การเตรียมมอเตอร์สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า

Preparation of motor for electric bicycle

นายณฤนาถ	แบนคล้าย	รหัส	51361209
นายมนตรี	ดวงทิพย์	รหัส	51361346
นายกิตติคุณ	ครุธาโรจน์	รหัส	51363852

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 30 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 15997136
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ณ111ก
2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมศาสตรเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อโครงงาน : การเตรียมมอเตอร์สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า

(Preparation of motor for electric bicycle)

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายณฤนาถ แบนคล้าย รหัสนิสิต 51361209

นายมนตรี ดวงทิพย์ รหัสนิสิต 51361346

นายกิตติคุณ ครุธาโรจน์ รหัสนิสิต 51363852

ที่ปรึกษาโครงงาน : ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์)

หัวข้อโครงงาน : การเตรียมมอเตอร์สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายณฤนาถ แบนคล้าย รหัสนิสิต 51361209

นายมนตรี ดวงทิพย์ รหัสนิสิต 51361346

นายกิตติคุณ ครุธาโรจน์ รหัสนิสิต 51363852

ที่ปรึกษาโครงงาน : ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2554

บทคัดย่อ

โครงงานการเตรียมมอเตอร์สำหรับรถจักรยานไฟฟ้ามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูลทางกลของมอเตอร์เพื่อเตรียมสำหรับปะกอบรถจักรยานไฟฟ้าโดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลของมอเตอร์กระแสตรงขนาด 250W 24V โดยจะทำการทดสอบมอเตอร์ด้วยเครื่องโพรนี่เบรก (Prony Brake)ซึ่งเครื่องทดสอบนี้จะมีความสูงเท่ากับ 30 เซนติเมตรและมีแขนกดที่ยาว 17 เซนติเมตร การทดสอบจะทำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยเริ่มการทดสอบจากการประกอบมอเตอร์เข้ากับเครื่องโพรนี่เบรก (Prony Brake)แล้วต่อมอเตอร์เข้ากับ Controller, คันเร่งและสวิตช์กุญแจเปิด-ปิดไฟฟ้ารวมทั้งเครื่องมือวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า หลังจากนั้นทำการสตาร์ทมอเตอร์แล้วบิดคันเร่งไปที่ความเร็วรอบ 25 rpm และแขนกดจะไปกดที่เครื่องชั่งแล้วทำการอ่านค่าที่เครื่องชั่ง อ่านค่ากระแสและอ่านค่าแรงดันและจดบันทึกแล้วทำซ้ำโดยเพิ่มความเร็วรอบครั้งละ 25 rpm ไปเรื่อยๆจนถึงความเร็วสูงสุด 400 rpm จากการทดสอบจะสรุปได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้ในรถจักรยานไฟฟ้าเนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะสร้างแรงบิดที่ตอบสนองต่อโหลดที่เกิดขึ้นได้ดี

Project title	: Preparation of motor for electric bicycles		
Name	: Mr. Naruenat	Banklaiy	ID 51361209
	Mr. Montri	Duangthip	ID 51361346
	Mr. Kittikun	Krutharoj	ID 51363852
Project advisor	: Dr. Ananchai	Youkaew	
Major	: Mechanical Engineering		
Department	: Mechanical Engineering		
Academic year	: 2011		

ABSTRACT

Project preparation for an electric bicycle motors. The purpose is to study the mechanics of the motor in preparation for a cover save electric bicycle from a study of a DC Motor 250W 24V will test the motor with a profile is found (Prony Brake), the test will be. high as 30 cm and an arm to the length 17 cm, the test is performed three times by the test of the motor with a profile is found (Prony Brake), then the motor to the Controller, the accelerator and the key switch is open. - Turn off the electrical current and voltage measurement. After the starter motor, then twist the throttle to the speed of 25 rpm and the arm to push the scales in order to read the scales. Read the stream and read the voltage and record, and repeat the speed for a period of 25 rpm and so on until the maximum speed of 400 rpm of the test is concluded that motor power has to be used in electric bicycles since. DC motors to generate torque in response to load up just fine

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการเตรียมมอเตอร์สำหรับรถจักรยานไฟฟ้าสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

1. ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ
2. นาย ชัชชัย อินเขียน คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ
3. ท่านคณะกรรมการสอบ ที่ให้คำติชมและแนะนำ
4. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงการอย่างสม่ำเสมอตลอดมา และบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ตลอดจนให้การดูแลและให้ประสบการณ์เกี่ยวกับการทำงาน ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้สนใจ ได้ในระดับหนึ่งตลอดจนเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

นายณฤนาถ แบนคล้าย

นายมนตรี ดวงทิพย์

นายกิตติคุณ ครุธาโรจน์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขต	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะและแผนการดำเนินงาน	2
1.6 งบประมาณ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Motor : DC Motor)	3
2.2 แบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	6
2.3 การเลือกมอเตอร์สำหรับจักรยานไฟฟ้า	7
2.4 Prony Brake	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการและการทดลอง	10
3.1 กระบวนการเลือกใช้มอเตอร์	10
3.2 กระบวนการทดสอบคุณลักษณะมอเตอร์สำหรับจักรยานไฟฟ้า	10
บทที่ 4ผลการทดลอง	15
4.1 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบมอเตอร์ด้วยเครื่องโพรนี่เบรค(PronyBrake)	15
4.2 ผลการทดลอง	21
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	22
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	22

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.2 แนวทางการทำวิจัยในอนาคต	25
5.3 ข้อเสนอแนะทางเทคนิค	26
5.4 สรุปการทดลอง	26
เอกสารอ้างอิง	27
ภาคผนวก	28
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลดิบ	29
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณและตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลอง	33
ภาคผนวก ค รูปเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง	46
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน	50

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 1 ตารางระยะเวลาการดำเนินงาน....2
ตารางที่ 2 ตารางผลการทดลองเฉลี่ย....21
ตารางที่ 3 ตารางวิเคราะห์ผลการทดลอง....22
ตารางที่ 4 ตารางผลการทดลองมอเตอร์ ครั้งที่ 1....30
ตารางที่ 5 ตารางผลการทดลองมอเตอร์ ครั้งที่ 2....31
ตารางที่ 6 ตารางผลการทดลองมอเตอร์ ครั้งที่ 3....32
ตารางที่ 7 ตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลองครั้งที่ 1....43
ตารางที่ 8 ตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลองครั้งที่ 2....44
ตารางที่ 9 ตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลองครั้งที่ 3....45

สารบัญรูป

รูป หน้า

รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 3
รูปที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม 4
รูปที่ 2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน 4
รูปที่ 2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม 5
รูปที่ 2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก 5
รูปที่ 2.6 แบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 6
รูปที่ 2.7 Prony Brake รุ่นPB-100 8
รูปที่ 2.8 Prony Brakeที่ดัดแปลงขึ้นมาและส่วนประกอบ 8
รูปที่ 3.1 แสดงมอเตอร์ประกอบเข้ากับเครื่องProny Brake 11
รูปที่ 3.2 การติดตั้งสวิตช์เข้ากับคอนโทรลเลอร์ 11
รูปที่ 3.3 การติดตั้งแบตเตอรี่เข้ากับคอนโทรลเลอร์ 11
รูปที่ 3.4 วงจรของระบบที่ใช้ในการทดลอง 12
รูปที่ 3.5 ระบบที่ติดตั้งสมบูรณ์พร้อมทดสอบ 12
รูปที่ 3.6 หน้าปัดแสดงการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ 13
รูปที่ 3.7 ทดลองที่ความเร็วรอบ 25 rpm 13
รูปที่ 3.8 แสดงกระแส,แรงดันและน้ำหนักที่วัดได้ 13
รูปที่ 3.9 การทดลองซ้ำที่ความเร็วรอบต่างๆ 14
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 25 rpm 15
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 50rpm 15
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 75rpm 16
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 100rpm 16
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 125rpm 16
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 150 rpm 17
รูปที่ 4.7 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 175 rpm 17
รูปที่ 4.8 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 200 rpm 17
รูปที่ 4.9 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 225 rpm 18
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 250 rpm 18
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 275 rpm 18
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 300 rpm 19
รูปที่ 4.13 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 325 rpm 19
รูปที่ 4.14 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 350rpm 19
รูปที่ 4.15 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 375rpm 20
รูปที่ 4.16 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่รอบสูงสุด 20
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Torque 23
รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Power 23

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป **หน้า**

รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Voltage 24
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Motor 25
รูปที่ ค.1 Prony Brake และแขนกด 47
รูปที่ ค.2 แบตเตอรี่ 47
รูปที่ ค.3 คอนโทรลเลอร์และสวิตช์ 47
รูปที่ ค.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น MY1016Z2 48
รูปที่ ค.5 DC Amp Meter 48
รูปที่ ค.6 Multimeter 48
รูปที่ ค.7 Tachometer 49
รูปที่ ค.8 เครื่องแสดงระดับพลังงานและคันเร่ง 49
รูปที่ ค.9 เครื่องชั่ง 49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันสิ่งอำนวยความสะดวกในการเดินทางนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ โดยแต่ละแบบนั้นก็จำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานเช่น น้ำมัน แก๊ส ไฟฟ้า เป็นต้น และสิ่งอำนวยความสะดวกอย่างหนึ่งที่ได้รับความนิยมก็เป็นรถจักรยาน โดยการใช้พลังงานของผู้ขับขี่เป็นตัวทำให้รถจักรยานนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้ แต่เนื่องจากเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปจึงมีการนำมอเตอร์ไปติดตั้งที่ตัวรถจักรยานเพื่อใช้พลังงานไฟฟ้ามาขับมอเตอร์ให้หมุนและให้รถจักรยานนั้นเคลื่อนที่ไปได้ด้วยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์จากผู้ใช้งานได้ และอีกอย่างหนึ่งคือบุคคลทั่วไปเริ่มหันมาสนใจในการลดมลภาวะที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนเพราะว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สะอาดและมีมูลค่าถูกกว่าพลังงานอื่นๆ ดังนั้นโครงงานนี้จะเป็นโครงงานที่เกี่ยวกับรถจักรยานไฟฟ้าในส่วนของมอเตอร์เพราะมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนที่ต้องตอบสนองการใช้งานของผู้ใช้จึงต้องมีการเลือกสรรให้ได้มอเตอร์ที่พร้อมใช้งานกับจักรยานไฟฟ้าได้

มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนที่ค่อนข้างใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มอเตอร์มีมากมายหลากหลายชนิดให้เลือกใช้ ถ้าแบ่งตามกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) มอเตอร์ทั้ง 2 ประเภทที่กล่าวมายังแบ่งออกเป็นอีกหลายชนิด โครงงานนี้จึงเป็นการศึกษาข้อมูลมอเตอร์เพื่อให้ผู้ออกแบบนำมาเลือกใช้มอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมสำหรับรถยนต์จักรยานไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้จากโครงงานนี้จะเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการทดสอบมอเตอร์โดยวิธี Prony brake Test Motor ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบมอเตอร์โดยทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาข้อมูลทางกลของมอเตอร์เพื่อเตรียมสำหรับรถจักรยานไฟฟ้า

1.2.2 เลือกใช้มอเตอร์ได้ตรงตามโหลดที่เกิดขึ้น

1.3 ขอบเขต

1.3.1 ศึกษาและทดสอบมอเตอร์ที่มีขนาดไม่เกิน 250W

1.3.2 ทดสอบมอเตอร์โดยวิธีProny brake Test Motor

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเลือกมอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมกับภาระโหลดที่เกิดขึ้นในรถจักรยานไฟฟ้า

1.4.2 เข้าใจหลักการทำงานของมอเตอร์

1.4.3 ผู้ที่สนใจและผู้ที่ทำการศึกษาสามารถนำข้อมูลความรู้เกี่ยวกับมอเตอร์ที่เป็นประโยชน์ไปใช้ได้

1.5 ระยะและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 ตารางระยะเวลาการดำเนินงาน

แผนการปฏิบัติงาน	2554							2555		
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1.หาหัวข้อโครงงาน										
2.ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล										
3.จัดซื้ออุปกรณ์										
4.ทดลองและบันทึกผลการทดลอง										
5.วิเคราะห์ผลการทดลอง										
6.สรุปผลการทดลอง										
7.ประกอบรถจักรยานไฟฟ้า										

1.6 งบประมาณ

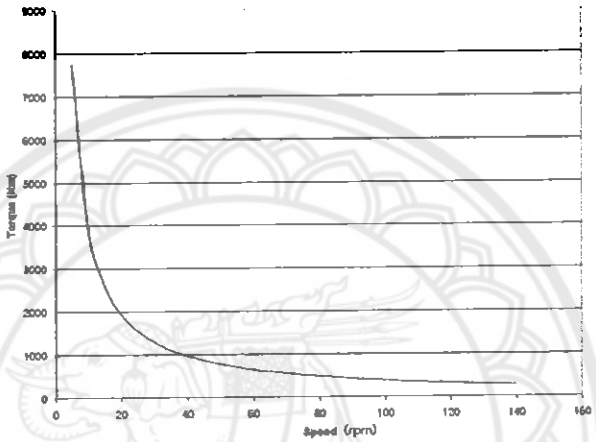
ค่ามอเตอร์กระแสตรง	1500 บาท
ค่าเครื่องมือวัด	600 บาท
ค่าเอกสารและเข้าเล่ม	900 บาท
รวมทั้งหมด	3000 บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current Motor : DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นพลังงานกลชนิดหมุน



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆได้แก่

2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นด้วยตนเอง(Self ExciteDirect Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้จะกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็กด้วยตัวของมันเองโดยไม่ต้องพึ่งแหล่งพลังงานภายนอกมากระตุ้น ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นด้วยตนเองนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

2.1.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม ขณะเริ่มหมุน(Start) จะกินกระแสไฟฟ้ามากทำให้เกิดแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง อีกทั้งมอเตอร์จะหมุนรอบสูงถ้าโหลดของมอเตอร์ต่ำและจะหมุนรอบต่ำถ้าโหลดของมอเตอร์สูง มอเตอร์ชนิดนี้นิยมนำมาใช้เป็นต้นกำลังของรถไฟฟ้ายกของ เครนไฟฟ้า สว่านไฟฟ้า เครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น

รูปที่ 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

2.1.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน(Shunt Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานจะมีความเร็วคงที่แรงบิดเริ่มหมุนต่ำความเร็วรอบคงที่มอเตอร์ชนิดนี้นิยมใช้กับพัดลมเพราะพัดลมต้องการความเร็วที่คงที่และต้องการเปลี่ยนความเร็วได้ง่าย

รูปที่ 2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

2.1.1.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม(Compound Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสมจะมีแรงบิดเริ่มหมุนและขณะเดินเครื่องสูง มีความเร็วคงที่ แต่ยังไม่ให้งานเมื่อยังไม่ได้รับโหลดมาเต็มพิกัด

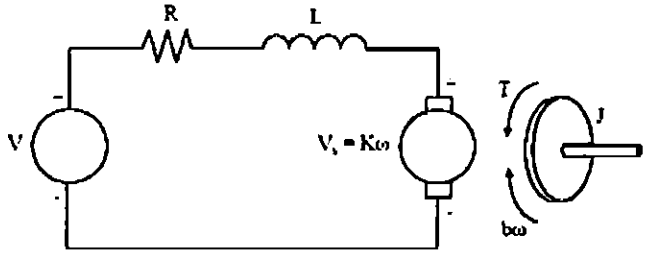
รูปที่ 2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม

2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก(Separately Excited Direct Current Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้จะกระตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็กด้วยแหล่งพลังงานภายนอก กล่าวคือแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้วงจรฟิลด์กับวงจรอาร์เมเจอร์แยกกัน คุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้จะคล้ายกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน คือ จะมีความเร็วคงที่แรงบิดเริ่มหมุนต่ำความเร็วรอบคงที่

รูปที่ 2.5 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

2.2 แบบจำลองของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.6 แบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.2.1 สมการถ่ายโอนของมอเตอร์

$$\frac{I_a(s)}{V_A(s)} = \frac{Is + c}{L_a Is^2 + (R_a I + cL_a)s + cR_a + K_b K_T}$$

$$\frac{I_a(s)}{T_L(s)} = \frac{K_b}{L_a Is^2 + (R_a I + cL_a)s + cR_a + K_b K_T}$$

$$\frac{\Omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_T}{L_a Is^2 + (R_a I + cL_a)s + cR_a + K_b K_T}$$

$$\frac{\Omega(s)}{T_L(s)} = \frac{L_a S + R_a}{L_a Is^2 + (R_a I + cL_a)s + cR_a + K_b K_T}$$

สมการข้างต้นเป็น Model ของมอเตอร์ใน Laplace Domain จะเห็นได้ว่า input ของมอเตอร์มี 2 แบบคือ โวลต์เทจ(V) และแรงบิด(T_L) ในส่วนของ output มี 2 แบบเช่นกันคือ กระแส (I_a)และความเร็วรอบ(Ω)

2.2.2 สมการสถานะของมอเตอร์

$$\frac{di_a}{dt} = \frac{1}{L_a}(v_a - R_a i_a - K_b \omega)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{I}(K_T i_a - c\omega - T_L)$$

สมการสถานะเป็นสมการที่บอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

2.3 การเลือกมอเตอร์สำหรับจักรยานไฟฟ้า

ปัจจัยต่างๆที่ควรคำนึงถึงในการเลือกมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับจักรยานไฟฟ้า

1. มอเตอร์ที่นำมาใช้งานจะใช้งานตามโหลดในเวลาที่ไม่แน่นอน ดังนั้นขนาดของมอเตอร์ในกรณีนี้จะต้องหาขนาดแรงม้าสูงสุด (Peak) ที่ต้องการใช้และคำนวณเป็นค่าประสิทธิผล (RMS) เพื่อไม่ให้มอเตอร์เกิดความร้อนขึ้น

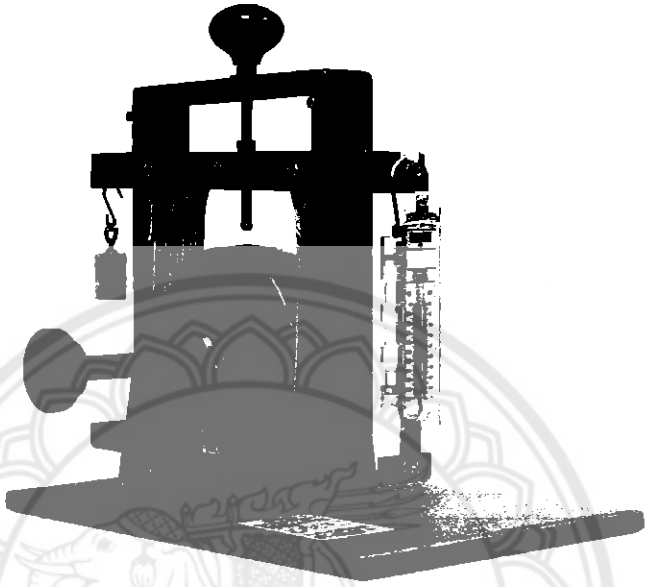
2. ควรตรวจสอบจุดที่จะนำมอเตอร์ไปติดตั้งว่ามีแรงดันไฟฟ้าเท่าไหร่ เพราะถ้าแรงดันไฟฟ้าต่ำเกินกว่าแรงดันที่มอเตอร์กำหนดไว้ มอเตอร์จะใช้กระแสไฟมากกว่าปกติเพื่อสร้างแรงม้าให้ได้เท่าเดิมจึงทำให้มอเตอร์ร้อนขึ้น 1-2 องศาเซลเซียส

3. คำนึงถึงภาระโหลดที่จะนำไปใช้งาน

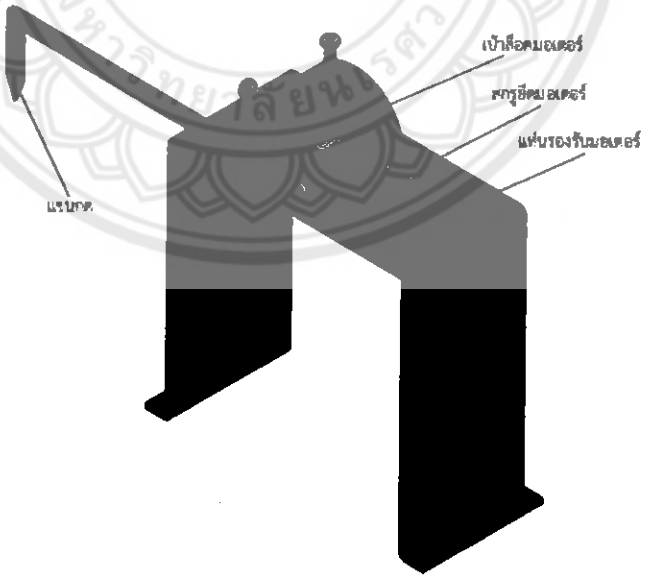
4. ควรเป็นมอเตอร์ที่ปรับแรงบิดและความเร็วได้ เนื่องจากจักรยานไฟฟ้าต้องการแรงบิดและความเร็วจากมอเตอร์ที่มาตอบสนองความต้องทางด้านความเร็วของรถและความต้องการที่จะเอาชนะโหลดที่เกิดจากน้ำหนักของโหลด

2.4 Prony Brake

Prony Brake เป็นเครื่องมือวัดแรงบิด(Torque)และแรงม้า(Horsepower)อย่างง่าย ในการทดลองนี้ได้มีการทำเครื่องProny Brake ขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบและลักษณะในการทดลอง แต่ยังคงหลักการทำงานเหมือนเดิม



รูปที่ 2.7Prony Brake รุ่นPB-100



รูปที่ 2.8 Prony Brakeที่ดัดแปลงขึ้นมาและส่วนประกอบ

2.4.1 หลักการทำงานของProny Brake

เป็นเครื่องมือวัดแรงบิดของมอเตอร์อย่างง่ายๆ ซึ่งประกอบด้วยแท่นยึดมอเตอร์ที่ทำจากเหล็กมีหน้าที่ยึดมอเตอร์ให้อยู่นิ่งและแขนกดที่ทำจากแผ่นอะคริลิคหรือวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งแขนกดมีหน้าที่เปลี่ยนแรงหมุนจากมอเตอร์ให้เป็นแรงกดที่กดลงเครื่องชั่ง เริ่มต้นการทำงานด้วยการนำแขนกดประกอบเข้ากับเพลาของมอเตอร์จากนั้นเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์โดยนำเครื่องชั่งไปรองไว้ที่ปลายของแขนกดวัดค่าน้ำหนักที่แขนกดกดลงไปบนเครื่องชั่ง

2.4.2 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่วัดได้จากการทดลองที่ใช้ Prony Brake นั้นคือน้ำหนัก(kg) ดังนั้นต้องนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์คำนวณตามสมการต่อไปนี้เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ

สมการคำนวณหาแรงบิด

$$T = m \times g \times r$$

สมการคำนวณหากำลัง

$$P = \frac{2\pi NT}{60}$$

T =แรงบิด(นิวตันเมตร,Nm)

m = น้ำหนักที่ปลายคานกดลงหรือดึงขึ้น(กิโลกรัม,kg)

r = ความยาวของคาน(เมตร,m)

N = ความเร็วรอบ(รอบต่อนาที,rpm)

P =กำลัง(วัตต์,watt)

g = 9.81m/s^2

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการและการทดลอง

การดำเนินโครงการนี้มีส่วนหลักตามวัตถุของโครงการคือ ศึกษาระบบมอเตอร์ของรถจักรยานไฟฟ้าทดลองติดตั้งมอเตอร์ของรถจักรยานไฟฟ้าทดสอบมอเตอร์โดยวิธีProny brake Test Motorเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

3.1 กระบวนการเลือกใช้มอเตอร์

กระบวนการเลือกใช้มอเตอร์สำหรับจักรยานไฟฟ้าทำได้โดยศึกษาข้อมูลคุณลักษณะของมอเตอร์และโหลดที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งโหลดในจักรยานไฟฟ้าจะเป็นโหลดที่ไม่แน่นอนกล่าวคือโหลดจะไม่คงที่ มอเตอร์ที่จะนำไปใช้จะต้องมีแรงบิดเริ่มหมุนสูง อีกทั้งต้องมีความเร็วรอบ แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบ(Design) ไว้โดยกลุ่มSimulation

3.2 กระบวนการทดสอบคุณลักษณะมอเตอร์สำหรับจักรยานไฟฟ้า

ทำการศึกษาการทำงานของมอเตอร์และตรวจเช็คระบบต่างๆของมอเตอร์ต้นแบบให้อยู่ในสถานะที่พร้อมใช้งาน โดยการชาร์ตแบตเตอรี่ให้เต็ม เช็คระบบสายไฟ เช็คระบบController จากนั้นจึงทำการสตาร์ทมอเตอร์จักรยานไฟฟ้า

3.2.1 ทดสอบมอเตอร์ด้วยเครื่อง Prony brake

วัสดุอุปกรณ์

1. เครื่อง Prony Brake
    - 1.1 แขนกด
    - 1.2 แท่นรองรับมอเตอร์
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น MY1016Z2 ขนาด 250W 24V
3. ชุดคอนโทรลเลอร์ Rated Power : 250W,Rated Voltage : 24V
4. ชุดคันเร่ง
5. ชุดสวิตช์กุญแจเปิด-ปิดระบบไฟฟ้า
6. Battery Lead Acid12V 2 ก้อน
7. เครื่องชั่ง
8. Amp Meter
9. Multimeter
10. Tachometer

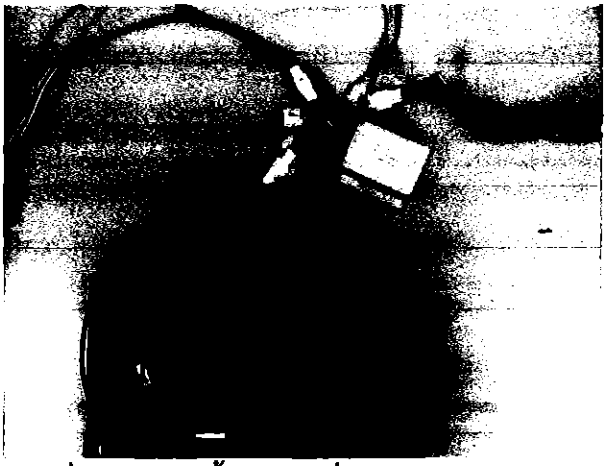
วิธีการทดลอง

1. ประกอบมอเตอร์เข้ากับ Prony Brake

รูปที่ 3.1 แสดงมอเตอร์ประกอบเข้ากับเครื่องProny Brake

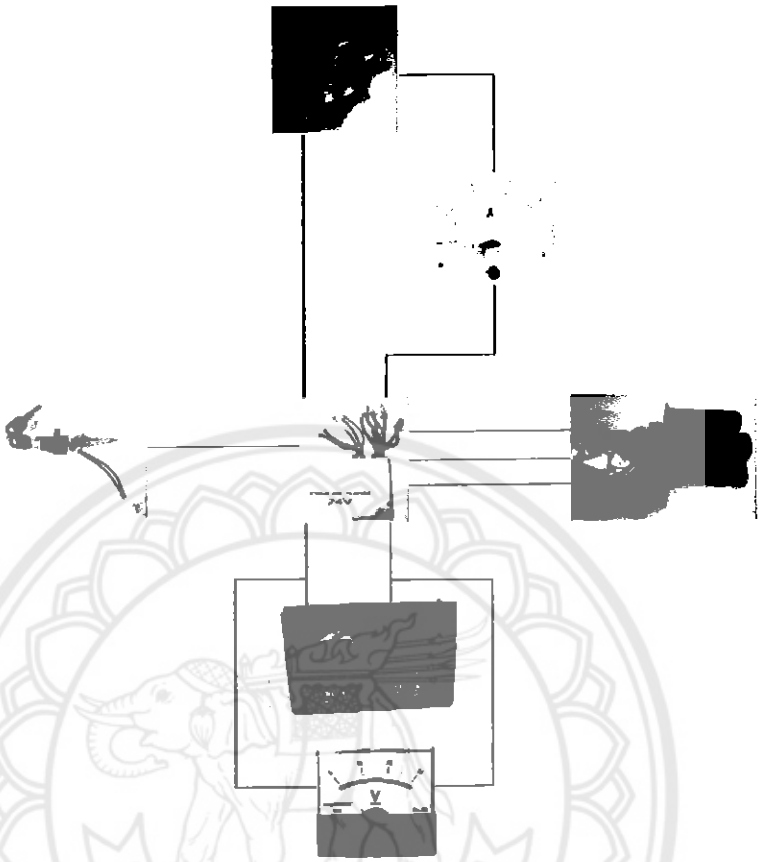
2. ประกอบชุดคอนโทรลเลอร์เข้ากับ คันเร่ง แบตเตอรี่ สวิตช์เปิด-ปิด และ มอเตอร์

รูปที่ 3.2 การติดตั้งสวิตช์เข้ากับคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.3 การติดตั้งแบตเตอรี่เข้ากับคอนโทรลเลอร์

3. ติดตั้ง Amp Meter และ Multimeterเข้าไปในวงจร

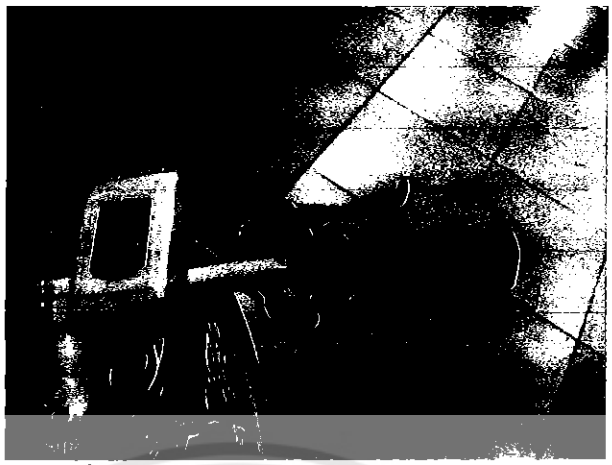


รูปที่ 3.4 วงจรของระบบที่ใช้ในการทดลอง

4. วางเครื่องชั่งให้ขนานกับแขนกดของ Prony Brake

รูปที่ 3.5 ระบบที่ติดตั้งสมบูรณ์พร้อมทดสอบ

5. เปิดสวิตช์ให้แบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

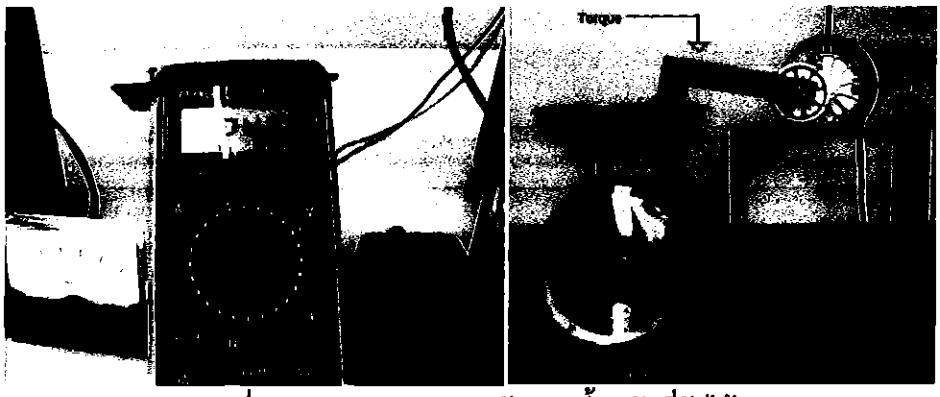


รูปที่ 3.6 หน้าปัดแสดงการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ

6. รันระบบโดยการบิดคันเร่งที่ความเร็วรอบ 25 rpm

รูปที่ 3.7 ทดลองที่ความเร็วรอบ 25 rpm

7. ทำการวัดกระแส,แรงดันที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่และน้ำหนักที่กดลงบนเครื่องชั่ง



รูปที่ 3.8 แสดงกระแส,แรงดันและน้ำหนักที่วัดได้

8. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ6-7 โดยการเพิ่มความเร็วรอบครั้งละ 25 rpm ไปจนความเร็วรอบสูงสุดที่ 400 rpm

รูปที่ 3.9 การทดลองซ้ำที่ความเร็วรอบต่างๆ

9. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมดตั้งแต่ ข้อ1-8 ทั้งหมด 3 ครั้ง

บทที่ 4

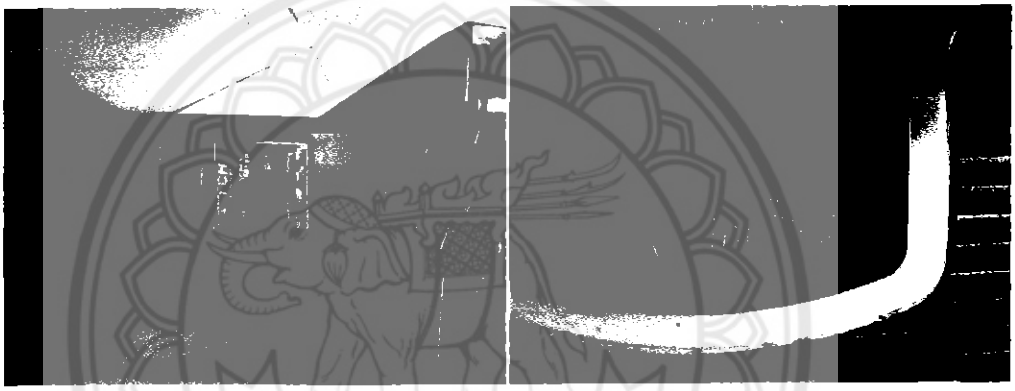
ผลการทดลอง

การทดสอบมอเตอร์ด้วยเครื่องโพรนี่เบรก (Prony Brake)

1. วัดแรงที่กดลงบนเครื่องชั่งเพื่อนำไปคำนวณหาค่าแรงบิด (Torque)
2. วัดความเร็วรอบเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์

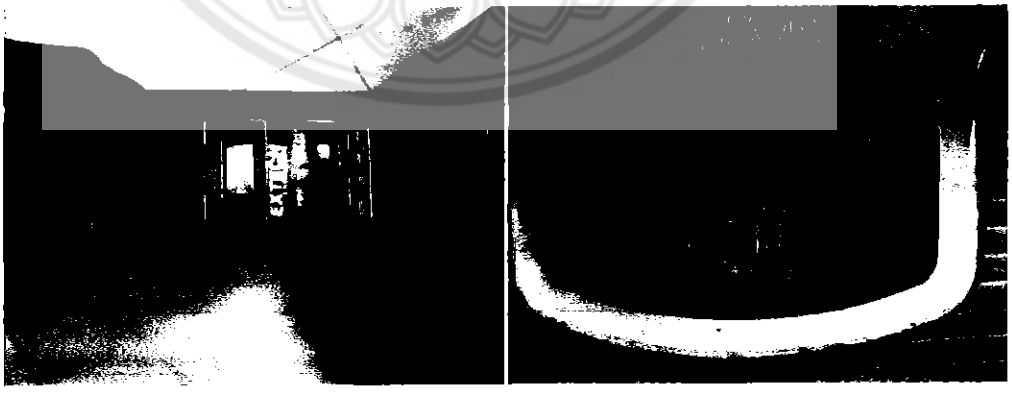
4.1 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบมอเตอร์ด้วยเครื่องโพรนี่เบรค(PronyBrake)

- ที่รอบ 25 rpm



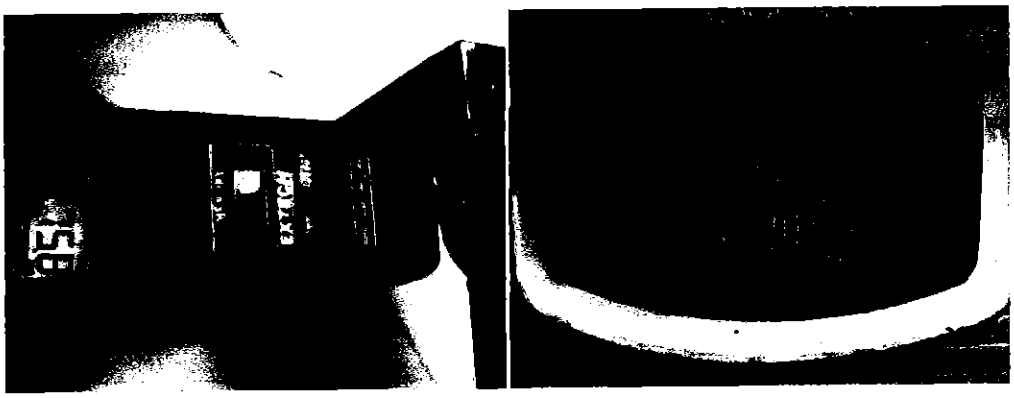
รูปที่ 4.1 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 25 rpm

- ที่รอบ 50 rpm



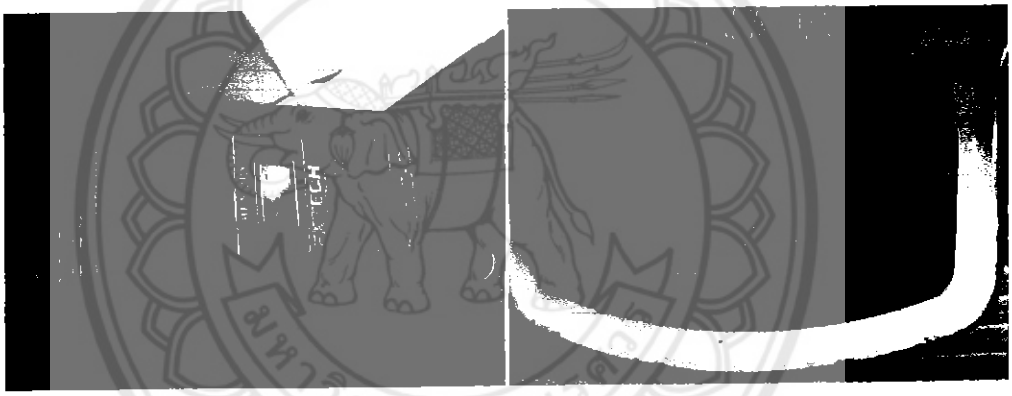
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 50rpm

- ที่รอบ 75 rpm



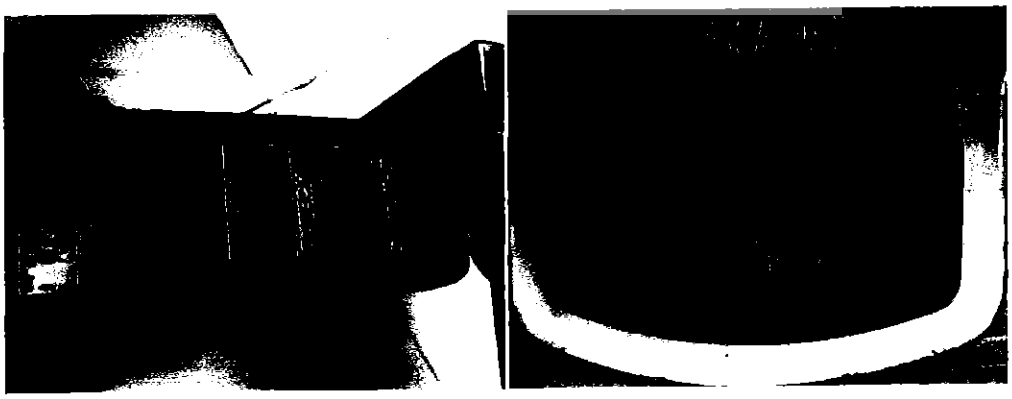
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 75rpm

- ที่รอบ 100 rpm



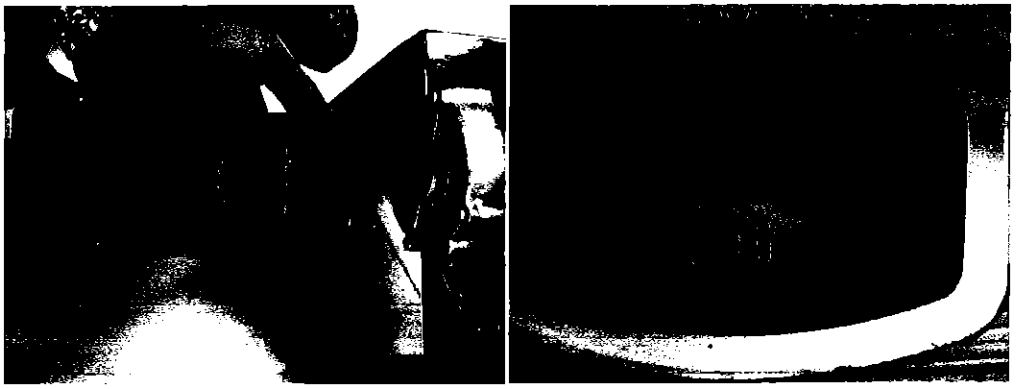
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 100rpm

- ที่รอบ 125 rpm



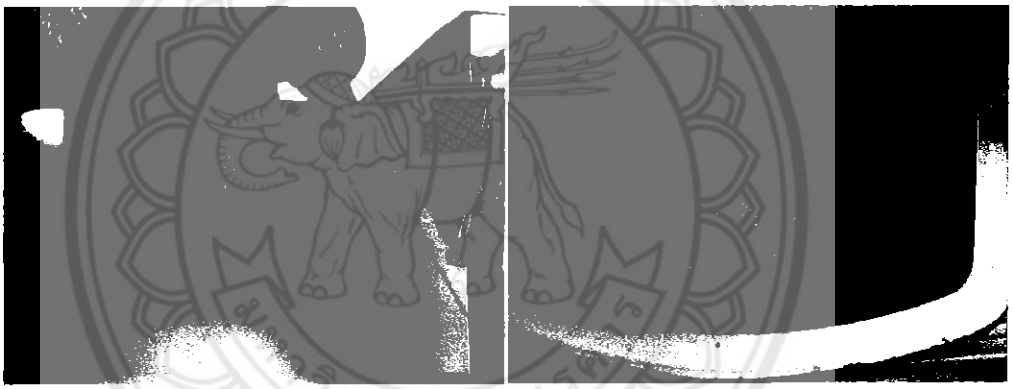
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 125rpm

- ที่รอบ 150 rpm



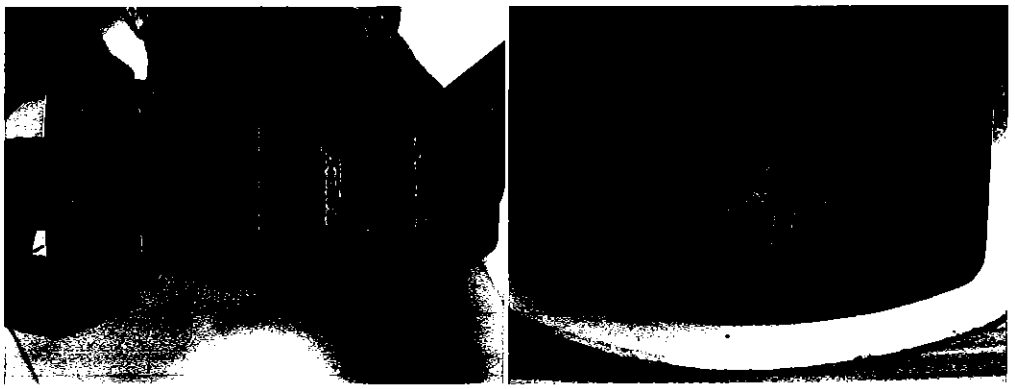
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 150 rpm

- ที่รอบ 175 rpm



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 175 rpm

- ที่รอบ 200 rpm

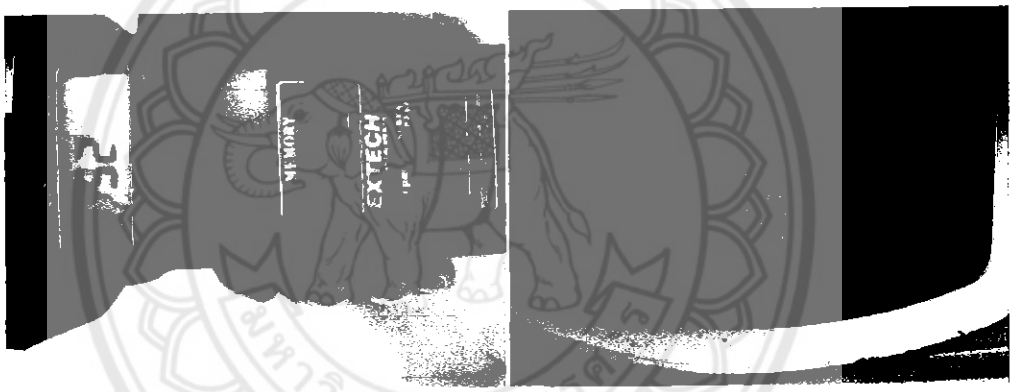


รูปที่ 4.8 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 200 rpm

- ที่รอบ 225 rpm

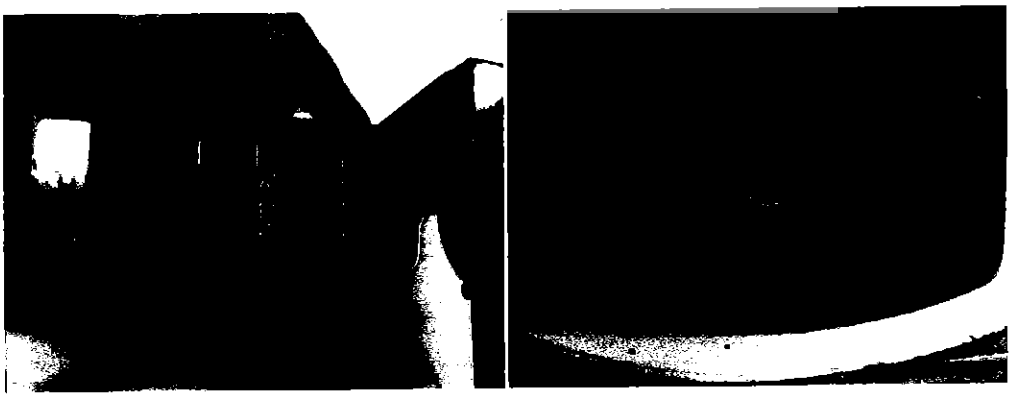
รูปที่ 4.9 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 225 rpm

- ที่รอบ 250 rpm



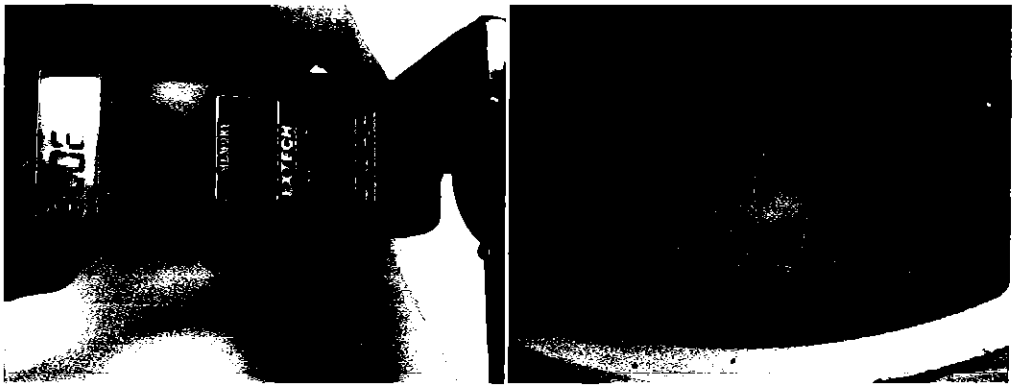
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 250 rpm

- ที่รอบ 275 rpm



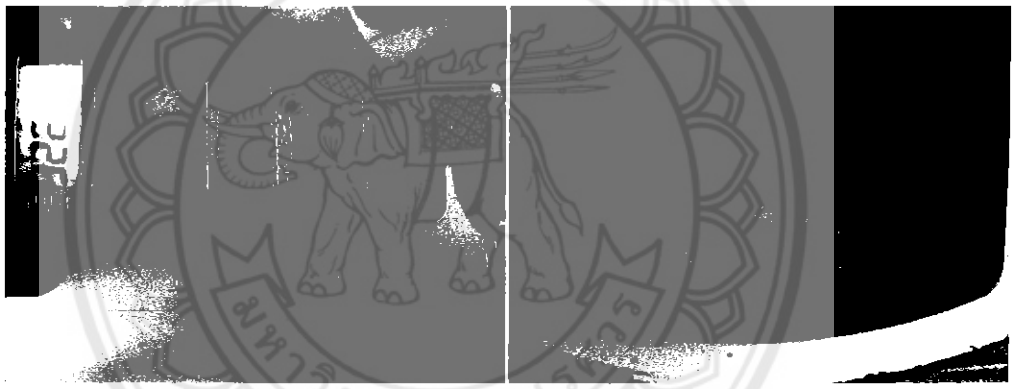
รูปที่ 4.11 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 275 rpm

- ที่รอบ 300 rpm



รูปที่ 4.12 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 300 rpm

- ที่รอบ 325 rpm

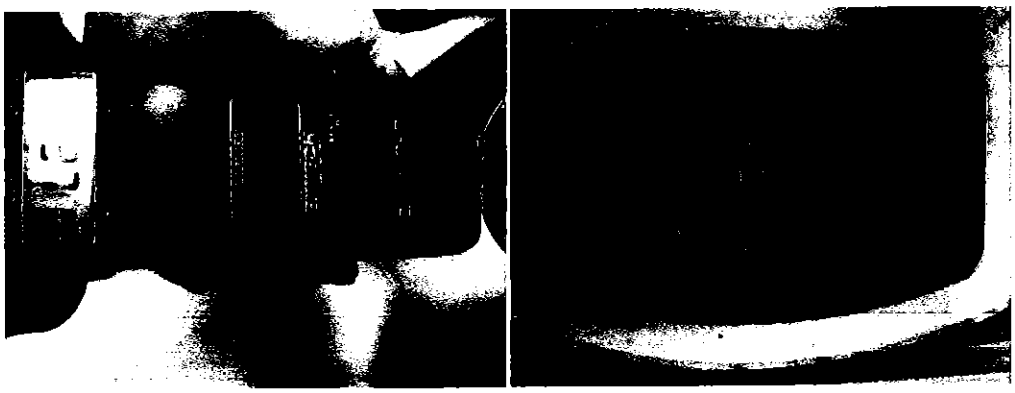


รูปที่ 4.13 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 325 rpm

- ที่รอบ 350 rpm

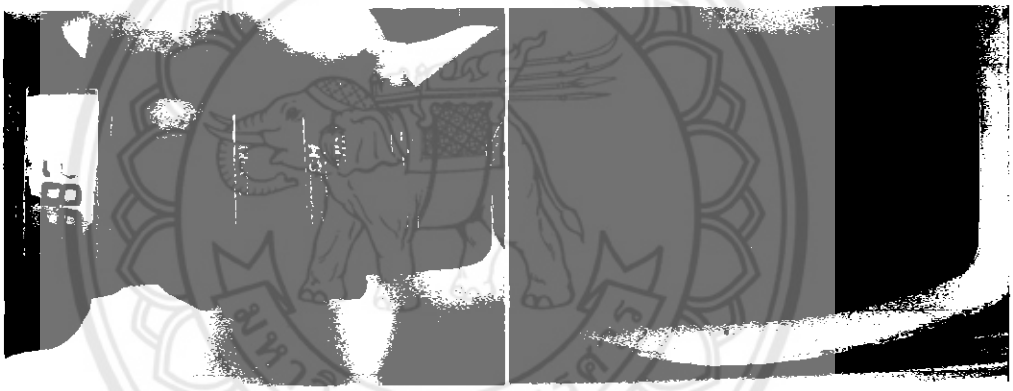
รูปที่ 4.14 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 350rpm

- ที่รอบ 375 rpm



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่ 375rpm

- ที่รอบสูงสุด



รูปที่ 4.16 แสดงค่าความเร็วรอบและน้ำหนักที่รอบสูงสุด

4.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองครั้งแรกแล้วทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ไปเฉลี่ยได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ตารางผลการทดลองเฉลี่ย

RPM	Weight(kg)	Current(A)	Voltage(V)
25.5	56.3	10.5	24.6
51.2	28.0	10.5	24.6
75.6	18.9	10.5	24.6
100.3	14.3	10.5	24.6
125.7	11.4	10.5	24.6
150.6	9.5	10.5	24.6
175.2	8.2	10.5	24.6
200.0	7.1	10.5	24.6
225.7	6.4	10.5	24.6
250.8	5.7	10.5	24.6
276.4	5.2	10.5	24.6
301.3	4.8	10.5	24.6
325.5	4.4	10.5	24.6
350.0	4.1	10.5	24.6
374.1	3.8	10.5	24.6
393.3	3.7	10.5	24.6

จากตารางที่ 2 นำผลการทดลองที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์หาแรงบิดและกำลัง เพื่อนำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปใช้หาคุณลักษณะและคุณสมบัติของมอเตอร์ต่อไป

บทที่ 5

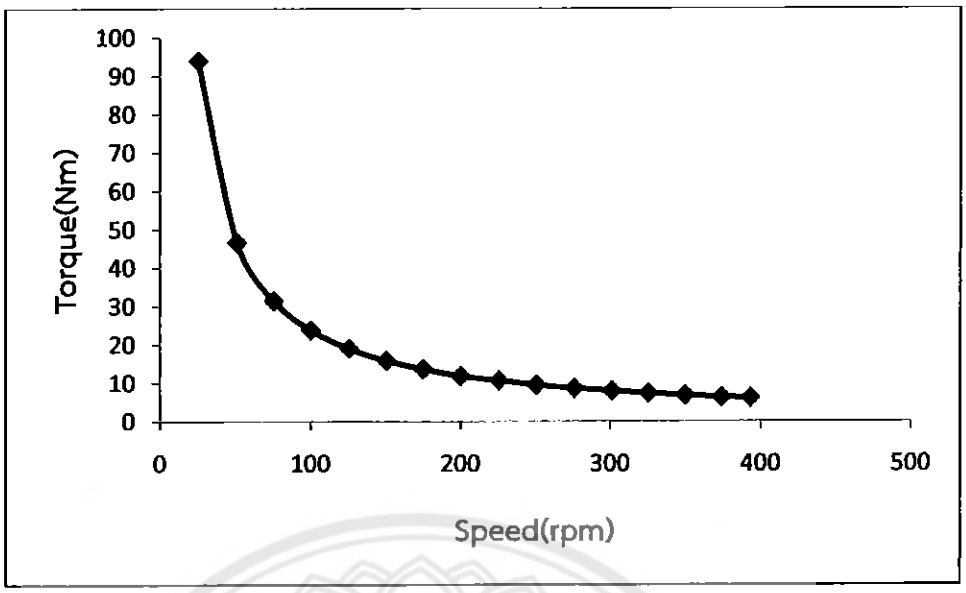
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากที่ได้ทำการทดสอบมอเตอร์โดยใช้เครื่องโพรนี่เบรก (Prony Brake) แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการคำนวณหาค่าแรงบิดและกำลังจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 3

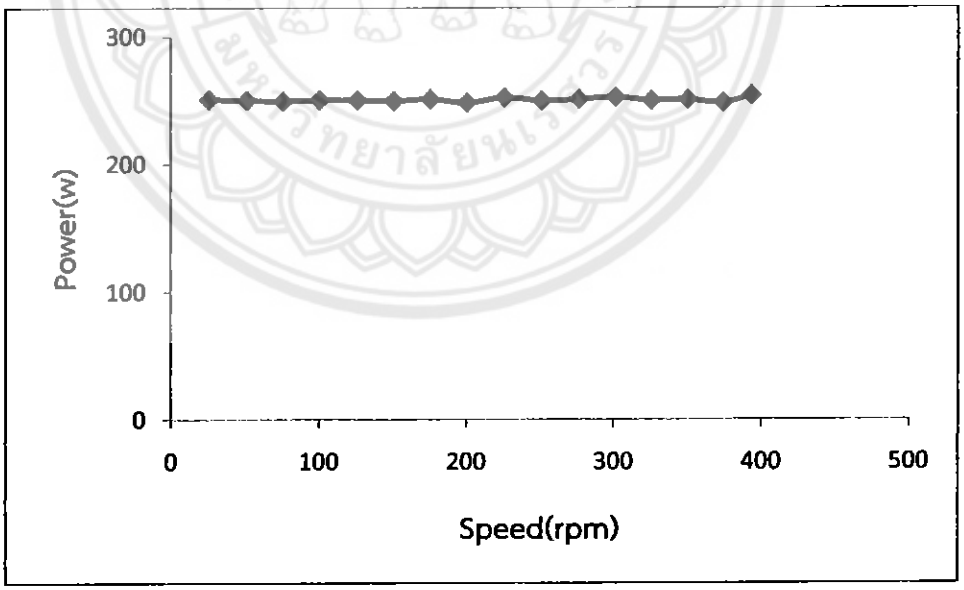
ตารางที่ 3 ตารางวิเคราะห์ผลการทดลอง

RPM	Torque(Nm)	Power(watt)
25.5	93.8	250.6
51.2	46.7	250.5
75.6	31.5	249.7
100.3	23.8	249.6
125.7	19.0	250.7
150.6	15.9	251.2
175.2	13.7	250.7
200.2	11.9	249.8
225.7	10.6	250.3
250.8	9.5	250.3
276.4	8.7	251.1
301.3	7.9	250.1
325.5	7.3	250.0
350.0	6.8	250.2
374.1	6.4	251.0
393.3	6.1	252.4



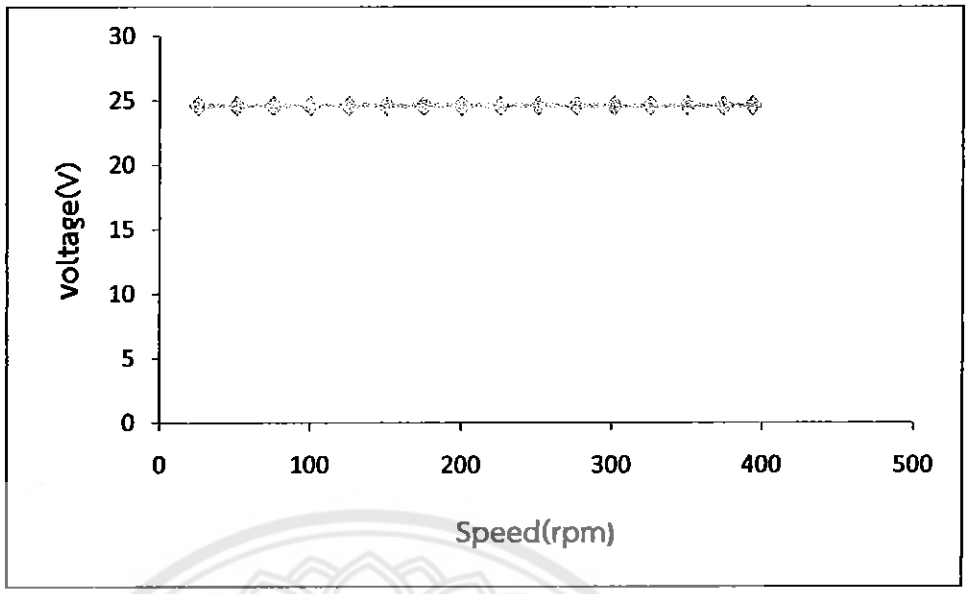
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Torque

จากรูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงบิดจะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบต่ำแรงบิดจะสูง เนื่องจากมอเตอร์ต้องการแรงบิดสูงๆในการเริ่มหมุนเพื่อที่จะต้องการเอาชนะโหลด ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นแรงบิดจะต่ำลงเพราะมอเตอร์ต้องการความเร็วมากกว่าแรงบิด



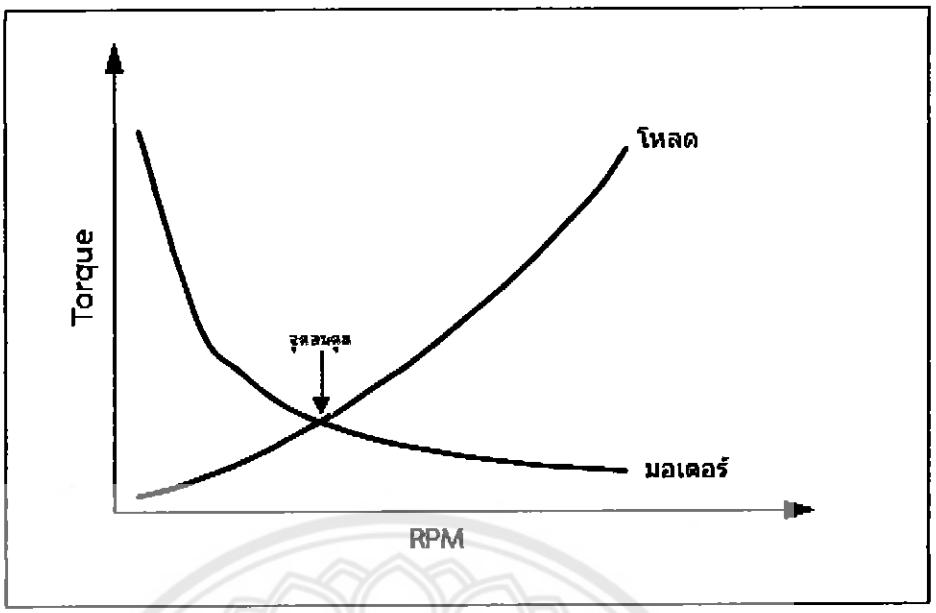
รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Power

จากรูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังที่มอเตอร์ให้ออกมาจะเห็นได้ว่า ทุกๆที่ความเร็วรอบมอเตอร์จะให้กำลังออกมาใกล้เคียงกัน คือ ที่กำลังสูงสุดของมอเตอร์



รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Voltage

จากรูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับความต่างศักย์ **จะเห็นได้ว่าความต่างศักย์**คงที่ตลอดหรืออาจจะลดลงหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องมาจาก ถ้าเมื่อ**ใดที่ความต่างศักย์เปลี่ยนแ**ปลงไปมากๆหรือไม่เท่าตามพิกัดที่มอเตอร์ต้องการจะทำให้มอเตอร์เสียหาย**ได้**



รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Load-Motor

5.2 แนวทางการทำวิจัยในอนาคต

1. ดัดแปลงเครื่องทดสอบมอเตอร์ Prony Brake ให้เป็นแบบดึงมวลน้ำหนักขึ้น

2. การทำจักรยานไฟฟ้าควรใช้มอเตอร์ที่มีกำลังมากกว่านี้เพราะจะทำให้รับโหลดได้มากและวิ่งได้เร็วขึ้น

3. ในการทดสอบมอเตอร์ควรทดสอบที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ละเอียดยิ่งขึ้นเพราะจะทำให้ได้ข้อมูลของมอเตอร์ที่ละเอียดและวิเคราะห์ผลจะตรงตามความเป็นจริงมากที่สุด

4. ใช้วิธีที่หลากหลายในการทดสอบมอเตอร์เพราะจะทำให้ได้ค่าที่แตกต่างเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกัน

5. ใช้มอเตอร์แบบ Hub Motor จะส่งผลให้รถมีความสมดุลขึ้น

6. สร้างแบบจำลองมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ simulink ในโปรแกรม Mathlab

15997136
ปร.
ต.ค. 2557

5.3 ข้อเสนอแนะทางเทคนิค

1. การเลือกใช้เครื่อง Prony Brake แบบกดจะทำให้แขนกดและเครื่องชั่งเสียหายได้ เนื่องจากแรงเหวี่ยงที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์

2. ถ้าต้องการความเร็วที่สูงขึ้นควรเลือกมอเตอร์ที่มีกำลังสูงขึ้นด้วยอีกทั้งยังต้องลดน้ำหนักของรถจักรยานไฟฟ้าให้น้อยลง

3. มอเตอร์ที่จะนำมาติดตั้งกับรถจักรยานไฟฟ้าควรมีแรงบิดเริ่มต้นสูงๆ

4. รถจักรยานที่เหมาะสมที่จะนำมาดัดแปลงเป็นรถจักรยานไฟฟ้าควรเป็นรถจักรยานที่ไม่มีเกียร์เพราะถ้าใช้จักรยานที่มีเกียร์ทำให้ต้องติดตั้งมอเตอร์ทางด้านซ้ายของรถ ซึ่งต้องกลับขั้วมอเตอร์เพื่อให้หมุนไปอีกทิศทางหนึ่ง

5. ควรดูแลระบบมอเตอร์ เช็คสภาพภายนอกไม่ให้ชำรุดขณะทำการทดสอบเพราะเมื่อนำไปติดตั้งแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง

6. คำนวณหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกมอเตอร์

5.4 สรุปการทดลอง

จากการศึกษาระบบทางกลของมอเตอร์พบว่ามอเตอร์ฟ้ากระแสตรงมีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้ในรถจักรยานไฟฟ้าเนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะสร้างแรงบิดที่ตอบสนองต่อโหลดที่เกิดขึ้นได้ดี เห็นได้จากรูปที่ 5.1 ที่ 250W เมื่อความเร็วรอบต่ำมอเตอร์จะสร้างแรงบิดสูงและเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้นแรงบิดจะลดลงแบบ exponential ถ้านำกราฟดังกล่าวมาเขียนลงบนกราฟเดียวกับโหลดของรถจักรยานไฟฟ้าแล้วจะได้ดังรูปที่ 5.5 ความต่างของเส้นแรงบิดของมอเตอร์และโหลดทางฝั่งซ้ายของจุดสมดุลนั้นแสดงให้เห็นถึงความเร่งที่มอเตอร์สร้างขึ้นเพื่อที่จะเอาชนะโหลดตอนเริ่มหมุน ส่วนความต่างของเส้นแรงบิดของมอเตอร์และโหลดทางฝั่งขวาของจุดสมดุล นั้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบสูงๆ มอเตอร์ไม่จำเป็นต้องสร้างความเร่งหรือแรงบิดเพื่อที่จะเอาชนะโหลดแต่จะสร้างความหน่วงเพื่อไม่ให้รถจักรยานไฟฟ้าเกิดการลื่นไถล กล่าวคือรถจักรยานไฟฟ้าจะให้กำลังของมอเตอร์เป็นตัวชะลอรถ

เอกสารอ้างอิง

Seth Leitman and Bob Brant, Build Your OwnElectric Vehicle, Second Edition, McGraw-Hill,1976

Glenn D.White, Introduction to Machine Vibration, DLI Engineering Corporation; 1998

Charles Kingsley and Jr.Stephen D.Umans, ELECTRIC MACHINERY, Fifth Edition McGraw-Hill, 1992

ไชยชาญ หินเกิด,เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง,พิมพ์ครั้งที่11,สำนักพิมพ์ส.ส.ท.,2552

ถาวร อมตกิตติ์,การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ,พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด,2549

http://wara.com/modules.php?name=project&file=showproject&sid=209สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2554

http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor1.htm สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2554

http://www.thaigoodview.com/library/contest2551/tech04/54/index.htmสืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2554

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางข้อมูลดิบ

ตารางที่ 4 ตารางผลการทดลองมอเตอร์ ครั้งที่ 1

RPM	Weight(kg)	Current(A)	Voltage(V)
25.2	57.0	10.5	24.6
50.4	28.4	10.5	24.6
75.8	18.9	10.5	24.6
100.0	14.3	10.5	24.6
125.7	11.4	10.5	24.6
150.3	9.5	10.5	24.6
175.7	8.2	10.5	24.6
199.0	7.2	10.5	24.6
227.3	6.3	10.5	24.6
251.4	5.7	10.5	24.6
277.6	5.2	10.5	24.6
302.3	4.7	10.5	24.6
326.3	4.4	10.5	24.6
350.1	4.1	10.5	24.6
371.7	3.9	10.5	24.6
389.8	3.7	10.5	24.6

ตารางที่ 5 ตารางผลการทดลองมอเตอร์ ครั้งที่ 2

RPM	Weight(kg)	Current(A)	Voltage(V)
25.7	55.6	10.5	24.6
51.5	27.8	10.5	24.6
75.5	18.9	10.5	24.6
100.8	14.2	10.5	24.6
126.0	11.5	10.5	24.6
151.0	9.6	10.5	24.6
174.8	8.2	10.5	24.6
200.3	7.1	10.5	24.6
224.7	6.4	10.5	24.6
250.1	5.7	10.5	24.6
275.6	5.2	10.5	24.6
300.9	4.8	10.5	24.6
325.4	4.4	10.5	24.6
350.7	4.1	10.5	24.6
374.8	3.8	10.5	24.6
395.6	3.6	10.5	24.6

ตารางที่ 6 ตารางผลการทดลองมอเตอร์ ครั้งที่ 3

RPM	Weight(kg)	Current(A)	Voltage(V)
25.5	56.2	10.5	24.6
51.8	27.8	10.5	24.6
75.4	18.9	10.5	24.6
100.2	14.3	10.5	24.6
125.5	11.4	10.5	24.6
150.4	9.6	10.5	24.6
175.2	8.2	10.5	24.6
200.7	7.1	10.5	24.6
225.2	6.4	10.5	24.6
251.0	5.7	10.5	24.6
276.0	5.2	10.5	24.6
300.7	4.8	10.5	24.6
324.8	4.4	10.5	24.6
349.3	4.1	10.5	24.6
375.8	3.8	10.5	24.6
394.5	3.7	10.5	24.6

ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณและตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลอง

วิธีการคำนวณ

การทดลองครั้งที่ 1

- ที่ N = 25.2 rpm, m = 57 kg

$$F = 57 \times 9.81 = 559.2N$$
$$T = 559.17 \times 0.17 = 95.1Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 25.2 \times 95.1}{60} = 250.9Watt$$

- ที่ N = 50.4 rpm, m =28.4kg

$$F = 28.4 \times 9.81 = 278.6N$$
$$T = 278.6 \times 0.17 = 47.4Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 50.4 \times 47.4}{60} = 250.0Watt$$

- ที่ N = 75.8 rpm, m = 18.9 kg

$$F = 18.9 \times 9.81 = 185.4N$$
$$T = 185.4 \times 0.17 = 31.5Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 75.8 \times 31.5}{60} = 250.2Watt$$

- ที่ N = 100 rpm, m = 14.3 kg

$$F = 14.3 \times 9.81 = 140.3N$$
$$T = 140.3 \times 0.17 = 23.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 100 \times 23.8}{60} = 249.7Watt$$

- ที่ N = 125.7 rpm, m = 11.4 kg

$$F = 11.4 \times 9.81 = 111.8N$$
$$T = 111.8 \times 0.17 = 19.0Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 125.7 \times 19.0}{60} = 250.3Watt$$

- ที่ N = 150.3 rpm, m = 9.5 kg

$$F = 9.5 \times 9.81 = 93.2N$$
$$T = 93.2 \times 0.17 = 15.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 150.3 \times 15.8}{60} = 249.4Watt$$

- ที่ N = 175.7 rpm, m = 8.2 kg

$$F = 8.2 \times 9.81 = 80.4N$$
$$T = 80.4 \times 0.17 = 13.7Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 175.7 \times 13.7}{60} = 251.6Watt$$

- ที่ N = 199 rpm, m = 7.2 kg

$$F = 7.2 \times 9.81 = 70.6N$$
$$T = 70.6 \times 0.17 = 12.0Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 199.0 \times 12.0}{60} = 250.2Watt$$

- ที่ N = 227.3 rpm, m = 6.3 kg

$$F = 6.3 \times 9.81 = 61.8N$$
$$T = 61.8 \times 0.17 = 10.5Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 227.3 \times 10.5}{60} = 250.1Watt$$

- ที่ N = 251.4 rpm, m = 5.7 kg

$$F = 5.7 \times 9.81 = 55.9N$$
$$T = 55.9 \times 0.17 = 9.5Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 251.4 \times 9.5}{60} = 250.3Watt$$

- ที่ N = 277.6 rpm, m = 5.2 kg

$$F = 5.2 \times 9.81 = 51.0N$$
$$T = 51.0 \times 0.17 = 8.7Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 277.6 \times 8.7}{60} = 252.1Watt$$

- ที่ N = 302.3 rpm, m = 4.7 kg

$$F = 4.7 \times 9.81 = 46.1N$$
$$T = 46.1 \times 0.17 = 7.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 302.3 \times 7.8}{60} = 248.1Watt$$

- ที่ N = 326.3 rpm, m = 4.4 kg

$$F = 4.4 \times 9.81 = 43.2N$$
$$T = 43.2 \times 0.17 = 7.3Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 326.3 \times 7.3}{60} = 250.7Watt$$

- ที่ N = 350.1 rpm, m = 4.1 kg

$$F = 4.1 \times 9.81 = 40.2N$$
$$T = 40.2 \times 0.17 = 6.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 350.1 \times 6.8}{60} = 250.7Watt$$

- ที่ N = 371.7 rpm, m = 3.9 kg

$$F = 3.9 \times 9.81 = 38.3N$$
$$T = 38.3 \times 0.17 = 6.5Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 371.7 \times 6.5}{60} = 253.2Watt$$

- ที่ N = 389.8 rpm, m = 3.7 kg

$$F = 3.7 \times 9.81 = 36.3N$$
$$T = 36.3 \times 0.17 = 6.2Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 389.8 \times 6.2}{60} = 251.9Watt$$

การทดลองครั้งที่ 2

- ที่ N = 25.7 rpm, m = 55.6 kg

$$F = 55.6 \times 9.81 = 545.44N$$
$$T = 545.44 \times 0.17 = 92.72Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 25.7 \times 92.72}{60} = 249.5Watt$$

- ที่ N = 51.5 rpm, m =27.8kg

$$F = 27.8 \times 9.81 = 273.0N$$
$$T = 273.0 \times 0.17 = 46.4Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 51.5 \times 46.4}{60} = 250.3Watt$$

- ที่ N = 75.5 rpm, m = 18.9 kg

$$F = 18.9 \times 9.81 = 185.6N$$
$$T = 185.6 \times 0.17 = 31.6Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 75.5 \times 31.6}{60} = 249.5Watt$$

- ที่ N = 100.8 rpm, m = 14.2 kg

$$F = 14.2 \times 9.81 = 138.8N$$
$$T = 138.8 \times 0.17 = 23.6Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 100.8 \times 23.6}{60} = 249.1Watt$$

- ที่ N = 126.0 rpm, m = 11.5 kg

$$F = 11.5 \times 9.81 = 112.4N$$
$$T = 112.4 \times 0.17 = 19.1Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 126 \times 19.1}{60} = 252.2Watt$$

- ที่ N = 151.0 rpm, m = 9.6 kg

$$F = 9.6 \times 9.81 = 93.9N$$
$$T = 93.9 \times 0.17 = 16.0Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 151.0 \times 16.0}{60} = 252.5Watt$$

- ที่ N = 174.8 rpm, m = 8.2 kg

$$F = 8.2 \times 9.81 = 80.3N$$
$$T = 80.3 \times 0.17 = 13.6Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 174.8 \times 13.6}{60} = 249.8Watt$$

- ที่ N = 200.3 rpm, m = 7.1 kg

$$F = 7.1 \times 9.81 = 70.0N$$
$$T = 70.0 \times 0.17 = 11.9Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 200.3 \times 11.9}{60} = 249.5Watt$$

- ที่ N = 224.7 rpm, m = 6.4 kg

$$F = 6.4 \times 9.81 = 62.5N$$
$$T = 62.5 \times 0.17 = 10.6Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 224.7 \times 10.6}{60} = 250.2Watt$$

- ที่ N = 250.1 rpm, m = 5.7 kg

$$F = 5.7 \times 9.81 = 56.3N$$
$$T = 56.3 \times 0.17 = 9.6Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 250.1 \times 9.6}{60} = 250.8Watt$$

- ที่ N = 275.6 rpm, m = 5.2 kg

$$F = 5.2 \times 9.81 = 51.1N$$
$$T = 51.1 \times 0.17 = 8.7Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 275.6 \times 8.7}{60} = 250.5Watt$$

- ที่ N = 300.9 rpm, m = 4.8 kg

$$F = 4.8 \times 9.81 = 46.7N$$
$$T = 46.7 \times 0.17 = 7.9Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 300.9 \times 7.9}{60} = 250.0Watt$$

- ที่ N = 325.4 rpm, m = 4.4 kg

$$F = 4.4 \times 9.81 = 43.1N$$
$$T = 43.1 \times 0.17 = 7.3Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 325.4 \times 7.3}{60} = 249.7Watt$$

- ที่ N = 350.7 rpm, m = 4.1 kg

$$F = 4.1 \times 9.81 = 40.0N$$
$$T = 40.0 \times 0.17 = 6.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 350.7 \times 6.8}{60} = 249.8Watt$$

- ที่ N = 374.8 rpm, m = 3.8 kg

$$F = 3.8 \times 9.81 = 37.5N$$
$$T = 37.5 \times 0.17 = 6.4Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 374.8 \times 6.4}{60} = 250.3Watt$$

- ที่ N = 395.6 rpm, m = 3.6 kg

$$F = 3.6 \times 9.81 = 35.5N$$
$$T = 35.5 \times 0.17 = 6.0Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 395.6 \times 6.0}{60} = 250.3Watt$$

การทดลองครั้งที่ 3

- ที่ N = 25.5rpm, m = 56.2 kg

$$F = 56.2 \times 9.81 = 551.3N$$
$$T = 551.3 \times 0.17 = 93.7Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 25.5 \times 93.7}{60} = 250.3Watt$$

- ที่ N = 51.8 rpm, m =27.8 kg

$$F = 27.8 \times 9.81 = 273.0N$$
$$T = 273.0 \times 0.17 = 46.4Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 51.5 \times 46.4}{60} = 251.8Watt$$

- ที่ N = 75.4 rpm, m = 18.9 kg

$$F = 18.9 \times 9.81 = 185.6N$$
$$T = 185.6 \times 0.17 = 31.6Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 75.4 \times 31.6}{60} = 249.2Watt$$

- ที่ N = 100.2 rpm, m = 14.3 kg

$$F = 14.3 \times 9.81 = 140.3N$$
$$T = 140.3 \times 0.17 = 23.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 100.2 \times 23.8}{60} = 250.2Watt$$

- ที่ N = 125.5 rpm, m = 11.4 kg

$$F = 11.4 \times 9.81 = 111.8N$$
$$T = 111.8 \times 0.17 = 19.0Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 125.5 \times 19.0}{60} = 249.9Watt$$

- ที่ N = 150.4 rpm, m = 9.6 kg

$$F = 9.6 \times 9.81 = 93.9N$$
$$T = 93.9 \times 0.17 = 16.0Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 150.4 \times 16.0}{60} = 251.5Watt$$

- ที่ N = 175.2 rpm, m = 8.2 kg

$$F = 8.2 \times 9.81 = 80.4N$$
$$T = 80.4 \times 0.17 = 13.7Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 175.2 \times 13.7}{60} = 250.9Watt$$

- ที่ N = 200.7 rpm, m = 7.1 kg

$$F = 7.1 \times 9.81 = 69.7N$$
$$T = 69.7 \times 0.17 = 11.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 200.7 \times 11.8}{60} = 248.9Watt$$

- ที่ N = 225.2 rpm, m = 6.4 kg

$$F = 6.4 \times 9.81 = 62.5N$$
$$T = 62.5 \times 0.17 = 10.6Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 225.2 \times 10.6}{60} = 250.8Watt$$

- ที่ N = 251.0 rpm, m = 5.7 kg

$$F = 5.7 \times 9.81 = 55.9N$$
$$T = 55.9 \times 0.17 = 9.5Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 251.0 \times 9.5}{60} = 249.9Watt$$

- ที่ N = 276.0 rpm, m = 5.2 kg

$$F = 5.2 \times 9.81 = 51.N$$
$$T = 51. \times 0.17 = 8.7Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 270.0 \times 8.7}{60} = 250.6Watt$$

- ที่ N = 300.7 rpm, m = 4.8 kg

$$F = 4.8 \times 9.81 = 47.6N$$
$$T = 47.6 \times 0.17 = 8.0Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 300.7 \times 8.0}{60} = 252.1Watt$$

- ที่ N = 324.8 rpm, m = 4.4 kg

$$F = 4.4 \times 9.81 = 43.2N$$
$$T = 43.2 \times 0.17 = 7.3Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 324.8 \times 7.3}{60} = 249.6Watt$$

- ที่ N = 349.3 rpm, m = 4.1 kg

$$F = 4.1 \times 9.81 = 40.2N$$
$$T = 40.2 \times 0.17 = 6.8Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 349.3 \times 6.8}{60} = 250.1Watt$$

- ที่ N = 375.8 rpm, m = 3.8 kg

$$F = 3.8 \times 9.81 = 37.3N$$
$$T = 37.3 \times 0.17 = 6.3Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 375.8 \times 6.3}{60} = 249.4Watt$$

- ที่ N = 394.5 rpm, m = 3.7 kg

$$F = 3.7 \times 9.81 = 36.3N$$
$$T = 36.3 \times 0.17 = 6.2Nm$$
$$P = \frac{2\pi \times 394.5 \times 6.2}{60} = 254.9Watt$$

ตารางที่ 7 ตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลองครั้งที่ 1

RPM	Weight(kg)	Force(N)	Torque(Nm)	Power(watt)
25.2	57	559.17	95.06	250.85
50.4	28.4	278.60	47.36	249.97
75.8	18.9	185.41	31.52	250.19
100	14.3	140.28	23.85	249.74
125.7	11.4	111.83	19.01	250.26
150.3	9.5	93.20	15.84	249.36
175.7	8.2	80.44	13.68	251.61
199	7.2	70.63	12.01	250.23
227.3	6.3	61.80	10.51	250.08
251.4	5.7	55.92	9.51	250.26
277.6	5.2	51.01	8.67	252.10
302.3	4.7	46.11	7.84	248.13
326.3	4.4	43.16	7.34	250.74
350.1	4.1	40.22	6.84	250.68
371.7	3.9	38.26	6.50	253.16
389.8	3.7	36.30	6.17	251.88

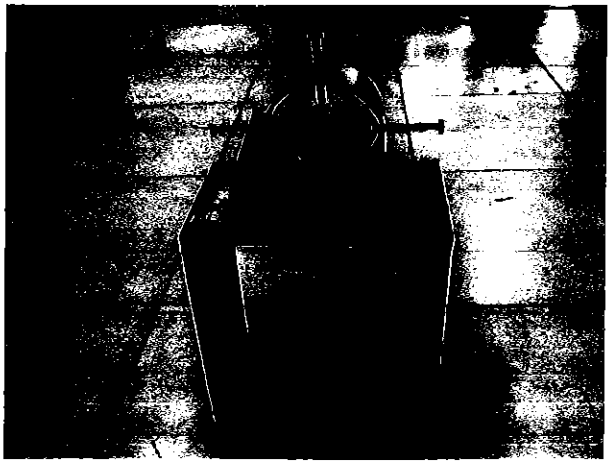
ตารางที่ 8 ตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลองครั้งที่ 2

RPM	Weight(kg)	Force(N)	Torque(Nm)	Power(watt)
25.7	55.6	545.44	92.72	249.55
51.5	27.8	273.01	46.41	250.30
75.5	18.9	185.63	31.56	249.50
100.8	14.2	138.81	23.60	249.10
126	11.5	112.43	19.11	252.20
151	9.6	93.93	15.97	252.50
174.8	8.2	80.27	13.65	249.80
200.3	7.1	69.97	11.89	249.50
224.7	6.4	62.55	10.63	250.20
250.1	5.7	56.33	9.58	250.80
275.6	5.2	51.06	8.68	250.50
300.9	4.8	46.67	7.93	250.00
325.4	4.4	43.10	7.33	249.70
350.7	4.1	40.01	6.80	249.80
374.8	3.8	37.51	6.38	250.30
395.6	3.6	35.54	6.04	250.30

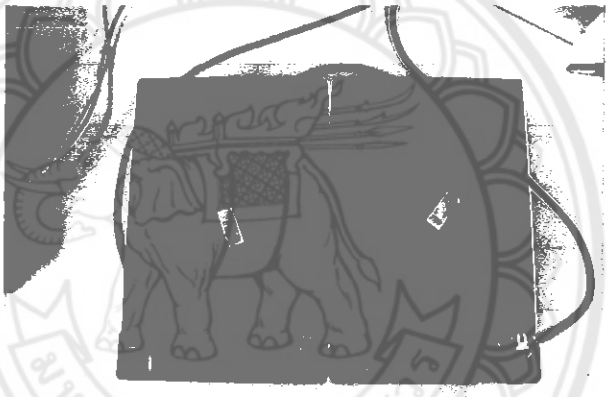
ตารางที่ 9 ตารางข้อมูลที่คำนวณจากผลการทดลองครั้งที่ 3

RPM	Weight(kg)	Force(N)	Torque(Nm)	Power(watt)
25.5	56.2	551.32	93.72	250.28
51.8	27.8	273.01	46.41	251.76
75.4	18.9	185.63	31.56	249.17
100.2	14.3	140.28	23.85	250.24
125.5	11.4	111.83	19.01	249.86
150.4	9.6	93.93	15.97	251.50
175.2	8.2	80.44	13.68	250.90
200.7	7.1	69.65	11.84	248.86
225.2	6.4	62.55	10.63	250.76
251	5.7	55.92	9.51	249.86
276	5.2	51.01	8.67	250.64
300.7	4.8	47.09	8.00	252.07
324.8	4.4	43.16	7.34	249.58
349.3	4.1	40.22	6.84	250.11
375.8	3.8	37.28	6.34	249.39
394.5	3.7	36.30	6.17	254.91

ภาคผนวก ค
รูปเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

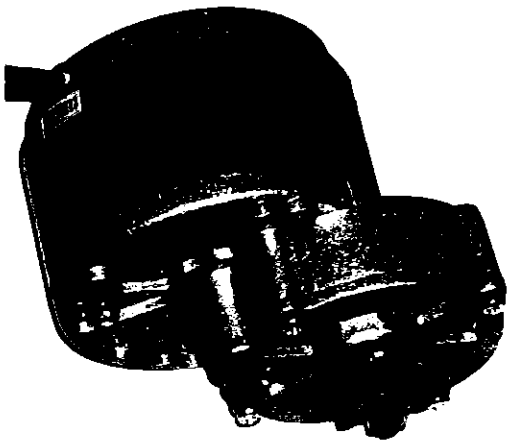


รูปที่ ค.1 Prony Brake และแขนกด



รูปที่ ค.2 แบตเตอรี่

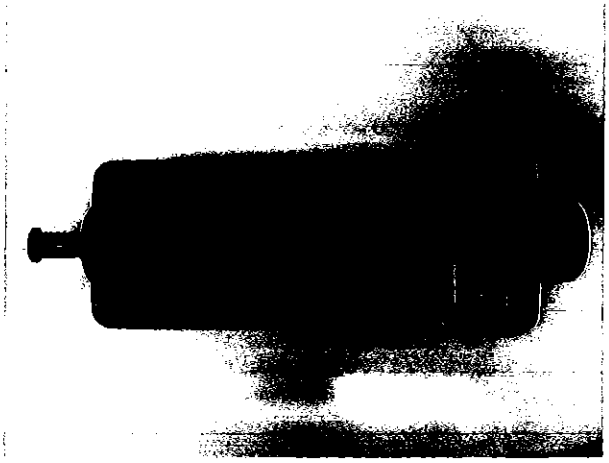
รูปที่ ค.3 คอนโทรลเลอร์และสวิตช์



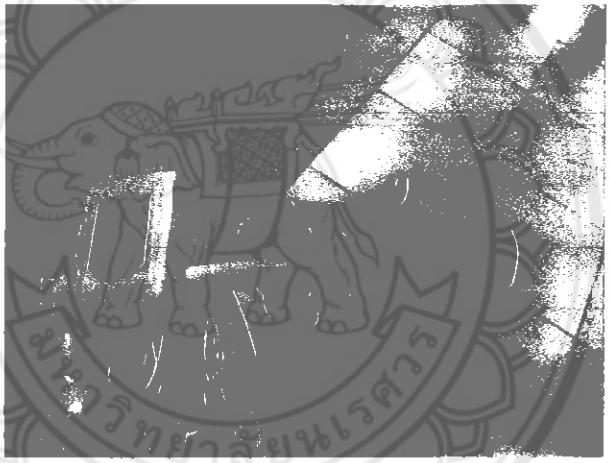
รูปที่ ค.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น MY1016Z2

รูปที่ ค.5 DC Amp Meter

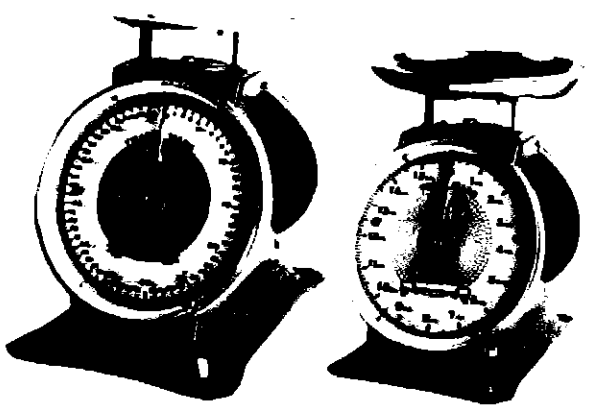
รูปที่ ค.6 Multimeter



รูปที่ ค.7 Tachometer



รูปที่ ค.8 เครื่องแสดงระดับพลังงานและคันเร่ง



รูปที่ ค.9 เครื่องชั่ง