลงเรื่อยๆจนถึงค่าๆหนึ่ง แบตเตอรี่ก็จะไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ต่างๆ ทำให้ รคจักรยานไฟฟ้าจึงไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และจากการทดสอบต่อไปอีกนั้น ค่าแรงดันต่ำสุดที่รคจักรยานไฟฟ้าสามารถปิดคันเร่งได้คือ 19.6 V ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ใกล้เคียงกับคุณลักษณะในการคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

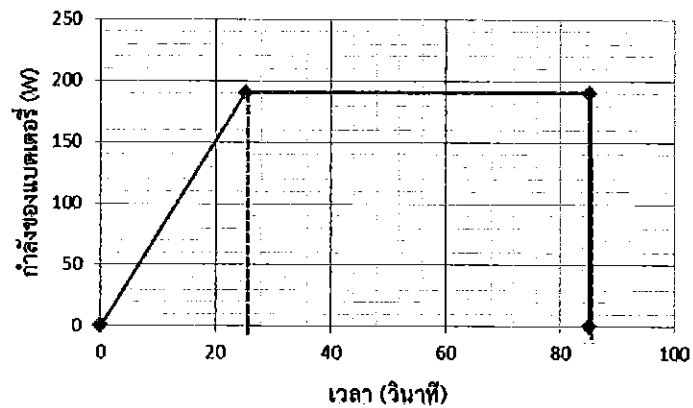
#### 4.4 การทดลองขับซีในรูปแบบต่าง (ออกตัว, คงที่, การเบรก)

การทดลองขับซีในรูปแบบต่างๆนั้น ได้ทำการทดลองจับเวลาโดยเริ่มที่ค่อยๆออกตัวจนกระทั่งรคจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ความเร็ว 21 km/hr (ประมาณ 190 W, 25.4V, 7.5 A) แล้ววิ่งต่อด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 1 นาที เมื่อครบแล้วจึงทำการเบรกรคจักรยานไฟฟ้าจนรคจักรยานไฟฟ้าหยุดนิ่ง สามารถนำผลการทดลองที่ได้นั้น มาแสดงผลเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เวลาที่ใช้ของการทดลองขับซีในรูปแบบต่าง

และจากการทดลองขับซีในรูปแบบต่างๆนั้น สามารถเอาผลการทดลองแสดงกำลังของแบตเตอรี่ที่ต้องจ่ายให้แก่รคจักรยานไฟฟ้า นำมาแสดงผลเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กำลังของแบตเตอรี่ของการทดลองซ้ำกันในรูปแบบต่างๆ

จากราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อรถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ แบตเตอรี่จะค่อยๆจ่ายกำลังให้แก่รถจักรยานไฟฟ้าเพื่อสร้างความเร็วให้มากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีความเร็ว 20 km/hr และวิ่งต่อไปด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 1 นาที แบตเตอรี่ก็จะจ่ายกำลังให้แก่รถจักรยานไฟฟ้าคงที่ตลอดการวิ่งที่ความเร็ว 20 km/hr เมื่อวิ่งครบ 1 นาที แล้วทำการเบรกรถจักรยานไฟฟ้า แบตเตอรี่ก็จะหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้าทันที เนื่องจากที่ก้านเบรกของรถจักรยานไฟฟ้าได้ทำการติดตั้งตัวตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไว้นั่นเอง



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน 2 ภาคการศึกษา ในบทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินโครงการ การอธิบายข้อจำกัดของรถจักรยานไฟฟ้าที่สร้างขึ้น รวมทั้งเสนอแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้แบตเตอรี่สำหรับสร้างยานรถจักรยานไฟฟ้าชนิดตะกั่ว-กรด มีขนาดแรงดัน 24 V จากการทดสอบชี้ให้เห็นว่าค่ากระแสที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อยานพาหนะมีความเร็วสูงขึ้น เพราะมอเตอร์เมื่อต้องการกระแสไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงต้านที่มากขึ้น ทำให้รถจักรยานไฟฟ้าใช้กำลังมากขึ้น แต่ก็ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Peukert ทำให้แบตเตอรี่นั้นหมดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้าควรที่จะค่อยๆออกตัว การขับเคลื่อนด้วยความเร็วที่คงที่ จะทำให้ลดการเกิดปรากฏการณ์ Peukert ได้มากที่สุด เมื่อเราทำการขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้าแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงเรื่อยๆ ซึ่งเป็นคุณลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด พบว่าค่าแรงดันต่ำสุดของแบตเตอรี่ที่บิดคันเร่งได้ คือ 19.6 V และรถจักรยานไฟฟ้านี้สามารถวิ่งได้เป็นระยะทาง 40 km ที่ความเร็ว 20 km/hr

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้าเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 V ความจุ 12 Ah/20 h จำนวน 2 ลูก ทำให้ต้องใช้เวลานานในการอัดประจุ อีกทั้งยังมีน้ำหนักมาก ส่งผลต่อน้ำหนักรวมของรถจักรยานไฟฟ้า ดังนั้นอาจเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-Ion) ซึ่งมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และเกิดปรากฏการณ์ Peukert น้อยมากๆ ทำให้ขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้าได้ไกลขึ้น
- 2) รถจักรยานไฟฟ้าในโรงงานนี้นั้น ไม่มีส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่สร้างกระแสไฟฟ้าเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งไม่สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ในขณะที่ขับเคลื่อนได้ จึงต้องอัดประจุโดยใช้กระแสไฟฟ้าภายในอาคารเพียงอย่างเดียว
- 3) ในการทดสอบวัดค่ากระแสในย่านความเร็วที่ใช้งานนั้น แอมมิเตอร์ที่ผู้ทำโรงงานได้ติดตั้งไว้บนแผงสวิตช์เกิดการเสียหายไม่สามารถใช้วัดค่ากระแสได้ ผู้ทำโครงการจึงใช้มัลติมิเตอร์ขนาด 10 A จำนวน 2 ตัว นำมาต่อแบบขนาดจะสามารถวัดกระแสได้สูงสุด 20 A ซึ่งสามารถทนค่ากระแสที่เกินได้เป็นเวลา 10 วินาที มาวัดค่ากระแสในย่านความเร็วที่ใช้งานแทนแอมมิเตอร์ที่เสียหาย ดังนั้นควรศึกษาการต่อวงจรให้ดีและป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่านั้นเกิดการลัดวงจร

### 5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

จากการติดตั้งและทดสอบแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 V ความจุ 12 Ah จำนวน 2 ลูก มีน้ำหนัก 3.5 kg/ก้อน ซึ่งมีน้ำหนักที่มาก ดังนั้นอาจเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-Ion) ซึ่งมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด และในขณะที่ขี่รถจักรยานไฟฟ้านั้น ไม่สามารถอัดประจุพร้อมกับการขับมอเตอร์ได้ ทางผู้ดำเนินโครงการได้สังเกตเห็นปัญหาดังกล่าวที่สมควรจะได้รับการพัฒนาต่อไป คือการติดตั้งชุดการอัดประจุขณะขี่รถจักรยานไฟฟ้า



## เอกสารอ้างอิง

- Linden, D. and Reddy, T.B. "Handbook of Batteries (3rd Edition)", United States, McGraw-Hill, 2002.
- Seth Leitman and Bob Brant.,Build Your Own Electric Vehicle.Second Edition.McGraw-Hill, 1976.
- G. Hille, W. Roth, and H. Schmidt, "Course book for the seminar Photovoltaic Systems", Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany, 1995.
- กรมสรรพสามิต, "แบตเตอรี่", สารนิเทศ ปีที่ 5 ฉบับที่ 5, กรมสรรพสามิต, กรุงเทพฯ, 2542.
- สุริยา พันธุ์พาณิชย์. การทดสอบแบตเตอรี่. ปรินูญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2549.
- [www.eppo.go.th/tank/sauraya-storage.doc](http://www.eppo.go.th/tank/sauraya-storage.doc) , สืบค้นเมื่อกันยายน 2554.
- <http://www.npbattery.com/search.asp>, สืบค้นเมื่อมีนาคม 2555.
- <http://www.wara.com/modules.php?name=project&file=showproject&sid=209>, สืบค้นเมื่อตุลาคม 2554.





ภาคผนวก ก

รายละเอียดของแบตเตอรี่ NS12-12



### NS12-12 (12V12Ah/20hr)

The rechargeable batteries are lead-lead dioxide systems. The dilute sulfuric acid electrolyte is absorbed by separators and thus immobilized.



Should the battery be accidentally overcharged producing hydrogen and oxygen, Special one-way valves allow the gases to escape thus avoiding excessive pressure build-up. Otherwise, the battery is completely sealed and is, therefore, maintenance-free, leak proof and usable in any position.

#### Battery Construction

Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Copper	Fiberglass	Sulfuric acid

#### General Feature

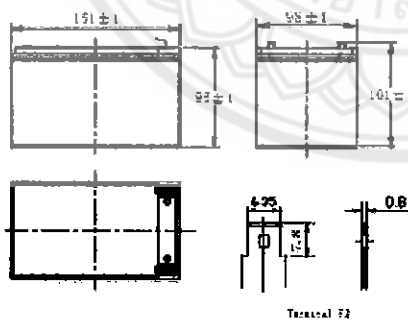
- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for efficient gas recombination of up to 99% and freedom from electrolyte maintenance or water adding.
- Not restricted for air transport-complies with IATA/ICAO Special Provision A67.
- UL-recognized component.
- Can be mounted in any orientation.
- Computer designed lead, calcium tin alloy grid for high power density.
- Long service life, float or cyclic applications.
- Maintenance-free operation.
- Low self discharge.

#### Performance Characteristics

Capacity 77°F(25°C)	20 hour rate (0.6A, 10.5V)	12Ah
	10 hour rate (1.14A, 10.5V)	11.4Ah
	5 hour rate (2.05A, 10.5V)	10.2Ah
	1 hour rate (7.5 A, 9.6V)	7.5Ah
Internal Resistance	Full charged Battery 77°F(25°C): 20mΩ	
Capacity affected by Temperature (20 hour rate)	104° F(40°C)	102%
	77° F(25°C)	100%
	32° F(10°C)	85%
	5° F(-15°C)	65%
Self-Discharge 68°F(20°C)	Capacity after 3 month storage	90%
	Capacity after 6 month storage	80%
	Capacity after 12 month storage	60%
Max. discharge current 77°F(25°C): 180A(5S)		
Charge (Constant Voltage)	Float: 13.6~13.8 V/77° F(25°C)	
	Cycle: 14.5~14.9 V/77°F(25°C) Max. Current: 3.0A	

#### SPECIFICATION

Nominal voltage	12V
Number of cell	6
Length(mm/inch)	151/5.94
Width(mm/inch)	98/3.86
Height(mm/inch)	95/3.74
Total Height(mm/inch)	101/3.98
Approx. Weight(kg/lbs)	3.4/7.48



Discharge Constant Current (Amperes at 77°F 25°C)

End Point Voltage/Cell	5-hr	10-hr	15-hr	20-hr	30-hr	40-hr	50-hr	60-hr	70-hr	80-hr
1.85V	45.8	31.0	24.3	19.5	15.2	12.2	9.7	7.8	6.4	5.3
1.80V	44.8	30.1	23.6	18.8	14.5	11.5	9.0	7.2	5.9	4.9
1.75V	42.7	28.2	21.8	16.8	12.7	9.9	7.6	6.1	5.0	4.1
1.70V	41.3	26.5	20.7	15.8	11.9	9.3	7.1	5.7	4.6	3.8
1.65V	39.5	24.5	19.5	14.8	11.1	8.5	6.4	5.1	4.1	3.3

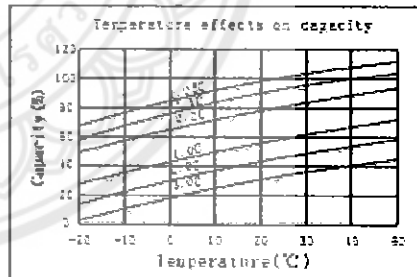
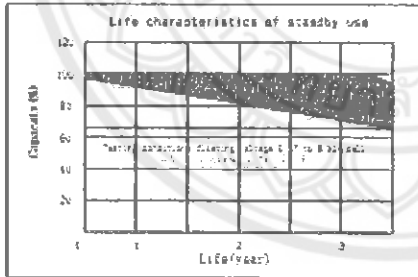
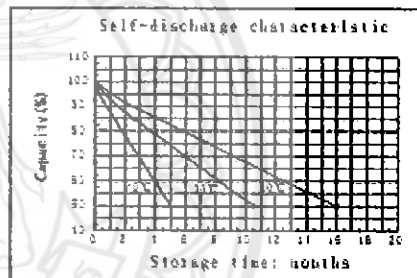
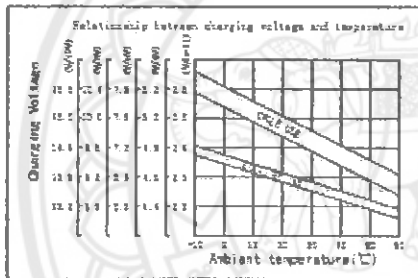
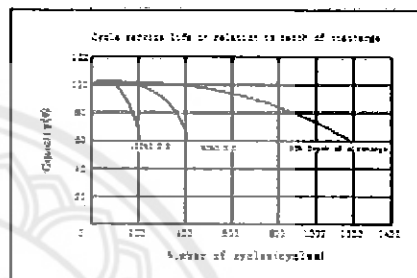
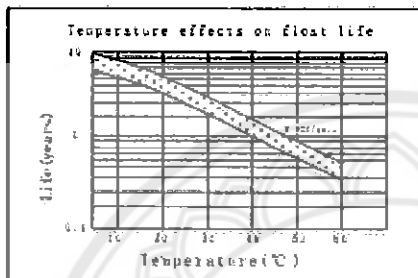
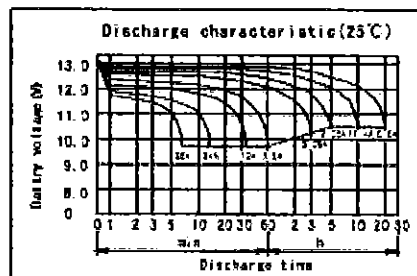
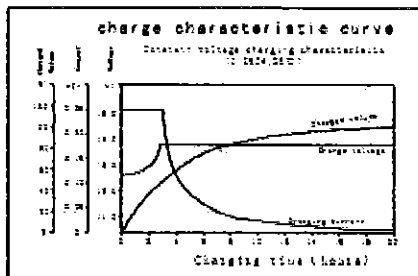
Discharge Constant Power (watts at 77°F 25°C)

End Point Voltage/Cell	5-w	10-w	15-w	20-w	30-w	40-w	50-w	60-w	70-w	80-w
1.85V	38.0	25.0	19.5	15.0	11.5	9.0	7.0	5.5	4.5	3.8
1.80V	37.0	24.0	18.5	14.0	10.5	8.0	6.0	4.5	3.5	3.0
1.75V	35.0	22.0	17.0	13.0	9.5	7.0	5.0	3.5	2.8	2.5
1.70V	33.0	20.0	15.0	11.0	8.0	5.5	4.0	3.0	2.5	2.2
1.65V	31.0	18.0	13.0	9.0	6.5	4.5	3.0	2.5	2.0	1.8

(Note) The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge cycles not the minimum values.



NS12-12 (12V12.4h)





### ผลการทดลองในช่วงทางเรียบ

ตารางที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบครั้งที่ 1

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	0.26	0.29	25.4	0.55
6	0.46	0.55	25.4	1.01
9	0.75	0.90	25.4	1.65
12	0.97	1.02	25.4	1.99
15	1.05	1.40	25.2	2.45
18	2.51	2.72	25.0	5.23
21	3.83	3.70	24.8	7.53

ตารางที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบครั้งที่ 2

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	0.24	0.27	25.4	0.51
6	0.48	0.52	25.4	1.00
9	0.77	0.92	25.4	1.69
12	0.95	1.00	25.4	1.95
15	1.05	1.51	25.2	2.56
18	2.55	2.64	25.0	5.19
21	3.74	3.69	24.8	7.43



ตารางที่ 3 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในทางเรียบครั้งที่ 3

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	0.24	0.25	25.4	0.49
6	0.49	0.58	25.4	1.07
9	0.71	0.88	25.4	1.59
12	0.99	1.05	25.1	2.04
15	1.11	1.35	25.0	2.46
18	2.55	2.65	24.8	5.20
21	3.79	3.64	24.8	7.43

ตารางที่ 4 กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่ระบบที่ความเร็วต่างๆเฉลี่ยในการขึ้นเนิน

ความเร็ว (km/hr)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ (V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม (A)	กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่ระบบ (W)
3	25.4	4.14	105.156
6	25.4	5.27	133.858
9	25.4	6.05	153.67
12	25.1	7.72	193.772
15	25.0	8.38	209.500
18	24.6	8.77	215.742
21	24.4	9.74	237.656

### ผลการทดลองในช่วงทางขึ้นเนิน

ตารางที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในการขึ้นเนิน ครั้งที่ 1

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	2.05	2.14	25.4	4.19
6	2.75	2.48	25.4	5.23
9	3.30	2.72	25.4	6.02
12	3.95	3.82	25.1	7.77
15	4.45	3.92	25.0	8.37
18	4.58	4.13	24.6	8.71
21	4.95	4.82	24.4	9.77

ตารางที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในการขึ้นเนิน ครั้งที่ 2

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	1.98	2.08	25.4	4.06
6	2.81	2.50	25.4	5.31
9	3.21	2.85	25.4	6.06
12	3.85	3.79	25.1	7.64
15	4.49	3.98	25.0	8.47
18	4.61	4.22	24.6	8.83
21	4.88	4.85	24.4	9.73

ตารางที่ 3 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในการขึ้นเนิน ครั้งที่ 3

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	2.02	2.15	25.4	4.17
6	2.77	2.51	25.4	5.28
9	3.22	2.85	25.4	6.07
12	3.87	3.89	25.1	7.76
15	4.42	3.87	25.0	8.29
18	4.62	4.16	24.6	8.78
21	4.89	4.82	24.4	9.71

ตารางที่ 4 กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่วงจรที่ความเร็วต่างๆเฉลี่ยในการลงเนิน

ความเร็ว (km/hr)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ (V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม (A)	กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่วงจร (W)
3	25.4	0.22	5.508
6	25.4	0.31	7.874
9	25.4	0.41	10.414
12	25.3	0.61	15.433
15	25.1	0.89	22.339
18	25.0	1.34	33.500
21	25.0	1.84	46.736

### ผลการทดลองในช่วงทางขึ้นลงเนิน

ตาราง 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในการลงเนิน ครั้งที่ 1

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	0.05	0.15	25.4	0.20
6	0.08	0.22	25.4	0.30
9	0.11	0.29	25.4	0.40
12	0.22	0.35	25.3	0.57
15	0.39	0.48	25.1	0.87
18	0.62	0.72	25.0	1.34
21	0.89	0.91	25.0	1.80

ตาราง 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในการลงเนิน ครั้งที่ 2

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	0.08	0.17	25.4	0.25
6	0.05	0.26	25.4	0.31
9	0.18	0.24	25.4	0.42
12	0.27	0.30	25.3	0.57
15	0.44	0.42	25.1	0.86
18	0.68	0.69	25.0	1.37
21	0.85	0.98	25.0	1.83

ตาราง 3 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ที่ความเร็วต่างๆในการลงเนิน ครั้งที่ 3

ความเร็ว (km/hr)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 1 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	แอมมิเตอร์ตัวที่ 2 ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้ (A)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่(V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม(A)
3	0.07	0.15	25.4	0.22
6	0.11	0.20	25.4	0.31
9	0.15	0.26	25.4	0.41
12	0.25	0.44	25.3	0.69
15	0.52	0.41	25.1	0.93
18	0.61	0.69	25.0	1.30
21	0.88	1.01	25.0	1.89

ตารางที่ 6 กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่ระบบที่ความเร็วต่างๆเฉลี่ยในการลงเนิน

ความเร็ว (km/hr)	ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ (V)	ปริมาณกระแสที่มอเตอร์ใช้รวม (A)	กำลังของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้แก่ระบบ (W)
3	25.4	0.22	5.508
6	25.4	0.31	7.874
9	25.4	0.41	10.414
12	25.3	0.61	15.433
15	25.1	0.89	22.339
18	25.0	1.34	33.500
21	25.0	1.84	46.736

### ผลการทดลองขณะขับขี่ด้วยความเร็วคงที่

ตารางที่ 1 แรงดันกับเวลาขณะคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว 25.4 V 7.5 Ah ที่ความเร็วรถ 20km/hr กำลัง 190.5 W

เวลา (นาที)	แรงดัน (V)
0	25.4
2	25.2
4	25.2
6	24.8
8	24.6
10	24.5
12	24.2
14	24.1
16	23.9
18	23.7
20	23.5
22	23.3
24	23.2
26	23.0
28	22.8
30	22.7
32	22.7
34	22.2
36	22.1
38	21.9
40	21.7
42	21.5
44	21.4
46	21.3
48	21.1
50	21.0

ตารางที่ 1 แรงดันกับเวลาขณะคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว 25.4 V 7.5 Ah ที่ความเร็วรถ 20km/hr กำลัง 190.5 W (ต่อ)

52	20.8
54	20.6
56	20.6
58	20.4
60	20.3



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายสุทีวัส อ๋อใจ  
 ภูมิลำเนา 115/31 ถ.ศรีศกชก ต.โนนเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: suthiwatgo@gmail.com



ชื่อ นายเกริกชัย ทองมา  
 ภูมิลำเนา 63 ม.3 ต.วังตะเคียน อ.หนองมะโมง จ.ชัยนาท  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสมรวิทยา  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kerkchai\_su@hotmail.com



ชื่อ นายปรีชา อ่างดอนคา  
 ภูมิลำเนา 76/1 ม.9 ต.หนองกรด อ.บรรพตพิสัย จ.นครสวรรค์  
 ประวัติการศึกษา  
 - จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนครสวรรค์  
 - ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4  
 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: yaguza\_cha\_hs@hotmail.com