สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จักรยานไฟฟ้า

Electric Bicycle

นาย ปกรณ์ นพรัตน์ไกรอาศ
นาย สุทธิ เวศม์มัฆวาน

วพ.
ว 111ว
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72913
วัน,เดือน,ปี 25 มิ.ย. 2550

b 11737599
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จักรยานไฟฟ้า

Electric Bicycle

โดย

นาย ปกรณ์ นพรัตน์ไกรลาศ

นาย สุทธิ เวศม์มัฆวาน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Bicycle

Pakorn Nopparatkailas

Sutti Vesmakawan

Advisor

Asst. Prof. Pongsak Kummul

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง จักรยานไฟฟ้า

(Electric Bicycle)

ผู้จัดทำ

1. นาย ปกรณ์ นพรัตน์ไกรลาศ รหัสประจำตัว 46010395
2. นาย สุทธิ เวศม์มัฆวาน รหัสประจำตัว 46010850

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จักรยานไฟฟ้า

นาย ปกรณ์ นพรัตน์ไกรลาศ 46010395
นาย สุทธิ เวศม์มัฆวาน 46010850

ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาข้อมูลและปัญหาในการสร้างและใช้งานจักรยานไฟฟ้า ตลอดจนแนวทางแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงต่อไป

การนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในการขับเคลื่อนจักรยาน ก็เพื่อช่วยในการทุ่นแรงและประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง อีกทั้งยังก่อให้เกิดมลพิษน้อย ส่วนกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนจักรยานไฟฟ้านั้น สามารถใช้ได้ทั้งมอเตอร์ไฟฟ้าและแรงคน

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาพบว่าจักรยานไฟฟ้าอาจจะมีการนำมาใช้เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการเดินทาง เพราะเป็นการประหยัดพลังงาน อีกทั้งยังได้ออกกำลังกายด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Bicycle

Pakorn Nopparatkailas

Sutti Vesmakawan

Asst. Prof. Pongsak Kummul

Abstract

This project aims to study the present situations and problems of the electric bicycle and trends to solve these problems.

In comparison with the combustion engine, the electric motor causes less air pollution. Both the motor power and manual can be used.

The studies show that electric power can be used to drive future vehicles. Not only save the money and energy but also exercise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาและคำแนะนำจาก ผศ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางตลอดจนวิธีการแก้ปัญหา ขอขอบคุณ พี่มณฑา เทียมเมือง ที่ให้คำแนะนำ ในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือรวมทั้งข้อมูลของแหล่งวัสดุ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ภาควิศวกรรมไฟฟ้าทุกคนที่ให้คำชี้แนะในด้านงานไฟฟ้า

ปกรณ์ นพรัตน์ไกรลาศ

สุทธิ เวศม์มัฆวาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
สัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและการคำนวณ	3
2.1 กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน	3
2.2 การเลือกขนาดของมอเตอร์	5
2.3 การออกแบบโครงจักรยานไฟฟ้า	6
บทที่ 3 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์และแบตเตอรี่	11
3.1 มอเตอร์กระแสไฟตรง (D.C. MOTOR)	11
3.2 ทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	19
3.3 มอเตอร์กระแสไฟสลับ (A.C. MOTOR)	20
3.4 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	25
3.5 ประสิทธิภาพของมอเตอร์	26
3.6 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า (Electric vehicle energy sources)	28
3.7 ส่วนประกอบต่างๆของแบตเตอรี่	31
3.8 การประจุไฟเข้าหม้อแบตเตอรี่	32
บทที่ 4 การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุม	33
4.1 การทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์	33
4.2 การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์	34
บทที่ 5 รูปร่างและส่วนประกอบที่สำคัญ	40
5.1 โครงจักยาน	40
5.2 มอเตอร์แบบดุม (Hub motor)	40
5.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก (Sealed lead acid battery – SLA battery)	43
5.4 กล่องควบคุม	44
5.5 คันเร่ง	45
5.6 กุญแจปิด-เปิด	45
5.7 กล่องใส่อุปกรณ์	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.8 เครื่องจีพีเอส	46
บทที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงาน	48
บทที่ 7 การทดสอบและผลการทดสอบ	51
7.1 ทดสอบหาความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้า กรณีใช้ไฟฟ้า	51
7.2 ทดสอบการขึ้นทางลาดชัน	52
7.3 ทดสอบหาอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อระยะทางและเวลา	53
บทที่ 8 สรุปโครงงานและแนวทางการปรับปรุง	56
8.1 สรุปผลโครงงาน	56
8.2 แนวทางการปรับปรุงและการพัฒนา	57
บรรณานุกรม	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	การเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นราบ	3
2-2	การเคลื่อนที่ของวัตถุบนทางชัน	4
2-3	แบบโครงจักรยาน	6
2-4	แสดงตำแหน่งจุดยึดและแรงที่มากระทำกับโครงจักรยาน	6
2-5	ชิ้นส่วนเหล็กที่นำมาตรวจสอบ	7
2-6	คุณสมบัติของเหล็ก AISI 1020	8
2-7	ความเค้นเฉือน	9
2-8	ความเค้นปกติในโครงจักรยาน หลังมีแรงมากระทำ	10
2-9	ความเค้นเฉือนในโครงจักรยาน หลังมีแรงมากระทำ	10
3-1	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	11
3-2	โครงมอเตอร์ซึ่งประกอบด้วยขั้วสนามแม่เหล็ก 4 ขั้ว	12
3-3	แผ่นเหล็กบางซึ่งตัดเป็นรูปแล้วนำมาอัดเป็นขั้วสนามแม่เหล็ก	13
3-4	อาร์มาเจอร์ซึ่งประกอบขึ้นเป็นรูปร่าง และขดลวดที่พันอยู่ในร่องเรียบร้อยแล้วพร้อมด้วยคอมมิวเตอร์	13
3-5	รูปหน้าตัดของอาร์มาเจอร์ซึ่งประกอบด้วยคอมมิวเตเตอร์ สวมอยู่ที่ปลายเพลาของอาร์มาเจอร์	14
3-6	รูปลักษณะของคอมมิวเตเตอร์เมื่อประกอบขึ้นด้วย แผ่นทองแดงเรียงอัดเป็นรูปวงแหวนติดกับแกนในแล้ว	15
3-7	แท่งทองแดงที่ตัดเป็นรูปแล้ว เพื่อประกอบเป็นร่องเซกเมนท์ (Segment) ของคอมมิวเตเตอร์	15
3-8	คอมมิวเตเตอร์ซึ่งประกอบด้วยแท่งทองแดงบางส่วน ซึ่งแสดงให้เห็นการประกอบเข้ากับวงแหวนแกนใน	16
3-9	รูปตัดเห็นส่วนกลมของฝาครอบ ซึ่งมีช่องกลางสำหรับสอดแบริ่งรองรับเพลา	17
3-10	รูปด้านข้างของฝาครอบที่เห็นปลายเพลาของอาร์มาเจอร์ และปลอกหรือแบริ่งติดกับแหวนน้ำมัน	18
3-11	คอยล์สนามแม่เหล็กเมื่ออัดเป็นรูปแล้วใช้ด้ายหรือผ้าคิบหุ้มเป็นฉนวน	18
3-12	ขั้วสนามแม่เหล็กซึ่งประกอบด้วยคอยล์สนามแม่เหล็ก หรือคอยล์ซึ่งประกอบกับแกนของขั้วแม่เหล็กสนามเป็นรูปร่าง	18
3-13	ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	20
3-14	โครงมอเตอร์ชนิดมีครีบ พร้อมแกนขดลวด และขดลวดที่พันเสร็จเรียบร้อยแล้ว	21
3-15	แผ่นเหล็กลามิเนท (Laminated sheet)	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3-16	แกนขดลวดและขดลวดสเตเตอร์	22
3-17	ลักษณะของขดลวดมอเตอร์	22
3-18	ลักษณะแผ่นลามิเนทของแกนโรเตอร์	23
3-19	แกนโรเตอร์ที่มีตัวนำแท่งอลูมิเนียมอัดอยู่ในสล๊อต และแหวนอลูมิเนียมพร้อมครีบยึดติดอยู่	23
3-20	แกนโรเตอร์ของอินดั๊กชั่นมอเตอร์แบบกรงกระรอก	23
3-21	ตัวนำของโรเตอร์ที่ต่อกันเหมือนกรงกระรอก	24
3-22	ลักษณะของโรเตอร์แบบวาวด์ที่มีขดลวดโรเตอร์ ใบพัด สลิป-ริง และเพลา	24
3-23	แสดงหลักการทำงานและทิศทางการหมุนของโรเตอร์	25
3-24	แสดงวงจรและวิธีการเริ่มเดินมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์	25
3-25	ประสิทธิภาพของมอเตอร์	26
3-26	สลากแผ่นป้ายชื่อของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	27
3-27	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กำลังกล กำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์	28
3-28	ส่วนประกอบต่างๆของแบตเตอรี่	31
4-1	เครื่องตรวจวัดความเร็วรอบ	33
4-2	การทดสอบรอบของมอเตอร์แบบไม่มีโหลดมากระทำ	33
4-3	ชุดทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์	34
4-4	โวลต์มิเตอร์	34
4-5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบของพูเล่ย์ ค่าทอร์ก และประสิทธิภาพของมอเตอร์	39
5-1	ขาตะเกียบด้านหน้าที่ถูกดัดแปลง	40
5-2	มอเตอร์แบบดุม	40
5-3	ลักษณะภายในมอเตอร์แบบดุมด้านสายไฟเข้า	41
5-4	ลักษณะภายในมอเตอร์แบบดุมด้านตรงข้ามสายไฟเข้า	42
5-5	แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก	43
5-6	แบตเตอรี่ 2 ก้อนต่อแบบอนุกรม	43
5-7	เครื่องชาร์จแบตเตอรี่	44
5-8	กล่องควบคุม	44
5-9	คันเร่ง	45
5-10	กุญแจเปิด-ปิด	45
5-11	กล่องใส่อุปกรณ์	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-12	เครื่องจีพีเอส	46
6-1	ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆชั่วคราว ลงบนจักรยานที่ยังไม่ได้รับการซ่อมแซม เพื่อทดสอบการทำงาน	48
6-2	ทดสอบการวิ่งของจักรยานไฟฟ้าที่ยังไม่ได้รับการซ่อมแซม	49
6-3	การคัดแปลงขาตะเกียบ เพื่อติดตั้งมอเตอร์แบบดุม	49
6-4	จักรยานไฟฟ้าเมื่อเสร็จสมบูรณ์	49
6-5	แสดงการติดตั้งคันเร่ง	49
6-6	แสดงการติดตั้งกุญแจ	50
6-7	แสดงการเก็บแบตเตอรี่และกล่องควบคุม	50
6-8	การทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์	50
6-9	ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องทดสอบหาประสิทธิภาพมอเตอร์	50
7-1	แสดงการวิ่งบนทางราบที่น้ำหนักคน 55 กิโลกรัม	51
7-2	แสดงการวิ่งบนทางราบที่น้ำหนักคน 65 กิโลกรัม	51
7-3	แสดงการวิ่งบนทางราบที่น้ำหนักคน 75 กิโลกรัม	52
7-4	แสดงการทดสอบการวิ่งขึ้นทางชัน 5 องศา	52
7-5	แสดงการบิดคันเร่งที่ 100%	53
7-6	แสดงการบิดคันเร่งที่ 75 %	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แผนการดำเนินงาน	2
4-1	ทดสอบหาความเร็วรอบของมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีโหลดมากระทำ	33
4-2	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 1 กิโลกรัม	36
4-3	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 1.5 กิโลกรัม	36
4-4	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 2 กิโลกรัม	36
4-5	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 2.5 กิโลกรัม	37
4-6	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 3 กิโลกรัม	38
4-7	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 3.5 กิโลกรัม	38
7-1	ความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้า ที่วิ่งได้จริงบนทางราบ ณ น้ำหนักคนที่นั่งต่างๆกัน	51
7-2	แสดงค่าความเร็วในการขึ้นทางชัน	52
7-3	แสดงระยะทางและเวลาที่วิ่งได้โดยบิดคันเร่งที่ 100%	53
7-4	แสดงระยะทางและเวลาที่วิ่งได้โดยบิดคันเร่งที่ 75%	54
8-1	ค่าใช้จ่ายในการโครงงานจักรยานไฟฟ้า	56
8-2	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับจักรยานไฟฟ้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาด	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

A	พื้นที่	(m^2)
C_d	สัมประสิทธิ์แรงด้านทานของอากาศ	
θ	มุมที่ทางชันทำกับแนวระดับ	(degree)
η_{motor}	ประสิทธิภาพของมอเตอร์	(%)
η_{tester}	ประสิทธิภาพของชุดทดสอบ	(%)
f_r	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นผิว	(N)
σ	ค่าความเค้นปกติเฉลี่ย	(N.m)
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	(m/s^2)
H	ความสูงด้านหน้ารถรวมผู้ขับขี่	(m)
I	กระแสไฟฟ้า	(A)
I_M	กระแสมอเตอร์	(A)
m	มวลของวัตถุ	(kg)
m_a	มวลของรถ	(kg)
m_b	มวลที่สามารถบรรทุกได้สูงสุด	(kg)
R_f	แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเสียดทาน	(N)
R_a	แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงด้านอากาศ	(N)
R_g	แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความชัน	(N)
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ	(kg/m^3)
ω	ความเร็วรอบของพูเล่ย์	(rad/s)
P	แรงกระทำ	(N)
P_1	กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input)	(W)
P_2	กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : Output)	(W)
ΔP	กำลังสูญเสียระหว่างการเปลี่ยนรูปกำลังจากกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกล	(W)
r	รัศมีของพูเล่ย์	(m)
R	ความต้านทาน	(Ω)
T	ทอร์กของมอเตอร์	(N.m)
τ	ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ย	($N.m^2$)
V	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์	(V)
V	ความเร็วของรถ	(m/s)
V_a	ความเร็วบนทางราบ	(m/s)
V_b	ความเร็วบนทางชัน	(m/s)
V_M	แรงดันเมน	(V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)

W	ความกว้างของผู้ขับขี่	(m)
W_1	น้ำหนักที่ถ่วง	(kg)
W_2	น้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง	(kg)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาของจักรยานไฟฟ้า

ในปัจจุบันการเดินทางโดยใช้ยานพาหนะที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง ดูจะเป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะให้ทั้งความสะดวกสบายและการเดินทางที่รวดเร็ว แต่ถ้าเดินทางสัญจรในตัวเมืองก็ต้องประสบกับปัญหาการจราจรติดขัด และที่สำคัญพลังงานเชื้อเพลิงในปัจจุบันกำลังลดน้อยลงทุกที ส่งผลให้มีราคาที่สูงมากขึ้น การเดินทางที่ไม่ไกลมากนัก อาจจะเดินทางด้วยเท้าได้ เป็นการช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ไม่ต้องเจอกับปัญหารถติด อีกทั้งยังได้ออกกำลังกายด้วย แต่ความสะดวกสบายก็จะน้อยลงไป เมื่อพิจารณาดูแล้วจักรยานไฟฟ้าสามารถที่จะตอบสนองต่อปัญหาเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นไปตามจุดประสงค์ในการสร้างจักรยานไฟฟ้า จักรยานไฟฟ้าจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีสำหรับการเดินทาง

ทั้งนี้เนื่องจากจักรยานไฟฟ้าที่มีอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดยังมีราคาค่อนข้างสูง และในประเทศไทยยังไม่เป็นที่นิยมนัก แต่เมื่อคำนึงถึงกลุ่มคน ที่ใช้จักรยานเป็นประจำแล้ว จักรยานไฟฟ้าจะช่วยทุ่นแรงในการขับขี่ โดยจักรยานไฟฟ้าที่ทำขึ้นมานั้นจะมีราคาย่อมเยากว่าท้องตลาดแต่เมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพแล้วไม่แตกต่างกันมากนัก

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบการสร้างจักรยานไฟฟ้า
2. เพื่อทุ่นแรงของผู้ขับขี่ ในกรณีที่ขับขี่เป็นระยะทางไกล และ ขึ้นเนินที่มีความลาดชัน
3. เพื่อเป็นอีกหนึ่งในทางเลือกของการเลือกใช้พาหนะในการเดินทาง

ขอบเขตของงานวิจัย

1. เป็นจักรยานไฟฟ้า 2 ล้อ สามารถวิ่งได้ไม่น้อยกว่า 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง
2. สามารถใช้ได้ 2 ระบบคือ เป็นแบบใช้ไฟฟ้าและแบบปั่นด้วยแรงคน
3. โครงจักรยานที่ใช้จะต้องมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้จักรยานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับจักรยานไฟฟ้าตามท้องตลาด แต่มีราคาที่ย่อมเยากว่า
2. ช่วยส่งเสริมให้มีการใช้จักรยานไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อเป็นการลดใช้พลังงานเชื้อเพลิง และช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
3. เป็นยานพาหนะอีกหนึ่งทางเลือกในการเดินทาง
4. สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ที่ชื่นชอบในการขับขี่จักรยานเป็นประจำ ให้มีความสะดวกสบายมากขึ้นในการขับขี่เป็นระยะทางไกล หรือขึ้นเนินที่มีความลาดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการทำงาน	ปิดภาคฤดูร้อน			ปีการศึกษา2549									
				เทอม 1				ปิดภาค	เทอม 2				
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ย.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติม	←	—	→										
ออกแบบโครงจักรยาน				←	—	→							
จัดหาอุปกรณ์และติดตั้ง						←	—	→					
ทำการทดสอบ								←	—	→			
ปรับปรุงแก้ไข										←	—	→	
ทำวิทยานิพนธ์											←	—	→

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและการคำนวณ

2.1 กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อน

2.1.1แรงต้านการเคลื่อนที่ [R_t]

ในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน ดังนั้นแรงที่จะใช้ในการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากับแรงต้านทานการเคลื่อนที่ แรงต้านการเคลื่อนที่หาได้จากสมการ

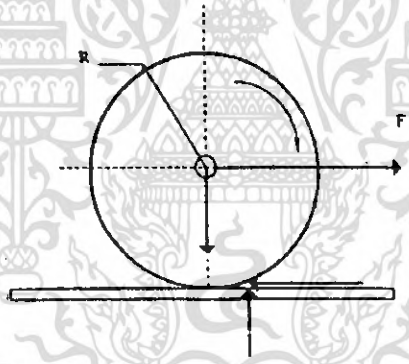
$$R_t = R_f+R_a+R_g \quad (1)$$

เมื่อ R_f คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเสียดทาน

R_a คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ

R_g คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความชัน

2.1.1.1แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเสียดทาน



รูปที่ 2-1 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นราบ

พิจารณาภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นราบ พบว่าแรงเสียดทานของวัตถุกับพื้นผิวเป็นดังสมการ

$$R_f = f_r mg \quad (2)$$

เมื่อ m คือ มวลของวัตถุ

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

f_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นผิว

2.1.1.2แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ

ความต้านทานของอากาศมีอิทธิพลต่อสมรรถนะ ทั้งการขับขี่และการทรงตัวของรถ ความต้านทานของอากาศจะขึ้นกับขนาดและรูปทรงของตัวถังรถ ความเร็วของรถและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลม แต่โดยทั่วไปเราจะไม่คำนึงถึงความเร็วลม ด้วยเหตุนี้ความต้านทานของอากาศจะมีค่าเป็นตามสมการ

$$R_a = (1/2)\rho C_d A V^2 \quad (3)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านทานของอากาศ

V คือ ความเร็วของรถ

A คือ พื้นที่ด้านหน้าที่ปะทะลม

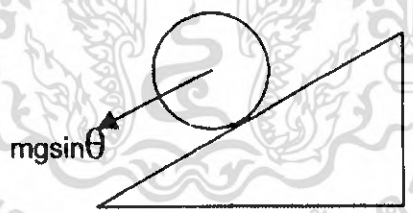
พื้นที่ด้านหน้าที่ปะทะลมของรถจักรยานไฟฟ้ามีน้อยมาก พื้นที่ที่ปะทะลมส่วนมากมาจากตัวผู้ขับขี่ซึ่งพื้นที่นั้นไม่ได้เป็นรูปเหลี่ยม จึงต้องใช้วิธีประมาณค่าพื้นที่ด้านหน้าที่ปะทะลมดังนี้

$$A = 0.8WH \quad (4)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของผู้ขับขี่

H คือ ความสูงด้านหน้ารถรวมผู้ขับขี่

2.1.1.3แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความชัน



รูปที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนทางชัน

ความต้านทานของทางชันเกิดจากแรงย่อยของน้ำหนักที่ตกอยู่ในแนวขนานกับพื้นของถนน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ความชันของทางลาดชัน และน้ำหนักของรถ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_g = mg \sin\theta \quad (5)$$

เมื่อ m คือ มวลของวัตถุ

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

θ คือ มุมที่ทางชันทำกับแนวระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเลือกขนาดของมอเตอร์

ข้อมูลของรถไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการออกแบบ

มวลของรถ m_a	25 kg
มวลที่สามารถบรรทุกได้สูงสุด m_b	80 kg
ความสูงด้านหน้ารถรวมผู้ขับขี่ H	1.5 m
ความกว้างของผู้ขับขี่ W	0.5 m
ความเร็วบนทางราบ V_a	30 km/h
ความเร็วบนทางชัน V_b	4 km/h
มุมทางชันที่รถสามารถวิ่งขึ้นได้ θ	10°
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างถนนกับยาง f_r	0.01
สัมประสิทธิ์แรงต้านทานของอากาศ C_d	0.3
ความหนาแน่นของอากาศ ρ	1.2 kg/m^3
ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก g	9.81 m/s^2
ประสิทธิภาพของมอเตอร์ η_{motor}	80 %

ดังนั้นเราสามารถคำนวณหากำลังของมอเตอร์ที่ต้องการใช้ได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} R_f &= f_r\, mg \\ &= 0.01\times 105\times 9.81 \\ &= 10.3005\,\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{1}{2}\rho C_d A V_a^2 \\ &= \frac{1}{2}\times 1.2\times 0.3\times (0.8\times 1.5\times 0.5)\times (30/3.6)^2 \\ &= 7.5\,\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_g &= mg\sin\theta \\ &= 105\times 9.81\sin 10° \\ &= 178.866\,\text{N} \end{aligned}$$

เมื่อรถวิ่งบนทางราบ

$$\begin{aligned} R_t &= 10.3005 + 7.5 \\ &= 17.8005\,\text{N} \end{aligned}$$

ถ้าคิดประสิทธิภาพมอเตอร์ = 80 %

$$\begin{aligned} P &= R_t V_a / \eta_{motor} \\ &= (17.8005\times 30)/(3.6\times 0.8) \\ &= 185.42\,\text{W} \end{aligned} \qquad (6)$$

เมื่อรถวิ่งบนทางชัน

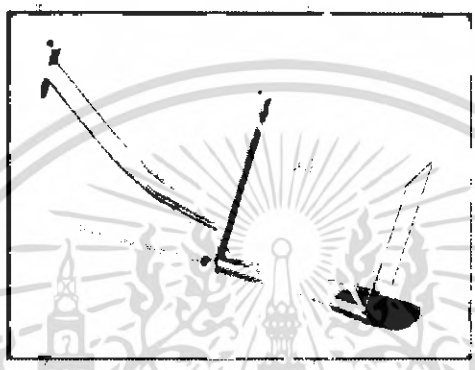
$$\begin{aligned} R_t &= 7.5 + 178.866 + 17.8005 \\ &= 204.1665\,\text{N} \\ P &= (204.1665\times 4)/(3.6\times 0.8) \\ &= 283.564\,\text{W} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาจากมอเตอร์แบบดุมที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดแล้ว จึงเลือก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุม ขนาด 350 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบโครงจักรยานไฟฟ้า

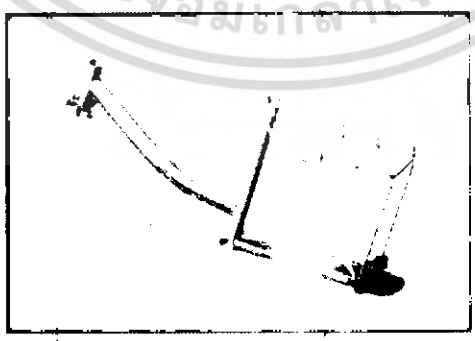
ในการออกแบบโครงจักรยานไฟฟ้า เราได้นำโครงของรถจักรยานเก่าที่มีอยู่แล้ว มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพและรูปแบบในการรับแรง โดยใช้ซอฟท์แวร์SolidWorks ในการวาดแบบ และใช้ COSMOSWorks ในการวิเคราะห์การรับแรง จากนั้นนำมาดัดแปลงติดตั้งอุปกรณ์ โดยโครงที่ได้จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดีสามารถรองรับภาระที่มากระทำได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2-3 แบบโครงจักรยาน

ในที่นี้เราได้กำหนดแรงที่มากระทำกับโครงจักรยานออกเป็น 2 ตำแหน่ง คือ แรงที่ตำแหน่งอานนั่ง เป็นแรงที่เกิดจากน้ำหนักของผู้ขับขี่ กำหนดให้เป็น 784.8 N (80 kg) และ แรงที่ตำแหน่งเบาะซ้อนท้าย ซึ่งได้ถูกดัดแปลงให้เป็นที่ติดตั้งกล่องอุปกรณ์สำหรับใส่กล่องควบคุมและแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้มีน้ำหนัก 78.48 N (8 kg)

โดยตำแหน่งจุดยึดของโครงจักรยาน กำหนดให้เป็นด้านล่างของคอจักรยาน และตำแหน่งจุดยึดติดแกนล้อด้านหลังของจักรยาน ซึ่งจากรูปด้านล่างแรงที่กระทำกับจักรยานแทนด้วยลูกศรสีม่วง และตำแหน่งจุดยึดของโครงจักรยานแทนด้วยลูกศรสีเขียว ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงตำแหน่งจุดยึดและแรงที่มากระทำกับโครงจักรยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้ซอฟท์แวร์ COSMOSWorks วิเคราะห์ผลของแรงที่มากระทำต่อโครงจักรยานนั้น ต้องทราบถึงวัสดุที่นำมาใช้ทำโครงจักรยานเสียก่อนว่าเป็นเหล็กชนิดใด ซึ่งในตอนแรกเราได้ทำการตัดชิ้นส่วนของโครงจักรยานในส่วนที่เป็นที่ติดที่วางเท้าสำหรับคนซ้อนท้าย ซึ่งเป็นเหล็กทรงกระบอกมีเกลียวในดังรูปที่ 2-5 นำมาทดสอบหาชนิดของเหล็กด้วยวิธีการตรวจสอบจุลโครงสร้างของเหล็กด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีวิธีทำดังนี้

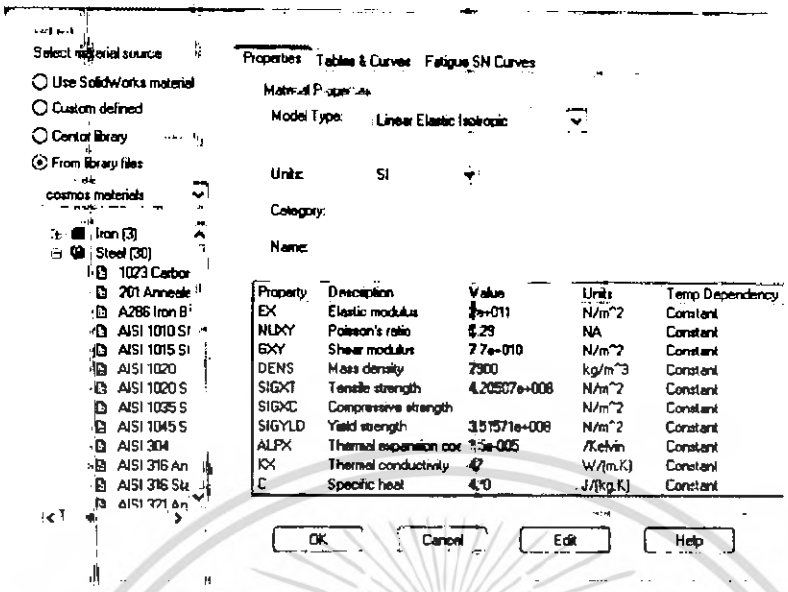
ยึดแผ่นกระดาษทรายน้ำไว้บนจานหมุนของเครื่องขัดชิ้นงาน แล้วทำการขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายน้ำ เริ่มด้วยกระดาษทรายหยาบและไปสิ้นสุดที่กระดาษทรายละเอียด เช่น เริ่มขัดกระดาษทรายน้ำเบอร์ 400, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ วิธีการขัดเมื่อเปลี่ยนความละเอียดของกระดาษทราย จะต้องเปลี่ยนทิศทางการขัดไป 90° ด้วย เช่น หลังจากขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 400 เรียบร้อย และจะขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 800 จะต้องหมุนชิ้นงานไป 90° เพื่อให้รอยการขัดตั้งฉากกัน แล้วขัดจนกระทั่งรอยการขัดเดิมหมดไป ให้เหลือแต่รอยใหม่อยู่ในทิศทางเดียวกัน เมื่อขัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำไปทำบัฟ ฟินนิชชิ่ง (Buff finishing) โดยการขัดด้วยผ้าขนสัตว์ นำผ้าขนสัตว์มายึดเข้ากับจานหมุนของเครื่องขัด แล้วขัดชิ้นงานพร้อมกับหยดสารช่วยในการขัด เช่น อลูมิเนียมออกไซด์ หรือ โครเมียมออกไซด์ ทำการขัดจนกระทั่งผิวของชิ้นงานเป็นเงาคล้ายกระจก หลังจากทำบัฟ ฟินนิชชิ่ง (Buff finishing)แล้ว ล้างชิ้นงานด้วยน้ำ เช็ดให้แห้ง ทำการเอ็ทชิ่ง (Etching) โดยการจุ่มชิ้นงานในสารละลายเอ็ทชิ่ง (Etching) ได้แก่กรดไฮโดรคลอริค 5 มิลลิลิตร + แอลกอฮอล์ 95 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 2 นาที ผิวหน้าชิ้นงานจะเป็นฝ้า นำไปล้างน้ำแล้วเช็ดให้แห้ง นำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์

ซึ่งจากการตรวจสอบได้ทราบว่าเหล็กที่คัดออกมานั้นเป็นเหล็กชนิด sk4

รูปที่ 2-5 ชิ้นส่วนเหล็กที่นำมาตรวจสอบ

แต่จากการศึกษาพบว่าเหล็กชนิด sk4 เป็นเหล็กที่มีราคาแพงมาก ส่วนมากจะใช้ทำอุปกรณ์ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ซึ่งเราคิดว่าเหล็กในส่วนที่ตัดออกมานั้น น่าจะเป็นเหล็กคนละชนิดกับเหล็กที่นำมาทำเป็นตัวโครง และเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการตัดโครงในส่วนอื่นๆ เพื่อนำมาทดสอบ ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของตัวจักรยาน จึงได้ใช้วิธีการศึกษาหาข้อมูลแทน และพบว่าเหล็กส่วนมากที่นำมาทำเป็นโครงจักรยาน เป็นเหล็กชนิด AISI 1020 ซึ่งมีคุณสมบัติตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 คุณสมบัติของเหล็ก AISI 1020

จากนั้นวิเคราะห์ผลของแรงที่กระทำต่อโครงจักรยานโดยดูจากค่าความเค้นปกติ และค่าความเค้นเฉือน

2.3.1 ความเค้นปกติ (Normal Stress)

โครงสร้างทางวิศวกรรม ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ได้รับการออกแบบมาใช้งานวิศวกรรม จะต้องมาทำหน้าที่อย่างเหมาะสมและมีความแข็งแรง มีอายุการใช้งานยาวนานในการใช้งานของชิ้นส่วนเกือบทุกชิ้นจะอยู่ภายใต้ภาระ (Load) ในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งภาระจะถูกแปลงเป็นแรง (Force) ชนิดต่าง ๆ กระทำต่อชิ้นส่วนโดยตรง จึงต้องทำการศึกษาถึงแรงและผลของแรงที่กระทำ

โครงสร้าง หรือชิ้นส่วนทางกลโดยทั่ว ๆ ไปจะทำออกมาเป็นรูปท่อนกลมยาว และมีขนาดความโตเท่ากันโดยตลอด เพื่อใช้รองรับภาระในแนวแกน (Axial loads) ที่ปลายสองข้าง เช่น ชิ้นส่วนของโครงถัก (Truss) ชิ้นส่วนสำหรับแขวน (Hangers) และสลักเกลียว (Bolts) ในหน้าตัดของชิ้นส่วน เราจะหาความเค้นเฉลี่ยที่กระจายบนหน้าตัดของชิ้นส่วนที่อยู่ภายใต้แรงในแนวแกนนี้ หน้าตัดนี้จะกำหนดได้เป็นพื้นที่หน้าตัด (Cross – Sectional Area) ของชิ้นส่วน และเพื่อหน้าตัดของชิ้นส่วนมีความเหมือนกันตลอด เราถือว่าชิ้นส่วนนี้เป็น prismatic ถ้าไม่คิดน้ำหนักของชิ้นส่วนท่อนกลมยาวการสมดุลที่ส่วนปลาย แรงลัพธ์ภายในที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัด จะมีขนาดเท่ากัน และทิศทางตรงกันข้ามกับแรงที่มากระทำจากภายนอก

ก่อนที่จะหาค่าความเค้นเฉลี่ยที่กระจายอยู่ที่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนจะต้องตั้งสมมติฐานไว้ก่อนดังนี้

- ชิ้นส่วนจะต้องมีความตรง (Straight) ทั้งก่อนและหลังอยู่ภายใต้ภาระกระทำ และหน้าตัดยังคงราบเรียบในระหว่างที่ชิ้นส่วนเกิดการเปลี่ยนรูป (Deformation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อให้ชิ้นส่วนท่อนยาวเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างสม่ำเสมอ ภาระ P ที่กระทำจำเป็นต้องกระทำผ่านตามแนวแกนกลาง (Centroidal Axis) ของหน้าตัดแนวแรงจะต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด และเนื้อวัสดุจะต้องมีคุณสมบัติทั้งทางกล และทางฟิสิกส์ที่เหมือนกัน

การกระจายของความเค้น ให้ชิ้นส่วนท่อนยาวอยู่ภายใต้ภาระ P ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างสม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงนี้ก็คือผลของความเค้นปกติคงที่ภายใน σ แต่ละพื้นที่เล็ก ๆ ΔA บนหน้าตัดอยู่ภายใต้ แรงย่อย ๆ ΔF ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sigma \Delta A$ ผลรวมของแรงย่อย ๆ ทั้งหมดที่กระทำบนพื้นที่หน้าตัด จะเท่ากับแรงลัพธ์ภายใน P

ถ้าให้ ΔA เป็น dA และ ΔF เป็น dF

ดังนั้น ค่าความเค้น ที่เกิดขึ้น จะได้จากการรวมแรงย่อย ๆ ทั้งหมด

จะได้ $\int dF = \int_A \sigma dA$

แต่ $dF = P$

ดังนั้น $P = \sigma A$ (7)

$\sigma = P/A$

เมื่อ σ คือ ค่าความเค้นปกติเฉลี่ย

P คือ แรงกระทำปกติที่เกิดขึ้นภายใน

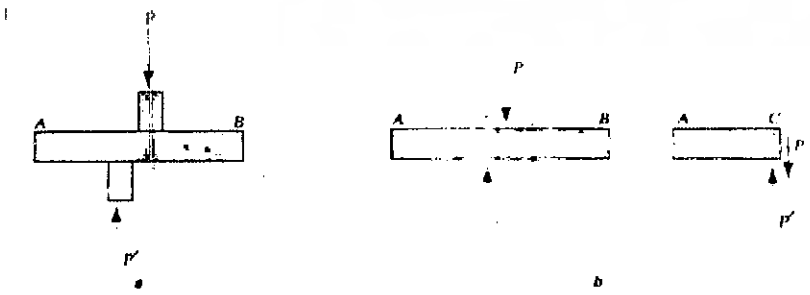
A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่อยู่ภายใต้แรง

ความเค้นภายในที่เกิดขึ้นจากแรงดึง (Tension) จะเรียกว่า ความเค้นดึง (Tensile Stress) และความเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงกด หรือแรงอัด (Compression) จะเรียกว่า ความเค้นอัด (Compressive Stress)

สมการ $\sigma = P/A$ คือ ค่าความเค้นปกติเฉลี่ย (Average Stress) ที่เกิดขึ้นบนพื้นหน้าตัดของชิ้นส่วน เมื่อหน้าตัดอยู่ภายใต้แรงลัพธ์ภายใน P หน่วยเป็น MPa

2.3.2 ความเค้นเฉือน (Shearing Stress)

ความเค้นเฉือน เป็นความเค้นที่เกิดจากแรงกระทำต่อชิ้นส่วน หรือวัสดุในลักษณะการเฉือนเพื่อแสดงให้เห็นถึง การเกิดขึ้นของความเค้นเฉือน ลองพิจารณาผลของแรง P ที่กระทำต่อชิ้นส่วน AB



รูปที่ 2-7 ความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

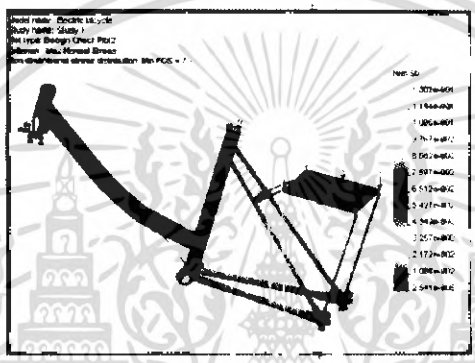
ดังรูป 2-7(a) ผ่านแนวหน้าตัด C ดังรูป 2-7(b) ดังนั้นหน้าตัดตามแนวระนาบ C จะอยู่ภายใต้แรง P ซึ่งเรียกว่าแรงเฉือน (Shearing Force) และกระจายตลอดหน้าตัด โดยเฉลี่ย ความเค้นที่เกิดขึ้นบนพื้นที่หน้าตัด จะเป็นความเค้นเฉือน (Shearing Stress) แทนด้วย τ จะได้สมการความเค้นเฉือนเฉลี่ย คือ

$$\tau = P/A \quad (8)$$

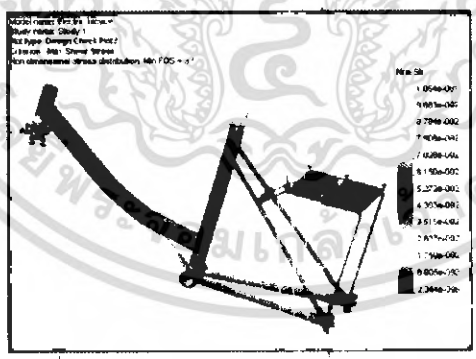
เมื่อ τ คือ ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ย

P คือ แรงกระทำที่เป็นแรงเฉือน

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่อยู่ภายใต้แรงเฉือน



รูปที่ 2-8 ความเค้นปกติในโครงจักรยาน หลังมีแรงมากระทำ



รูปที่ 2-9 ความเค้นเฉือนในโครงจักรยาน หลังมีแรงมากระทำ

ผลจากการวิเคราะห์พบว่าโครงจักรยานสามารถรองรับแรงที่มากระทำได้เป็นอย่างดี สามารถนำไปดัดแปลงและติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทำจักรยานไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์และแบตเตอรี่

3.1 มอเตอร์กระแสไฟตรง (D.C. MOTOR)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ ดี.ซี.มอเตอร์ (D.C. MOTOR) โดยหลักการ ก็คือเครื่องยนต์ไฟฟ้าหรือเครื่องที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานกล และอาจหมุนแล้วใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ เช่นเดียวกับไดนาโม (Dynamo) หรือเจนเนอเรเตอร์ (Genereter)

รูปที่ 3-1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อมีลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กจำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในลวดตัวนำนั้น และทิศทางการไหลของกระแสในลวดตัวนำจะไหลในทิศทางที่ต้านการหมุนของขดลวดตัวนำนั้น ซึ่งกฎในเรื่องทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เรียกว่ากฎของเลนซ์

ถ้าทราบทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการไหลของกระแสในตัวนำ จะทำให้ทราบทิศทางการหมุนของขดลวดตัวนำได้ การค้นพบนี้เรียกว่ากฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ความสัมพันธ์สามารถหาได้โดยการใช้มือซ้าย กางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้ชี้ในทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กและนิ้วกลางชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ ซึ่งแล้วแต่ความเหมาะสมที่จะใช้กับงานแต่ละอย่าง ทั้ง 3 แบบประกอบด้วยส่วนที่หมุนทำงานหรือเรียกว่า อาร์เมเจอร์ และขั้วสนามแม่เหล็ก รวมทั้งคอยล์ที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหนาแน่น เพื่อให้อาร์เมเจอร์หมุนตัดผ่านเช่นเดียวกัน แต่มีวิธีการต่อไวน์ดิ้งต่างกันอยู่บ้าง จึงแยกออกไป 3 แบบ และมอเตอร์ทั้ง 3 แบบนี้ เมื่อต่อเนื่องด้วยกระแสไฟฟ้าแล้ว สามารถจะนำไปใช้ในทางกลได้หลายอย่างเช่น เครื่องทุ่นแรงจำพวกกว้าน หรือปั้นจั่น ยานพาหนะที่ใช้กำลังขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าเช่นรถรางและลิฟท์ ฯลฯ ทั้งนี้แล้วแต่แบบหรือขนาดของมอเตอร์

มอเตอร์ ดี.ซี. มีขนาดกำลังตั้งแต่ 1/100 แรงม้า ถึงหลายพันแรงม้าตามขนาดของเครื่อง และมีหลักการทำงานไม่ต่างกันนักสำหรับขนาดของเครื่อง

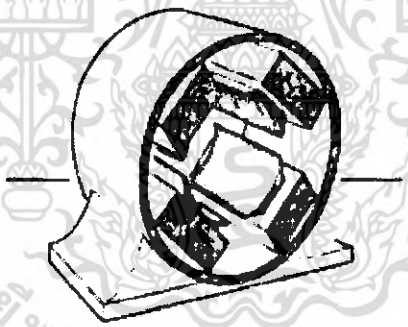
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์กระแสไฟตรง คือ

1. โครงหรือกรอบของมอเตอร์ (Frame)
2. ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field pole)
3. อาร์มาเจอร์(Armature)
4. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)
5. แปรงถ่านหรือแปรงไฟ (Brush)
6. ฝาครอบทั้งสองด้าน (End plates)
7. คอยล์สนามแม่เหล็ก (Field coil)

ส่วนประกอบอื่น ๆ อีกเล็กน้อยก็คือ สวิทช์ และเฟืองสตาร์ท, และสปริงกดแปรงถ่าน ฯลฯ

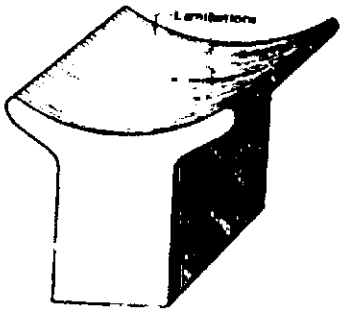
3.1.1 โครงหรือกรอบของมอเตอร์ สร้างด้วยเหล็กหล่อ (Cast iron) หรือเหล็กเหนียวอย่างดี เป็นโครงหรือส่วนสำหรับยึดขั้วสนามแม่เหล็ก และทำหน้าที่เชื่อมวงจรแม่เหล็กให้ครบวงจร เพื่อให้อาร์มาเจอร์ทำการหมุนผลักดันเส้นแรงแม่เหล็ก มอเตอร์ส่วนมากนิยมใช้เหล็กแผ่นบางเป็นรูปโครงหรือกรอบ และให้ขั้วสนามแม่เหล็กตรึงแน่นอยู่กับส่วนโค้งภายในด้วยสลักเกลียว แต่ก็มีมอเตอร์ขนาดเล็กบางชนิดซึ่งหล่อขั้วสนามแม่เหล็กผืนเดียวกับโครง มอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีโครงและประกอบด้วยขั้วสนามแม่เหล็กแผ่นบาง ๆ อัด และยึดติดกับด้านในของโครงด้วยสลักเกลียว ดังภาพที่แสดง



รูปที่ 3-2 โครงมอเตอร์ซึ่งประกอบด้วยขั้วสนามแม่เหล็ก 4 ขั้ว

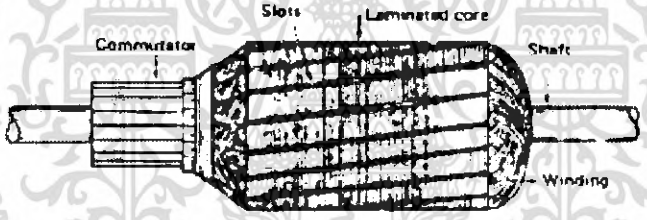
3.1.2 ขั้วสนามแม่เหล็ก (Field pole or Field core) ประกอบขึ้นด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ จากเหล็กหล่อหรือเหล็กอ่อนเหนียวอย่างดีทำเป็นแผ่นบางขนาดหนาประมาณ 0.025 นิ้ว อบและอาบน้ำยาแล้วนำมาอัดกันหลาย ๆ แผ่นเป็นปึก (รูปลักษณะดังภาพที่แสดง) สร้างเป็นขั้วสนามแม่เหล็กติดอยู่ภายในของโครงเหล็ก ซึ่งแล้วแต่ขนาดของมอเตอร์ ถ้าขนาดเล็กอาจมี 2 ขั้ว ขนาดใหญ่อาจมีถึง 4-6-8 ขั้วหรือมากกว่านั้น ขั้วสนามแม่เหล็กเป็นตัวที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบขั้ว จำนวนขดลวดแต่ละคอยล์และขนาดของสายคอยล์นี้เป็นเครื่องบังคับแรงดันซึ่งต้องการให้มีอยู่ในมอเตอร์ หรือหมายถึงอัตรากำลังแรงม้าของมอเตอร์นั้นด้วยเหล็กเหล็กแผ่นบาง ๆ ที่ตัดเป็นรูปแล้วนำมาอัดเป็นปึกนี้เรียกว่า (Laminated field core)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 แผ่นเหล็กบางซึ่งตัดเป็นรูปแล้วนำมาอัดเป็นขั้วสนามแม่เหล็ก

3.1.3 อาร์มาเจอร์ (Armature) หรือที่เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่ามัดข้าวต้มประกอบขึ้นด้วยโลหะแผ่นบาง ๆ แบบเดียวกับขั้วสนามแม่เหล็กมีความหนาเท่ากับขนาดของขั้วเช่นเดียวกัน ตัดเป็นวงกลมหลาย ๆ แผ่น เจาะรูกลางสวมเข้ากับเพลาหรือท่อนเหล็ก เป็นรูปทรงกระบอกดังภาพข้างล่างรอบ ๆ ตัวอาร์มาเจอร์จะมีร่อง (Slots) เป็นทางยาวตามรูปขนาดร่องเท่า ๆ กัน สำหรับพันขดลวด ขดลวดดังกล่าวนี้เรียกว่าขดลวดเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า (Induction coils) ปลายของขดลวดทุก ๆ ปลายที่พันรอบอาร์มาเจอร์นี้จะต่อไปยังช่องซี่ (segments) ของคอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 3-4 อาร์มาเจอร์ซึ่งประกอบขึ้นเป็นรูปร่าง
และขดลวดที่พันอยู่ในร่องเรียบร้อยแล้วพร้อมด้วยคอมมิวเตอร์

อาร์มาเจอร์ นับได้ว่าเป็นชิ้นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของมอเตอร์ เพราะในการทดลองแบบสร้างมอเตอร์หรือไดนาโมในขนาดต่าง ๆ ส่วนมากจะต้องออกแบบสร้างตัวอาร์มาเจอร์นี้ขึ้นเสียก่อน และจนกว่าจะคำนวณส่วนสัดของอาร์มาเจอร์ให้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงจะสร้างส่วนอื่นประกอบขึ้นภายหลัง และส่วนที่สำคัญที่สุดของอาร์มาเจอร์ก็คือขนาดของลวดที่จะนำมาใช้พันเป็นรูปร่าง เพราะจะต้องจัดให้มีขนาดพอเหมาะ สมดุลกับกระแสไฟฟ้าที่ต้องการรวมทั้งปริมาณของลวด หรือหมายถึงจำนวนรอบของแอมแปร์เทินที่กำหนดด้วย

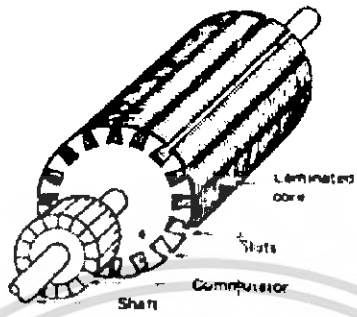
ขนาดของตัวอาร์มาเจอร์นั้นโดยปกติมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้าขนาดของทุ่นมักจะเท่ากับ 8x8 นิ้ว และฟลักซ์ของจำนวน 30000/1 นิ้ว กระแสไฟ 110 โวลต์ หมุน 1200 รอบต่อ 1 นาที การกำหนดขนาดของอาร์มาเจอร์ มักถือขนาดของกำลังแรงม้าที่มอเตอร์ต้องการเป็นหลักและการประกอบขึ้นด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพลา (Shaft)

2. แกน (Core)

3. ขดลวดที่พันทับเยื้องไปมาบนแกน (Spider)



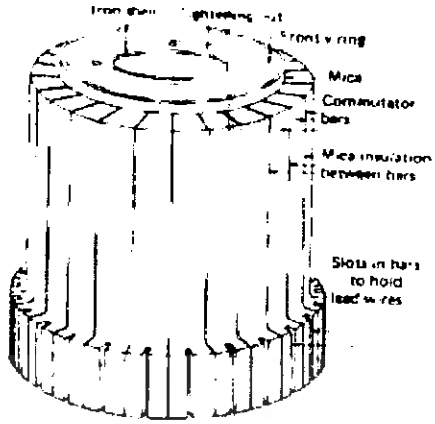
รูปที่ 3-5 รูปหน้าตัดของอาร์มาเจอร์ซึ่งประกอบด้วย
คอมมิวเตเตอร์ สวมอยู่ที่ปลายเพลาของอาร์มาเจอร์

เพลานั้นหมายถึงท่อนเหล็กกลมยาว ๆ สำหรับสวมแกนที่อัดด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ เป็นรูปทรงกระบอกเรียงอัดกันอยู่แน่นมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ เรียกว่า แบบจานทึบกับแบบจานโปร่ง การออกแบบทั้งสองแบบจำเป็นต้องคำนวณให้แผ่นเหล็กที่จะอัดเป็นรูปทุ่นหรือแกนนี้มีช่องอากาศถ่ายเทได้ และให้น้ำหนักของตัวทุ่นอาร์มาเจอร์เบาด้วย เพื่อสะดวกในการเคลื่อนหมุน คือจะเอาเนื้อโลหะบริเวณริมวงในของจาน เป็นช่องตรงกันทุกแผ่น ส่วนริมวงนอกริมวงในของจาน เป็นช่องตรงกันทุกแผ่น ส่วนริมวงนอกก็บอกตรงกันให้เป็นร่องยาวตามภาพที่แสดงแล้วเคลือบด้วยฟิล์มของออกไซด์หรือน้ำมันวานิช เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลผ่านที่แผ่นจากแกนของอาร์มาเจอร์

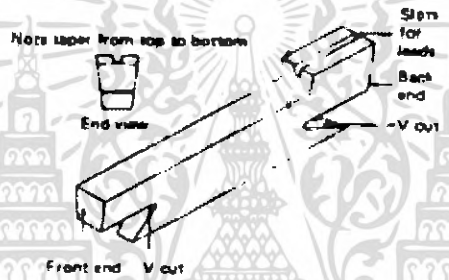
3.1.4 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) หรือที่เรียกกันสั้น ๆ ว่าหัวคอมมิวฯ ของอาร์มาเจอร์ประกอบขึ้นด้วยแท่งทองแดงเรียงรอบเป็นรูปวงแหวน สวมติดอยู่กับปลายเพลาของอาร์มาเจอร์ ระหว่างช่องเรียงของแผ่นทองแดงหรือช่องเซกเม้นท์ (segment) ซึ่งประกอบเป็นรูปของคอมมิวเตเตอร์นี้จะมีฉนวนสอดแทรกป้องกันกระแสไฟระหว่างช่องมิให้ผ่านถึงกัน ฉนวนนี้ทำด้วยแผ่นไมค่า หน้าที่ของคอมมิวเตเตอร์ก็คือ เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดหรือคอยล์ของอาร์มาเจอร์ที่พันรอบแกน และเป็นที่เชื่อมต่อกับปลายขั้วของขดลวดคอมมิวเตเตอร์ ด้วยการหมุนของทุ่นอาร์มาเจอร์กับคอมมิวเตเตอร์นี้จะหมุนร่วมกันไป และตัวคอมมิวเตเตอร์จะเป็นที่สัมผัสกับแปรงถ่านหรือแปรงไฟ

คอมมิวเตเตอร์ นอกจากจะมีส่วนสัมพันธ์กันอย่างหนาแน่นกับตัวอาร์มาเจอร์แล้ว ยังมีส่วนที่รับสัมผัสสัมพันธ์กับแปรงถ่านอยู่มากเช่นเดียวกัน เพราะในการดำเนินการของมอเตอร์ ขณะที่ทำการหมุนอยู่นั้น ภาวะปกติที่จำต้องรักษาให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดไป ก็คือการสัมผัสของแปรงถ่านกับเซกเมนท์แต่ละช่องของคอมมิวเตเตอร์ หรือส่วนที่เป็นเครื่องแปรงกระแสไฟ ซึ่งจำต้องมีการระมัดระวังมิให้เกิดการสปาร์คหรือประกายไฟขึ้นที่บริเวณนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-6 รูปลักษณะของคอมมิวเตเตอร์
เมื่อประกอบขึ้นด้วยแผ่นทองแดงเรียงอัดเป็นรูปวงแหวนติดกับแกนในแล้ว



รูปที่ 3-7 แท่งทองแดงที่ตัดเป็นรูปแล้ว
เพื่อประกอบเป็นร่องเซกเมนท์ (Segment) ของคอมมิวเตเตอร์

คอมมิวเตเตอร์เปรียบได้กับสวิทช์หมุน ซึ่งคอยกลับกระแสไฟที่ออกจากอาร์มาเจอร์ ในจังหวะที่สมควร เพื่อให้กระแสไฟเดินออกในทางเดียวกันได้ตลอด ในวงจรภายนอก หรือเรียกว่ากระแสไฟตรง ซึ่งตามทฤษฎีกล่าวว่า ถ้าเราได้จัดทำแปรงไฟอันหนึ่ง ต่อเข้ากับอีกปลายหนึ่งของขดลวดที่หมุนได้ ทั้งสามารถจัดทำให้เปลี่ยนได้ทุกขณะ ในเมื่อกระแสไฟฟ้าในด้าน ๆ หนึ่งของขดลวดข้อนเส้นทาง เราจะได้กระแสไฟฟ้าในภายนอก เดินไปในทางเดียวกันเสมอ สิ่งที่ทำให้เกิดผลดังกล่าวนี้ ทำได้ด้วยการใช้อุปกรณ์ช่วยประกอบสิ่งหนึ่ง ที่เราเรียกกันว่า คอมมิวเตเตอร์ นั่นเอง

โดยหลักปฏิบัติดังกล่าว คอมมิวเตเตอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เฉพาะสำหรับมอเตอร์ หรือไดนาโมไฟฟ้ากระแสตรงแต่ถ้าต้องการจะได้กระแสไฟฟ้าจากอาร์มาเจอร์หรือมอเตอร์นั้นเป็นกระแสสลับ เราจะต้องใช้วงแหวนรวมไฟฟ้า (Collecting king) ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับคอมมิวเตเตอร์

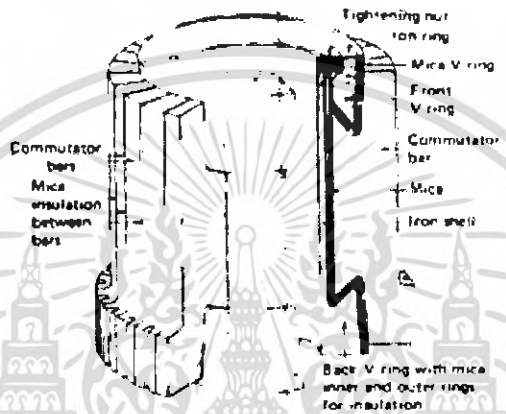
มอเตอร์ หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องเดียวกัน อาจทำให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ทั้งนี้โดยจัดทำส่วนที่จ่ายกระแส ทั้งสองข้างของอาร์มาเจอร์คือให้ข้างหนึ่งมีวงรวมไฟฟ้า (Collecting Ring) และอีกข้างหนึ่งมีคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) กระแสไฟที่ได้จากวงรวมไฟฟ้าจะเป็นกระแสไฟสลับ และส่วนกระแสที่ได้จากคอมมิวเตเตอร์จะเป็นกระแสไฟตรง

หลักการใช้ คอมมิวเตเตอร์กับแปรงถ่าน สำหรับมอเตอร์กระแสไฟตรง จะต้องจัดวางให้ได้รับกระแสจากด้านหนึ่งของขดลวดอยู่ตลอดไป ในขณะเมื่อขดลวดด้านในอยู่ที่ส่วนหนึ่งส่วนใด หรือตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนใดของสนามแม่เหล็กเมื่อกระแสไฟในด้านหนึ่งของขดลวดไหลกลับทางขดลวดด้านนั้นจะเลื่อนตัวไปยังแปรงอีกแปรงหนึ่ง ในสภาพเช่นนี้กระแสจะเดินไปในทางเดียวกันเสมอ ซึ่งเรียกว่า กระแสไฟตรง

การที่ต้องใช้คอมมิวเตเตอร์ เนื่องด้วยเหตุที่แนวทางของกระแส ที่เกิดขึ้นในวงโค้งของสายนั้นมักจะกลับทางเดินเสมอ เพราะเหตุที่กระแสตัวนำจะต้องผ่านขั้วแม่เหล็กใต้ก่อนแล้วจึงผ่านไปขั้วแม่เหล็กเหนือ เหตุนี้มอเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว กระแสไฟจะกลับทางในคอนดัคเตอร์ทั้ง 2 ครั้ง ครั้งหนึ่งในรอบหนึ่ง เมื่อต้องการกระแสทางเดียวจึงต้องจัดให้มีคอมมิวเตเตอร์ หรือสวิตช์หมุนสำหรับกลับทางเดินของกระแสดังกล่าว



รูปที่ 3-8 คอมมิวเตเตอร์ซึ่งประกอบด้วยแท่งทองแดงบางส่วน
ซึ่งแสดงให้เห็นการประกอบเข้ากับวงแหวนแกนใน

คอมมิวเตเตอร์ประกอบเป็นรูปร่างขึ้น ด้วยชั้นแรกอย่างง่าย ๆ ก็คือ ครึ่งวงกลมสองครึ่ง มีฉนวนกันไฟคั่นอยู่ ปลายทั้งสองของขดลวดก็นำออกมาต่อกับเซกเม้นต์ของคอมมิวเตเตอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์จะตรึงติดแน่นกับอาร์มาเจอร์ดังภาพที่แสดง เซกเมนต์แต่ละชิ้นของคอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยแท่งทองแดง (Bar) แผ่นบาง ๆ เรียงอัดรอบวงกลมหรือแกนในทั้งสองครึ่งของคอมมิวเตเตอร์

3.1.5 แปรงถ่านหรือแปรงไฟ (Brush) แปรงถ่านเป็นส่วนผสมของถ่านหรือคาร์บอนแกรฟไฟท์ (Graphite Carbon) ประกอบและอัดกันเป็นรูปแท่งสี่เหลี่ยม มีสายเกลียวทองแดง ปลายข้างหนึ่งยังอยู่ในเนื้อของแปรงถ่าน ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งที่เหลือ พ้นออกมาจากเนื้อถ่านไม่ยาวนัก มีปลายหรือขั้วเป็นรูปสองขาสำหรับติดต่อกับช่องขัดแปรงถ่าน (Brush Holder) ปลายหรือสายติดต่อของแปรงถ่านนี้เรียกว่า หางหมู (pick tail)

แปรงถ่านทำหน้าที่เป็นตัว นำกระแสไฟ เข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ โดยการที่ทำให้ผิวหน้าของแปรงถ่านสัมผัสกับผิวหรือบาร์ของคอมมิวเตเตอร์อยู่ตลอดเวลา, ขณะที่อาร์มาเจอร์หมุนไปแปรงถ่านจะต้องกดอยู่ในตำแหน่งที่เลื่อนไปมาไม่ได้ มีแท่นหรือช่องสำหรับขีดเกาะจับ ภายในมีสปริงสำหรับกดบังคับ ให้พื้นหน้าของแปรงกดสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์อยู่ตลอดเวลา แปรงถ่านในรูปลักษณะปกติจะเป็นรูปแท่งสี่เหลี่ยม แต่ในการนำมาใช้มักจะต้องฝนหรือลับ ให้ผิวหน้าของแปรงที่ใช้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์เป็นร่องโค้งเข้าใน เพื่อให้รับสัมผัสกับส่วนโค้งของบาร์คอมมิวเตเตอร์โดยวิธีใช้กระดาษทรายน้ำอย่างละเอียดขัดถูจนเป็นร่องกลมกลืนกับผิวหน้าของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องยึดเกาะจับของแปรงไฟ โดยทั่วไป แปรงไฟหรือแปรงถ่าน จะต้องมีช่องยึดตัวแปรงหรือสปริงกดบังคับให้แปรงถ่านมีการยืดหยุ่นตัวได้ตามสมควร ในขณะที่คอมมิวเตเตอร์หมุนไปพร้อมกับอาร์มาเจอร์ ช่องยึดหรือเครื่องเกาะจับแปรงดังกล่าวนี้ จะต้องให้มีกำลังน้ำหนักกดหนักเบาพอเหมาะ ไม่มากหรือไม่น้อยเกินไปและจะต้องมีคุณสมบัติประกอบด้วย

- เป็นเครื่องยึดเกาะได้มั่นคงแน่นหนา ไม่ทำให้แปรงเลื่อนไปมาได้
- ให้น้ำหนักกดพื้นของแปรงถ่านสัมผัสคอมมิวเตเตอร์พอดี
- ต้องยึดแปรงให้ได้ระดับหรือมุมฉาก ของการสัมผัส
- สปริงกดแปรง สามารถปรับให้ตึงหรือหย่อนได้ตามต้องการ

ความมุ่งหมายดังกล่าว ก็เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงมิให้เกิดการสปาร์คขึ้นที่แปรงไฟประการหนึ่ง และเพื่อให้การสึกหรอของแปรงถ่าน ที่จำเป็นต้องสูญเสียไปบ้างให้เป็นไปโดยสม่ำเสมอ

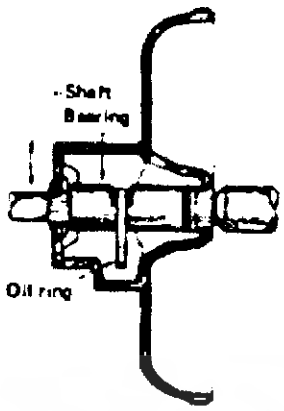
3.1.6 ฝาครอบ (End Plate) เช่นเดียวกับฝาครอบของมอเตอร์แบบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ ประกอบขึ้นด้วยเหล็กหล่อ หรือ เหล็กเหนียวอย่างเดียว โดยหน้าที่หรือประโยชน์ของฝาครอบ ก็คือการบังคับให้อาร์มาเจอร์หมุนตรงอยู่ในแนวเส้นแรงแม่เหล็กและให้อยู่ในแนวศูนย์กลาง (Center) ของตัวมอเตอร์ ด้านในของฝาครอบจะมีปลอกทองเหลืองหรือตลับลูกปืนรองรับเพลาของอาร์มาเจอร์ เพื่อให้หมุนอยู่ในแนวบังคับดังกล่าว

รูปที่ 3-9 รูปตัดเห็นส่วนกลมของฝาครอบ
ซึ่งมีช่องกลางสำหรับสอดแบริ่งรองรับเพลา

แบริ่ง (Bearing) หรือ ปลอกทองเหลือง (Bush) ที่รองรับเพลาติดกับฝาครอบ ด้านในมีแหวนน้ำมัน (Oil ring) ส่วนประกอบรองอยู่ด้วย ปลอกทองเหลือง หรือแบริ่งของอาร์มาเจอร์นับว่ามีส่วนสัมพันธ์อยู่ไม่น้อย เพราะนอกจากจะทำหน้าที่บังคับอาร์มาเจอร์ให้หมุนในแนวเส้นแรงแม่เหล็ก และแนวศูนย์กลางของตัวมอเตอร์แล้ว ยังช่วยรองรับการเสียดสีมิให้เกิดความร้อนสูงอีกด้วย ในกรณีที่อาร์มาเจอร์ต้องหมุนอยู่ตลอดเวลาในขณะทำงาน ปลอกทองเหลืองหรือตลับลูกปืนแบริ่งนี้ เมื่อเกิดชำรุด เช่น ลูกปืนภายในตลับแตก หรือสึกหรอ เป็นต้นเหตุที่ทำให้มอเตอร์ทำงานบกพร่อง และมีเสียงดังผิดปกติได้

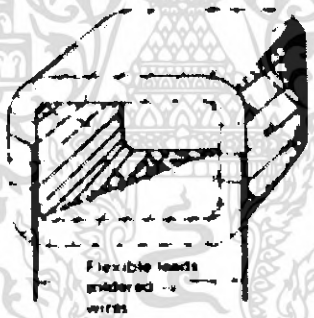
72913

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



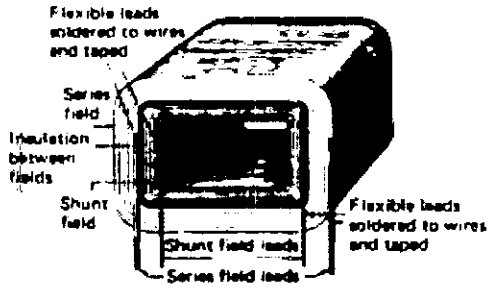
รูปที่ 3-10 รูปด้านข้างของฝาครอบที่เห็นปลายเพลาของอาร์มาเจอร์
และปลอกหรือแบริ่งติดกับแหวนน้ำมัน

3.1.7 คอยล์สนามแม่เหล็ก (Field coil) ประกอบขึ้นด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ เช่นเดียวกับขั้วสนามแม่เหล็ก และถือเป็นส่วนประกอบของขั้วสนามแม่เหล็ก เพราะเหตุที่ประกอบขึ้นแล้วเป็นรูปร่างดังภาพที่แสดง และพันด้วยผ้าดิบบางต่างฉนวนโดยรอบแล้ว จะสวมกับขั้วแม่เหล็กสนามทุก ๆ ขั้วที่มอเตอร์มีอยู่ หรือเท่ากับจำนวนขั้วของมอเตอร์



รูปที่ 3-11 คอยล์สนามแม่เหล็กเมื่ออัดเป็นรูปแล้วใช้ด้ายหรือผ้าดิบหุ้มเป็นฉนวน

การพันคอยล์ขั้วสนามแม่เหล็ก หรืออาร์มาเจอร์คอยล์ ตามหลักการจำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องที่เกี่ยวกับกฎและกรรมวิธีของอาร์มาเจอร์ และขั้วสนามแม่เหล็กโดยแท้จริง แต่อาจไม่จำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องทฤษฎีของไฟฟ้ามากนัก ก็สามารถปฏิบัติการได้



รูปที่ 3-12 ขั้วสนามแม่เหล็กซึ่งประกอบด้วยคอยล์สนามแม่เหล็ก
หรือคอยล์ซึ่งประกอบกับแกนของขั้วแม่เหล็กสนามเป็นรูปร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกประการหนึ่ง การที่จะทำให้มอเตอร์เกิดผลงานดีขึ้นในการทำงานคือให้เกิดเพาเวอร์ (Power) หรือพลังงานออกให้ใช้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับกำลังกระแสไฟฟ้าที่บรรจุเข้าไปจำเป็นต้องใช้พันคอยล์บนแกนเหล็กอ่อนของอาร์มาเจอร์ ซึ่งต้องมีคอยล์หลายคอยล์ แต่ละคอยล์มีจำนวนหลายรอบ และการที่ใช้คอยล์มากกว่าหนึ่งคอยล์นั้น หมายถึงว่า จะต้องมีคอยล์อื่นทำปฏิกิริยากับเส้นแรงของสนามแม่เหล็กให้หมุนอยู่ตลอดเวลาด้วย ถ้ามีแต่เพียงคอยล์เดียว ย่อมหมายถึงว่า จะต้องมีจุดศูนย์ตาย (Dead Center) อยู่เพียงจุดเดียว คือ เมื่อคอยล์หมุนไปอยู่ระหว่างกลาง ของขั้วสนามแม่เหล็กทั้งสอง (สำหรับมอเตอร์ที่มีขั้วแม่เหล็กเพียงสองขั้ว) จะทำให้แรงเริ่มหมุนของมอเตอร์ลดลง แม้ว่าเมื่อได้เริ่มเดินไปแล้วแรงเฉื่อยของมันจะพาให้หมุนผ่านศูนย์ตายไปได้ก็ตาม

3.2 ทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสไฟตรง หรือ ดี.ซี. มอเตอร์ทั่ว ๆ ไปมีกรรมวิธีไม่แตกต่างกันในการหมุนวงรอบของอาร์มาเจอร์ กล่าวคือ

เมื่อเริ่มต้นการหมุนในครั้งแรก อาร์มาเจอร์กับขั้วแม่เหล็กจะอยู่ในทิศตรงข้าม คืออยู่ในตำแน่งจุดศูนย์ตาย ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่มีกระแสแม่เหล็กจะดึงดูดให้อาร์มาเจอร์หมุน โดยเหตุนี้ระดับของเส้นแรงแม่เหล็กและอาร์มาเจอร์จึงอยู่ในระดับขนานกัน แต่กำลังแรงเหวี่ยงของอาร์มาเจอร์เมื่อเริ่มฉุดในครั้งแรกที่เหลืออยู่ จะถูกผลักให้เคลื่อนหมุนผ่านศูนย์ตายไป แล้วต่อจากนั้นจึงหมุนต่อไปโดยส่วนที่อยู่ตรงข้ามของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่เหมือนกัน

เมื่ออาร์มาเจอร์หมุนไปได้ครึ่งรอบ ในตำแหน่งนี้กระแสแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขั้วอาร์มาเจอร์จะย้อนกลับ โดยการย้อนกลับของกระแสไฟฟ้า ซึ่งกำลังไหลอยู่ในคอยล์หรือขดลวดที่พันรอบแกนของอาร์มาเจอร์ ส่งต่อไปยังแปรงไฟผ่านไปยังช่องเซกเม้นด์ด้านตรงข้ามของคอมมิวเตเตอร์ และเส้นแรงแม่เหล็ก เป็นการเข้าอยู่ในระดับเส้นขนานครั้งที่ 2 ของจุดศูนย์ตาย และจะหมุนต่อไปก็โดยแรงหมุนที่เหลือจากการตัดนี้ ข้ามจุดศูนย์ตายจุดนี้ไปอีก

จังหวะการหมุนใน ¾ ของรอบที่อาร์มาเจอร์ดำเนินอยู่คงดำเนินไปตามวิธีเดียวกับครึ่งรอบ เมื่อครบรอบนี้แล้ว จะก่อให้เกิดพลังดันของกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวดในทิศทางตรงข้ามกับกระแสไฟที่ผ่านเข้าคอยล์ ไปสู่อาร์มาเจอร์

กำลังฉุด หรือกำลังทำให้เกิดการหมุนของอาร์มาเจอร์ได้นั้น จะต้องมีส่วนสัดสมดุลกับกำลังของสนามแม่เหล็กและกำลังกระแสไฟฟ้าไหลอยู่ในอาร์มาเจอร์ รวมทั้งกำลังเหนี่ยวนำของอาร์มาเจอร์จึงต้องขึ้นอยู่กับจำนวนของกระแสไฟ ที่ไหลผ่านอย่ในคอยล์ทั้งหมดกำลังฉุดจะต้องมีมากกว่าโหลดไม่เกินไปนัก เพราะอาจทำให้อัตราการเร่งเครื่องเพิ่มปริมาณสูงขึ้น จนกระทั่งไปทำให้การทวีแรงดันของกระแสผันกลับไปได้ เพราะการไหลที่แท้จริงของกระแสในอาร์มาเจอร์นั้น เกิดขึ้นจากความแตกต่างระหว่างอิมเพรสท์(Impressed) และแรงเคลื่อนด้านกลับ

การแจกจ่ายกระแสไฟของมอเตอร์ ดี.ซี. เพื่อดำเนินการก็คือ เมื่อกระแสไฟได้ไหลผ่านขั้วทุกขั้วสนามแม่เหล็กและไปก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น แล้วไหลเข้าสู่อาร์มาเจอร์ทำให้ขั้วแกนของทุ่นอาร์มาเจอร์เป็นขั้วบวก (Positive pole) ห่างจากขั้วลบ (Negative pole) ของสนามแม่เหล็กกำลังผลักและแรงดูดของแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นนี้ เป็นตัวการที่ทำให้อาร์มาเจอร์หมุนอยู่ในตำแหน่งสมดุลกับแม่เหล็ก ทิศทางการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนของมอเตอร์ดี.ซี. หรือไดนาโมกระแสตรงนั้น โดยทั่วไปทุ่นอาร์มาเจอร์จะหมุนไปทางซ้าย แต่การหมุนของมอเตอร์อาจผันกลับทางได้ โดยการผันกลับของกระแสตลอดสนาม หรือ กระแสที่อยู่ในตัวทุ่นอาร์มาเจอร์

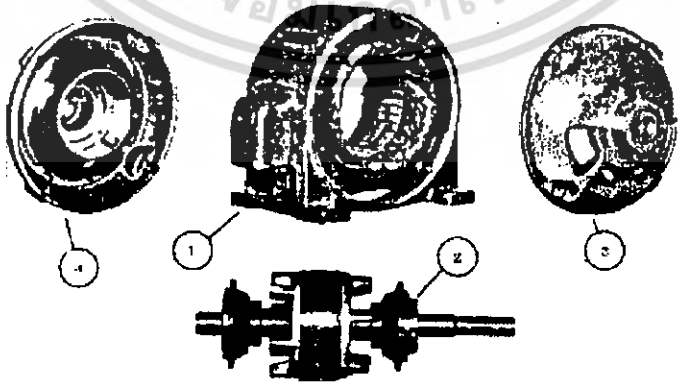
การดำเนินงานของมอเตอร์นั้น ปฏิกิริยาต่าง ๆ ระหว่างอาร์มาเจอร์กับแม่เหล็กในสนาม คงเป็นไปเช่นเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโมกระแสตรง จะแตกต่างกันตรงที่ว่า การสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้การปฏิบัติการขั้นแรก จะต้องเร่งการขับสปีดของเครื่องให้ได้อัตราเร็วจนกระทั่งถึงจุดเร่งกระตุ้นด้วยกระแสไฟ ภายในตัวของมันเองเกิดขึ้นเสียก่อน แล้วจึงผ่านติดต่อไปยังวงจรแม่เหล็กส่วนมอเตอร์นั้น เครื่องจะไม่สตาร์ทหรือเริ่มเดินจนกว่าจะได้ผ่านการติดต่อวงจรไปแล้วก่อน ซึ่งในกรณีเช่นนี้ จึงต้องระวังกระแสไฟที่จะผ่านเข้าสู่วงจรของเครื่อง เพราะถ้ากระแสไฟที่ผ่านเข้าวงจรเกินอัตราสปีด (Over speed) มากไป จะเกิดผลเสียหายได้

3.3 มอเตอร์กระแสไฟสลับ (A.C. MOTOR)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C. Motor) จัดว่าเป็นมอเตอร์ที่ใช้กันอยู่แพร่หลาย ตามโรงงานต่างๆ ไม่น้อย เนื่องจากเครื่องอุปกรณ์ หรือเครื่องทุ่นแรงที่ใช้กันภายในโรงงานและอาคารบ้านเรือนส่วนมาก มักจะประกอบด้วย เครื่องจักรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นอุปกรณ์ช่วยอยู่ด้วย และมีส่วนดีอยู่ที่ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ มักไม่ก่อให้เกิดอันตรายจากประกายของกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ง่าย ซึ่งโรงงานบางแห่งจำเป็นต้องมีน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไวไฟเก็บรักษาไว้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับต่างกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ตรงที่ไม่ได้ใช้คอมมิวเตเตอร์ (แต่ก็อาจมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กบางชนิดที่จำต้องใช้คอมมิวเตเตอร์อยู่เหมือนกัน) แบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับออกได้ 3 ชนิด คือ

- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 1 เฟส (A.C. Single phase Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 2 เฟส (A.C. Two phases Motor)
- มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 3 เฟส (A.C. Three phases Motor)

ส่วนประกอบทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 3-13 ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

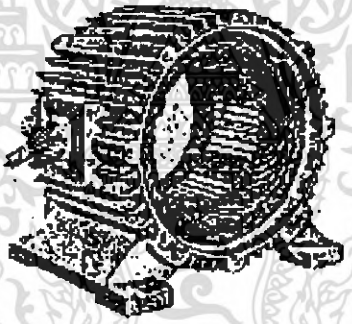
3.3.1 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

ส่วนที่อยู่กับที่นี้มักเรียกชื่อกันจนติดปากว่า สเตเตอร์และในส่วนนี้ยังประกอบด้วยสิ่งสำคัญดังนี้คือ โครงมอเตอร์ แกนขดลวดและขดลวด

โครงมอเตอร์ (Frame หรือ Yoke) บางทีเรียกสั้นๆว่าโครง ทำด้วยเหล็กหล่อรูปทรงกระบอกกลวง ฐานส่วนล่างมีลักษณะเป็นขาตั้ง มีกล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง ดังรูปที่ 3-14 โครงทำหน้าที่จับยึดแกนขดลวดให้แน่นอยู่กับที่ ผิวด้านนอกโดยรอบของโครงมอเตอร์บางตัวจะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีบ เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

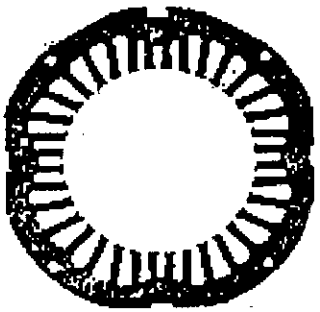
ในกรณีที่เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กๆ โครงเหล็กจะทำด้วยเหล็กหล่อ (Cast iron) แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ โครงเหล็กจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียว (Cast steel) ถ้าทำด้วยเหล็กหล่อ จะต้องใช้เหล็กหล่อปริมาณมาก ขนาดของโครงเล็กจะใหญ่มากจึงทำให้มอเตอร์มีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาใช้เหล็กหล่อเหนียวแทน ซึ่งจะทำให้โครงเหล็กบางลง และเป็นส่วนที่ทำให้น้ำหนักของมอเตอร์ลดลงถึงประมาณ 60% เมื่อขนาดเอ้าพุทของมอเตอร์เท่ากัน โดยที่จะไม่เพิ่มความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance) ขึ้นเลย

นอกจากนี้แล้วโครงเหล็กอาจจะทำด้วยเหล็กหล่อเหนียวแผ่นม้วนเป็นรูปทรงกระบอก ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่ออกแบบไว้แล้วเชื่อมติดกัน



รูปที่ 3-14 โครงมอเตอร์ชนิดมีครีบ
พร้อมแกนขดลวด และขดลวดที่พันเสร็จเรียบร้อยแล้ว

แกนขดลวด (Stator core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ มีลักษณะกลม เจาะตรงกลางและเซาะร่องภายในโดยรอบ แผ่นเหล็กนี้เรียกว่าแผ่นลามิเนท (Laminated sheet) ดังรูปที่ 3-15



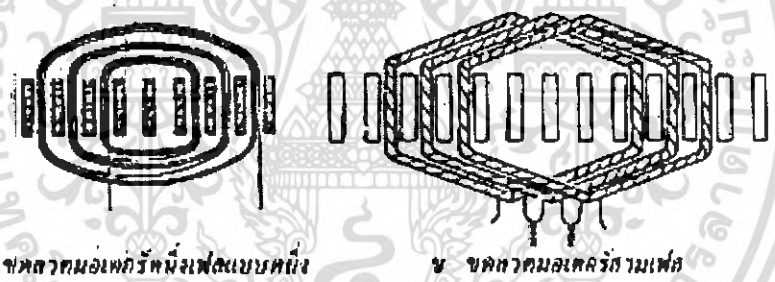
รูปที่ 3-15 แผ่นเหล็กลามิเนท (Laminated sheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละแผ่นหนา 0.025 นิ้ว แล้วนำเอาแผ่นเหล็กบางเหล่านี้ที่อาบซิลิกอนแล้ว มาอัดเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3-16 เรียกว่าแกนขดลวด หรือ สเตเตอร์ คอร์ ร่องที่เซาะภายในโดยรอบ เรียกว่า สล๊อต (Slots) เป็นที่สำหรับพันขดลวดและแกนขดลวดนี้ทำหน้าที่เป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กหรือเป็นวงจรแม่เหล็กด้วย

รูปที่ 3-16 แกนขดลวดและขดลวดสเตเตอร์

ขดลวด (Stator winding) ขดลวดที่พันลงในสล๊อตของแกนขดลวดนั้นแตกต่างกันตามชนิดของมอเตอร์ เส้นลวดทองแดงที่ใช้พันเป็นขดลวดนี้ จะเป็นชนิดที่เคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้าอย่างดี เช่น น้ำมันวานิช ซึ่งเมื่อแห้งสนิทแล้วจะเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี ลักษณะของขดลวดดังรูปที่ 3-17



ก. ขดลวดมอเตอร์รัศมีเฟสแบบหนึ่ง ข ขดลวดมอเตอร์รัศมีเฟส

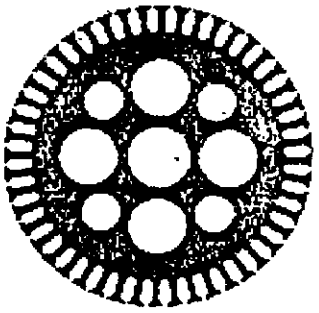
รูปที่ 3-17 ลักษณะของขดลวดมอเตอร์

3.3.2 ส่วนเคลื่อนที่ (Rotor)

ส่วนนี้มักจะเรียกกันว่าโรเตอร์ (Rotor) มีสองแบบด้วยกันคือแบบสไควเรลเกจหรือกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) และแบบวาวด์โรเตอร์ (Wound rotor) แต่ละแบบยังประกอบด้วยสิ่งสำคัญต่อไปนี้ คือ แกนโรเตอร์ ขดลวด ใบพัด และเพลา

3.3.2.1 โรเตอร์แบบสไควเรลเกจ เป็นโรเตอร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือมอเตอร์ที่ทำงานด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เรียกว่า อินดั๊กชั่นมอเตอร์ แกนโรเตอร์จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ ที่เรียกว่า แผ่นเหล็กลามิเนทหรือแผ่นลามิเนท (Laminated sheet steel) เช่นเดียวกับแกนขดลวดของสเตเตอร์ที่ได้กล่าวมาแล้ว มีลักษณะกลม เซาะผิวภายนอกให้เป็นร่องโดยรอบ ที่เรียกว่า สล๊อต ตรงกลางแผ่นจะเจาะรูสำหรับสอดเพลา บริเวณระหว่างสล๊อตรอบๆ ขอบกับรูกลางแผ่นจะเจาะเป็นรูไว้เพื่อใช้ช่วยในการระบายความร้อน และให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาดังรูปที่ 3-18 เมื่อนำเอาแผ่นลามิเนทเหล่านี้มาอัดเข้าด้วยกัน จะได้แกนโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

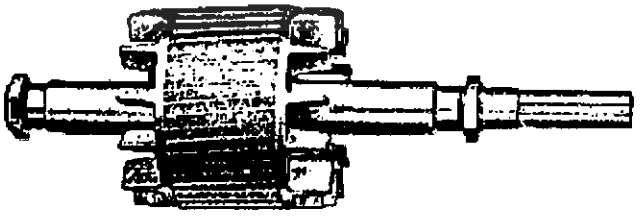


รูปที่ 3-18 ลักษณะแผ่นลามิเนทของแกนโรเตอร์

ขดลวดที่อัดเข้าไปในสล๊อตของแกนโรเตอร์นั้นแทนที่จะทำด้วยลวดทองแดงเส้นเล็กๆ ดังเช่นกรณีของขดลวดสเตเตอร์ แต่จะทำด้วยแท่งอลูมิเนียมหล่อ อัดเข้าไปในสล๊อตให้แน่น แล้วยึดวงแหวนที่มีครีบยื่นออกมาเข้ากับปลายแต่ละข้างของแท่งอลูมิเนียมที่โผล่ออกมาจากสล๊อต เพื่อให้แท่งอลูมิเนียมเหล่านั้นครบวงจรทางไฟฟ้า หรือไม่ก็นำเอาแกนโรเตอร์เข้าไปวางไว้ในแบบพิมพ์ (Mold) แล้วฉีดอลูมิเนียมเหลวเข้าไป จะได้อลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในสล๊อตจนเต็มและมีครีบยื่นออกไปทั้งสองข้างของแกนโรเตอร์ด้วย

รูปที่ 3-19 แกนโรเตอร์ที่มีตัวนำแท่งอลูมิเนียม
อัดอยู่ในสล๊อต และแหวนอลูมิเนียมพร้อมครีบยึดติดอยู่

ครีบที่ยื่นออกไปเหล่านี้เรียกว่าใบพัดใช้สำหรับระบายความร้อน และเมื่ออัดเพลาเข้าไปที่รูกลางของแกนแล้ว จะได้แกนโรเตอร์ดังรูปที่ 3-20

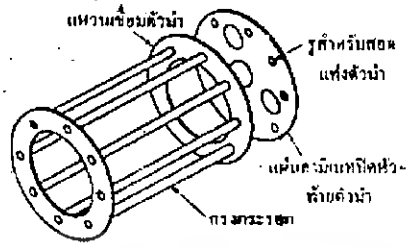


รูปที่ 3-20 แกนโรเตอร์ของอินดั๊กชั่นมอเตอร์แบบกรงกระรอก

สาเหตุที่เรียกแกนโรเตอร์แบบนี้ว่า แกนแบบกรงกระรอกเพราะว่า ถ้านำเอาแท่งอลูมิเนียมที่อัดอยู่ในสล๊อตของแกนโรเตอร์ออกมาประกอบร่วมกับแผ่นวงแหวนที่ยึดติดหัวท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ตัวนำที่มีโครงสร้างเหมือนกับกรงกระรอก หรือถ้านำเอาแกนโรเตอร์ออกจากโรเตอร์ ก็จะเหลือตัวนำทั้งหมดที่มีโครงสร้างเหมือนกับกรงกระรอกดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3-21

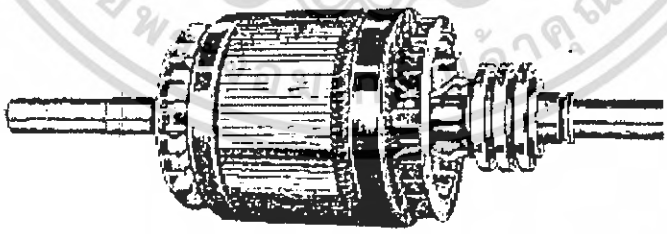


รูปที่ 3-21 ตัวนำของโรเตอร์ที่ต่อกันเหมือนกรงกระรอก

จากรูปที่ 3-19 จะเห็นว่าสล๊อตจะมีลักษณะทำมุมเอียงกับแกนหรือเพลาของโรเตอร์ แต่บางแบบ สล๊อตจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงขนานกับเพลา ข้อดีของโรเตอร์ที่มีสล๊อตทำมุมเอียงกับเพลา (Skewed) ก็คือเมื่อมอเตอร์ทำงานจะหมุนเรียบและเงียบกว่าแบบที่มีสล๊อตขนานกับเพลา

3.3.2.2 โรเตอร์แบบวาวด์ หรือวาวด์โรเตอร์ โรเตอร์แบบนี้มีส่วนประกอบคล้ายๆ กับโรเตอร์แบบกรงกระรอก คือมีแกนโรเตอร์ที่ทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนทอัดติดกัน มีขดลวดซึ่งพันด้วยเส้นลวดทองแดงที่หุ้มด้วยน้ำยาฉนวนไฟฟ้าโดยต่างจากขดลวดของโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ทำด้วยแท่งอลูมิเนียม ใบพัดสำหรับระบายความร้อนยึดติดอยู่หัวท้ายของแกนโรเตอร์และเพลา นอกจากนี้โรเตอร์แบบวาวด์ยังมีแหวนทองแดงที่เรียกว่าสลิป-ริง (Slip ring) ต่อร่วมกับปลายสายของขดลวดอีกหนึ่งชุดจำนวน 3 ตัว

โดยปกติแล้ว วาวด์โรเตอร์จะใช้กับมอเตอร์สามเฟสเท่านั้น ดังนั้นสลิป-ริงทั้งสามตัวจึงมีไว้สำหรับต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมเพื่อทำให้ขดลวดโรเตอร์เกิดครบวงจรและประกอบการเริ่มหมุน และการควบคุมความเร็ว



รูปที่ 3-22 ลักษณะของโรเตอร์แบบวาวด์
ที่มีขดลวดโรเตอร์ ใบพัด สลิป-ริง และเพลา

3.3.3 ฝาครอบ (End plate)

ทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางเพื่ออัดแบริ่งรองรับเพลาของโรเตอร์ ที่ฝาครอบนี้บางทีจะเจาะรูไว้ด้วยเพื่อช่วยในการถ่ายเทอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

3.4.1 แบบโรเตอร์กรงกระรอก เมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์และเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์จะดึงดูดให้สนามแม่เหล็กจากโรเตอร์หมุนตามไปด้วย คือทำให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์ ซึ่งความเร็วของโรเตอร์นี้จะมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ

รูปที่ 3-23 แสดงหลักการทำงานและทิศทางการหมุนของโรเตอร์

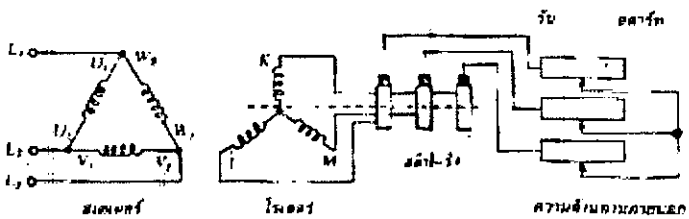
รูปที่ 3-23 ก. แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนบนสเตเตอร์จะตัดผ่านตัวนำบนโรเตอร์ไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

รูปที่ 3-23 ข. แสดงทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และกระแสที่ไหลในตัวนำที่โรเตอร์ (หาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง) และทิศทางของส้นแรงแม่เหล็กรอบๆ ตัวนำ (หาได้โดยใช้กฎของสกรู หรือกฎมือขวากำสำหรับตัวนำ)

รูปที่ 3-23 ค. แสดงทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กรวม ของรูป 3-23 ก. และรูป 3-23 ข. ทำให้มีแรงบิดเกิดขึ้นบนโรเตอร์ มีทิศทางหมุนไปทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน

ถ้าหากโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัส จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในตัวนำที่โรเตอร์ จะไม่มีกระแสไหล และไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นบนโรเตอร์ด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วของโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะต้องต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ

3.4.2 แบบโรเตอร์พันขดลวดหรือวาวด์โรเตอร์ เมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับขดลวดสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กหมุนนี้จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ กระแสเหนี่ยวนำนี้จะไหลผ่านความต้านทานภายนอกที่ต่อร่วมกับขดลวดโรเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มเดินและปรับแต่งความเร็ว



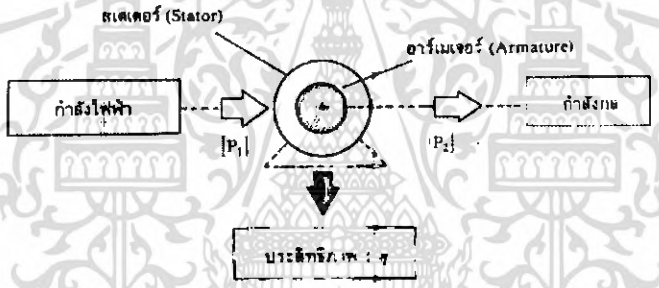
รูปที่ 3-24 แสดงวงจรและวิธีการเริ่มเดิน
มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบวาวด์โรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเริ่มเดินต้องปรับค่าความต้านทานภายนอก (ความต้านทานที่ปรับค่าได้ 3 ตัวต่อแบบสตาร์) ไว้ในตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานสูงสุดจะมีผลทำให้แรงบิดเริ่มหมุนเพิ่มขึ้น กระแสขณะสตาร์ทจะลดลงเมื่อความเร็วของมอเตอร์สูงขึ้นแล้วจึงค่อยๆ ลดความต้านทานภายนอกลง ขณะนี้มอเตอร์มีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น เมื่อลดความต้านทานภายนอกลงจนหมด สลิป-ริงจะถูกลัดวงจรที่จุดต่อสตาร์ของความต้านทานภายนอก มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วเต็มพิกัด (Rate speed) ถ้าต้องการปรับแต่งความเร็วของมอเตอร์แบบนี้ ทำได้โดยเพิ่มหรือลดค่าความต้านทานภายนอก ตามปกติแล้วการปรับความเร็วจะปรับจากความเร็วเต็มพิกัดจนถึงความเร็วต่ำกว่าพิกัด ไม่สามารถปรับให้มีความเร็วสูงกว่าความเร็วเต็มพิกัดได้

3.5 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าให้เป็นกำลังกลเพื่อใช้หมุนขับงานของมอเตอร์นั้น ต้องสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปส่วนหนึ่ง ทำให้กำลัง (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : Output) น้อยกว่ากำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input) อัตราส่วนระหว่างกำลังกลกับกำลังไฟฟ้าเรียกว่า ประสิทธิภาพ (Efficiency) ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็คือ สมรรถนะในการทำงานของมอเตอร์นั่นเอง



รูปที่ 3-25 ประสิทธิภาพของมอเตอร์

เมื่อ η : etta คือ ประสิทธิภาพ

P_1 คือ กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input)

P_2 คือ กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : Output)

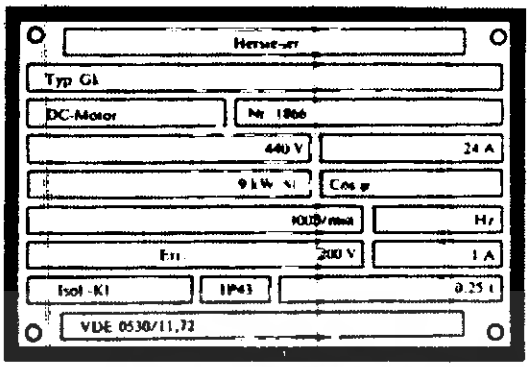
ΔP คือ กำลังสูญเสียระหว่างการเปลี่ยนรูปกำลังจากกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกล

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (9)$$

$$\eta = {}^{100P_2}/_{P_1} \quad [\%] \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์จากสลากแผ่นป้ายชื่อ (Name – Plate Data)



รูปที่ 3-26 สลากแผ่นป้ายชื่อของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

สลากแผ่นป้ายชื่อของมอเตอร์ตามรูปที่ 3-26 พอจะอธิบายได้ว่า มอเตอร์ตัวนี้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ขนาดแรงดันเมน : V_M = 440 โวลต์ กินกระแสเต็มโหลด : I_M = 24 แอมแปร์ ด้วยขนาดกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : P_2 = 9 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ : n_f = 3000 รอบ/นาที

มอเตอร์ทุกตัวไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังที่กำหนดมาให้บนสลากแผ่นป้ายชื่อนั้น เป็นกำลังที่หมุนขับแกนมอเตอร์หรือกำลังจ่ายออก : P_2 ส่วนกำลังไฟฟ้าคือกำลังที่มอเตอร์ดึงจากระบบไฟหรือกำลังไฟฟ้า ที่ส่งให้มอเตอร์หรือกำลังรับเข้า : P_1 สามารถหาได้จากการคำนวณตามสมการที่ 11

$$P_1 = V_M I_M \quad (11)$$

เมื่อ P_1 คือ กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input)

V_M คือ แรงดันเมน

I_M คือ กระแสมอเตอร์

3.5.2 การคำนวณประสิทธิภาพจากกำลังสูญเสีย

ΔP คือ กำลังสูญเสีย

P_1 คือ กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input)

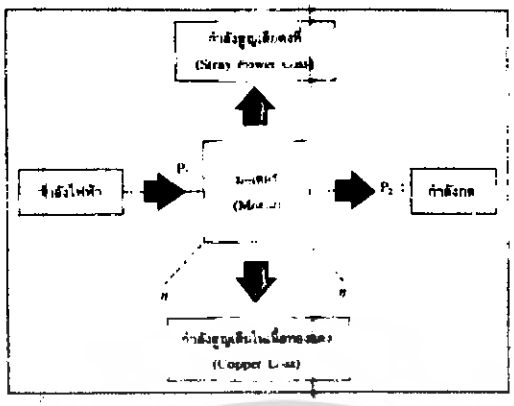
P_2 คือ กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : Output)

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

3.5.3 กำลังสูญเสียในมอเตอร์

กำลังสูญเสียในมอเตอร์ ได้แก่ กำลังสูญเสียคงที่ (Constant Loss : Stray Power Loss) และกำลังสูญเสียในเนื้อทองแดง (Copper Loss : Cu Loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-27 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า
กำลังกล กำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์

3.5.3.1 กำลังสูญเสียคงที่ เป็นกำลังสูญเสียบนแกนเหล็ก (Iron หรือ Core Loss) และความเสียดทาน (Friction Loss) ต่างๆ ของมอเตอร์โดยเฉพาะ มาว่าโหลดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง กำลังสูญเสียจะคงที่ตลอดเวลา จึงเรียกกำลังสูญเสียนี้ว่า "Stray Power Loss" หรือ "Rotational Loss" หรือ "Mechanical Loss"

3.5.3.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในเนื้อทองแดง (Copper Loss) เป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในขดลวดทองแดง เนื่องจากกระแสไหลผ่านความต้านทานของขดลวดทองแดง ทำให้เกิดกำลังสูญเสีย I^2R [W] โดยเฉพาะและมีค่าไม่ค่าที่ ขึ้นอยู่กับกระแสโหลดยกกำลังสอง (I^2) โหลดยิ่งมากกำลังสูญเสียในเนื้อทองแดงยิ่งมาก กำลังสูญเสียในเนื้อทองแดงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้แก่

$$P = I^2R \qquad (11)$$

เมื่อ P คือ กำลังสูญเสีย
I คือ กระแสไฟฟ้า
R คือ ความต้านทาน

3.6 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า (Electric vehicle energy sources)

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่ใช้กันมี 2 ชนิดคือ แบตเตอรี่ (Battery) และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) รถไฟฟ้าที่อยู่ในขั้นทดลองส่วนใหญ่จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ประเภท หรือหม้อน้ำกำเนิดชนิดไอน้ำ สามารถทำการอัดประจุเข้าไปและเก็บไว้ใช้ได้อีกเมื่อกระแสไฟหมดซึ่งแตกต่างกับ Primary cell เพราะแผ่นธาตุ (Element) สามารถทำให้มีกระแสคืนกลับในสภาพเดิมได้ โดยวิธีใช้กระแสตรง ประจุผ่านเข้าไปในเซลล์และในทางกลับกันเมื่อจ่ายกระแสออกไปใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้กับรถไฟฟ้ามีดังนี้คือ

แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (LEAD – ACID BATTERIES)
แบตเตอรี่นิเกิลสังกะสี (NICKEL – ZINC BATTERIES)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่นิเกิลไอออน (NIKEL – IRON BATTERIES)

แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NIKEL – CADMIUM BATTERIES)

แบตเตอรี่อุณหภูมิสูง (HIGH – TEMPERATURE BATTERIES)

แบตเตอรี่สังกะสีคลอรีน (ZINC – CLORINE BATTERY)

แบตเตอรี่ไฮบริด (HYBRID BATTERY)

เซลล์เชื้อเพลิง (FUEL CELL)

แบตเตอรี่ที่มีการนำมาใช้งานในรถไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (LEAD – ACID BATTERIES)

3.6.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (LEAD – ACID BATTERIES)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีการพัฒนาอย่างเต็มที่ในการมาใช้งานสำหรับลากจูง (Traction) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้ในรถไฟฟ้ามากที่สุด แบตเตอรี่ตะกั่วกรด เกิดจากการเชื่อมโยงทางอิเล็กโทรนเคมีของไดออกไซด์ของตะกั่ว ด้วยกรดซัลฟุลริค ปฏิกิริยาการคายประจุที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \Longleftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$$

แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกพัฒนามาเป็นอย่างดี ทั้งด้านความเชื่อมั่น ความคงทน ราคาพอประมาณ มีประสิทธิภาพพอใช้ได้ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด มีรูปแบบที่แตกต่างกันหลายชนิด เป็นผลให้มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันไปด้วยรูปแบบที่ถูกผลิตขึ้นใช้ทั่วโลกในปัจจุบันมี 3 รูปแบบ คือ แบตเตอรี่ในรถยนต์ แบตเตอรี่ในรถกอล์ฟ และ แบตเตอรี่สำหรับรถลากจูง แบตเตอรี่รูปแบบที่สองมีความสำคัญมากในการใช้ในระบบไฮบริด (Hybrid system) และรถไฟฟ้ากำลังสูง แบตเตอรี่สำหรับระบบลากจูงได้ถูกพัฒนามาอย่างคงที่ตามลักษณะที่ต้องการสำหรับใช้ในรถไฟฟ้าและระบบไฮบริด (Hybrid system)

การทำให้แบตเตอรี่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ ก็เนื่องจากน้ำกรดกำมะถันอย่างเจือจาง และ ตะกั่วเปอร์ออกไซด์แผ่นธาตุบวก และตะกั่วฟองน้ำแผ่นลบทำปฏิกิริยาทางเคมีในขณะทำงาน และทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเมื่อวงจรระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของหม้อติดต่อถึงกันกระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกไปตามวงจรภายนอก และกลับเข้าสู่หม้อแบตเตอรี่ทางขั้วลบ และกรรมวิธีจ่ายออก และประจุสัมพันธ์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกเครื่องหนึ่งคือเจนเนอเรเตอร์หรือที่เรียกกันว่าไดนาโมชาร์จ

3.6.2 แบตเตอรี่นิเกิลสังกะสี (NICKEL – ZINC BATTERIES)

ได้ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในรถไฟฟ้านานแล้ว แบตเตอรี่ชนิดนี้ให้ความหนาแน่นพลังงาน และกำลังสูง สร้างขึ้นจากวัสดุที่มีราคาถูก และมีอยู่มากในซีกโลกตะวันตก สิ่งที่จะขัดขวางต่อความแพร่หลายในการนำแบตเตอรี่ นิเกิล-สังกะสีมาใช้ในรถไฟฟ้าคือรอบอายุการใช้งานต่ำและอิเล็กโทรด์ที่ทำจากนิเกิลราคาแพง

3.6.3 แบตเตอรี่นิเกิลไอออน (NIKEL – IRON BATTERIES)

ระบบนิเกิล-ไอออน หรือ Edison cell ได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลาหลายปีแล้ว ในงานที่ต้องการความเชื่อมั่นใช้งานได้ยาวนาน ได้มีการเสนอให้นำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้ในรถไฟฟ้าเนื่องจากมีความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังและพลังงานสูงมีรอบอายุการใช้งานนานกว่า เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่นิเกิล-ไอออนมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำ แต่ก็มีข้อจำกัดทางอุณหภูมิ และมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูง จึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในรถไฟฟ้าเชิงพาณิชย์

3.6.4 แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NIKEL – CADMIUM BATTERIES)

แบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้งานที่ต้องการกำลังต่ำๆ และในการสตาร์ทเครื่องยนต์เทอร์โบและเครื่องบิน เป็นแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานนานที่สุด มีความหนาแน่นกำลัง และพลังงานสูงเมื่อเทียบกับระบบตะกั่ว-กรด สามารถใช้งานได้ในทุกย่านอุณหภูมิ ให้คุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับอุดมคติ

สิ่งที่จะมาขัดขวางการต่อการนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้ในรถไฟฟ้า และ ระบบ hybrid คือ ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูง เนื่องจากต้นทุนของวัสดุแพงและปริมาณของแคดเมี่ยมที่มีอยู่จำกัดในซีกโลกตะวันตก

3.6.5 แบตเตอรี่อุณหภูมิสูง (HIGH – TEMPERATURE BATTERIES)

จะให้ความหนาแน่นพลังงานสูงที่สุด และมีทางเป็นไปได้ที่จะทำให้รถไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่นี้ขับได้ระยะทางไกลขึ้นต่อการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง โดยได้ระยะทางใกล้เคียงกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1 ถัง จากปัญหาติดขัดในการวิจัย และพัฒนาในสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น จึงยังไม่มีการนำมาใช้

3.6.6 แบตเตอรี่สังกะสีคลอรีน (ZINC – CLORINE BATTERY)

ประกอบด้วยสังกะสี-คลอรีน ประกอบด้วย สังกะสี อิเล็กโทรดคลอรีน และอิเล็กโทรไลต์จากสังกะสีคลอไรด์เหลว ในขณะทำการประจุ สารละลายสังกะสี-คลอไรด์ ในน้ำจะถูกปั๊มป้อนอยู่ภายในแบตเตอรี่ โลหะสังกะสีจะถูกพัดพาไปอยู่บนแผ่นโลหะ (อิเล็กโทรด) ก๊าซคลอรีนจะเกิดขึ้น และถูกนำไปด้วยอิเล็กโทรไลต์ ในขณะที่ทำการคายประจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะต้องไหลวนและสังกะสีจะเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วลบ เป็นอิออนสังกะสี ส่วนอิออนคลอรีน จะเกิดขึ้นที่ขั้วบวก ผลที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะทำให้เกิดซิงค์คลอไรด์ (Zinc Chloride) ซึ่งละลายอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ไหลวน ระบบการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อที่จะระบายความร้อนออกจากแบตเตอรี่ ขณะทำการประจุและเพิ่มความร้อนให้กับแบตเตอรี่ขณะทำการคายประจุ

3.6.7 แบตเตอรี่ไฮบริด (HYBRID BATTERY)

"Hybrid battery" ที่ใช้ในรถไฟฟ้า หมายถึงระบบแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบด้วยแบตเตอรี่ 2 ชนิดต่างกัน โดยทั่วไปแบตเตอรี่ชนิดแรกจะถูกออกแบบให้มีความหนาแน่นพลังงานสูง และอีกชนิดหนึ่งจะมีความหนาแน่นกำลังสูงที่สุด ในบางกรณีแบตเตอรี่ทั้งสองอาจเป็นชนิดเดียวกัน (เช่นตะกั่วกรดหรือ NaS) โดยที่แต่ละส่วนจะถูกออกแบบให้ทั้งความหนาแน่นพลังงาน และกำลังมีค่าสูงสุด

ความเป็นไปได้ที่จะมีการใช้ระบบนี้ ในรถไฟฟ้าทั้งหมด ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อไรจะมีการใช้เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ในส่วนของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.8 เซลล์เชื้อเพลิง (FUEL CELL)

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงได้ถูกนำไปใช้ในยานอวกาศ เนื่องจากให้ความเชื่อมั่นสูงไว้วางใจได้และอายุการใช้งานนาน เซลล์เชื้อเพลิงได้ถูกนำไปใช้ในระบบขับเคลื่อนขนาดใหญ่ กำลังสูง เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในรถไฟฟ้า มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ เซลล์เชื้อเพลิง Gas-air phosphoric เซลล์เชื้อเพลิง Solid polymer electrolyte และเซลล์เชื้อเพลิง Alkine เซลล์เชื้อเพลิงหรือตัวแปลงผันพลังงานในแต่ละระบบคือไฮโดรเจน-ออกซิเจน เซลล์เชื้อเพลิงจะใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง และออกซิเจนเป็นตัวทำออกซิไดซ์ ไฮโดรเจนจะได้จากเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนหลายๆชนิด เชื้อเพลิงที่ถูกนำมาพิจารณามากที่สุดโดยผู้วิจัย คือ เมทานอล ซึ่งได้จากถ่านหิน

3.7 ส่วนประกอบต่างๆของแบตเตอรี่

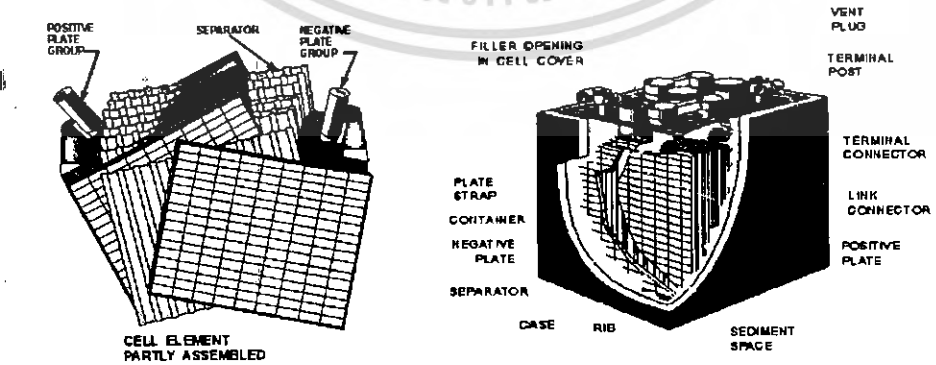
บนปากหม้อแบตเตอรี่จะมีฝาปิดช่องน้ำกลั่นและน้ำกรดร่วมกัน โดยเฉพาะน้ำกรดนี้ มีข้อห้ามมิให้เติมน้ำกรดล้วนๆลงในแบตเตอรี่ เมื่อปรากฏว่า น้ำกรดในแบตเตอรี่แห้งจะเติมได้ในครั้งแรกที่เริ่มใช้ในครั้งแรกเท่านั้น และน้ำกรดผสมกับน้ำกลั่นในหม้อ จะต้องสูงกว่าระดับแผ่นธาตุประมาณ 3/8 นิ้ว-1/2 นิ้ว

บนปากหม้อแบตเตอรี่นอกจากจะมีฝาปิดเปิดเติมน้ำกลั่นแล้วจะมีขั้วต่อสายไฟสำหรับติดต่อวงจรภายนอกอยู่ 2 ขั้ว คือขั้วบวกและขั้วลบ ที่สังเกตได้ง่ายว่าขั้วใดเป็นขั้วบวก ขั้วใดเป็นขั้วลบดังนี้

- ขั้วบวกจะมีเครื่องหมายบวก (+) หรือตัวอักษร P (Positive) หรือจะมีสีแดงคาดไว้
- ขั้วลบจะมีเครื่องหมายลบ (-) หรือตัวอักษร N (Negative) หรือจะมีสีเทาคาดเอาไว้

ทั้งนี้สุดแต่ผู้ผลิตจะทำเครื่องหมายขึ้น แต่บางกรณีก็สามารถใช้หลักการพิสูจน์ได้ว่าขั้วใดเป็นขั้วบวกหรือขั้วลบ โดยใช้เส้นลวดหรือทองแดงผูกปลายขั้วทั้งสองข้างและเส้นจุ่มลงในน้ำ ปลายขั้วลบจะปรากฏเป็นฟองแก๊สผุดขึ้น

ปฏิกิริยาทางเคมีจะเสื่อมหรือสิ้นสุดลง ขึ้นอยู่กับการใช้งานด้วยคือ ถ้าใช้งานมากก็จะหมดพลังงานเร็วถ้าใช้งานน้อยก็จะใช้ได้นาน การเปิดไฟทิ้งไว้นานๆก็อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมลงเร็ว แต่แบตเตอรี่เมื่อหมดกระแสไฟสามารถประจุไฟใหม่ได้



รูปที่ 3-28 ส่วนประกอบต่างๆของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การประจุไฟเข้าหม้อแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ต้องทำการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าไปใหม่ หรือเรียกว่าการอัดแบตเตอรี่นั้น ในระหว่างที่การประจุจะได้รับกระแสในทิศทางตรงข้ามกับการไหลของกระแสขณะใช้งาน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปใหม่ หรือทำให้แบตเตอรี่กลับสภาพในทางเคมีดังกล่าวและพร้อมที่จะใช้งานต่อไปได้

การประจุหม้อแบตเตอรี่ ควรใช้เวลาประมาณ 1 วัน แต่ก็มีเครื่องประจุบางชนิดที่สามารถประจุได้เร็วมาก โดยใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมงเท่านั้น การประจุชนิดนี้อาจมีผลดีสำหรับผู้รู้จักใช้ คือใช้ให้ถูกตามวิธี

วิธีการประจุมี 3 วิธี คือ

3.8.1 การประจุแบบช้า (Slow charging) ใช้กระแสไฟฟ้า 5 – 7 A ผ่านเข้าแบตเตอรี่ประมาณ 14 – 16 ชั่วโมง วิธีนี้จะเหมาะสมกว่าการประจุแบบเร็วเพราะจะทำให้แบตเตอรี่คงทนกว่า

3.8.2 การประจุแบบเร็ว (Fast charging) ใช้กระแสมาก (50 – 60 A) ผ่านเข้าแบตเตอรี่ในระยะเวลาอันสั้น ประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง

3.8.3 การประจุแบบใช้กระแสน้อย (Trickle charging) ใช้กระแสน้อย (ประมาณ 1 A) ประจุในเวลานานๆ โดยปกติระหว่างการใช้งานแบตเตอรี่นั้น น้ำกรดกำมะถันในแบตเตอรี่จะรวมเข้ากับแผ่นตะกั่วธาตุ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเป็นตะกั่วซัลเฟต แต่ในระหว่างการประจุกรดกำมะถันในแบตเตอรี่จะกลายสภาพเป็นกรดใหม่และเป็น Electrolyte ต่อไปตามเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุม

4.1 การทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์

มอเตอร์ที่นำมาใช้ไม่ได้บอกความเร็วรอบไว้ ดังนั้นเราจึงทำการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้เครื่องตรวจวัดความเร็วรอบ ทดสอบหาความเร็วรอบในขณะที่ไม่มีโหลดมากระทำ ได้ผลการทดสอบดังตาราง

ครั้งที่	ความเร็วรอบ (rpm)
1	1690
2	1710
3	1712
ความเร็วรอบเฉลี่ย	1704

ตารางที่ 4-1 ทดสอบหาความเร็วรอบของมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีโหลดมากระทำ

รูปที่ 4-1 เครื่องตรวจวัดความเร็วรอบ

รูปที่ 4-2 การทดสอบรอบของมอเตอร์แบบไม่มีโหลดมากระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

4.2.1ชุดทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

รูปที่ 4-3 ชุดทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

มีส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังนี้

- แท่นติดตั้งลูกกลิ้งรองรับการหมุนของล้อ
- แท่นติดตั้งในส่วนของการถ่วงน้ำหนัก
- สายพาน
- ตาชั่งสปริง
- ถุงน้ำหนักถ่วง

4.2.2 วิธีการทดสอบ

- วัดขนาดรัศมีของพูเล่ย์ ซึ่งมีขนาด 6.5 เซนติเมตร
- นำล้อหน้าของจักรยานไฟฟ้าที่มีการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าแบบดุม ขึ้นแท่นที่ติดตั้งลูกกลิ้ง
- ถ่วงน้ำหนักที่น้ำหนักต่างๆ ดังนี้ 1, 1.5, 2. 2.5, 3 และ 3.5 กิโลกรัม ทำการบิดคันเร่งสูงสุด
- อ่านค่าน้ำหนักบนตาชั่งสปริงและอ่านค่าความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่แขวนน้ำหนักไว้ พร้อมทั้งอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์
- ทำการบันทึกผล เพื่อคำนวณหาทอร์ก กำลังที่จ่าย กำลังที่ได้ และประสิทธิภาพของมอเตอร์

รูปที่ 4-4 โวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3การคำนวณ

$$P_{input} = IV \quad (12)$$

$$P_{output} = T\omega \quad (13)$$

$$T = (W_1 - W_2)g \times r \quad (14)$$

$$\eta_{motor} = P_{output} / P_{input}\ \eta_{tester} \quad (15)$$

เมื่อ P_{input} คือ กำลังที่ให้

P_{output} คือ กำลังที่ได้

I คือ กระแสที่จ่าย

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

T คือ ทอร์กของมอเตอร์

ω คือ ความเร็วรอบของพูเล่ย์

W_1 คือ น้ำหนักที่ถ่วง

W_2 คือ น้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

r คือ รัศมีของพูเล่ย์

η_{motor} คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์

η_{tester} คือ ประสิทธิภาพของชุดทดสอบ(80%)

4.2.4ผลการทดสอบ

ที่น้ำหนักถ่วง 1 กิโลกรัม

อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ได้ 19 โวลต์ และค่าน้ำหนักบนตาชั่งสปริงได้ 0.3 กิโลกรัม

ครั้งที่	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ (rpm)
1	1021
2	1040
3	1060
ความเร็วรอบเฉลี่ยของพูเล่ย์	1040.33

ตารางที่ 4-2 ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 1 กิโลกรัม

$$P_{input} = 7.5 \times 19$$

$$= 142.5\ W$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T = (1- 0.3)9.81 \times 0.065$

$= 0.45$ N.m

$P_{output} = 0.45 \times [(2\pi \times 1040.33) / 60]$

$= 49.02$ W

$\eta_{motor} = 49.02 / (142.5 \times 0.8)$

$= 43\ \%$

ที่น้ำหนักถ่วง 1.5 กิโลกรัม

อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ได้ 19 โวลต์ และค่าน้ำหนักบนตาชั่งสปริงได้ 0.4 กิโลกรัม

ครั้งที่	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ (rpm)
1	980
2	982
3	976
ความเร็วรอบเฉลี่ยของพูเล่ย์	976.33

ตารางที่ 4-3 ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 1.5 กิโลกรัม

$P_{input} = 7.5 \times 19$

$= 142.5$ W

$T = (1.5- 0.4)9.81 \times 0.065$

$= 0.7$ N.m

$P_{output} = 0.7 \times [(2\pi \times 976.33) / 60]$

$= 71.57$ W

$\eta_{motor} = 71.57 / (142.5 \times 0.8)$

$= 62.78\ \%$

ที่น้ำหนักถ่วง 2 กิโลกรัม

อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ได้ 19 โวลต์ และค่าน้ำหนักบนตาชั่งสปริงได้ 0.4 กิโลกรัม

ครั้งที่	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ (rpm)
1	800
2	798
3	789
ความเร็วรอบเฉลี่ยของพูเล่ย์	795.67

ตารางที่ 4-4 ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 2 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{input} = 7.5 x 19

= 142.5 W

T = (2 - 0.4)9.81 x 0.065

= 1.02 N.m

P_{output} = 1.02 × [(2π × 795.67) / 60]

= 84.99 W

η_{motor} = 84.99 / (142.5× 0.8)

= 74.55 %

ที่น้ำหนักถ่วง 2.5 กิโลกรัม

อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ได้ 19 โวลต์ และค่าน้ำหนักบนตาชั่งสปริงได้ 0.4 กิโลกรัม

ครั้งที่	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ (rpm)
1	640
2	650
3	650
ความเร็วรอบเฉลี่ยของพูเล่ย์	646.67

ตารางที่ 4-5 ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 2.5 กิโลกรัม

P_{input} = 7.5 x 19

= 142.5 W

T = (2.5 - 0.4)9.81 x 0.065

= 1.34 N.m

P_{output} = 1.34 × [(2π × 646.67) / 60]

= 90.74 W

η_{motor} = 90.74 / (142.5× 0.8)

= 79.6 %

ที่น้ำหนักถ่วง 3 กิโลกรัม

อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ได้ 19 โวลต์ และค่าน้ำหนักบนตาชั่งสปริงได้ 0.8 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ (rpm)
1	530
2	540
3	520
ความเร็วรอบเฉลี่ยของพูเล่ย์	530

ตารางที่ 4-6 ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 3 กิโลกรัม

P_{input} = 7.5 x 19

= 142.5 W

T = (3 - 0.8)9.81 x 0.065

= 1.4 N.m

P_{output} = $1.4 \times [(2\pi \times 530) / 60]$

= 77.7 W

η_{motor} = 77.7 / (142.5× 0.8)

= 68.16 %

ที่น้ำหนักถ่วง 3.5 กิโลกรัม

อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ได้ 19 โวลต์ และค่าน้ำหนักบนตาชั่งสปริงได้ 0.8 กิโลกรัม

ครั้งที่	ความเร็วรอบของพูเล่ย์ (rpm)
1	320
2	280
3	300
ความเร็วรอบเฉลี่ยของพูเล่ย์	300

ตารางที่ 4-7 ความเร็วรอบของพูเล่ย์ที่น้ำหนักถ่วง 3.5 กิโลกรัม

P_{input} = 7.5 x 19

= 142.5 W

T = (3.5 - 0.8)9.81 x 0.065

= 1.72 N.m

P_{output} = $1.72 \times [(2\pi \times 300) / 60]$

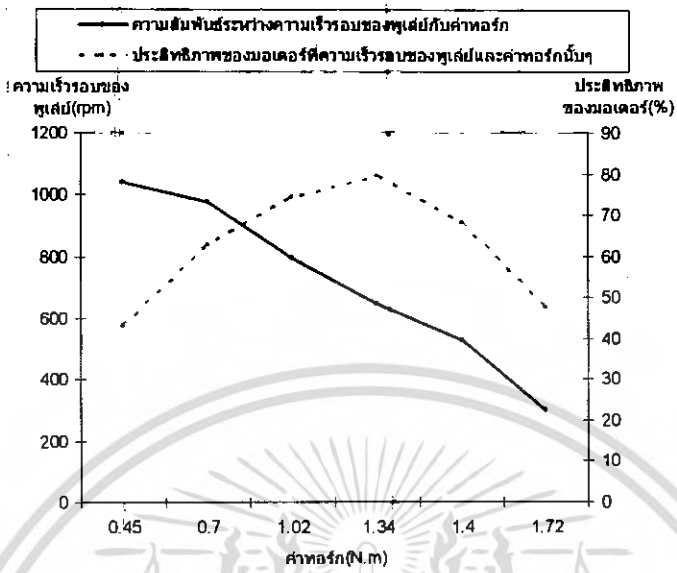
= 54.03 W

η_{motor} = 54.03 / (142.5× 0.8)

= 47.39 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 สรุปการทดสอบการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์



รูปที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเร็วรอบของพูเล่ย์ ค่าทอร์ก และประสิทธิภาพของมอเตอร์

จากรูปที่ 4-5 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุมที่ถูกเลือกใช้ในโครงงานนี้ มีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 80 % ที่ค่าทอร์กเท่ากับ 1.34 N.m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
รูปร่างและส่วนประกอบที่สำคัญ

5.1 โครงจักยาน

จักรยานไฟฟ้าที่ได้มีการจัดสร้างขึ้นนี้ได้ใช้ตัวโครงจักรยานเก่าที่มีอยู่แล้ว นำมาซ่อมแซมและดัดแปลงให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถรับน้ำหนักผู้ขับขี่และอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปได้เป็นอย่างดี โดยดัดแปลงต่อเติมในส่วนขาตะเกียบด้านหน้า โดยการเชื่อมตัวแกนที่ติดขาตะเกียบเข้าไปใหม่ เพื่อให้มีขนาดกว้างมากพอที่จะสามารถติดตั้งมอเตอร์แบบดุมได้ ซึ่งมีลักษณะดังรูป

รูปที่ 5-1 ขาตะเกียบด้านหน้าที่ถูกดัดแปลง

5.2 มอเตอร์แบบดุม (Hub motor)

มอเตอร์แบบดุมเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งสามารถขับเคลื่อนล้อได้โดยตรงจากบริเวณดุมของล้อ โดยจุดประสงค์หลักของการออกแบบก็เพื่อที่ไม่ต้องใช้ระบบสายพานในการขับเคลื่อน อีกทั้งยังเพิ่มประสิทธิภาพในระบบขับเคลื่อนอีกด้วย ถึงแม้กระนั้น มอเตอร์ไฟฟ้าก็จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อมีการหมุนในรอบสูง ๆ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกส่งไปยังขดลวดภายใน ทำให้ส่วนที่อยู่ภายนอกหมุนตาม โดยที่แกนหมุนจะถูกยึดติดไว้กับขาตะเกียบ

รูปที่ 5-2 มอเตอร์แบบดุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์แบบคุมเป็นมอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน(Brushless DC electric motor, BLDC) ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งรูปร่างลักษณะโดยทั่วไปแล้วอาจจะคล้าย ๆ กับดีซีมอเตอร์ทั่วไป ซึ่งบางครั้งความแตกต่างก็สามารถอธิบายได้จาก ระบบการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้า ที่มอเตอร์แบบคุมจะถูกควบคุมโดยระบบอิเลคทรอนิคส์ แทนที่จะใช้การเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าแบบเชิงกล แต่นี่คือการเข้าใจผิด แท้จริงแล้วในทางฟิสิกส์มอเตอร์ทั้งสองแบบแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง

ใน ดีซีมอเตอร์แปรงถ่านทำกระบวนการทางกลซึ่งทำให้หน้าสัมผัสทางไฟฟ้าที่อยู่บนส่วนที่หมุน (เรียกว่าคอมมิวเตเตอร์) ซึ่งสร้างวงจรทางไฟฟ้าระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าดีซี กับขดลวดอาร์มาเจอร์ ซึ่งขดลวด อาร์มาเจอร์จะหมุนตามแนวแกน แปรงถ่านจะมีส่วนที่สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ที่หมุนอยู่ซึ่งทำให้เกิดพลังงานทางไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง สู่ขดลวดอาร์มาเจอร์

ในมอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน แม่เหล็กไฟฟ้าไม่ได้เคลื่อนไหว ในทางตรงกันข้าม แม่เหล็กถาวรจะหมุน และอาร์มาเจอร์ อยู่ในสภาพสถิต โดยการกระทำที่ว่านี้ แปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์ จะถูกแทนที่ด้วยกล่องควบคุมทางไฟฟ้า ซึ่งกล่องควบคุมทำหน้าที่กระจายพลังงานเหมือนในมอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน แต่ใช้ solid state circuit แทนที่จะใช้ระบบคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่าน

มอเตอร์แบบคุมจะมีขดลวด 3 เฟส (3 power supply wires) แต่ละเฟสจะทำงานต่อเนื่องกันกับส่วนอื่น ๆ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "PWMC (pulse width modulation controller)" ซึ่งภายในมอเตอร์จะประกอบไปด้วยแม่เหล็กติดอยู่โดยรอบของเส้นรอบวง ใกล้กับจุดศูนย์กลางของภายในมอเตอร์จะมีขดลวด (wire coils) ซึ่งจะมีขดลวดอยู่ในทั้ง 3 เฟส เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าถูกส่งเข้าไปยังมอเตอร์ จากกล่องควบคุม ขดลวดจะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพลังสูงซึ่งจะมีผลกับแม่เหล็กที่ติดอยู่โดยภายในรอบ ทำให้มอเตอร์ทำงาน (หมุน)

รูปที่ 5-3 ลักษณะภายในมอเตอร์แบบคุมด้านสายไฟเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-4 ลักษณะภายในมอเตอร์แบบดุมด้านตรงข้ามสายไฟเข้า

มอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน ให้คุณประโยชน์มากกว่าดีซีมอเตอร์ทั่วไปทั้งในเรื่องประสิทธิภาพที่มากกว่าและความน่าเชื่อถือได้ ลดปัญหามลภาวะทางเสียง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน(ไม่มีการสึกหรอของแปรงถ่าน) ไม่มีการทำลายการจุดประจุจากคอมมิวเตเตอร์ และการลดลงของการแทรกแซงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electro magnetic interference, EMI) อีกทั้งพลังงานสูงสุดซึ่งสามารถให้กับมอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน ได้นั้นก็ค่อนข้างสูง ส่วนมากจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความร้อนซึ่งสามารถทำลายสภาพแม่เหล็กได้ ข้อเสียของมอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน จริง ๆ แล้วก็คือ ในด้านของราคาที่ค่อนข้างจะสูง ซึ่งสาเหตุราคาที่สูงนั้นเพิ่มขึ้นตามเงื่อนไข 2 ประการอันได้แก่ ประการแรก มอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่านต้องการส่วนควบคุมความเร็วทางอิเลคทรอนิคส์ที่มีความซับซ้อน เพื่อที่จะสามารถวิ่งได้ แต่ในมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านสามารถปรับได้โดยใช้ ตัวต้านทานปรับค่าได้ (potentio meter หรือ rheostat) ซึ่งโดยรวมแล้วมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำแต่ก็น่าพอใจในระดับหนึ่ง สมกับราคาที่ไม่ค่อยแพงนัก ประการต่อมา ก็คือการใช้ประโยชน์ในตอนนี้ของ มอเตอร์แบบที่ไม่มีแปรงถ่าน ยังไม่ได้คำนึงถึงส่วนของการค้ามากนัก

จากการพิจารณามอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่านแล้วนั้น เห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพที่มากกว่ามอเตอร์ที่มีแปรงถ่าน นั่นหมายความว่า เมื่อใส่กำลัง (input power) ที่เท่ากัน มอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน จะแปลงพลังงานทางไฟฟ้าไปเป็นพลังงานทางกลได้มากกว่ามอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน โดยประสิทธิภาพมีค่าค่อนข้างสูงมาก ในสภาพที่ โหลดน้อย ๆ หรือที่ไม่มีโหลดเลย ใต้กราฟประสิทธิภาพของมอเตอร์ แต่ในสภาพที่โหลดสูง ๆ พบว่า มอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน กับ มอเตอร์คุณภาพสูง ๆ ที่มีแปรงถ่าน มีค่าประสิทธิภาพพอ ๆ กัน

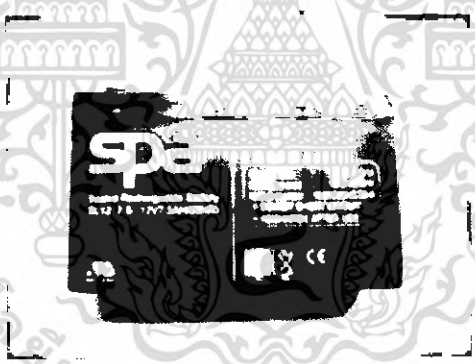
มอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน สามารถทดแทนในส่วนงานของมอเตอร์ที่มีแปรงถ่านได้ แต่เนื่องด้วยราคาจึงต้องพิจารณาการใช้ให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการนำมอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน ไปใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น เช่น ใช้ในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ อย่าง hard drives , CD/DVD players , PC cooling fans มอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่านแบบความเร็วต่ำ (low speed) ใช้ใน direct drive turn tables ส่วนมอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่านแบบความเร็วสูง (high speed) พบในพาหนะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและ โรงงานบางประเภท Honda civic hybrid car ก็ใช้มอเตอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน เป็นตัวขับเคลื่อน เมื่อต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า แถมยังใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันมอเตอร์แบบคุมส่วนมากจะผลิตในประเทศจีน แต่ตัวมอเตอร์แบบคุมเองก็มิใช่แนวความคิดใหม่แต่อย่างใด ในปี 1902 Ferdinand Porsche อายุ 27 ปี ซึ่งทำงานให้กับ บริษัท Lohner ได้พัฒนา มอเตอร์แบบตุมซึ่งวิ่งได้โดยใช้พลังงานจาก Lead acid battery และต่อมาได้พัฒนา เครื่องบรรจุไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเพื่อที่จะนำมาบรรจุไฟให้กับแบตเตอรี่ใหม่ได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นพาหนะแบบไฮบริด (hybrid) ในยุคแรก ๆ

5.3 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก (Sealed lead acid battery – SLA battery)

โดยในส่วนของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันภาวการณ์เกิดแก๊สในขณะบรรจุไฟ และป้องกันการหายไปของน้ำกลั่นด้วยระบบที่ปิดผนึก แต่แบตเตอรี่ประเภทนี้จะไม่สามารถบรรจุไฟได้เต็ม และเมื่อเวลาผ่านไปก็จะมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ลดลง ในปัจจุบันมีแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก อยู่ 2 ประเภท คือ Sealed lead acid (SLA) และ Valve regulated lead acid (VRLA) ในทางเทคนิคแล้วทั้ง 2 ชนิดนั้นเหมือนกัน SLA battery สามารถมีความจุอยู่ในช่วง 0.2 Ah – 30 Ah ส่วน VRLA battery ใช้ในอุปกรณ์สำรองไฟฟ้าที่ต้องการใช้ไฟขนาดใหญ่ ๆ ซึ่งจริง ๆ แล้ว SLA battery ต้องใช้เวลาในการบรรจุไฟใหม่ประมาณ 20ชั่วโมง เห็นได้ว่าเป็นระยะเวลาที่นานมาก ๆ แต่ไฟที่บรรจุได้ก็ไม่ถึง 100% ส่วนมากแล้วเครื่องบรรจุไฟที่มีขายทั่วไปจะใช้เวลาบรรจุไฟประมาณ 4 – 6 ชั่วโมง และบรรจุไฟได้ประมาณ 80 – 90 %



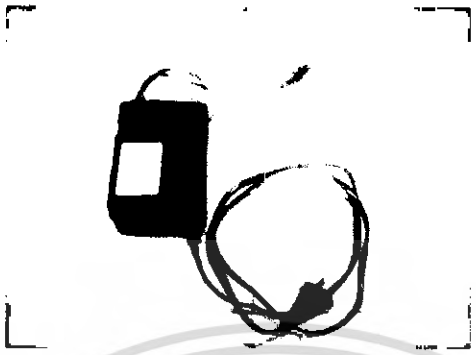
รูปที่ 5-5 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก

ในโครงงานนี้ได้ใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก ขนาด 12 โวลต์ 7.5 แอมแปร์ 2 ก้อน นำมาต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันไฟ 24 โวลต์ตามต้องการ

รูปที่ 5-6 แบตเตอรี่ 2 ก้อนต่อแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเครื่องชาร์จ เป็นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จไฟแบตเตอรี่ทั้งแบบน้ำและแห้ง ได้ทั้ง 6 โวลต์ และ 12 โวลต์ ชาร์จแบตเตอรี่ขนาดเล็ก 4-7 แอมแปร์ และขนาดใหญ่ 9-12 แอมแปร์



รูปที่ 5-7 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่

5.4 กล่องควบคุม

กล่องควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟไปยังอุปกรณ์ส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะถูกใช้ควบคู่กับมอเตอร์แบบคุม ซึ่งมอเตอร์แบบคุมเป็นมอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน กล่องควบคุมจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าแทนแปรงถ่านและคอมมิวเตเตอร์

รูปที่ 5-8 กล่องควบคุม

วิธีการเลือกกล่องควบคุมให้เหมาะสม

$$P = I \times V$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า

I คือ กระแสไฟฟ้า

V คือ แรงดันไฟฟ้า

ในโครงงานเราใช้แบตเตอรี่ 24 โวลต์ 7.5 แอมแปร์ จะได้

$$P = 24 \times 7.5 = 180 \text{ W}$$

เราต้องเลือกกล่องควบคุม 24 โวลต์ 500 วัตต์ เพราะไม่มีกล่องควบคุม 24 โวลต์ 180 วัตต์ ไม่มีให้เลือกซื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 คันเร่ง

ใช้สำหรับปรับความเร็วตามต้องการ โดยสายไฟจากคันเร่งจะถูกต่อเข้ากับกล่องควบคุม

รูปที่ 5-9 คันเร่ง

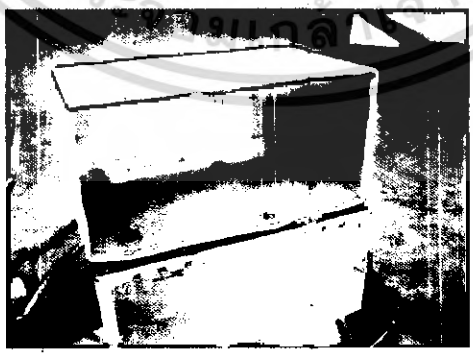
5.6 กุญแจปิด-เปิด

เป็นกุญแจที่ใช้สำหรับเปิด-ปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบ

รูปที่ 5-10 กุญแจเปิด-ปิด

5.7 กล่องใส่อุปกรณ์

ทำจากแผ่นอลูมิเนียม มีฝาเปิดด้านข้าง สำหรับใส่กล่องควบคุม และแบตเตอรี่



รูปที่ 5-11 กล่องใส่อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 เครื่องจีพีเอส

GPS (Global Positioning System) เป็นระบบเดียวในปัจจุบัน ที่สามารถ แสดงตำแหน่งที่อยู่ ที่แน่นอนว่าอยู่ ณ. ตำแหน่งใด บนพื้นโลกได้ทุกเวลา ทุกสภาพอากาศ ระบบนี้มีดาวเทียม 24 ดวง หมุนอยู่รอบโลก อยู่สูงขึ้นไป 11,000 nautical miles หรือประมาณ 20,200 km จากพื้นโลก ดาวเทียมหมุนรอบโลก แบ่งเป็น 6 ระนาบ ระนาบละ 4 ดวง โดยทำมุมเอียง 55 องศา ดาวเทียมทั้งหมดจะได้รับการควบคุมดูแล จากสถานีภาคพื้นดินทั่วโลกตลอดเวลา

เรา สามารถ แบ่งระบบ GPS ออกเป็น ส่วนๆดังนี้.

- SPACE SEGMENT
- USER SEGMENT
- CONTROL SEGMENT

รูปที่ 5-12 เครื่องจีพีเอส

5.8.1 SPACE SEGMENT ส่วนของอวกาศ ประกอบไปด้วยเครือข่ายของดาวเทียม ระบบ GPS ทั้งระบบ ประกอบด้วย ดาวเทียม 24 ดวง โคจรรอบโลก ที่ระยะ 11,000 ไมล์อากาศ จากพื้น โลก ใช้เวลา 12 ช.ม ในการโคจรรอบโลกหนึ่งรอบ ดาวเทียมโคจรรอบโลก แบ่งเป็น 6 ระนาบ และ ทำมุมเอียง 55 องศา การวางวงโคจรเช่นนี้ทำให้ เราสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียม ได้คราวละถึง 6 ดวง ดาวเทียมติดตั้งนาฬิกาที่เที่ยงตรงมากๆ ถึง 3 nanoseconds (ความเที่ยงตรง 0.000000003 ของวินาที หรือ 3e-9) ความเที่ยงตรงมีความสำคัญมาก สำหรับเครื่องรับ เพราะเครื่องรับจำเป็นต้องทราบเวลา ที่เที่ยงตรงแน่นอน ว่าระยะเวลาเท่าไร ที่สัญญาณคลื่นจากดาวเทียมเดินทาง ถึงเครื่องรับ ดาวเทียมแต่ละดวง มีเชื้อเพลิง และเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถที่จะ ปรับแต่งดาวเทียม ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ในวงโคจร ถ้าดาวเทียมเกิดเคลื่อนออกจาก ตำแหน่ง ที่กำหนดดาวเทียม แต่ละดวงมีนาฬิกา atomic clocks 4 อัน นาฬิกานี้มีความเที่ยงตรงถึงหนึ่งในหนึ่งพันล้าน ของวินาที หรือ nanosecond .ดาวเทียม แต่ละดวง จะส่งคลื่นสัญญาณออกมาสองคลื่นสัญญาณ หนึ่งคลื่นสำหรับการทหาร และอีกคลื่นหนึ่งสำหรับพลเรือน

คุณลักษณะ บางอย่างของดาวเทียม

- น้ำหนัก 930 kg. (ในวงโคจร)
- ขนาด 5.1 m.
- ความเร็ว ใน การโคจร 4 km/sec

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัญญาณที่ส่ง 1575.42 MHz และ 1227.60 MHz
- เครื่องรับ สัญญาณ 1783.74 MHz
- นาฬิกา 2 Cesium และ 2 Rubidium
- อายุ การ ใช้งาน 7.5 ปี (model BlockIIR 10 ปี)

5.8.2. USER SEGMENT เมื่อนักบิน บิน , เครื่องรับ GPS จะคำนวณตำแหน่งปัจจุบันอยู่ตลอดเวลา และ แสดง ตำแหน่ง และทิศทางที่ถูกต้อง ระบบ GPS จะฟังสัญญาณจากดาวเทียม และ วัดระยะเวลาจากเครื่องส่งสัญญาณ จากดาวเทียม กับเครื่องรับสัญญาณ (รู้เวลา ก็สามารถ รู้ ระยะทาง) และโดยวิธีการของ สามเหลี่ยม หรือ ตรีโกณ ระหว่างดาวเทียมหลายดวง ที่ได้รับระบบ เครื่องรับของดาวเทียม จะคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ เครื่องรับเอง ก็ต้องได้รับ สัญญาณ จากดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวง (ก็คือ รู้ระยะทางจากเครื่องรับ ถึงดาวเทียมสี่ดวง) ถึงจะคำนวณตำแหน่งลักษณะ ของ 3 มิติได้ (เครื่องรับสามารถคำนวณได้ ถึง แม้จะ ได้รับสัญญาณจากดาวเทียม เพียงสามดวง แต่คำนวณได้เพียงสองมิติ นอกจากจะรู้ ความสูง) ไม่เพียงแต่รู้ตำแหน่ง ของเส้นรุ้ง และ เส้น แวง เท่านั้น ยังรู้ ระยะ ความ สูงด้วย มันมีหลายรูปแบบ ที่แสดงบนหน้าจอ ซึ่งแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ไม่ต้องปรับ หรือจูนหาคลื่น เพราะว่าความถี่ของดาวเทียมนั้น เครื่องรับได้ทราบแล้ว

5.8.3 CONTROL SEGMENT ส่วน ควบคุมดาวเทียมประกอบด้วย:

- Master Control Station : สถานีควบคุมแม่ข่ายมีอยู่ 1 สถานี ทำหน้าที่รับผิดชอบ ในการจัดการทั่วไป และบริการสถานีลูกข่าย เป็น ศูนย์กลางที่ให้การสนับสนุนการทำงาน เครื่อง แม่ข่าย จะคำนวณตำแหน่ง และ นาฬิกาดูความคลาดเคลื่อน ของดาวเทียมแต่ละดวง จากสถานีลูกข่ายภาคพื้น และ สั่งคำสั่งแก้ไข กลับไปยังสถานีลูกข่าย เพื่อส่งไปยังดาวเทียมดวงนั้นๆ
- Monitor Stations : สถานีควบคุมลูกข่าย มีอยู่ 4 สถานี จะทำการตรวจสอบ ความสูง , ตำแหน่ง , ความเร็ว, และวงจร ทั่วไปของดาวเทียม สถานีควบคุมนี้ ตรวจสอบดาวเทียม ได้ ครั้งละ 11 ดวง การตรวจสอบนี้ แต่ละสถานีกระทำวันละ 2 ครั้ง เมื่อดาวเทียมโคจรรอบโลก

หลักพื้นฐานของระบบ GPS คือ วัดระยะทางระหว่าง เครื่องรับในอากาศยาน กับดาวเทียมต่างๆ ในระบบ ดาวเทียมเอง ก็บอกแล้วว่าอยู่ที่ใดตำแหน่งใด ในวงโคจรรอบโลก เครื่องรับรู้ระยะทางแน่ๆ จากดาวเทียม และรู้ระยะทาง ระหว่างดาวเทียม เครื่องรับ GPS มีระบบ computer ที่ สามารถใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ สามารถที่จะคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับที่แน่นอน

ในโครงงานนี้เราใช้เครื่องGPS ในการหาอัตราเร็วสูงสุดและอัตราเร็วเฉลี่ยของจักรยานไฟฟ้า รวมทั้งหาระยะทางและเวลาที่วิ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่1 ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่2 ออกแบบโครงจักรยาน

- วิเคราะห์โครงจักรยานที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยใช้ซอฟท์แวร์ในการออกแบบ

ขั้นตอนที่3 จัดหาอุปกรณ์และติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆลงบนจักรยาน

- ทำสีจักรยานใหม่ พร้อมทั้งซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดเสียหาย
- จัดหามอเตอร์แบบดุมตามขนาดที่คำนวณไว้
- ติดตั้งมอเตอร์ลงบนแกนล้อ ประกอบล้อหน้าและล้อหลังเข้ากับตัวโครงจักรยาน
- ทำกล่องบรรจุแบตเตอรี่ ที่มีความแข็งแรง และติดตั้งลงบนจุดที่มีความเหมาะสมลงตัว
- นำแบตเตอรี่แห้งมาต่อแบบอนุกรม
- ทำการติดตั้งกุญแจเปิด-ปิดมอเตอร์
- ติดตั้งเบรก ทั้งล้อหน้าและหลัง
- ประกอบชุดควบคุมลงบนจักรยาน แล้วติดตั้งสายไฟทั้งหมด
- จัดทำชุดทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์
- ทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

ขั้นตอนที่4 ทำการทดสอบและบันทึกผลเก็บข้อมูล

- ทดสอบหาความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้า กรณีใช้ไฟฟ้าและกรณีใช้แรงคน
- ทดสอบการขึ้นทางลาดชัน
- ทดสอบหาอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อระยะทาง และเวลา

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงแก้ไข

- ทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่ยังมีข้อผิดพลาด ให้ดียิ่งขึ้น
- ทำการทดสอบและบันทึกผลเก็บข้อมูลครั้งสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 6 จัดทำวิทยานิพนธ์

รูปที่ 6-1 ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆชั่วคราว
ลงบนจักรยานที่ยังไม่ได้รับการซ่อมแซม เพื่อทดสอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-2 ทดสอบการวิ่งของจักรยานไฟฟ้าที่ยังไม่ได้รับการซ่อมแซม

รูปที่ 6-3 การดัดแปลงขาตะเกียบ เพื่อติดตั้งมอเตอร์แบบคุม

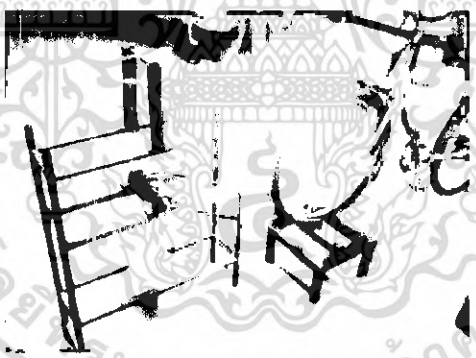
รูปที่ 6-4 จักรยานไฟฟ้าเมื่อเสร็จสมบูรณ์

รูปที่ 6-5 แสดงการติดตั้งคันเร่ง

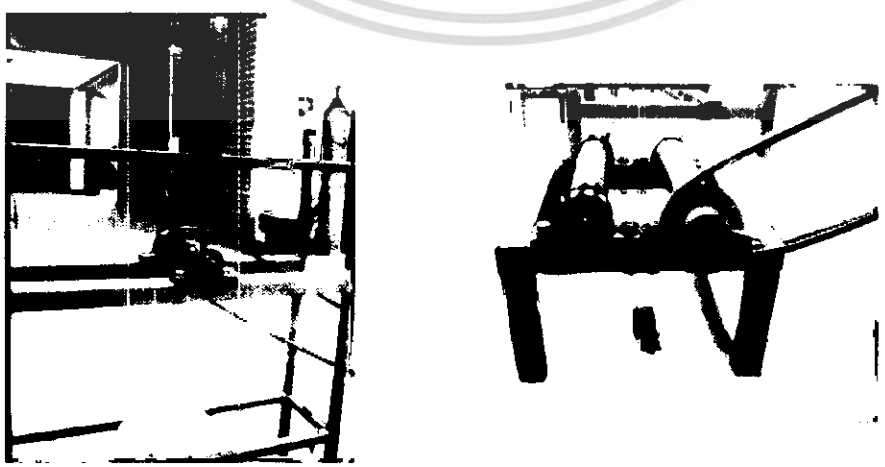
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-6 แสดงการติดหั้งกุญแจ

รูปที่ 6-7 แสดงการเก็บแบตเตอรี่และกล่องควบคุม



รูปที่ 6-8 การทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์



รูปที่ 6-9 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องทดสอบหาประสิทธิภาพมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดสอบและผลการทดสอบ

7.1 ทดสอบหาความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้า กรณีใช้ไฟฟ้า

เพื่อทราบถึงความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้าที่วิ่งได้จริงบนทางราบ ณ น้ำหนักคนที่นั่งต่างๆกัน ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้า

7.1.1 ผลการทดสอบ

น้ำหนัก(กิโลกรัม)	ความเร็ว(km/h)
55	22.8
65	21.3
75	20.4

ตารางที่ 7-1 ความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้า
ที่วิ่งได้จริงบนทางราบ ณ น้ำหนักคนที่นั่งต่างๆกัน

รูปที่ 7-1 แสดงการวิ่งบนทางราบที่น้ำหนักคน 55 กิโลกรัม

รูปที่ 7-2 แสดงการวิ่งบนทางราบที่น้ำหนักคน 65 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 7-3 แสดงการวิ่งบนทางราบที่น้ำหนักคน 75 กิโลกรัม

7.1.2 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดลองดังตารางที่ 7-1 สามารถจะสรุปได้ว่า น้ำหนักคนมีผลกระทบต่อความเร็วเป็นอย่างมาก คือถ้ายิ่งน้ำหนักของผู้ขับขี่ยิ่งมาก ยิ่งทำให้ความเร็วของจักรยานๆไฟฟ้าลดน้อยลง ดังนั้นน้ำหนักที่เหมาะสมกับจักรยานไฟฟ้าควรอยู่ระหว่าง 60 – 70 กิโลกรัม

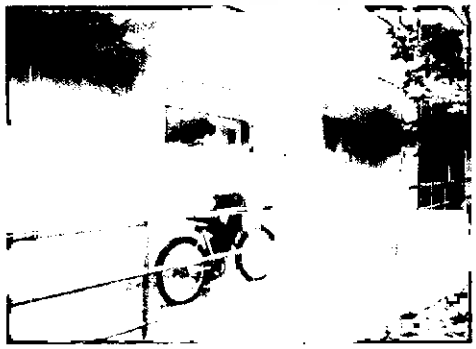
7.2 ทดสอบการขึ้นทางลาดชัน

โดยปกติแล้วการปั่นจักรยานขึ้นทางชันนั้นจะค่อนข้างลำบากเพราะต้องใช้แรงปั่นเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการทดสอบนี้จึงมีขึ้นเพื่อที่จะดูว่าทางลาดชันประมาณเท่าใดที่จักรยานไฟฟ้าสามารถขึ้นได้ รวมถึงความเร็วที่ทำได้ในความชันนั้นๆ ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้า

7.2.1 ผลการทดสอบ

ความชัน(degree)	น้ำหนัก(kg)	ความเร็ว(km/h)
5	65	5.2

ตารางที่ 7-2 แสดงค่าความเร็วในการขึ้นทางชัน



รูปที่ 7-4 แสดงการทดสอบการวิ่งขึ้นทางชัน 5 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.2 สรุปผลการทดสอบ

โดยจากรูปที่ 7-4 ในการทดสอบนั้นได้เลือกทางชันบริเวณหน้าตึก CCA ซึ่งมีความชันที่วัดได้ประมาณ 5 องศา ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่คาดว่าจะสามารถขึ้นจากหยุดนิ่งได้ ส่วนทางชันที่ชันมากกว่านี้จะไม่สามารถเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งขึ้นทางชันได้ แต่ถ้าเคลื่อนที่มาด้วยความเร็วในระดับหนึ่งก็จะสามารถขึ้นทางชันที่มากกว่า 5 องศาได้เพราะมีแรงเฉื่อยที่ทำให้จักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ขึ้นทางชันได้

7.3 ทดสอบหาอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อระยะทางและเวลา

เพื่อให้ทราบว่ารถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ระยะทางและวิ่งได้นานประมาณเท่าไหร่ต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง ในกรณีที่ใช้ไฟฟ้า

7.3.1 ผลการทดสอบ

การทดสอบนี้ได้ใช้น้ำหนักคนเฉลี่ยที่ 65 กิโลกรัม ทำการทดสอบที่ความเร็ว 2 ระดับ ซึ่งใช้คันเร่งเป็นตัวกำหนดความเร็ว โดยบิดคันเร่งที่ 100% และ 75%

บิดคันเร่งที่ 100%

ระยะทาง(km)	ความเร็วสูงสุด(km/h)	ความเร็วเฉลี่ย(km/h)	วิ่งได้นาน(minute)
12.8	23.7	19.6	47.35

ตารางที่ 7-3 แสดงระยะทางและเวลาที่วิ่งได้โดยบิดคันเร่งที่ 100%

รูปที่ 7-5 แสดงการบิดคันเร่งที่ 100%

จำนวนยูนิต = กำลังไฟฟ้า x เวลาที่ใช้ในการชาร์จ (16)

= (I x V) x เวลาที่ใช้ในการชาร์จ

= [(7.5 x 24) / 1000] x 8

= 1.44 ยูนิต

ค่าไฟฟ้า = จำนวนยูนิต x ค่าไฟต่อหนึ่งยูนิต (17)

= 1.44 x 3

= 4.32 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าไฟฟ้าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร = ค่าไฟฟ้า / ระยะทาง (18)

= 4.32 / 12.8

= 0.3375 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร

บิดคันเร่งที่ 75%

ระยะทาง(km)	ความเร็วสูงสุด(km/h)	ความเร็วเฉลี่ย(km/h)	วิ่งได้นาน(minute)
20.8	19.3	14.2	112.31

ตารางที่ 7-4 แสดงระยะทางและเวลาที่วิ่งได้โดยบิดคันเร่งที่ 75%

รูปที่ 7-6 แสดงการบิดคันเร่งที่ 75 %

จำนวนยูนิต = กำลังไฟฟ้า x เวลาที่ใช้ในการชาร์จ

= (I x V) x เวลาที่ใช้ในการชาร์จ

= [(7.5 x 24) / 1000] x 8

= 1.44 ยูนิต

ค่าไฟฟ้า = จำนวนยูนิต x ค่าไฟต่อหนึ่งยูนิต

= 1.44 x 3

= 4.32 บาท

ค่าไฟฟ้าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร = ค่าไฟฟ้า / ระยะทาง

= 4.32 / 20.8

= 0.21 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร

7.3.2 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบในการเลือกใช้ความเร็วที่ต่างกันส่งผลให้ระยะทาง และเวลาที่วิ่งได้นั้นแตกต่างกันโดยเมื่อ ใช้ความเร็วสูงสุด จะได้ระยะทาง และเวลาที่วิ่งได้ น้อยกว่า การเลือกใช้ความเร็วที่ไม่สูงสุด เพราะ การวิ่งโดยใช้ความเร็วสูงสุดมีผลให้แรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลดลงเร็วกว่า และจากการคำนวณหาค่าใช้จ่ายต่อการชาร์ตในแต่ละครั้งนั้น พบว่าทั้งสองความเร็วเสียค่าใช้จ่ายเป็นเงิน 4.32 บาทต่อการชาร์ตหนึ่งครั้ง ส่วนค่าไฟฟ้าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตรนั้น การใช้ความเร็วสูงสุดจะเสียค่าใช้จ่าย 0.3375 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร ซึ่งมากกว่าการบิดคันเร่งที่ 75% โดยการบิดคันเร่งที่ 75% นั้นจะเสีย

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่าย 0.21 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร ดังนั้นการเลือกใช้ความเร็วที่น้อยกว่าจะสามารถวิ่งได้ระยะทางที่มากกว่า และเวลาที่ยาวนานกว่า ซึ่งส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า แต่ถึงอย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าเป็นส่วนต่างที่เล็กน้อยมาก และเป็นค่าใช้จ่ายที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานในรูปแบบอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปโครงงานและแนวทางการปรับปรุง

8.1 สรุปผลโครงงาน

จากการศึกษาปัญหาในการออกแบบการสร้าง และสถานการณ์ในการใช้งานรถจักรยานไฟฟ้าในปัจจุบัน พบว่าปัญหาส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ การเก็บพลังงานไฟฟ้า และ เครื่องต้นกำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในโครงงานนี้ คือแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก (Sealed Lead Acid battery) ซึ่งถือว่าเป็นแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพในการเก็บไฟฟ้าและประจุไฟฟ้าต่ำ แต่สำหรับแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นก็ยังมีราคาค่อนข้างสูง เช่น แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน ซึ่งในอนาคตคาดว่าจะมีการค้นคว้าและพัฒนาแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และราคาของแบตเตอรี่ก็จะถูกลงตามไปด้วย ในส่วนของเครื่องกลต้นกำลังที่เลือกใช้ คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคุมนั้น ยังมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป เพราะฐานการผลิตส่วนใหญ่อยู่ในต่างประเทศอีกทั้งยังมีการใช้อยู่ในวงแคบ นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักมาก แต่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคุมก็ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง อีกทั้งสามารถติดตั้งได้ง่ายกว่า เพราะไม่ต้องพึ่งพาระบบสายพาน และไม่เปลืองพื้นที่ในการติดตั้ง ซึ่งในอนาคตการสร้างจักรยานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคุมมาแทนที่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป

จักรยานไฟฟ้าที่ได้ทำการประกอบสร้างขึ้นละทำการทดสอบนั้น ประสิทธิภาพที่ได้ยังไม่เป็นที่น่าพอใจเท่าที่ควร ยังมีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขปรับปรุงอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากงบประมาณและเครื่องมือที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ จากผลการทดสอบพบว่า จักรยานไฟฟ้าสามารถทำความเร็วทดสอบสูงสุดที่น้ำหนัก 65 กิโลกรัมได้ที่ 21.3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง สามารถวิ่งได้ระยะทางประมาณ 12.8 กิโลเมตร หรือคิดเป็นเวลานาน 47.35 นาที สามารถวิ่งขึ้นเนินที่มีความชันสูงสุดจากหยุดนิ่งที่ 5 องศา ที่ความเร็ว 5.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ค่าใช้จ่ายในการโครงงานจักรยานไฟฟ้า

อุปกรณ์	ราคา(บาท)
Hub Motor	4250
Battery	780
กล่องควบคุมและคันเร่ง	1570
กุญแจ	100
สายไฟและอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์	120
ค่าซ่อมแซมและทำสี	425
เบ็ดเตล็ด	230
รวม	7475

ตารางที่ 8-1 ค่าใช้จ่ายในการโครงงานจักรยานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับจักรยานไฟฟ้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

	โครงงานจักรยานไฟฟ้า	VESTOR รุ่นVTB-009	LA รุ่น EX450
มอเตอร์	350 W	350 W	450 W
แบตเตอรี่	24 V / 7.5Ah	36 V / 12Ah	24 V / 12Ah
ความเร็ว	20 – 23 km/hr	30 – 40 km/hr	24 km/hr
ระยะทางที่วิ่งได้ต่อการบรรจุไฟ1ครั้ง	12.8 – 22.8 km	40 – 50 km	30 km
รองรับน้ำหนักได้	80 kg	N/A	100 kg
ราคา	7475	15000	15300

ตารางที่ 8-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับจักรยานไฟฟ้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาด

จากตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับจักรยานไฟฟ้าตัวอย่าง 2 ยี่ห้อที่มีขายอยู่ในท้องตลาดเห็นได้ชัดเจนว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในโครงงานจักรยานไฟฟ้าน้อยกว่าประมาณเท่าตัว การรองรับน้ำหนักที่รับได้ก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ส่วนในด้านความเร็วและระยะทางที่วิ่งได้ นั้นยังน้อยกว่าจักรยานไฟฟ้าตัวอย่าง 2 ยี่ห้อที่มีขายอยู่ในท้องตลาดทั้งนี้เนื่องจาก การเลือกใช้มอเตอร์และแบตเตอรี่เป็นสำคัญ

8.2 แนวทางการปรับปรุงและการพัฒนา

- จักรยานไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมาสามารถทำความเร็วได้มากกว่านี้ได้ เนื่องจากขนาดมอเตอร์ที่เลือกใช้มีแรงดันเพียง 24 โวลต์ หากต้องการทำความเร็วให้เพิ่มขึ้นก็สามารถเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังและแรงดันสูงกว่านี้ ซึ่งก็จะทำให้ราคาเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เพราะต้องใช้แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นและราคามอเตอร์ก็สูงขึ้น

- ขนาดน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ยังค่อนข้างมีน้ำหนักมากซึ่งส่งผลให้น้ำหนักจักรยานไฟฟ้ามีน้ำหนักมากตามไปด้วย ซึ่งถ้าสามารถเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบากว่านี้จะทำให้น้ำหนักของรจักรยานไฟฟ้าลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของรถดีขึ้น แต่ราคาของแบตเตอรี่ยังคงมีราคาที่สูงอยู่

- โครงสร้างของจักรยานนั้นมีน้ำหนักค่อนข้างมากเพราะทำจากเหล็กทั้งหมด ถ้าสามารถลดน้ำหนักของตัวโครงสร้างโดยเลือกใช้โครงที่สร้างจากอลูมิเนียมได้ก็จะสามารถทำให้จักรยานไฟฟ้ามีความเร็วเพิ่มขึ้น

-การเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีความดันแค่ 24 โวลต์นั้นทำให้สามารถวิ่งเป็นระยะทางไกลมาก ๆ ไม่ได้ ในอนาคตควรเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีค่าความดันมากขึ้น

จักรยานไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบดัดแปลงสร้างขึ้นมานี้ มีความสามารถในการนำไปใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง ในการเดินทางเป็นระยะทางไกลไม่เกิน 25 กิโลเมตร เป็นทางเลือกในการเดินทางที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยมากอีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงาน แต่หากจะทำการผลิตสร้างในเชิงพาณิชย์นั้นต้องมีการปรับปรุงในด้านความเร็ว และระยะทางที่วิ่งได้ต่อการประจุไฟ 1 ครั้ง ให้มากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ .รศ.ชาญ ถนัดงาน: การออกแบบเครื่องจักรกล1และ2 .กรุงเทพฯ, 2522, 2548

[2] รศ.ธีระยุทธ สุวรรณประทีป: วิศวกรรมยานยนต์ .กรุงเทพฯ, 2542, 2547

[3] มงคล ทองสงคราม: เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง .พิมพ์ครั้งที่ 1 .บริษัท รามาการพิมพ์ จำกัด .กรุงเทพ, 2533

[4] อ.สมคิด ศิริพงษ์: เทคนิคการตรวจซ่อมมอเตอร์-ไดนาโม .สำนักงานหอสมุดกลาง09 .โรงพิมพ์เจริญ-กิจ .กรุงเทพ.

[5] ชวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล: ทฤษฎีมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและเฟสเดียว .โรงพิมพ์เจริญธรรม .กรุงเทพฯ, 2536

[6] ณรงค์ ชอนตะวัน: มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ .ห้างหุ้นส่วนจำกัดเอราวัณการพิมพ์, 2545

[7] R.C.Hibbeler: Mechanics of Materials1 .Pearson Education Indochina LTD .กรุงเทพฯ, 2545

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Hub_motor

[9] http://www.ebikes.ca/hubmotors.shtml

[10] http://www.batteryuniversity.com/parttwo-35.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้