อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

การพัฒนาชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน

Prototyping Development Motor Assisted Biking Kit for Installing in a Bicycle

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน - 5 ก.ย. 2560
เลขทะเบียน 1919642
เลขเรียกหนังสือ.....

นายกิตติคุณ สุอรุณ รหัส 55362912

นายวัชระ เชื้อวงษ์ดี รหัส 55363520

นายโอฬาร วงศาโรจนะกุล รหัส 55363711

ปร
ก 671 ก
2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบและพัฒนาชุดมอเตอร์ช่วบขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน

ผู้ดำเนินโครงงาน นายกิตติคุณ สุอรุณ รหัส 55362912
นายวัชระ เชื้อวงษ์ดี รหัส 55363520
นายโอฬาร วงศาโรจนะกุล รหัส 55363711

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2558

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(นายชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

.....กรรมการ
(นายสุรเจษฎ์ สุขไชยพร)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและพัฒนาชุดมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกิตติคุณ สุอรุณ	รหัส 55362912
	นายวัชระ เชื้อวงษ์ดี	รหัส 55363520
	นายโอฬาร วงศาโรจนะกุล	รหัส 55363711
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2558	

บทคัดย่อ

งานโครงงานชิ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อการออกแบบและทดสอบชุดชุดช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยานโดยให้สามารถติดตั้งได้กับจักรยานทั่วไปเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ทั่วถึง โดยออกแบบให้มีน้ำหนักเบาและใช้งบประมาณในการออกแบบที่ไม่สูง รวมทั้งต้องสร้างความสะดวกสบายในการใช้งานและประหยัดพลังงานในกระบวนการพัฒนาชุดอุปกรณ์มอเตอร์ช่วยขับดังกล่าวจะประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลัก ได้แก่ การออกแบบเชิงหลักการ การสร้างและติดตั้งชุดอุปกรณ์ และการทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์ สำหรับกระบวนการออกแบบเชิงหลักการนั้น ได้กำหนดข้อมูลจำเพาะของชุดอุปกรณ์ติดตั้งอาศัยการคำนวณตามหลักการทางวิศวกรรมเพื่อออกแบบระบบกลไกและเพื่อกำหนดขนาดแบตเตอรี่และกำลังของมอเตอร์ พร้อมทั้งร่างแบบชุดอุปกรณ์ โดยชุดอุปกรณ์ติดตั้งจะใช้การติดตั้งแบบอาศัยแรงเสียดทานระหว่างเพลาขับและล้อของมอเตอร์ จากนั้นได้ทำการจัดซื้ออุปกรณ์เพื่อใช้ในการสร้างชิ้นส่วนซึ่ง ประกอบไปด้วยมอเตอร์ แบตเตอรี่ และสร้างชุดจับยึดกับจักรยานและเพลาขับแรง เสียดทาน รวมทั้งชุดสวิตช์ขับเคลื่อน และระบบวงจรควบคุมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นได้ทำการทดสอบการกลไกทำงานของชุดอุปกรณ์มอเตอร์ช่วยขับก่อนติดตั้งและเมื่อติดตั้งแล้วได้ทำการทดสอบการขับขี่โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ประเภท คือ การทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนี่เบรค การทดสอบอัตราเร่ง การทดสอบวงเลี้ยวกับการทดสอบอุณหภูมิและการทดสอบการปล่อยกระแสไฟฟ้า ในการทดสอบนี้ได้ผลการทดสอบดังนี้การทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนี่เบรคได้กำลังมอเตอร์ 105 วัตต์ ส่วนการทดสอบอัตราเร่งพบว่าใน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมงใช้เวลาไม่เกิน 12 วินาที วงเลี้ยวที่ปลอดภัยที่สุดในการขับขี่ 1.28 เมตรที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถขับขี่โดยที่ไม่ช่วยในการปั่นวิ่งได้ระยะทาง 12 กิโลเมตรแบตเตอรี่หมด อีกทั้งอุณหภูมิสูงสุดที่ปลายทางที่วัด 52 องศาเซลเซียส พร้อมทำการปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงและสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาชุดอุปกรณ์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยานไฟฟ้าเพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกและประหยัดเงิน

Project title	Prototyping Development Motor Assisted Biking Kit for Installing in a Bicycle
Name	Mr. Kittikun Suaroon ID 55362912
	Mr. Watchara Chouwongdee ID 55363520
	Mr. Olan Wongsarojchanakul ID 55363711
Project advisor	Assist.professor Dr.Ananchai Ukeaw
Major	Mechanical Engineering
Department	Mechanical Engineering
Academic year	2016

ABSTRACT

This work project aims to design and test sets, allowing the driver to set the bike to be installed so that the bike can be used universally. Designed to be lightweight and cost of designing is not high. Including the need to build comfort and energy savings in applications in process development kit motors to drive the process consists of three main design principles. Creation and installation of equipment. And testing the functionality of the unit. For process-oriented design principles that Has defined the specifications of the kit, according to calculations based on engineering principles to design mechanical systems. And to determine the size of the battery and motor. The Draft Kit The kit is used to install residential friction between the drive shaft and wheel motors. Then, the purchase of equipment to be used to create a piece that. Comprising the motor, battery and built mounting a bike and drive shaft friction, including drive switch. And electrical and electronic control circuits. Then test the mechanical operation of the motor device driver installation. Once installed and tested by driving tests divided into four categories tested by pony motor brake. The test acceleration Turning to the test, the test temperature. Testing and electrification. In this test, the test results, the test motor using ponies brake motor power of 105 watts, the test speed was 10 mph takes less than 12 seconds, turning the safest driving. 1.28 meters at 5 mph. And driving without the help of a spinning run 12 kilometers battery. The highest temperature measured 52 degrees Celsius target with updates to be available and can be used as a model

for development kits allow drivers to install electric bikes to help increase convenience and save money.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้ความกรุณาในการตรวจทานเล่มปริญญานิพนธ์ และขอขอบพระคุณอาจารย์ท่านอื่นๆ ที่ได้กรุณาให้แนวคิด ช่วยชี้แนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์ตลอดจนแนะนำการค้นคว้าหาแหล่งข้อมูลเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์เป็นอย่างมาก คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป ขอขอบคุณนายชัชชัย อินเขียน ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้ในการดำเนินโครงงาน ซึ่งเอื้อเป็นอย่างมากต่อความสำเร็จในการดำเนินโครงงาน ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินโครงงาน เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน รวมถึงทุกคนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่คอยเป็นกำลังใจ และบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง จนทำให้ประสบความสำเร็จดังเช่นทุกวันนี้

นายกิตติคุณ สุอรุณ
นายวัชระ เชื้อวงษ์ดี
นายโอฬาร วงศาโรจนะกุล

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
ABSTRACT ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนและการดำเนินโครงงาน 2
1.5 แผนผังการดำเนินโครงงาน 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 5
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอด 5
บทที่ 2 ทฤษฎี 6
2.1 วรรณกรรมปริทัศน์ 6
2.2 แรงขับเคลื่อน (Tractive Effort) 6
2.2.1 แรงต้านทานการหมุนของล้อ 7
2.2.2 แรงต้านทานอากาศ 8
2.2.3 แรงต้านในขณะขึ้นเนิน 9
2.2.4 แรงจากความเร่ง 9
2.2.5 แรงที่ต้องการที่ล้อเพื่อให้ได้ความเร่งเชิงมุมจากมอเตอร์ 10

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

2.2.6 กำลังของมอเตอร์ 12

2.3 ข้อมูลจำเพาะของจักรยานไฟฟ้า (Specification) 12

2.4 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์และคำนวณวงเลี้ยว 13

2.4.1 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์ 13

2.4.2 การคำนวณวงเลี้ยว 14

บทที่ 3 กระบวนการดำเนินโครงงาน 15

3.1 การออกแบบโครงสร้างชุดช่วยขับ 15

3.2 ส่วนประกอบของชุดช่วยขับ 16

3.2.1 รถจักรยานที่ใช้ 16

3.2.2 มอเตอร์ 17

3.2.3 แบตเตอรี่ 17

3.2.4 ชุดขับเคลื่อนจักรยานแบบแรงเสียดทาน (Friction Drive) 18

3.2.5 ตัวควบคุม Controller และ ชุดคันเร่ง ขนาด 24 โวลต์ [V] 18

3.4 การทดสอบชุดช่วยขับ 19

3.4.1 การทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรค 20

3.4.2 การทดสอบอัตราเร่ง 20

3.4.3 ผลการทดสอบประจุแบตเตอรี่เทียบกับระยะทาง 21

3.4.4 การทดสอบการทดสอบอุณหภูมิและการทดสอบวงเลี้ยว 23

บทที่ 4 ผลการทดสอบ 25

4.1 การทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรค 25

4.2 การทดสอบอัตราเร่ง 26

4.3 การทดสอบประจุแบตเตอรี่เทียบกับระยะทาง 27

4.4 สรุปผลการทดสอบ 28

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

4.5 ผลการทดสอบวงเลี้ยว 28
4.6 สรุปผลการทดสอบ 29
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 30
5.1 อภิปรายผลการดำเนินโครงงาน 30
5.2 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 30
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป 31
5.4 ค่าตารางเปรียบเทียบ ระหว่างชุดต้นแบบมอเตอร์ 31
บรรณานุกรม 35
ภาคผนวก ก รายละเอียดมอเตอร์ 36
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณและข้อมูลผลการทดสอบ 39
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 45

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน 2
ตารางที่ 2.1 การวัดปริมาณของสัมประสิทธิ์ต้านทานการหมุนของล้อสำหรับถนนต่างๆ 8
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลจำเพาะของจักรยานไฟฟ้า (Specification) 12
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยเพิ่งเติมสำหรับการทดสอบวงเลี้ยว 14
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดจำเพาะของส่วนประกอบที่จะใช้ในชุดมอเตอร์ช่วยขับ 15
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวงเลี้ยว 28
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน
กับที่มีอยู่ในท้องตลาด 31
ตารางที่ ก.1 มอเตอร์ 37
ตารางที่ ข.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ 40
ตารางที่ ข.2 ค่าแรงต่างๆที่ได้จากผลการคำนวณตัวแปร 41
ตารางที่ ข.3 ค่าแรงที่รวมกันและแสดงในรูปกำลัง 42
ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรก 42
ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิ 43
ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบอัตราเร่ 43
ตารางที่ ข.7 วงเลี้ยว 44
ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบประจุแบตเตอรี่เทียบกับระยะทาง 44

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 1.1 แสดงการติดตั้งชุดมอเตอร์ช่วยขับ (Assisted Motor) ในจักรยานทั่วไปรวมทั้งอุปกรณ์ควบคุม (Controller) คันเร่ง (Accelerator) และแบตเตอรี่ (Battery) 1

รูปที่ 1.2 แผนผังการดำเนินโครงงาน 4

รูปที่ 2.1 แรงที่กระทำต่อรถจักรยานขณะขึ้นเนิน 7

รูปที่ 2.2 การวัดปริมาณของสัมประสิทธิแรงต้านอากาศ (Drag Coefficient) 9

รูปที่ 2.3 โมเมนต์ความเฉื่อยของการหมุนของรูปวงแหวน 10

รูปที่ 2.4 มอเตอร์ที่ขับล้อ 11

รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบการทำงานและส่วนประกอบของมอเตอร์ช่วยขับจักรยานโดยมี M เป็นมอเตอร์ขับและ Driven Wheel เป็นล้อจักรยาน 16

รูปที่ 3.2 รถจักรยานเสือภูเขา TRINX 16

รูปที่ 3.3 มอเตอร์ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า 17

รูปที่ 3.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า 17

รูปที่ 3.5 ชุดขับเคลื่อนจักรยานแบบแรงเสียดทาน (Friction Drive) 18

รูปที่ 3.6 ชุด Controller และ ชุดคันเร่ง ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า 18

รูปที่ 3.7 การประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ได้แก่ ชุดมอเตอร์ส่งกำลัง (Motor and shaft)**ชุดควบคุม** (Controller) คันเร่ง (Accelerator) และชุดแบตเตอรี่ (Battery pack) 19

ชุดควบคุม (Controller) คันเร่ง (Accelerator) และชุดแบตเตอรี่ (Battery pack) 20

รูปที่ 3.8 การทดสอบเพื่อหาข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ต้นกำลัง 21

รูปที่ 3.9 การทดสอบอัตราเร่ง 22

รูปที่ 3.10 การแสดงค่าประจุของแบตเตอรี่โดยเครื่องโวลต์มิเตอร์ 23

รูปที่ 3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิ 23

รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพแรงบิดชุดมอเตอร์ช่วยขับเทียบกับความเร็วรอบที่ทดสอบโดยวิธีโพนีเบรค 25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงค่าอัตราเร่งของการขับขี่จักรยานที่ติดตั้งชุดมอเตอร์ช่วยขับโดยการเปรียบเทียบค่าความเร็วของจักรยานกับเวลาที่ขับขี่ 26

รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงค่าการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่ของการขับขี่จักรยานที่ติดตั้งชุดมอเตอร์ช่วยขับโดยการเปรียบเทียบค่ากำลังของแบตเตอรี่กับระยะทาง 27

รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงค่าอุณหภูมิเทียบกับระยะทาง 28

รูปที่ 5.1 การพัฒนาชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน 32

รูปที่ 5.2 Electric Conversor Kit for Brompton 32

รูปที่ 5.3 จักยานไฟฟ้า ชุด Kit รุ่นMB242R/L-1 33

รูปที่ ก.1 แบบมอเตอร์[WWW.FORANDOR.COM 38

บทที่ 1
บทนำ

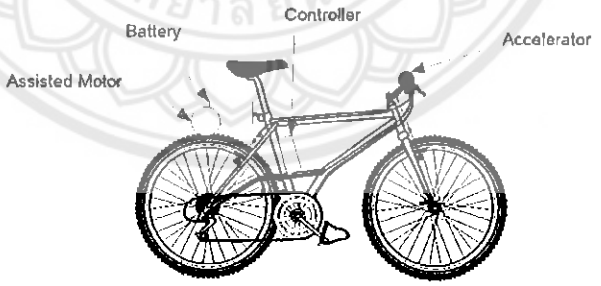
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันความสะดวกมีส่วนสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตในที่นี้จะเป็นในส่วนของการเดินทางด้วยจักรยานนับเป็นยานพาหนะที่นิยมกันมากในการเดินทางระยะทางที่ไม่ไกลนักความสะดวกนี้รวมถึงการใช้งานที่สะดวก ผ่อนแรง การติดตั้ง และการเคลื่อนย้าย ที่ง่ายยิ่งขึ้น นอกจากความสะดวกแล้วความประหยัดก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ควรคำนึงถึงเพราะในปัจจุบันจักรยานไฟฟ้าทั่วไปมีราคาที่ค่อนข้างสูง ซึ่งยากที่จะพบเห็นโดยทั่วไป โครงการนี้จึงทำการศึกษาจักรยานขับเคลื่อนแบบแรงเสียดทาน (Friction Drive) ที่มีราคาไม่สูงและสะดวกในการติดตั้ง

จักรยานขับเคลื่อนแบบ Friction Drive จะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ดังนี้

1) มอเตอร์ (Motor)
2) กล่องควบคลุม (Brush)
3) ชุดคันเร่ง (Accelerator)

โครงงานนี้จะทำการศึกษาถึงค่า Load ที่ส่งผลต่อกำลังขับเคลื่อน และการติดตั้งชุด Friction Drive พร้อมทดสอบการขับเคลื่อน



รูปที่ 1.1 แสดงการติดตั้งชุดมอเตอร์ช่วยขับ (Assisted Motor) ในจักรยานทั่วไป รวมทั้งอุปกรณ์ควบคุม (Controller) คันเร่ง(Accelerator)และแบตเตอรี่ (Battery)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับจักรยานเพื่อเตรียมสำหรับชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน

2) ออกแบบและพัฒนาชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ใช้มอเตอร์ที่มีขนาด (120W,24VDC,2750RPM) และแบตเตอรี่แบบแห้ง (12V,7.5Ah)

2) ติดตั้งในจักรยานเท่านั้น

3) ใช้พื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก เป็นสถานที่ออกแบบและทดสอบชุดติดตั้งจักรยาน

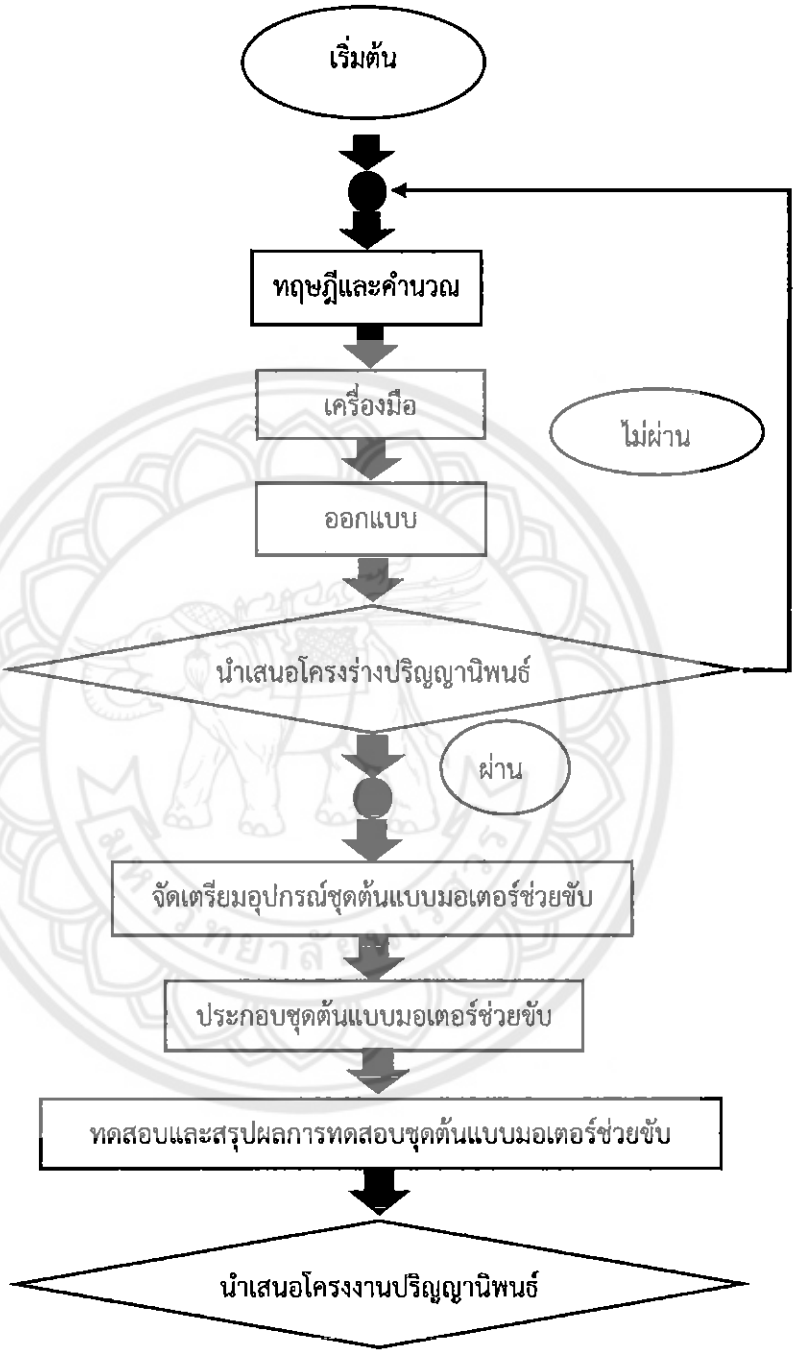
1.4 ขั้นตอนและการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการปฏิบัติการ	2558				2559			
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ก.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ม.ย.
1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและจัดทำวรรณกรรมปริทัศน์								
2.คำนวณโหลดกรณีศึกษาเบื้องต้น								
3.ทดสอบแรงบิดของมอเตอร์จากเครื่องทดสอบแรงบิดมอเตอร์								
4.ออกแบบโครงสร้างของชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับ								
5.จัดซื้ออุปกรณ์								
6.ประกอบชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับกับ								

จักรยาน								
7.ทดสอบและบันทึกผล								
8.วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ								
9.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								

1.5 แผนผังการดำเนินโครงงาน



รูปที่ 1.2 แผนผังการดำเนินโครงงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เข้าใจหลักการทำงานและเครื่องมือต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและทดสอบชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน

2) สามารถเลือกมอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมกับภาระโหลดที่เกิดขึ้นในจักรยานไฟฟ้า

3) ได้ชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน

4) ผู้ที่สนใจและผู้ที่ทำการศึกษาสามารถนำข้อมูลความรู้เกี่ยวกับชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยานที่เป็นประโยชน์ไปใช้ได้

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

ชุดมอเตอร์ (24VDC 120W 2750RPM)	2,250	บาท
ตัวควบคุม (24V 200W)	1,120	บาท
ชุดคันเร่ง	750	บาท
แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบแห้ง (12V 7.5Ah)	1,500	บาท
จัดทำรูปเล่ม	500	บาท
อุปกรณ์ทั่วไป	200	บาท
รวม	6,320	บาท

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมปริทัศน์

James Larninie และ John Lowry ค้นคว้าเกี่ยวกับยานพาหนะที่ใช้ไฟฟ้าเผื่อลดมลพิษ และสามารถใช้ยานพาหนะที่ไม่ต้องพึ่งน้ำมัน หรือพลังงานต่างๆที่สร้างจากน้ำมัน เพื่อเป็นการลดการปล่อยของคาร์บอนใน การคำนึงถึงสภาวะโลกร้อนที่ตามมา โดยทำการคำนวณแบบของยานพาหนะโดยใช้ไฟฟ้าเป็นตัวให้พลังงาน โดยหาแรงขับเคลื่อนออกมา (Tractive Effort) ซึ่งก็คือแรงที่กระทำต่อ ยานพาหนะไฟฟ้าขณะที่เคลื่อนที่เพื่อนำค่ามาหากำลังที่ใช้ขับเคลื่อน

William C. MORCHIN และ HENRY OMAN ศึกษาเกี่ยวกับสมการและเก็บข้อมูลของค่าต่างๆลงในตารางเพื่อมาออกแบบจักรยานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและเหมาะสมกับสถานที่ เช่น บนถนนที่มีการจราจรที่ติดขัดจึงจำเป็นจะหาจักรยานที่สามารถขับขี่บนทางเดินและสามารถพกพาได้ การออกแบบจะมีองค์ประกอบของ กำลังให้การขึ้นทางที่มีความชัน, กำลังที่ใช้ในการต้านลม, กำลังในการต้านสัมประสิทธิ์การหมุนของล้อ และกำลังสำหรับความเร่ง

2.2 แรงขับเคลื่อน (Tractive Effort)

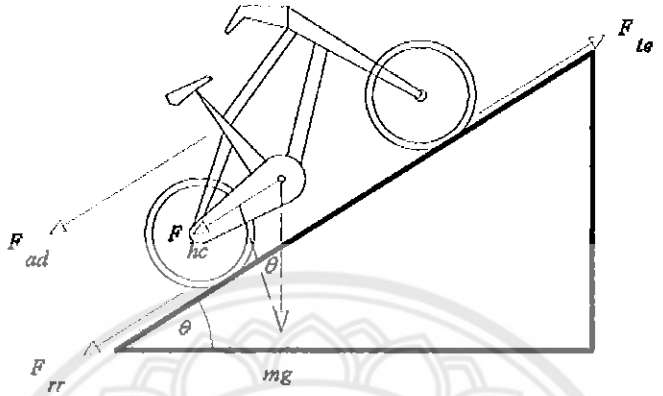
กระบวนการแรกในการออกแบบกำลังในการขับเคลื่อนยานพาหนะ สมการที่ต้องการคือสมการของ Tractive Effort คือแรงที่ขับให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าขับเคลื่อนไปตามท้องถนนที่ขับเคลื่อนโดยล้อ

ซึ่งแรงทั้งหมดจะนำมารวมกันเพื่อหากำลังของมอเตอร์

$$F_{te} = F_{ff} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a} \text{ [N]} \quad \text{..... (1)}$$

จะทำการพิจารณา มวลของยานพาหนะ, ความเร็วและความชันของเนิน แรงทั้งหมดที่กระทำต่อ พาหนะในขณะขับเคลื่อนจะมีดังนี้

1) แรงต้านทานการหมุนของล้อ (Rolling Resistance Force, F_{ff})
2) แรงต้านทานอากาศ (Aerodynamic drag, F_{ad})
3) แรงต้านในขณะขึ้นเนิน (Hill Climbing Force, F_{hc})
4) แรงจากความเร่ง (Acceleration Force, F_{la})
5) แรงที่ต้องการที่ล้อเพื่อให้ได้ความเร่งเชิงมุมจากมอเตอร์ (The force at the wheels needed to provide the angular acceleration to the rotating motor, $F_{\omega a}$)



รูปที่ 2.1 แรงที่กระทำต่อรถจักรยานขณะขึ้นเนิน

2.2.1 แรงต้านทานการหมุนของล้อ (Rolling Resistance Force)

แรงต้านทานการหมุนคือแรงขั้นต้นที่สูญเสียในรูปแบบยานพาหนะ **แรงเสียดทาน** ในแบริ่งและระบบเกียร์ก็เป็นส่วนหนึ่งในแรงต้านทานการหมุน แรงต้าน**ทานการหมุนให้** ประมาณว่ามีค่าคงที่ และแทบจะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วรถ เพราะมันเป็ดสัดส่**วนกับน้ำหนักรถ** จะได้สมการเป็น

$$F_{ff} = \mu_{ff} \cdot mg \text{ [N]} \quad \text{..... (2)}$$

m = มวลรวมคนขับกับจักรยาน [kg]

g = แรงโน้มถ่วงโลก [m/s^2]

μ_{ff} = **สัมประสิทธิ์ต้านทานการหมุนของล้อ ใช้ค่าตามกรณีดังตารางที่ 2.1**

Weight			
lb	218	282	381
kg	99	128	173
Coefficient of Rolling Resistance			
Compacted gravel	0.01	0.0052	-
Losse pea gravel	0.0092	0.0069	0.0051
Smooth asphalt	0.0071	-	-

ตารางที่ 2.1 การวัดปริมาณของสัมประสิทธิ์ต้านทานการหมุนของล้อสำหรับถนนต่างๆ [ที่มา หนังสือ Electric Bicycle A Guide to Design and use หน้า 27]

2.2.2 แรงต้านทานอากาศ (Aerodynamic drag)

เป็นส่วนหนึ่งของแรงที่ในส่วนแรงเสียดทานของโครงสร้างยานพาหนะที่เคลื่อนผ่านอากาศ ที่เกินขึ้น บริเวณพื้นที่ด้านหน้า, รูปร่าง, กระจกที่ยืนออกมา(กรณีมีกระจก)และตัวแปรอื่นๆ จะได้สมการเป็น

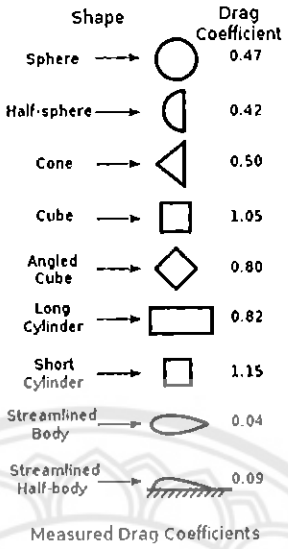
$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho A C_d v^2 \text{ [N]} \quad \text{..... (3)}$$

ρ = ความหนาแน่นอากาศที่ $25C^{\circ}$ [1.2 kg/m^3]

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงลมทั้งหมด [m^2]

C_d = ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag Coefficient) ในกรณีศึกษาจะใช้ค่าซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ด้านหน้าของจักรยาน

v = ความเร็วของจักรยานในขณะนั้น [m/s]



รูปที่ 2.2 การวัดปริมาณของสัมประสิทธิแรงต้านอากาศ (Drag Coefficient)

[ที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Drag_coefficient]

2.2.3 แรงต้านในขณะขึ้นเนิน (Hill Climbing Force)

แรงที่ต้องการใช้ในการขับเคลื่อนยานพาหนะขึ้นเนิน, เขา จะมีองค์ประกอบของน้ำหนักและองศาของ ความชัน จะได้สมการดังนี้

$$F_{hc} = mgsin\theta \text{ [N]} \quad \text{..... (4)}$$

m = มวลรวมระหว่างคนกับจักรยาน [kg]

g = แรงโน้มถ่วงของโลก [m/s^2]

θ = มุมความชันของเนินที่จักรยานเคลื่อนที่

2.2.4 แรงจากความเร่ง (Acceleration Force)

ถ้าความเร็วในการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป แรงที่ได้มาจากความเร่งเชิงเส้นของพาหนะ จะใช้กฎข้อที่ สองของนิวตัน

$$F_{ta} = ma \text{ [N]} \quad \text{..... (5)}$$

m = ความเร่งของจักรยาน [m/s^2]

a = มวลรวมระหว่างคนและจักรยาน [kg]

2.2.5 แรงที่ต้องการที่ล้อเพื่อให้ได้ความเร่งเชิงมุมจากมอเตอร์ (The force at the wheels needed to provide the angular acceleration to the rotating motor)

แรงที่จำเป็นในการเร่งรถจะยังพิจารณาแรงที่จำเป็นที่จะทำให้ชิ้นส่วนที่หมุนเริ่มทำงานได้เร็วขึ้น และ จะพิจารณาความเร่งเชิงหมุนเช่นเดียวกับความเร่งเชิงเส้นจะได้แรงที่กลายเป็นเป็นแรงที่ต้องการที่ล้อเพื่อให้ได้ความเร่งเชิงมุม จากมอเตอร์

$$F_{\omega a} = I \cdot \frac{G^2}{\eta_g r^2} \cdot a \ \text{[N]} \quad \text{..... (6)}$$

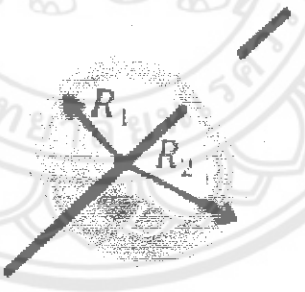
เมื่อเรากำหนดให้ประสิทธิภาพเกียร์เท่ากับ 100% ไม่มีการสูญเสียจากแรงเสียดทาน

$$F_{\omega a} = I \cdot \frac{G^2}{r^2} \cdot a \ \text{[N]} \quad \text{..... (7)}$$

G = อัตราทดเกียร์

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของการหมุน [kgm^2] ซึ่งหาได้จาก

$$I = \frac{1}{2} m(R_1{}^2 - R_2{}^2) \quad \text{..... (8)}$$



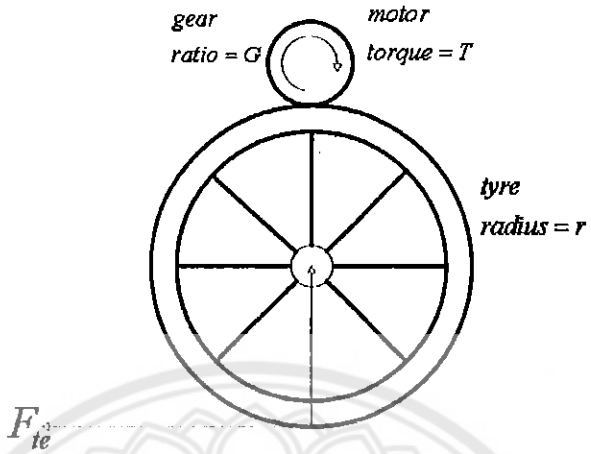
รูปที่ 2.3 โมเมนต์ความเฉื่อยของการหมุนของรูปวงแหวน

[ที่มา http://www.slideshare.net]

η_g = ประสิทธิภาพของระบบเกียร์

r = รัศมีของล้อ [m]

a = ความเร่ง [m/s^2]



รูปที่ 2.4 มอเตอร์ที่ขับล้อ

ซึ่งสมการ 2.5 จะหาได้จากการวิเคราะห์ดังนี้

จะได้ทอร์กของมอเตอร์ $[T]$

$$T = \frac{F_{te} r}{G} \ [\mathrm{N \cdot m}] \quad \text{..... (9)}$$

หรือในรูปของแรง

$$F_{te} = \frac{G}{r} \cdot T \ [\mathrm{N}] \quad \text{..... (10)}$$

กำหนดความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

$$\omega = G \cdot \frac{v}{r} \ [\mathrm{rad/s}] \quad \text{..... (11)}$$

ในรูปของความเร่งเชิงมุม

$$\omega = G \cdot \frac{a}{r} \ [\mathrm{rad/s^2}] \quad \text{..... (12)}$$

ทอร์กที่ต้องการสำหรับความเร่งเชิงมุม

$$T = I \cdot G \frac{a}{r} \ [\mathrm{N \cdot m}] \quad \text{..... (13)}$$

นำสมการที่ (2.5.7) แทนในสมการที่ (2.5.4) **จะได้แรงที่กลายเป็นเป็นแรงที่ต้องการที่ล้อเพื่อให้ได้ความเร่งเชิงมุม** จากมอเตอร์ ดังสมการ (2.5)

2.2.6 กำลังของมอเตอร์ (P)

คือการรวมแรงที่กระทำกับจักรยานทั้งหมดเพื่อนที่จะหากำลังของมอเตอร์ ซึ่งเราสามารถเขียนสมการในรูปของกำลังจะได้ดังนี้

$$P = F_{te} \cdot v \text{ [W]} \quad \text{..... (14)}$$

v = ความเร็ว [m/s]

F_{te} = แรงรวมทั้งหมดในระบบ [N]

2.3 ข้อมูลจำเพาะของจักรยานไฟฟ้า (specification)

ในการคำนวณเพื่อประมาณค่ากำลังของจากสมการข้างต้น สามารถกระทำได้การโดยแทนค่าสัมประสิทธิ์จากและค่าจากข้อมูลจำเพาะในตารางที่ 2.2 พบว่าจะได้ค่าภาระโดยประมาณเป็น 85 วัตต์ [W] หรือ 73 กิโลแคลลอรี่ ต่อ ชั่วโมง [kcal/hr] ถ้ามีการขี่จักรยานทางเรียบอยู่ในช่วงความเร็วคงที่ระหว่าง 20 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง [km/hr] โดยตัวแปรบางตัวจะใช้ค่าประมาณ ส่วนผลที่ได้จะใช้เป็นค่าประมาณของการเลือกขนาดมอเตอร์ช่วยขับได้

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
1.โครงจักรยาน:	
- มวลรวม	26.9 kg
- มวลผู้ขี่จักรยาน	70 kg
- ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	0.9
- พื้นที่หน้าตัด	0.6 m^2 (สูง x กว้าง)
- รัศมีล้อ	26 นิ้ว (0.66 m)
2. การส่งกำลัง:	
- อัตราทด	1:27
3. สภาพการขี่จักรยาน:	
- กลางวัน หรือ กลางคืน	ตลอดวัน
- สภาพถนน	ถนนทางตรงเรียบยาว
- พฤติกรรมการขี่จักรยาน	ความเร็วประมาณ 10 km/hr

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลจำเพาะของจักรยานไฟฟ้า (specification)

2.4 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์และคำนวณวงเลี้ยว

ในที่นี้จะทำการคำนวณแล้วนำค่าไปเทียบหาขนาดมอเตอร์ตามท้องตลาด

2.4.1 การคำนวณหากำลังของมอเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใช้ค่าดังนี้

m = 90 kg

μ_{ff} = Losse pea gravel 0.0092 จากตาราง 2.1

g = 9.81 m/s^2

ρ = 1.2 kg/m^3 ที่ 25 ^{0}C

A = คิดเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม 0.0995 m^2

C_d = 1.05

v = 4.167 m/s

θ = 0 ^{0}C เนื่องจากจะพิจารณาทางเรียบที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สมการ 4 จึงมีค่าเท่ากับศูนย์

a = 0 เนื่องจากพิจารณาที่ความเร็วคงที่ต่อเวลาใดๆขณะขับเคลื่อน สมการ 5,6 จึงมีค่าเท่ากับศูนย์

จากสมการ (2)

$$F_{ff} = \mu_{ff} \cdot mg$$

$$F_{ff} = 0.0092x90x9.81 = 16.245 \text{ N}$$

จากสมการ (3)

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \rho A C_d v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2}x1.2x0.0995x1.05x4.167^2 = 0.104 \text{ N}$$

จากสการ (1) $F_{te} = F_{ff} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a}$

$$F_{te} = 16.245 + 0.104 + 0 + 0 + 0 = 16.350 \text{ N}$$

จากสการ (14) $P = F_{te}v$

$$P = 16.30x4.167 = 68.122 \text{ W}$$

ซึ่งมอเตอร์ตามท้องตลาดมีค่า 120 W จึงทำการเลือก 120 W ในการติดตั้งชุดขับเคลื่อน

2.4.2 การคำนวณวงเลี้ยว

ซึ่งได้ทำการทดสอบที่ถนนคอนกรีตจึงต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อของคอนกรีต

ชนิดถนน	ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย
ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต	
- สภาพดีเยียม	0.014-0.018
- สภาพดีพอใช้	0.018-0.020
ถนนหินปูน	0.023-0.030
ถนนลูกรัง	0.020-0.025
ถนนดิน	
- ดินแห้งอัดแน่น	0.025-0.035
- ดินเปียกหลังฝนตก	0.050-0.150
ถนนทราย	0.10-0.30

ตาราง 2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยเพิ่งเติมสำหรับการทดสอบวงเลี้ยว

[ที่มา http://www.auto2drive.com/แรงต้านการหมุนของล้อ/]

สมการความสัมพันธ์

$$\mu_{ff} = \frac{v^2}{r \cdot g} \quad \text{..... (15)}$$

จัดรูปเพื่อหาค่า r

$$r = \frac{v^2}{\mu_{ff} \cdot g} \quad \text{..... (16)}$$

ทดสอบในถนนแบบดินเปียกหลังฝนตก ใช้ค่าสูงสุด 0.15

ที่ความเร็ว 5 km/hr หรือ 1.389 m/s แทนในสมการ (16) หาค่า r

$$r = \frac{1.389^2}{0.15x9.81} = 1.311 \text{ m}$$

ที่ความเร็ว 10 km/hr หรือ 2.78 m/s แทนในสมการ (16) หาค่า r

$$r = \frac{2.78^2}{0.15x9.81} = 5.25 \text{ m}$$

บทที่ 3
กระบวนการดำเนินโครงงาน

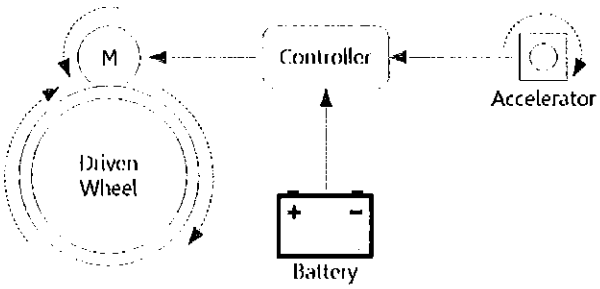
3.1 การออกแบบโครงสร้างชุดช่วยขับ

จากการคำนวณเพื่อประมาณหาขนาดของมอเตอร์นั้น พบว่าควรใช้มอเตอร์ในช่วง 100-200 วัตต์ [W] ได้ เพื่อใช้ประกอบเป็นต้นกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าช่วยขับและเพื่อให้มีน้ำหนักที่ไม่มากจนเกินไป จากนั้นได้ทำการเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดเพื่อความปลอดภัยและมีราคาที่ไม่สูง หาซื้อได้ตามท้องตลาด โดยตารางคุณสมบัติของส่วนประกอบชุดมอเตอร์ช่วยขับจะแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดจำเพาะของส่วนประกอบที่จะใช้ในชุดมอเตอร์ช่วยขับ

1. มอเตอร์:	
- ประสิทธิภาพมอเตอร์	90% (โดยประมาณ)
- อัตราค่าประจุไฟฟ้าจากการเบรก	0%
- กำลัง	120 W (ต่อเนื่อง)
2. แบตเตอรี่:	
- ชนิด	ตะกั่วกรด
- ค่าสัมประสิทธิ์พิวเกิร์ด	1.1
- จำนวนเซลล์ (ต่อลูก)	6 Cells
- ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์	12 V
- ค่าประจุกระแสไฟฟ้า	7.5 Ah
- ค่าการสูญเสียของอุปกรณ์	0 A
- ค่าอัตราการจ่ายกระแส	100%

โดยในการประกอบ ภายในระบบจะประกอบไปด้วย มอเตอร์ต้นกำลัง (M) กล่องควบคุม (Controller) คันเร่ง (Accelerator) และแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้า (Battery) ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.1 โดยเมื่อผู้ขับขี่ทำการเร่งจะสั่งให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเข้ามอเตอร์โดยผ่านกล่องควบคุม เมื่อมอเตอร์ทำงานจะถ่ายโอนกำลังไปที่ล้อจักรยานเพื่อช่วยในการขับขี่



รูปที่ 3.1 แผนภาพระบบการทำงานและส่วนประกอบของมอเตอร์ช่วยขับจักรยาน โดยมี M เป็นมอเตอร์ขับและ Driven Wheel เป็นล้อจักรยาน

3.2 ส่วนประกอบของชุดช่วยขับ

3.2.1 รถจักรยานที่ใช้

จักรยานที่ใช้เป็นจักรยานเสือภูเขา TRINX AR7500 เกียร์ 21 สปีด **มีโช้คน้ำ โครง** อลูมิเนียม ล้อ ขนาด 26 นิ้ว สาเหตุที่ใช้จักรยานคันนี้ก็เพราะว่าจักรยาน**มีความทนทาน** และแข็งแรง สามารถติดตั้งอุปกรณ์ ได้ง่าย แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 รถจักรยานเสือภูเขา TRINX

3.2.2 มอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงรุ่น MY6812 ขนาด 24 โวลต์ [V] ให้กำลัง 120 วัตต์ [W] ความเร็วรอบ(มีโหลด) 2750 RPM ความเร็วรอบ (ไม่มีโหลด) 3500 RPM ซึ่งต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ [V] มาต่อแบบอนุกรมเพื่อให้มอเตอร์มีกำลังเต็มที่ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานกล ในรูปของการหมุนเคลื่อนที่

รูปที่ 3.3 มอเตอร์ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

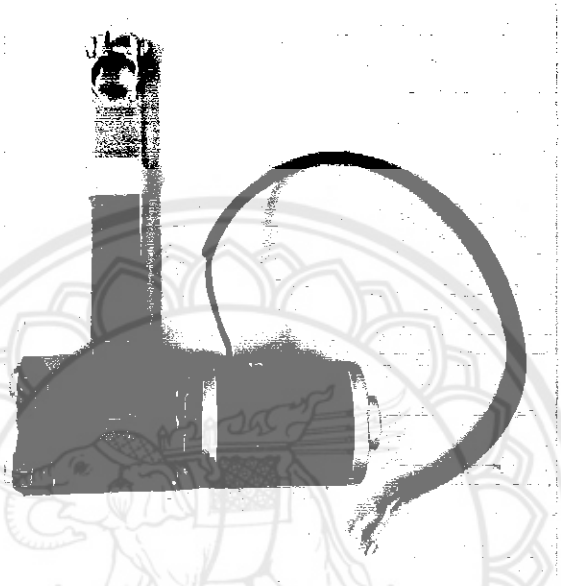
3.2.3 แบตเตอรี่

การทำงานของรถจักรยานไฟฟ้านั้นใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 12 โวลต์ [V] 7.5 แอมป์ชั่วโมง [Ah] จำนวน 2 ก้อน นำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งจะทำให้มีค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเป็น 24 โวลต์ [V] การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมนี้จะต้องเลือกแบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากัน ทำหน้าที่ เป็นแหล่งเก็บไฟฟ้าและจ่ายไฟฟ้าออกไปยังชุด Controller

รูปที่ 3.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

3.2.4 ชุดขับเคลื่อนจักรยานแบบ Friction Drive

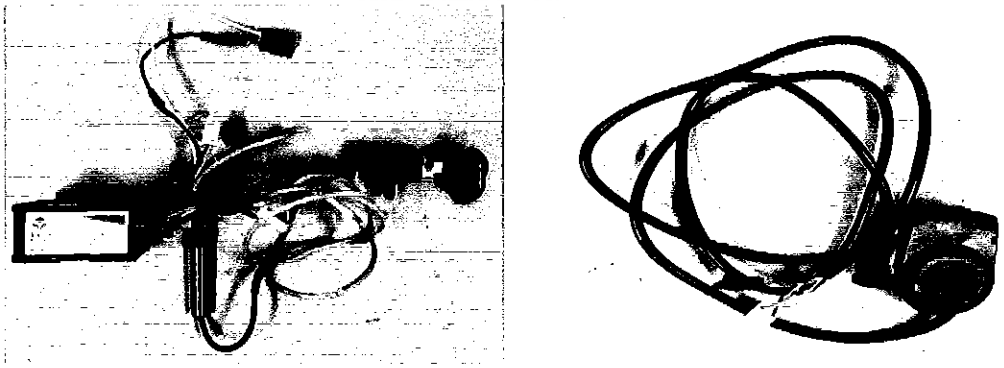
ตัวชุดทำมาจากเหล็กหนา 8 มิลลิเมตร [mm] โดยมีแบริ่งประกบแกนขับทั้งสองข้าง แกนเพลากลางขนาด 1 นิ้ว ส่วนแกนยึดทำจากสแตนเลส ทำหน้าที่เป็นชุดขับเคลื่อนแบบ Friction Drive ที่ล้อหลัง



รูปที่ 3.5 ชุดขับเคลื่อนจักรยานแบบ Friction Drive

3.2.5 ตัวควบคุม Controller และ ชุดคันเร่ง ขนาด 24 โวลต์ [V]

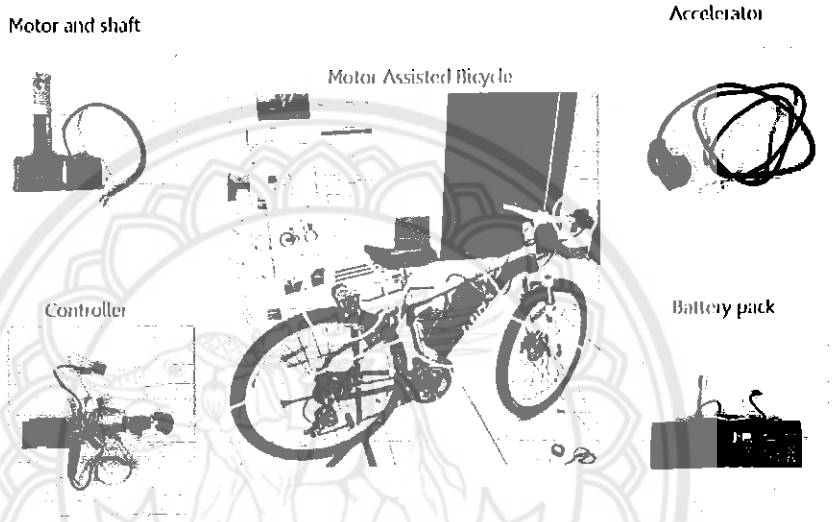
ชุด Controller (LB27) ขนาด 24 โวลต์ [VDC] 250 วัตต์ [W] และ ชุดคันเร่ง ขนาด 24 โวลต์ [V] Controller ทำหน้าที่ ควบคุมระบบไฟต่างๆ และคันเร่งทำหน้าที่เหมือนวอลลุ่มทั่วไปคือปรับแรงดันขาเข้าขาออกแล้วส่งไปยังชุดควบคุม



รูปที่ 3.6 ชุด Controller (LB27) และ ชุดคันเร่ง ที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า

3.3 การติดตั้งชุดขับเคลื่อน

การติดตั้งชุดขับเคลื่อนจักรยานไฟฟ้าล้อหลังแบบแรงเสียดทาน (Friction Drive) โดยยึดกับแกนเบาะของ รถจักรยานสามารถปรับขึ้นลงได้โดยการปรับแกนเบาะจักรยานให้ขึ้นลง แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถจักรยานนั้นต่อ แบบอนุกรมจำนวน 2 ก้อน เชื่อมต่อกับคอนโทรลเลอร์ ซึ่งคอนโทรลเลอร์นั้นจะควบคุมการจ่ายกระแสของ แบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ทั้ง 2 ก้อนนั้นจะอยู่ในกล่องใส่แบตเตอรี่ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งระหว่างโครงล่างและ โครงบนของจักรยาน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ได้แก่ ชุดมอเตอร์ส่งกำลัง (Motor and shaft) ชุดควบคุม (Controller) คันเร่ง (Accelerator) และชุดแบตเตอรี่ (Battery pack)

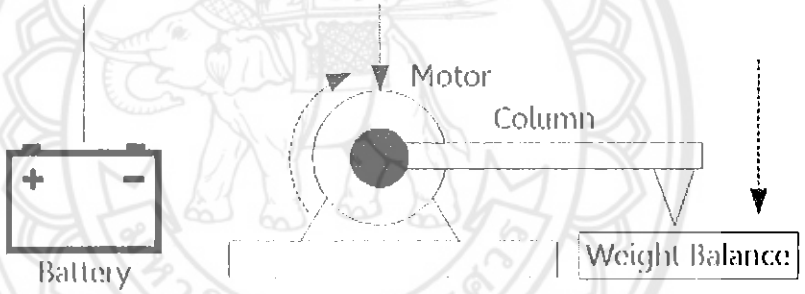
3.4 การทดสอบชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับ

เมื่อทำการประกอบติดตั้งชุดช่วยขับเข้ากับจักรยานแล้ว จะทำการทดสอบการขับขี่ของชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยเพื่อติดตั้งในจักรยานดังต่อไปนี้

3.4.1 การทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรค

การทดสอบเพื่อหากำลังของมอเตอร์โดยกระบวนการทดสอบที่เรียกว่าโพนี่เบรค ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.1 โดยจะให้มอเตอร์ทำงานที่ ความเร็วรอบต่างๆ (ω) [rad/s] แล้วทำการเบรกมอเตอร์โดยให้กดลงบนตราชั่งเพื่อบันทึกค่า น้ำหนักกด (W) [N] และคำนวณแรงบิด (T) [N.m] โดยนำมาคูณกับความยาวของก้าน column (L) [m] ตามสมการดังนี้

$$T = WL \qquad \text{..... (15)}$$



รูปที่ 3.8 การทดสอบเพื่อหาข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ต้นกำลัง

ในการทดสอบนี้จะกำหนดให้ความยาวของก้านเท่ากับ 0.9 เมตรและมอเตอร์ 120 วัตต์ 24 โวลต์และวัดที่ความเร็วรอบ 100,200,500,1000,1500และ2000 rpm แล้วทำการบันทึกค่าน้ำหนักที่วัดได้

3.4.2 การทดสอบอัตราเร่ง

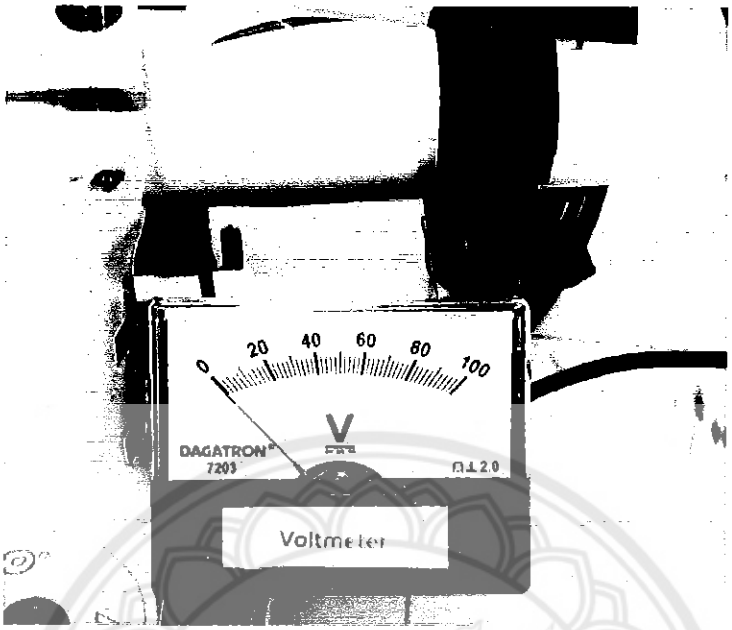
การทดสอบอัตราเร่งเพื่อหาสมรรถนะในการขับขี่ชุดมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในการจักรยาน

รูปที่ 3.9 การทดสอบอัตราเร่ง

ในการหาสมรรถนะของชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยานได้ทำการทดสอบอัตราเร่งโดยใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก Global Positioning System (GPS) โดยหลักการทำงานของระบบกำหนดพิจัดจะทำการแปลงสัญญาณดาวเทียวให้เป็น ตำแหน่ง (X Y Z) ระยะทางและเวลาได้ ติดตั้งในจักรยานแล้วทำการขับขี่ในทางเรียบจากหยุดนิ่งเพื่อหาอัตราเร่งสูงสุดและค่าอัตราเร่งที่เปลี่ยนไปต่อเวลา ดังรูปที่ 3.9

3.4.3 การทดสอบการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่เทียบกับระยะทาง

การทดสอบการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่เพื่อหาระยะทางสูงที่สุดในการขับขี่ต่อการชาร์ตแบตเตอรี่



รูปที่ 3.10 การแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยเครื่องโวลต์มิเตอร์

ในการทดสอบการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ [V] 7.5 แอมป์ชั่วโมง [Ahr] จำนวน 2 ก้อน ต่ออนุกรมกัน โดยการทดสอบบนทางเรียบ ที่โหลดขนาด 90 กิโลกรัม [kg] และที่อัตราเร่งสูงสุด 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [km/hr] ทดสอบโดยใช้เครื่องโวลต์มิเตอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่และใช้มัลติมิเตอร์ในการวัดกระแสโดยการคล้องกระแส ดังรูปที่ 3.10 ทดสอบเพื่อระยะทางที่ไกล ที่สุดที่แบตเตอรี่เต็ม การทดสอบนี้จะกำหนดการบันทึกค่ากระแสและความดันในระยะทางทุกๆ 5 กิโลเมตร โดยจะทำการบันทึกขณะขับขี่ที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แล้วทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.4.4 การทดสอบการทดสอบอุณหภูมิ

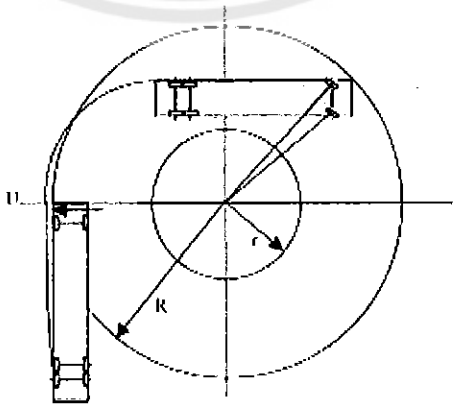
การทดสอบอุณหภูมิของชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อหาความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้โดยการวัดอุณหภูมิที่สูงที่สุด

รูปที่ 3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิ

ในการทดสอบอุณหภูมิเพื่อหาความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับ การทดสอบจะทำการวัดอุณหภูมิที่ระยะทางทุกๆ 5 กิโลเมตร [km] ในขณะทำการขับขี่จักรยาน โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิในการวัดอุณหภูมิค่าที่วัดได้จะมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส [°C] ดังรูปที่ 3.11

3.4.5 การทดสอบวงเลี้ยว

การทดสอบวงเลี้ยวเพื่อหาความปลอดภัยในการขับขี่ชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน



รูปที่ 3.12 การทดสอบวงเลี้ยว โดยที่ r และ R เป็นรัศมีที่ความเร็วต่างๆ

ในการทดสอบวงเลี้ยวเพื่อความปรอดภัยในการขับขี่จักรยานขณะเลี้ยวหรือขณะขับขี่โดยจะทำการทดสอบหาระยะรัศมี [r] แคบที่สุดในการเลี้ยวมีหน่วยเป็นเมตร [m] วัดโดยการผูกเชือกเข้ากับจักรยานแล้วทำการขับขี่จักรยานเป็นวงกลมและวัดรัศมีที่ความ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแล้วนำมาเปรียบเทียบกับการคำนวณวงเลี้ยวในบทที่ 2 ดังรูปที่ 3.12

1919662 ปร กษาก ๒๕๖๗
- 6 ก.ย. 2569
สำนักหอสมุด

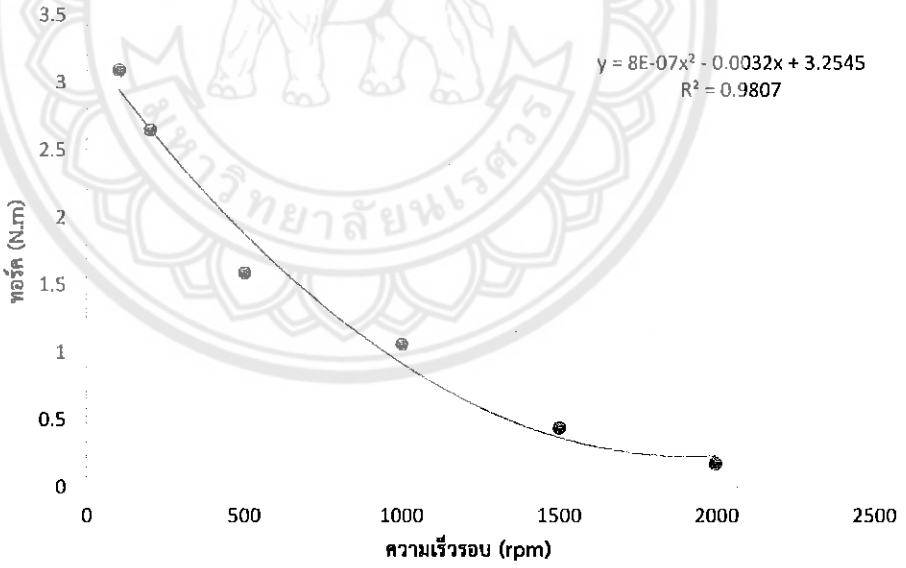
บทที่4
ผลการทดสอบ

หลังจากศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 และการติดตั้งและทดสอบชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับในบทที่ 3 ผู้ดำเนินโครงการได้ทดสอบการทำงานของชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยานที่สร้างขึ้น โดยสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็นดังนี้

4.1 ผลการทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรก

ในการทดสอบเพื่อหาข้อมูลจำเพาะ (specification) ได้แก่ กราฟแรงบิดและความเร็วรอบกำลังของมอเตอร์ที่ใช้ได้ โดยกระบวนการทดสอบที่เรียกว่า โพนี่เบรค ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.1 การทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรกเพื่อหาแผนภาพแรงบิดของมอเตอร์ [N.m] หรือ นิวตันเมตร เทียบกับความเร็วรอบของมอเตอร์ [rpm] หรือ รอบต่อนาที

จากการทดสอบสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟของแรงบิดของมอเตอร์เทียบกับความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4 ในภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.1



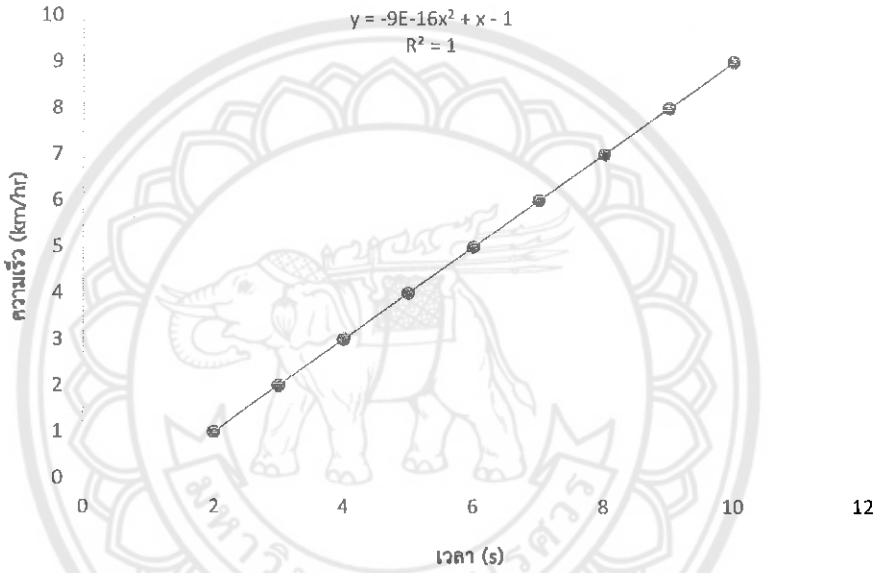
รูปที่ 4.1 กราฟแรงบิดชุดมอเตอร์ช่วยขับเทียบกับความเร็วรอบที่ทดสอบโดยวิธีโพนีเบรก

จากกราฟจะเห็นได้ว่า การทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรกเพื่อหาแผนภาพแรงบิดของมอเตอร์ [N.m] หรือ นิวตันเมตร เทียบกับความเร็วรอบของมอเตอร์ [rpm] หรือ รอบต่อนาที พบว่าแรงบิดของมอเตอร์จะลดลงโดยแปรผกผันกับความเร็วรอบของมอเตอร์โดยมีแนวโน้ม

ลดลงแบบเอ็กโปรเนนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีกำลังมอเตอร์ทำงานอยู่ที่ 105 วัตต์ ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่ากำลังที่มอเตอร์ที่ได้จากมอเตอร์ต้นกำลังเปล่าซึ่งระบุค่ากำลังอยู่ที่ 120 วัตต์ [W]

4.2 ผลการทดสอบอัตราเร่ง

จากการทดสอบ สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความเร็วเทียบกับเวลา โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 6 ในภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.2

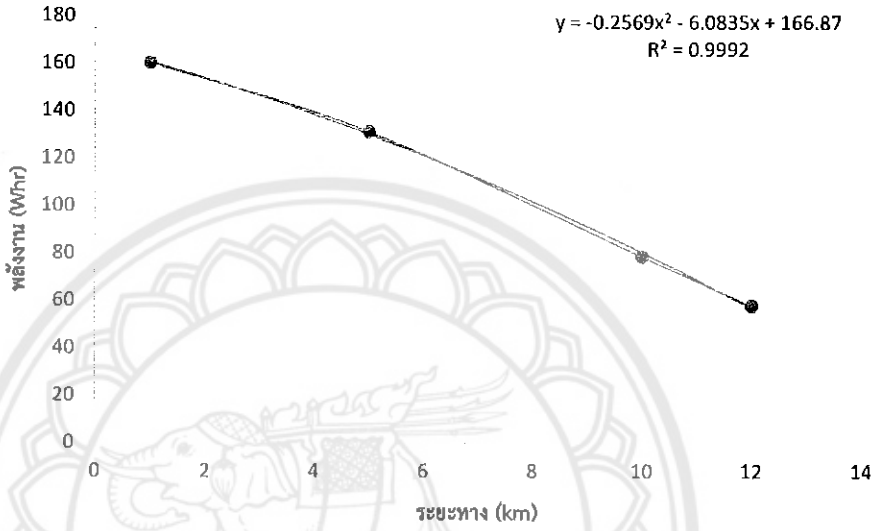


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าอัตราเร่งของการขับขี่จักรยานที่ติดตั้งชุดมอเตอร์ช่วยขับโดยการเปรียบเทียบค่าความเร็วของจักรยานกับเวลาที่ขับขี่

จากกราฟจะเห็นได้ว่า การทดสอบอัตราเร่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยพบว่าชุดมอเตอร์ช่วยขับจะสามารถทำอัตราเร่งจาก 0 ถึง 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระยะเวลาประมาณ 11 วินาที ซึ่งเป็นอัตราเร่งที่เหมาะสมกับการขับขี่จักรยานโดยทั่วไป และสามารถทำวงเลี้ยวอยู่ที่ 1.28 เมตร ที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยวงเลี้ยวจะเพิ่มขึ้นเท่าตัวเมื่อขับขี่ที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4.3 ผลการทดสอบการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่เทียบกับระยะทาง

จากการทดสอบ สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟประจุแบตเตอรี่เทียบระยะทาง ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 8 ภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.3

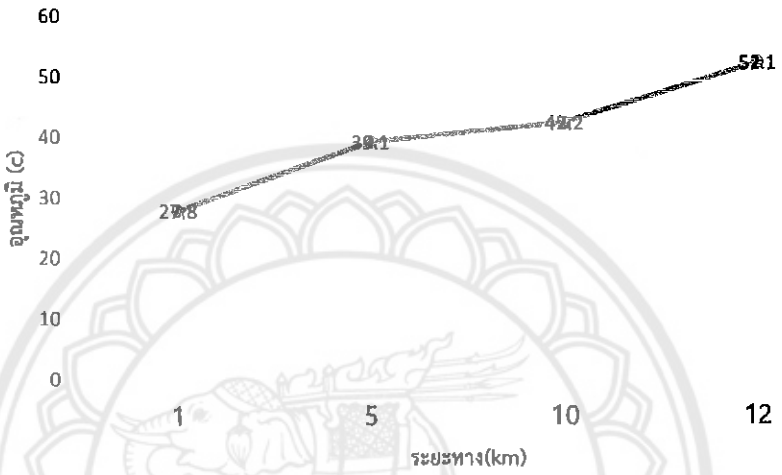


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่ของการขับขี่จักรยานที่ติดตั้งชุดมอเตอร์ช่วยขับโดยการเปรียบเทียบค่ากำลังของแบตเตอรี่กับระยะทาง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ชุดมอเตอร์ช่วยขับจะสามารถขับเคลื่อนได้ระยะทางโดยรวมของการขับขี่โดยใช้ชุดมอเตอร์ช่วยขับจะสามารถกระทำได้มากกว่า 10 กิโลเมตรต่อการชาทแบตเตอรี่เต็มแต่ละครั้ง ซึ่งเป็นระยะทางที่เหมาะสมกับการขับขี่จักรยานโดยทั่วไป และที่แบตเตอรี่เต็มได้กำลังสูงสุด 160 วัตต์ชั่วโมง [Whr] และหยุดขับเคลื่อนที่กำลัง 57 วัตต์ชั่วโมง [Whr] เนื่องจากกำลังดังกล่าวไม่สามารถขับเคลื่อนโหลดได้

4.4 ผลการทดสอบอุณหภูมิเทียบกับระยะทาง

จากการทดสอบการวัดอุณหภูมิเทียบระยะทางเพื่อหาอุณหภูมิที่จะเกิดความเสียหายต่อชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับ โดยจะวัดทุกๆ 5 กิโลเมตร โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 5 ในภาคผนวก ข จะแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงค่าอุณหภูมิเทียบกับระยะทาง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามระยะที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิสูงสุดที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร เท่ากับ 52 องศาเซลเซียส

4.5 ผลการทดสอบวงเลี้ยว

วงเลี้ยว	
ความเร็ว(km/h)	รัศมีจากจุดศูนย์กลาง(m)
5	1.28
10	2.57

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวงเลี้ยว

จะเห็นได้ว่าค่าที่ 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณ แต่ค่าที่ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดสอบได้ค่าน้อยกว่าเนื่องจากการเลี้ยวจริงที่ความเร็วเพิ่มขึ้นทำได้ยากจึงมีค่าน้อยกว่า

<u>หมายเหตุ</u> ควรทำการทดลองกับพื้นผิวถนนทุกชนิดเพื่อทราบค่าของแต่ล่ะประเภท

4.6 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่ากำลังที่ได้จากการทดสอบต้นกำลังมอเตอร์โดยวิธีโพนี่เบรกเท่ากับ 105 วัตต์ มีค่าน้อยกว่ากำลังของมอเตอร์ต้นกำลังเท่ากับ 120 วัตต์ เนื่องจากแรงสูญเสียที่เกิดจากแรงเสียดทาน และมีอัตราเร่งสูงสุด 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง วงเลี้ยวที่แคบที่สุด 1.28 เมตร ที่อัตราเร่ง 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยวิ่งได้ระยะทางสูงสุด 12 กิโลเมตร และวัดอุณหภูมิได้ 52 องศาเซลเซียส ที่ปลายทาง

บทที่5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงงานนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน 2 ภาคการศึกษาในบทนี้เป็นบทสรุปผลและอภิปรายผลการดำเนินโครงงาน การอธิบายข้อจำกัดของชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อ ติดตั้งในจักรยานที่สร้างขึ้น รวมทั้งเสนอแนวทางในการนำโครงงานนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมาก ยิ่งขึ้นต่อไป

5.1 อภิปรายผลการดำเนินโครงงาน

จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังของชุดมอเตอร์ช่วยขับเท่ากับ 105 วัตต์ จะมีค่าลดลงจากมอเตอร์ต้นกำลังทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์มีภาระที่เกิดจากแรงเสียดทานและภาระในการขับชุดเพลาที่ติดตั้งกับมอเตอร์เพิ่มดังนั้นการถ่ายทอดกำลังจึงลดลงไปบางส่วน และการขับขี่สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและอัตราเร่งได้อย่างเหมาะสม เพื่อความปลอดภัยในการเลี้ยวควรลดความเร็วลง 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะได้รัศมีวงเลี้ยว 1.28 เมตร โดยระยะทางที่ทำได้ 12 กิโลเมตรพอเพียงต่อการนำไปใช้สำหรับผ่อนแรงโดยการขับขี่จักรยานได้ในส่วนของการพัฒนาต่อยอดนั้นอาจจะมีการพัฒนาให้มีขนาดกระทัดรัดมากขึ้นและออกแบบการประกอบเพื่อให้มีความสะดวกในการใช้งานจริง โดยอาจมีการเปลี่ยนชนิดของแบตเตอรี่เป็นลิเทียมไอออน และประกอบเข้าเปนชุดเดียวกัน เพื่อลดน้ำหนักและขนาดของอุปกรณ์ รวมทั้งเพิ่มเติมการออกแบบในส่วนของเพลาส่งกำลังให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากชุดเพลาในปัจจุบันยังไม่สามารถส่งกำลังได้เต็มที่เนื่องจากผิวหน้าสัมผัสของเพลาชุดขับยังส่งกำลังไปที่ดอกยางเท่านั้นและยังเกิดการสึกกร่อนของดอกยางเนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดจากการสัมผัสของเพลาชุดขับกับดอกยาง

5.2 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

ในกระบวนการพัฒนาอุปกรณ์ชิ้นนี้นั้นทำให้ได้ทราบถึงการคำนวณทางระบบเพื่อออกแบบชุดอุปกรณ์มอเตอร์ช่วยขับและได้รูปแบบการทดสอบชุดมอเตอร์ช่วยขับจักรยานไฟฟ้า การทดสอบการขับขี่จะช่วยทำให้ทราบข้อมูลเพื่อใช้ปรับปรุงชุดอุปกรณ์มอเตอร์ช่วยขับต่อไปในอนาคตโดยมีต้นทุนในการพัฒนาที่ต่ำ และชุดมอเตอร์ช่วยขับนี้สามารถพัฒนาเพื่อนำไปใช้เป็นอุปกรณ์เสริมติดตั้งในจักรยานเพื่อช่วยในการผ่อนแรง และเพิ่มความสะดวกในการติดตั้งมากขึ้น

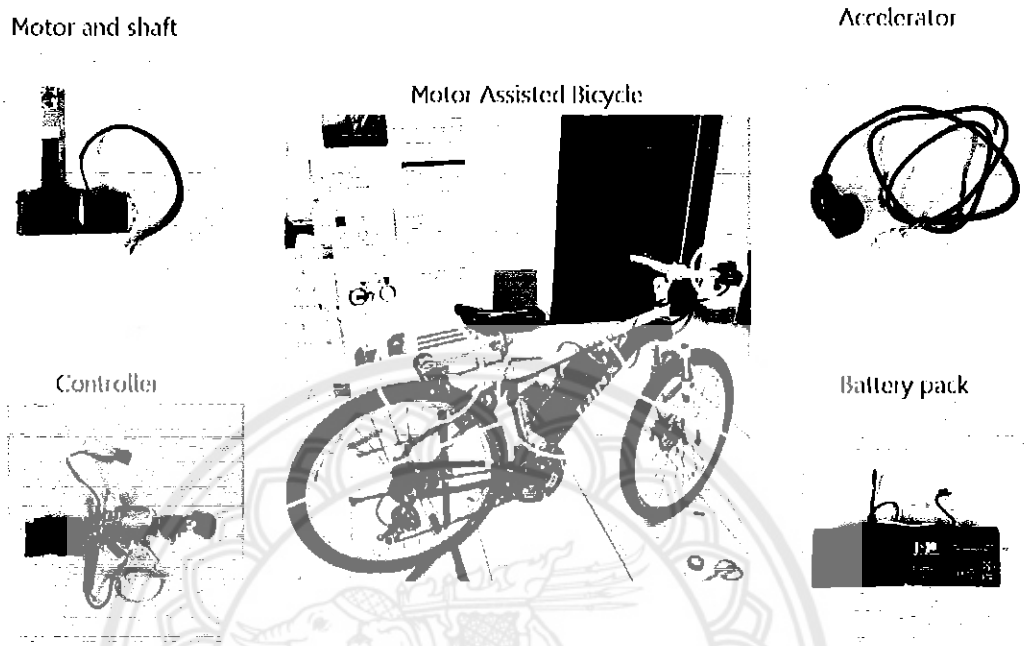
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อไป

จากการติดตั้งและทดสอบชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับแบบประหยัดเพื่อติดตั้งในจักรยาน แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จึงทำให้มีน้ำหนักมาก ดังนั้นควรใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน(Li-Ion) ซึ่งมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ในส่วนของการออกแบบควรออกแบบที่ปรับแรงกดด้วยแหนบหรือสปริงเพื่อเพิ่มความสามารถในการขับขี่ตามท้องถนนที่ขรุขระ และในส่วนของการทดสอบควรทดสอบการช่วยปั่นขณะขับขี่ด้วยชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อเพิ่มระยะทางในการขับขี่ เนื่องจากชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับมีขนาดใหญ่ทำให้ยากแก่การพกพา ดังนั้นควรจะพัฒนาให้มีขนาดกะทัดรัดง่ายสำหรับการพกพา และควรจะมีการนำไปทดสอบการใช้งานกับกลุ่มเป้าหมายเช่น นักศึกษา ผู้สูงอายุ และเด็ก ต่อไป เพื่อเก็บข้อมูลการใช้งาน

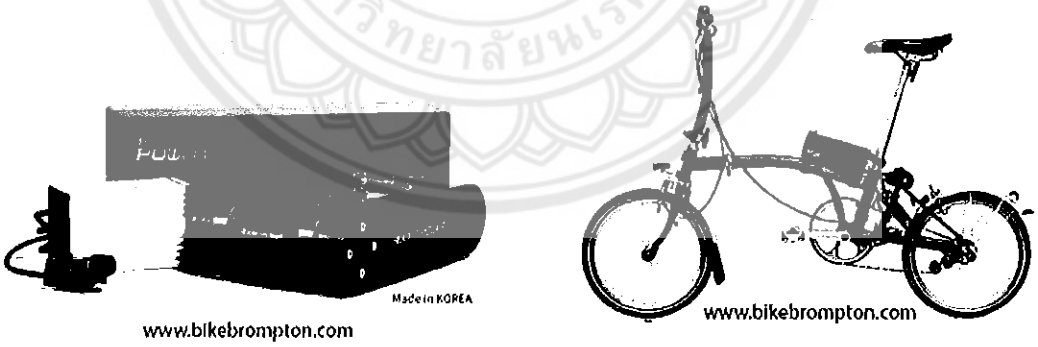
5.4 ค่าตารางเปรียบเทียบระหว่างชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยานกับที่มี

คุณสมบัติ	การพัฒนาชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน	จักยานไฟฟ้า ชุด Kit รุ่นMB242R/L-1	Electric Conversor Kit for Brompton
มอเตอร์	24V 120W	24V 250W	24V 250W
แบตเตอรี่	12V 7.5A	12V 9A x 2	Li-Ion: 14.8V 20A
ความเร็ว	10 กม. / ชม.	20 กม. / ชม.	30 กม. / ชม.
ระยะทางสูงสุด	12 กม.	15 - 20 กม.	30 - 50 กม.
งบประมาณ	5,820 บาท	6,100 บาท	29,755 บาท

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยานกับที่มีอยู่ในท้องตลาด



รูป 5.1 การพัฒนาชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน

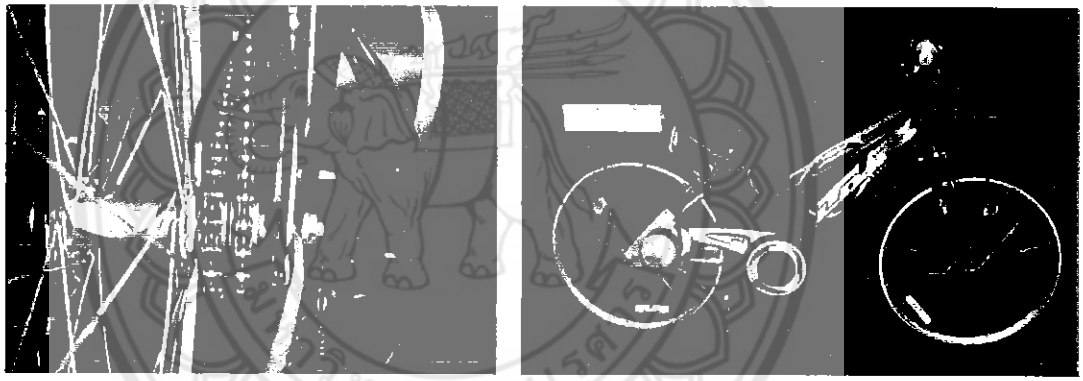


รูปที่ 5.2 Electric Conversor Kit for Brompton

จากตารางการเปรียบเทียบ ชุดติดตั้ง Electric Conversor Kit for Brompton มีน้ำหนักเบาและขนาดเล็กติดตั้งง่าย ความเร็วอยู่ที่ 30 กม. / ชม.(โดยไม่ต้องถีบ) ระยะทางสูงสุด 30 กม. (โดยไม่ต้องถีบ) ซึ่งมีความเร็ว และระยะทางมากกว่า ชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน แต่มีราคาที่สูงกว่ามาก ราคาอยู่ที่ 29,755 บาท

อ้างอิง

Designed by ATINAmedia – Socks (Copyright © 2013 Bikebrompton). HiddenPower E-Bike Conversion Kit. สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2559 จาก http://www.bikebrompton.com



รูปที่ 5.3 จักยานไฟฟ้า ชุด Kit รุ่นMB242R/L-1

จากตารางการเปรียบเทียบ ชุดติดตั้ง จักยานไฟฟ้า ชุด Kit รุ่นMB242R/L-1 เป็นชุดขับแบบใช้โซ่โดยการใช้เสตอร์ 2 ตัวติดกัน ต้องเปลี่ยนแกนล้อ ทำให้มีการติดตั้งที่ยากกว่า ชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน ด้าน ความเร็วอยู่ที่ 20 กม./ชม. ระยะทางสูงสุดที่ 15-20 กม. ซึ่งใช้มอเตอร์ที่มีกำลังมากกว่า และแบตเตอรี่ทีมีจำนวน Ah มากกว่าทำให้มีความเร็วและระยะทางมากกว่า แต่มีน้ำหนักมากกว่า ชุดต้นแบบมอเตอร์ช่วยขับเพื่อติดตั้งในจักรยาน ราคาอยู่ที่ 6,100 บาท

อ้างอิง

ผู้ผลิต: เอกชัย (เอ) (5 มีนาคม 2552). จักยานไฟฟ้า ชุด Kit รุ่นMB242R/L-1.สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2559, จาก http://www.ebikethaikit.com/product-cat

บทที่ 6
บรรณานุกรม

Morchin, C.,W. and Oman, H. (2006) Electric Bicycles A Guide to Design and Use. IEEE press. Wiley- Interscience.

Slinn, M. (2010) Build Your Own Electric Bicycle. McGraw-Hill.

J.P.Holman (2012 Eighth Edition) Experimental Methods for Engineers. McGraw-Hill.

อนันต์ชัย อยู่แก้ว. (2557) จักรยานปั่นไฟฟ้าต้นแบบ. THE 2ND THAILAND BIKE AND WALK FORUM, ชมรมจักรยานเพื่อสุขภาพแห่งประเทศไทย.

นายณฤนาถ แบนคล้าย นายมนตรี ดวงทิพย์และนายกิตติคุณ ครุธาโรจน์.(2554) การเตรียมมอเตอร์สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า.ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

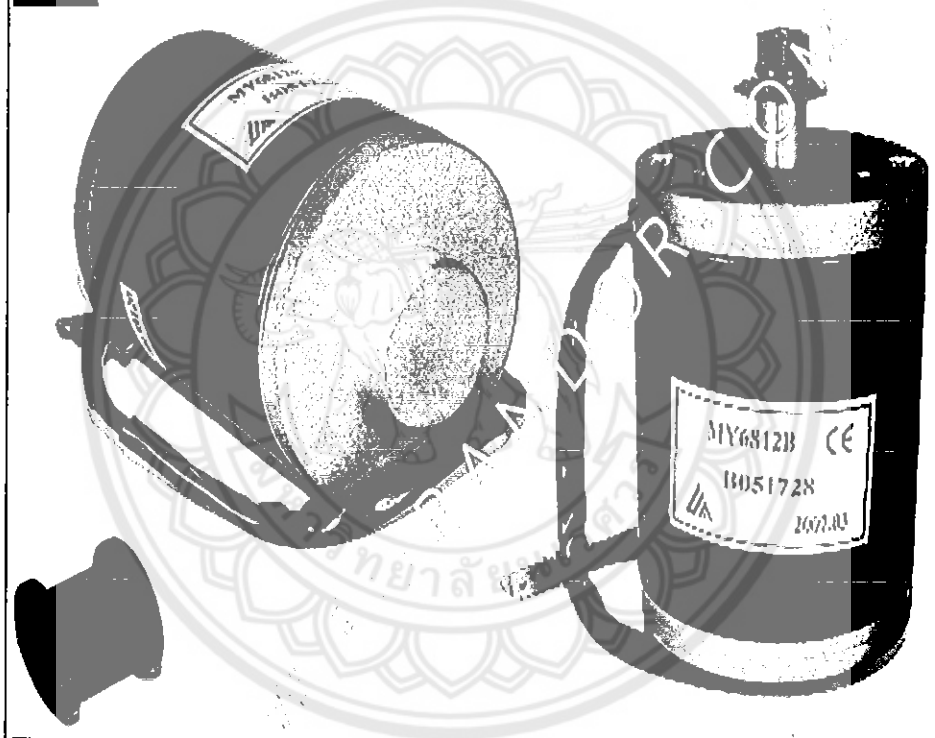
ภาคผนวก ก
รายละเอียดมอเตอร์

ตารางที่ ก.1 มอเตอร์[WWW.FORANDOR.COM]

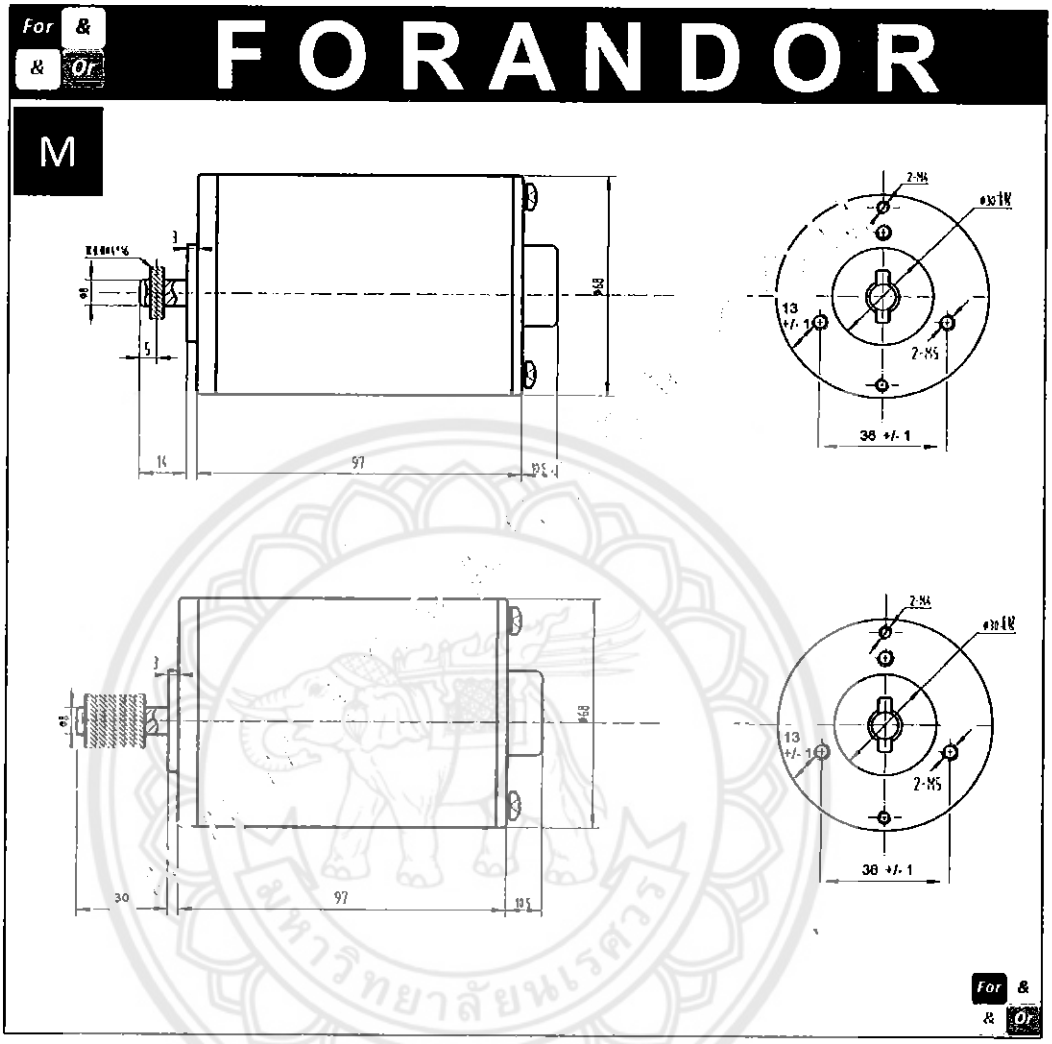
For & & Or

FORANDOR

M



Specification	Spezifikation	MY6812		
Rated Output Power	Leistung	100W	120W	160W
Rated Voltage	Spannung	12V/24V	12V/24V	12V/24V
Rated speed	Drehzahl	2800rpm	2750RPM	2750RPM
No load speed	Drezahl-leerlauf	3500rpm	3500rpm	3500rpm
Full load Current	Strom-Volllast	≤ 6.0A	≤ 7.4A	≤ 8.5A
No load Current	Strom-Leerlauf	≤ 0.55A	≤ 0.6A	≤ 0.9A
Rated Torque	Drehmoment	0.35N.m	0.42N.m	0.56N.m
Efficiency	Effizient	≥ 68%	≥ 70%	≥ 70%



รูปที่ ก.1 แบบมอเตอร์[WWW.FORANDOR.COM]

ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณและข้อมูลผลการทดสอบ

ตารางแสดงผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Excel

การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆซึ่งเราสามารถแก้ไขได้เนื่องจากจำลองการคำนวณด้วย Excel

ตารางที่ ข.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

μ	Coeffcient of rolling	0.0092
m	Mass(Human+Bicycle)	90
g	Gravity	9.81
p	Density of the air	1.2
A	Frontal area+Human	0.0095
C(d)	Drag coefficient	1.05
v	velocity	4.166667
●	Slope	0
a	Acceleration	0
I	Moment of inertia of the rotation	0.031416
G	Gear ratio	6
n(g)	Effciency Of Gear system	1
r	Radius	3
r(m)	Radius Of Rotor Of The Motor	0.04
v(0)	velocity(Begin)	4.166667
t	time	20
t(0)	time	19

ผลการคำนวณ

ตารางที่ ข.2 ค่าแรงต่างๆที่ได้จากผลการคำนวณตัวแปรเบื้องต้น

F(r)=μmg	
16.24536	N
Aerodynamic Drag	
F(ad)=0.5ρAC(d)v^2	
0.103906	N
Hill Climbing Force	
F(hc)=mgsin(ɵ)	
0	N
Acceleration Force	
F(la)=ma	
0	N
Angular Acceleration Force	
F(wa)=I((G^2)/(n(g)(r^2)))*a	
0	N

รวมแรงต่างและทำการคูณความเร็วเพื่อหากำลัง

ตารางที่ ข.3 ค่าแรงที่รวมกันและแสดงในรูปกำลัง

Total Tractive Effort		
F(te)	16.34927	N
P(all)	68.12194	W

ตารางแสดงผลการทดสอบ

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบมอเตอร์ต้นกำลังโดยวิธีโพนิเบรก

ที่ความยาวของแขนกด เท่ากับ 0.9 เมตร [m] และมอเตอร์ 120 วัตต์ [W] 24 โวลต์ [VDC]

ความเร็วรอบ(rpm)	น้ำหนัก(kg)	แรง(N)	ทอร์ค(Nm)
1996	0.2	1.962	0.17658
1500	0.5	4.905	0.44145
1000	1.2	11.772	1.05948
500	1.8	17.658	1.58922
200	3	29.43	2.6487
100	3.5	34.335	3.09015

ตารางที่ ข.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิ

ระยะทาง(km)	อุณหภูมิ(°C)
1	27.8
5	39.1
10	42.2
12	52.1

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบอัตราเร่ง

ความเร็ว(km/h)	เวลา(t)
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10

ตารางที่ ข.7 วงเลี้ยว

วงเลี้ยว	
ความเร็ว(km/h)	รัศมีจากจุดศูนย์กลาง(m)
5	1.28
10	2.57

ตารางที่ ข.8 ผลการทดสอบประจุแบตเตอรี่เทียบกับระยะทาง

ระยะทาง(km)	แรงดัน(V)	กระแส(Ah)	กำลัง(Wh)
1	24.3	6.59	160.137
5	23.8	5.51	131.138
10	20.8	3.78	78.624
12	20.6	2.81	57.886

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายกิตติคุณ สุอรุณ
ภูมิลำเนา 98/3 ม.4 ต.ชัยจุมพล อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลันเรศวร
E-mail: Kittikun_Suaroon@hotmail.com

ชื่อ นายวัชระ เชื้อวงษ์ดี
ภูมิลำเนา 94 ม.3 ต.วังน้ำเย็น อ.บางปลาม้า จ.สุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: looooo53@hotmail.com

ชื่อ นายโอหาร วงศาโรจนะกุล
ภูมิลำเนา 90/168 ม.5 ต.ท่าอิฐ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีบุณยานนท์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลันเรศวร
E-mail: asa_saemee_36847@hotmail.com