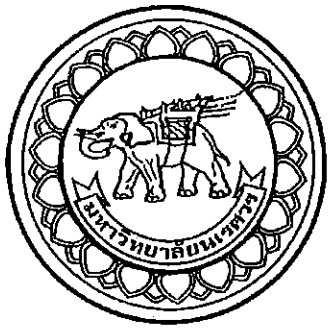


การสร้างระบบสถานีจักรยานระบบแบ่งปัน (สำหรับจักรยานไฟฟ้า)

IMPLEMENTATION OF BIKE-SHARING STATION FOR ELECTRIC BIKE

นายปัญญา พงษ์อุดทา รหัส 51380491

นายเอกวิทย์ จันทะคุณ รหัส 51380613

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ ... 2555
เลขทะเบียน 1590493G
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ม524 ก 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การสร้างระบบสถานีจักรยานระบบแบ่งปัน (สำหรับจักรยานไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ดำเนินโครงงาน นายปัญญา พงษ์อุดทา รหัส 51380491
นายเอกวิทย์ จันทะคุณ รหัส 51380613

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ธนา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ
(ดร.โพธิ์งาม รัตนโชติ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การสร้างระบบสถานีจักรยานไฟฟ้าระบบแบ่งปัน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายปัญญา พงษ์อุดทา รหัส 51380491
	นายเอกวิทย์ จันทะคุณ รหัส 51380613
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

โครงงานการสร้างระบบสถานีจักยานแบบแบ่งปัน ในมหาวิทยาลัยนเรศวร นี้เป็นการประยุกต์ใช้กับจักรยานไฟฟ้า ในระบบจักยานแบบแบ่งปันภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการเลือกใช้แบตเตอรี่ และมอเตอร์ที่มีความเหมาะที่สุด โดยพิจารณาถึงเรื่องของงบประมาณและประสิทธิภาพ การออกแบบอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าที่สามารถเชื่อมต่อสถานีกับจักรยานได้โดยอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้กับจักรยาน บอกระยะเวลาในการประจุไฟฟ้า และการดัดแปลงจักรยานที่มีอยู่ให้เป็นจักรยานไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ในระบบจักรยานแบ่งปัน เพื่อให้นิสิตได้มีทางเลือกในการสัญจรภายในมหาวิทยาลัย ในการเป็นทางเลือกหนึ่งในการเดินทางโดยการบริการสาธารณะ ให้กับนิสิต นักศึกษา เพื่อลดการจราจรติดขัดในมหาวิทยาลัยไม่มากก็น้อย เพื่อสะดวกในการเดินทางของนิสิต โดยอาศัยหลักความรู้ที่เกี่ยวกับระบบจักรยานแบบแบ่งปัน ประเภทของจักรยานไฟฟ้า ส่วนประกอบของจักรยานไฟฟ้าในการจัดทำโครงงาน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ ดร. พิสุทธิ์ อภิชยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ติดตามการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนและอุปการะทางด้านการเงินในด้านค่าใช้จ่ายต่างๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จได้ตามเป้าหมายที่วางไว้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำใคร่ขอพระคุณทุกๆท่านที่มีส่วนช่วยและในการสนับสนุนในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้ดำเนินโครงงาน
ปัญญา พงษ์อุดทา
เอกวิทย์ จันทะคุณ
กุมภาพันธ์ 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 ระบบจักรยานแบ่งปัน (Bike Sharing) 4
2.2 ส่วนประกอบของจักรยานไฟฟ้า 6
2.2.1 มอเตอร์ 7
2.2.2 ชุดควบคุม 8
2.2.2.1 ภาคการขับเคลื่อน (Driver) 8
2.2.2.2 ภาคกำลัง (Power) 8
2.2.3 ชุดคันเร่ง 8
2.2.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในจักรยานไฟฟ้า 9
2.2.4.1 นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NI-MH) 9
2.2.4.2 นิเกิลแคดเมียม (NI-CD) 9
2.2.4.3 ลิเธียมไอออนนาโนฟอตเฟต (Li-Fe หรือ A123) 10
2.2.4.4 ลิเธียมโพลีเมอร์ (LI-PO) 10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4.5 ตะกั่วกรด (Pb) 10
2.2.5 เครื่องประจุไฟฟ้า 12
2.3 การปรับปรุงดัดแปลงจักรยานให้เป็นจักรยานไฟฟ้า 13
2.3.1 โซ่ส่งกำลัง 13
2.3.2 แรงต้านการเคลื่อนที่ 14
2.3.2.1 แรงต้านการหมุนของล้อ 15
2.3.2.2 แรงต้านอากาศ 18
2.3.2.3 แรงต้านจากทางชัน 20
2.3.3 การหาแรงในการขับเคลื่อน 21
2.4 ชนิดของจักรยานไฟฟ้า 23
2.4.1 จักรยานไฟฟ้าแบบติดตั้งเอง (Self E - Bike Installation) 23
2.4.2 จักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูป (E - Bike Goods) 24
2.5 ประเภทการประจุ 26
2.5.1 การประจุแบบง่าย 26
2.5.1.1 แบบ DC 26
2.5.1.2 แบบ AC 26
2.5.2 การประจุไฟฟ้าทีละช้าๆ (Trickle) 26
2.5.3 การประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive) 27
2.5.4 การชาร์จแบบเร็ว (Fast Charge) 27
2.5.5 การประจุไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulse) 27
2.5.6 การประจุไฟฟ้าแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Chargers) 28
2.5.7 การประจุไฟฟ้าแบบใช้หลักการเคลื่อนที่ (Motion powered Charger) 28

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 30
3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของจักรยานไฟฟ้า 31
3.1.1 จักรยานไฟฟ้าแบบติดตั้งเอง 31
3.1.2 จักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูป 31
3.2 ศึกษาข้อมูลของการประจุไฟฟ้า 31
3.2.1 การประจุไฟฟ้าแบบง่าย 31
3.2.1.1 แบบง่าย AC 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1.2 แบบง่าย DC 31
3.2.2 การประจุไฟฟ้าแบบทีละช้าๆ (Trickle) 31
3.2.3 การประจุไฟฟ้าแบบแรงเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive) 31
3.2.4 การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Fast Charge) 31
3.2.5 การประจุไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulse) 31
3.2.6 การประจุไฟฟ้าแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar chargers) 31
3.2.7 การประจุไฟฟ้าแบบใช้หลักการเคลื่อนที่ (Motion powered charger) 31
3.3 ออกแบบและสร้างต้นแบบการประจุไฟฟ้า 31
3.4 การจัดทำระบบอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า 31
3.5 ปรับปรุงและแก้ไข 31
3.6 จัดทำรูปเล่มรายงาน 32

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 33
4.1 การเลือกใช้แบตเตอรี่ในจักรยานไฟฟ้า 33
4.2 การเลือกใช้มอเตอร์ในจักรยานไฟฟ้า 33
4.3 การเลือกใช้การประจุ 34
4.4 การปรับปรุงดัดแปลงจักรยานให้เป็นจักรยานไฟฟ้า 34
4.4.1 โซ่ส่งกำลัง 34
4.4.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 36
4.4.3 การจ่ายกระแสไฟ 37
4.5 ผลการทดสอบ 37
4.5.1 การทดสอบสมรรถภาพของรถจักรยานไฟฟ้า 37
4.5.2 การทดสอบแบตเตอรี่ 38
4.5.3 การทดสอบระบบการประจุไฟของจักรยานไฟฟ้า 39
4.6 การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบใหม่ 40
4.7 การซ่อมบำรุงรักษา 40
4.7.1 ตรวจเช็คและการบำรุงรักษาระบบประจุไฟทุก 1 เดือน 40
4.7.1.1 การจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge) 40
4.7.1.2 การประจุไฟ (Normal Charge) 40
4.7.2 ตรวจเช็คและการบำรุงรักษาจักรยานไฟฟ้าทุก 1 เดือน 41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า 41
4.7.2.2 ชุดควบคุม 41
4.7.2.3 โซ่และยาง 41
4.8 ต้นทุนการปรับปรุงจักรยานให้เป็นจักรยานไฟฟ้าต่อคัน 41
4.8.1 ชุด kit จักรยานไฟฟ้า มอเตอร์ 24 V 250 W รวมส่ง 41
4.8.2 ค่าแรง 41
4.8.3 สายไมล์ 41
4.8.4 ขั้วชาร์จตัวผู้ 1 ตัวและตัวเมีย 1ตัว 41
4.8.5 เทปพันสายไฟ 41
4.8.6 ท่อหด 41
4.8.7 สายรัด 8 นิ้ว 41

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการดำเนินการ 42
5.1.1 จากการศึกษาและออกแบบได้รถจักรยานไฟฟ้า 42
5.1.2 สมรรถนะของรถจักรยานไฟฟ้า 42
5.1.3 การทดสอบแบตเตอรี่ 43
5.1.3.1 สรุปผลการทดสอบจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม วัดค่าต่างๆ โดยใช้ไมล์จักรยาน 43
5.1.3.2 สามารถชาร์จได้โดยไม่ต้องมีไฟค้างอยู่ในแบตเตอรี่ 43
5.1.4 มอเตอร์กินกระแสไฟของมอเตอร์ในสภาวะไม่มี Load 43
5.1.5 การทดสอบระบบการประจุไฟของจักรยานไฟฟ้า 43
5.1.5.1 ชาร์จไฟได้โดยอัตโนมัติกับสถานี 43
5.1.5.2 ระบบตัดไฟได้ เมื่อแบตเตอรี่เต็ม 43
5.1.5.3 ระบบมีสัญญาณเมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือกำลังชาร์จ 43
5.1.5.4 ระบบการประจุไฟฟ้าสามารถชาร์จแบตเตอรี่เต็มโดยเฉลี่ย (จากตารางที่ 4.5) การทดสอบเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 4.7 ชั่วโมง 43
5.2 ค่าใช้จ่ายต่อคัน 43
5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการดำเนินการและแก้ไข 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.1 การติดตั้งจักรยาน รถจักรยานที่เอามาทำค่อนข้างเก่า อะไหลในการบำรุงรักษาค่อนข้างยาก 44
5.3.2 ตัวจักรยานต้องมีการติดตั้งชุด Kit จึงทำให้น้ำหนักมากขึ้น ดังนั้นวัสดุที่นำมาทำจักรยานต้องสามารถรับน้ำหนักชุด Kit ผู้ขับขี่ และผู้ซ้อนได้ 44
5.3.3 หากใช้มอเตอร์ปั่นจักรยานจนทำให้มอเตอร์ร้อน การขับเคลื่อนของมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนน้อยลงจากเดิม 44
5.4 ข้อเสนอแนะ 44
5.4.1 ควรเลือกซื้อชุด Kit ให้เหมาะสมกับจักรยานประเภทต่างๆ 44
5.4.2 ควรจัดทำชุดครอบมอเตอร์ไม่ให้มอเตอร์โดนแสงแดด และน้ำโดยตรงอาจเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้ 44
5.4.3 หากต้องการให้รถจักรยานมีความเร็วมากขึ้น ควรเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดความเร็วรอบมากขึ้นกว่าเดิม 44
5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป 44

เอกสารอ้างอิง 45

ภาคผนวก 46
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 48

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินการโครงงาน 3
2.1 การเปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสีย ของมอเตอร์แบบต่างๆ 7
2.2 การเปรียบข้อดี ข้อเสีย ของแบตเตอรี่ต่างๆ 11
2.3 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพผิวต่างๆ 17
2.4 เปรียบเทียบของการประจุไฟฟ้าข้อดี และข้อเสีย 29
4.1 การทดสอบสมรรถภาพของจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 กิโลกรัม 38
4.2 การทดสอบสมรรถภาพของจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 80 กิโลกรัม 38
4.3 การทดสอบแบตเตอรี่ที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 กิโลกรัม 38
4.4 การทดสอบแบตเตอรี่ที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 80 กิโลกรัม 39
4.5 การทดสอบเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ 39
4.6 การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบใหม่ 40
5.1 สรุปการทดสอบสมรรถภาพของจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม 42
5.2 สรุปการทดสอบแบตเตอรี่ที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม 43

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ระบบจักรยานแบบแบ่งปัน....5

2.2 ส่วนประกอบของจักรยาน....6

2.3 เครื่องประจุไฟฟ้า.... 12

2.4 เฟืองโซ่ประเภทต่าง ๆ.... 13

2.5 แสดงแรงต้านการหมุนของล้อ.... 15

2.6 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ในแนวราบ.... 16

2.7 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน.... 17

2.8 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ลงทางลาด.... 17

2.9 แสดงลักษณะของรูปทรงที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ....18

2.10 แสดงวิธีการหาพื้นที่หน้าตัดของพาหนะโดยประมาณ.... 19

2.11 แสดงถึงแรงต้านจากทางชัน.... 20

2.12 จักรยานไฟฟ้าแบบติดตั้งเอง.... 24

2.13 จักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูป.... 25

3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน.... 30

4.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดปิดผนึก.... 33

4.2 มอเตอร์ DC 250 W 24 V.... 34

4.3 แสดงอัตราทดเฟือง.... 35

4.4 การทดสอบระบบประจุไฟ.... 40

5.1 รถจักรยานไฟฟ้า.... 42

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากการให้บริการเกี่ยวกับการเดินทางโดยการบริการสาธารณะของนิสิต ในมหาวิทยาลัยนเรศวร มีไม่เพียงพอต่อความต้องการ จำนวนรถบริการรับส่งภายในมหาวิทยาลัยมีจำนวนจำกัด ในช่วงเวลาเร่งด่วนทำให้นิสิตเดินทางไปเรียนล่าช้า โครงการจักรยานไฟฟ้าระบบแบ่งปันได้ริเริ่มขึ้น เพื่อใช้เป็นยานพาหนะในการเดินทาง เพิ่มความสะดวกรวดเร็ว เป็นอีกช่องทางหนึ่งของนิสิตมหาวิทยาลัยนเรศวร และยังช่วยลดปริมาณใช้รถจักรยานยนต์

หากมีระบบจัดการที่ดีก็จะสามารถทำให้นิสิตนิยมมาใช้จักรยานในการเดินทางมากขึ้นดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการสร้างสร้างระบบยืมคืนจักรยาน โดยที่มีสถานีรถจักรยาน (Bicycle Station) ภายในมหาวิทยาลัยให้นิสิตได้ใช้จักรยานตามจุดต่างๆ ได้ระบบยืมคืนรถจักรยานเป็นระบบการยืมรถจักรยานโดยผู้ยืมจะต้องใช้บัตรนิสิตในการขอยืมรถจักรยานโดยใช้เทคโนโลยีมาช่วยเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน โดยแต่ละสถานีรถจักรยาน จะทำการส่งข้อมูลผู้ใช้งานไปยังเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งเซิร์ฟเวอร์จะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของระบบทำการนำข้อมูลที่ส่งมาจากสถานีรถจักรยานต่างๆ มาประมวลผล และจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลการที่ระบบยืมคืนรถจักรยานสามารถนำมาใช้ในมหาวิทยาลัยนั้นก่อให้เกิดความสะดวกสบายในการเดินทางไปยังสถานที่ต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยอย่างมาก นิสิตสามารถไปยืมรถจักรยานที่สถานีรถจักรยาน ในจุดที่ใกล้ที่สุดได้และสามารถนำจักรยานไปคืนในอีกที่หนึ่งตามสะดวกได้เช่นกันซึ่งทำให้ช่วยแก้ปัญหาสถานที่จอดรถรถจักรยานยนต์ไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังมีจักรยานไฟฟ้าเป็นอีกช่องทางหนึ่งที่จะทำนิสิตมีความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น ช่วยให้นิสิตหันมาใช้จักรยานภายในมหาวิทยาลัยมากขึ้น และช่วยลดภาระของจักรยานธรรมดาที่จักรยานธรรมดาไม่สามารถทำ เช่น ไม่ต้องออกแรงปั่น ก็จะทำให้นิสิตประหยัดค่าใช้จ่ายได้ รถจักรยานไฟฟ้า ถือว่าเป็นยานยนต์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินทางระยะไม่ไกลนัก เพราะไม่มีไอเสีย เงียบ น้ำหนักเบา ความเร็วไม่สูง ปลอดภัย ราคาไม่แพง ไม่ถูกบังคับให้จดทะเบียนขนส่ง และสวมหมวกกันน็อค เป็นเลือกทางหนึ่งให้กับคนที่มีสุขภาพไม่ดี ไม่เหมาะกับการปั่นจักรยาน ช่วยลดภาวะโลกร้อน เสริมสร้างสุขภาพ ประหยัดพลังงานอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาการออกแบบ และสร้างต้นแบบระบบจักรยานแบบแบ่งปันที่ใช้กับจักรยานไฟฟ้า

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ระบบที่จะมาควบคุมอุปกรณ์ประจุไฟให้กับจักรยานไฟฟ้า ภายในสถานีจอดของจักรยานระบบแบ่งปัน

1.3.2 ต้นแบบจักรยานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแบ่งปัน

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ระบบประจุไฟ และจักรยานไฟฟ้าที่ใช้ได้จริง

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ศึกษาจักรยานระบบแบ่งปันที่มีใช้ในปัจจุบัน

1.5.2 ศึกษาการออกแบบ และสร้างระบบการประจุไฟของจักรยานไฟฟ้าเพื่อติดตั้งภายในสถานี

1.5.3 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่

1.5.4 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเวลาในการประจุไฟแบตเตอรี่

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 ห้อง IE 606 อาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

1.6.2 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ

1.6.3 พื้นที่ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินการโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา								
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.8.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของจักรยานไฟฟ้า	←	—	→						
1.8.2 ศึกษาข้อมูลของการประจุไฟฟ้า		←	—	→					
1.8.3 ออกแบบและสร้างต้นแบบการประจุไฟฟ้า				←	—	→			
1.8.4 ทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ						←	—	→	
1.8.5 ปรับปรุงแก้ไขระบบ							←	→	
1.8.6 จัดทำรูปเล่มรายงาน								←	→

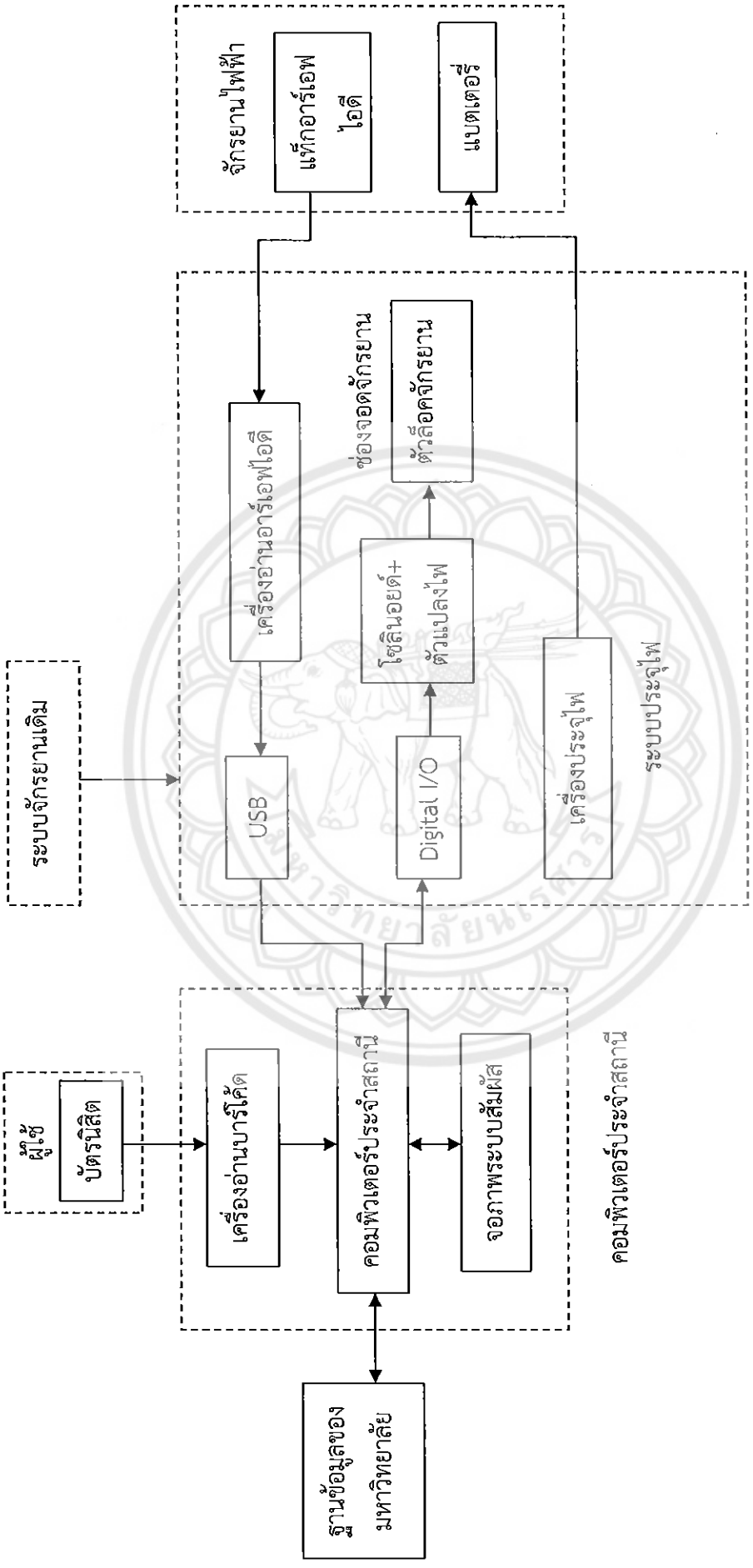
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ปัจจุบันการคมนาคมภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรมีหลากหลายช่องทางในการเดินทาง ไม่ว่าจะเป็นการใช้รถยนต์ รถจักรยานยนต์ หรือรถจักรยาน รวมทั้งบริการจากทางมหาวิทยาลัยได้แก่ รถไฟฟ้าซึ่งใช้พลังงานสะอาด เมื่อกล่าวถึงการใช้ยานพาหนะส่วนตัวนั้น ทำให้เกิดความสะดวกในการเดินทาง แต่เนื่องจากปริมาณของรถที่มากจึงเกิดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูง และปริมาณที่มากนั่นเองมีส่วนส่งผลให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เมื่อคำนึงถึงผลที่ตามมาแล้ว จึงได้จัดให้มีรถจักรยานไฟฟ้าบริการเป็นช่องทางหนึ่งสำหรับนิสิต และบุคลากรของมหาวิทยาลัยนเรศวร แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นบริการจากทางมหาวิทยาก็ยังไม่เพียงพอต่อการเพิ่มขึ้นของนิสิต รวมทั้งเส้นทางการบริการของรถไฟฟ้าก็ยังไม่ทั่วถึง เมื่อได้เล็งเห็นปัญหาด้านนี้ จึงได้มีการจัดทำโครงการการสร้างระบบสถานีจักรยานระบบแบ่งปัน มหาวิทยาลัยนเรศวรขึ้น เพื่อเป็นอีกหนึ่งช่องทางของการบริการจากทางมหาวิทยาลัยในการเดินทาง ซึ่งจะช่วยให้มีความสะดวกในการเดินทางเพิ่มมากขึ้น

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงระบบจักรยานแบบแบ่งปัน (Bike Sharing) ว่ามีอะไรบ้าง ความหมายและเนื้อที่เกี่ยวกับระบบ ได้แก่ สถานี (Station) ล็อคจักรยานไฟฟ้า (Lock System) การรายงานการชำรุด (Breakdown Report) การแจ้งจำนวนจักรยานที่มีอยู่ในสถานี และที่จอดข้างเคียงประเภทของจักรยานไฟฟ้าที่เกี่ยวกับแบตเตอรี่เครื่องประจุไฟฟ้าของจักรยานประเภทต่างๆ ทุกข้อมูลนำไปออกแบบ และสร้างต้นแบบของจักรยานไฟฟ้า การเอาข้อมูลมาประยุกต์กับสถานีล็อคจักรยาน เพื่อแบตเตอรี่สามารถประจุไฟฟ้าได้ โดยมีทฤษฎีดังนี้

2.1 ระบบจักรยานแบ่งปัน (Bike Sharing)

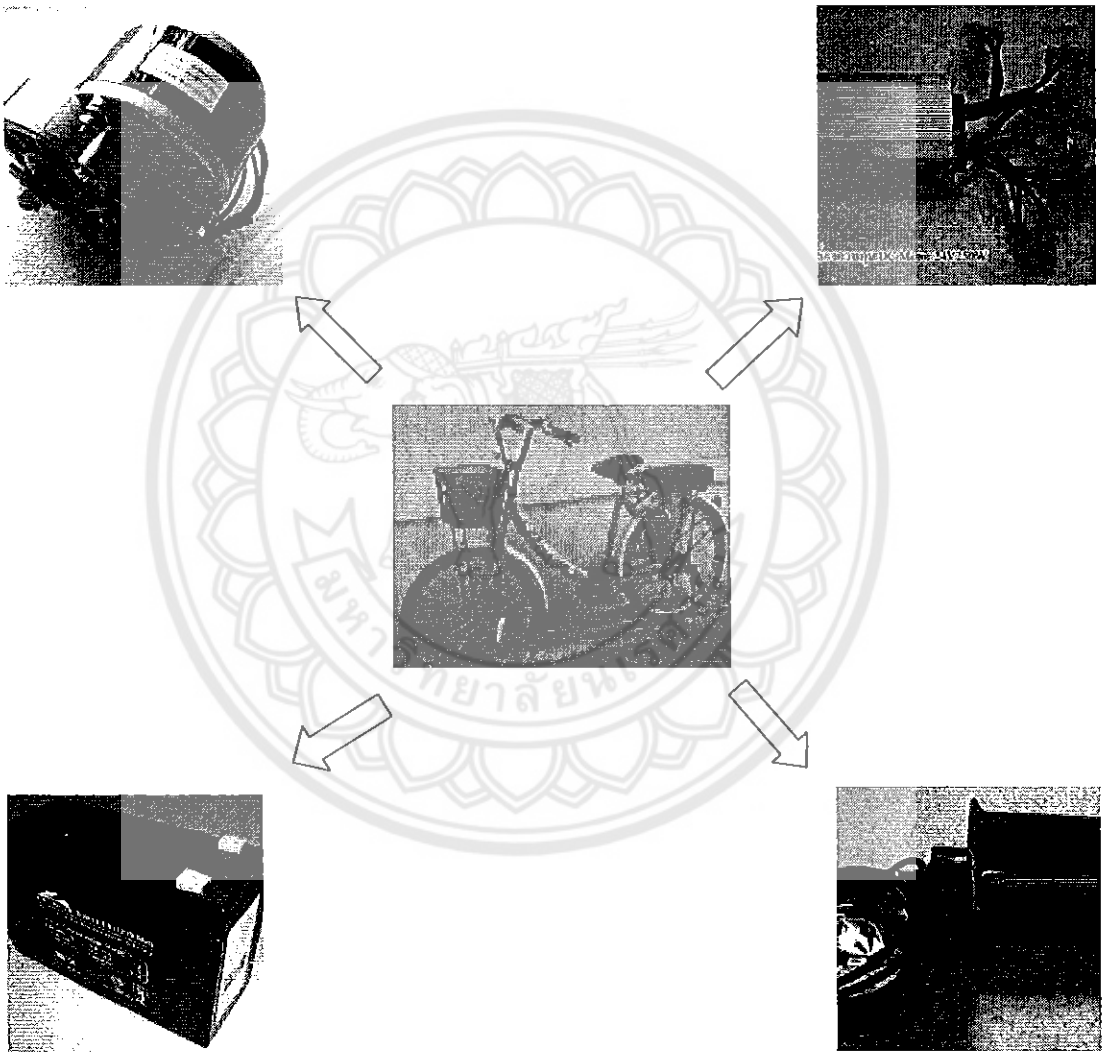
ในระบบนี้จะมีสถานีเป็นตัวส่ง และรับสัญญาณข้อมูลจากส่วนต่างๆ มีดังนี้ ในระบบล็อคจักรยานจะรับข้อมูลจากสถานี เพื่อทำการล็อค ปลดล็อค ในการการรายงานการชำรุดจะเป็นการส่งข้อมูลให้กับสถานีเพื่อทำการล็อคจักรยาน เพื่อทำการการซ่อมบำรุง (Maintenance) สถานีจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังฐานข้อมูล (Database) เพื่อทำการแสดงผลกับตัวสถานีว่ามีจักรยานเหลืออยู่ในสถานีเท่าไหร่ ฐานข้อมูลจะทำการแสดงว่ามีที่จอดข้างเคียงอยู่ไหม ในกรณีที่มีคนจอด และในจักรยานไฟฟ้าก็จะมีระบบแสดงการประจุไฟฟ้าว่าเต็มหรือยัง แสดงระยะเวลาแบตเตอรี่ว่าใช้ได้นานเท่าไหร่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็จะแสดงผลให้ล็อค เพื่อทำการประจุไฟฟ้าต่อไป (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 แสดงระบบจักรยานแบ่งปัน

2.2 ส่วนประกอบของจักรยานไฟฟ้า

ในปัจจุบันนี้การใช้จักรยานไฟฟ้าเป็นที่นิยมมากขึ้น มีจักรยานหลายแบบที่ช่วยอำนวยสะดวกในการเดินทาง จึงมีการออกแบบจักรยานที่ช่วยอำนวยความสะดวกมากขึ้น ในผู้ที่มีสุขภาพไม่ดี ที่ไม่เหมาะกับการถีบจักรยาน จึงมีผู้คิดค้นจักรยานไฟฟ้าหลายๆ แบบหลายประเภท ในข้อนี้จะบอกถึงจักรยานไฟฟ้าแบบต่างๆ และส่วนประกอบ (ดังรูปที่ 2.2)

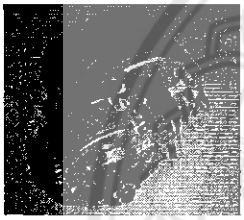
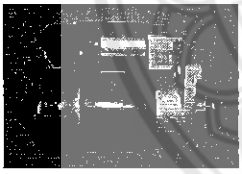
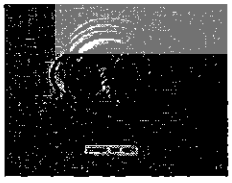
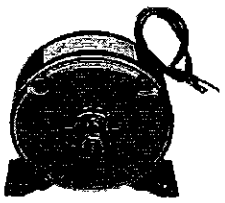


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของจักรยาน

2.2.1 มอเตอร์

มอเตอร์ที่นิยมสร้างรถไฟฟ้ามี 2 แบบ คือ แบบ "Motor DC" มีแปรงถ่าน และ "Hub Motor" ซึ่งจะไม่มีแปรงถ่าน แต่เนื่องจากราคาที่สูงกว่ามากของ Hub Motor บวกกับวงจรควบคุมที่มีการทำงานที่ซับซ้อนกว่ามาก (มีขดลวด 3 ชุด และมีการป้อนกลับของสัญญาณจาก hall sensor ในตัวมอเตอร์เองอีก 3 ตัว สายไฟจึงมีทั้งหมด 6 เส้น) จึงนิยมเลือกใช้งานมอเตอร์แบบแรกมากกว่า เนื่องจากออกแบบวงจรง่าย และราคาถูก ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์ข้อดีข้อเสีย (ดังตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสีย ของมอเตอร์แบบต่างๆ

มอเตอร์	ข้อดี	ข้อเสีย
DC 250 W 24 V 	1. ใช้ไฟกระแสตรง (DC) 2. ชนิดเฟืองทดรอบช้า กินกระแสไม่เกิน 10.4 A	1. ความเร็วต่ำ
ไดสตาร์ทรถยนต์ 	1. ราคาถูก	1. ความเร็วขึ้นอยู่กับขนาดของไดสตาร์ท
Hub motor 36 V 	1. แรงบิดบรรทุกน้ำหนักได้ 100 กก.	1. มีรูสำหรับร้อยซี่ลวด 36 รู การเลือกจักรยานต้องดูวงล้อว่ามีซี่ลวด 36 อัน 2. ลำบากในการหาความยาวของซี่ลวด และวงล้อ
DC Motor 250 W 24 V 	1. ราคาถูก 2. สะดวก มีขาตั้ง มีเฟืองไว้ต่อกับโซ่จักรยาน	1. ใช้กับสกูตเตอร์ และจักรยานไฟฟ้าขนาดเล็ก

2.2.2 ชุดควบคุม

ชุดควบคุมมอเตอร์แบบดีซี โดยส่วนใหญ่จะนิยมกัน คือ วงจรแบบ PWM (Plus widths Modulation) วงจรลักษณะนี้จะดีกว่าวงจรควบคุมมอเตอร์แบบลิเนียร์ทั่วไปตรงที่สูญเสียพลังงานต่ำ ความร้อนน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานจะเป็นลักษณะพัลส์ คลื่นสี่เหลี่ยมดังรูป ปรับช่วง On - Off ได้ซึ่งเรียกว่า วงจรการทำงาน (Duty Cycle) เช่น ถ้าวงจรการทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ สัญญาณช่วงสูงต่ำ (Tone) จะเป็นเส้นตรงเสมือนกับเราป้อนไฟให้มอเตอร์ตรงๆ นั่นเอง หาก วงจรการทำงาน ลดเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ สัญญาณช่วง Tone จะเป็น ½ ของสัญญาณทั้งหมดใน 1 คาบเวลาส่งผลให้แรงดันออก 50 เปอร์เซ็นต์ ของแหล่งจ่ายเป็นต้น การทำงานลักษณะนี้กำลังงานสูญเสียจึงน้อย เพราะภาคงานที่ได้ออกมา (Output) ไม่ต้องทำงานตลอดเวลา

ส่วนที่แตกต่างกันออกไป คือหากมอเตอร์มีกำลังวัตต์ที่สูงขึ้นส่วนของกำลัง จะต้องใช้อุปกรณ์กำลังจำพวก Mosfet IGBT หรือ Transistor ที่มีกำลังสูงขึ้นหรือจะต่อขนานหลายตัวมากขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับกระแส ตามที่มอเตอร์ต้องการได้

กล่าวคือ ชุดควบคุมจะมี 2 ภาคการทำงานหลักๆ คือภาคการขับเคลื่อน และภาคกำลัง ดังที่กล่าวไปในเบื้องต้น ภาคการขับเคลื่อนจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณ PWM เพื่อส่งต่อไปยังภาคกำลัง เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์อีกทีหนึ่ง

2.2.2.1 ภาคการขับเคลื่อน (Driver)

การขยายสัญญาณ (Op - amp) เพื่อกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย และใช้ Op amp อีกตัวมาทำการ Compare แรงดันกันเพื่อให้ได้สัญญาณ PWM ดังวงจรทางขวามือ IC PWM สำเร็จรูป วิธีนี้ค่อนข้างสะดวก และง่าย อุปกรณ์น้อย Microcontroller แบบนี้ค่อนข้างจะพิเศษมาก เนื่องจากต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อใส่เข้าไปอาจจะเป็นภาษา Assembly หรือภาษาซี การใช้ IC Microcontroller มาทำ PWM นี้นิยมไปทางแนวทำหุ่นยนต์หรือการควบคุมมอเตอร์แบบเฉพาะทาง ที่ต้องการควบคุมแบบมีเงื่อนไขหลายๆ อย่าง

2.2.2.2 ภาคกำลัง (Power)

เป็นส่วนที่ต่อกับมอเตอร์ และรับแรงดันไฟหลักโดยตรง เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานได้ ภาคนี้เองอาจจะมีการต่อชุด Feedback กลับไปยังภาคควบคุมเพื่อสามารถควบคุมการทำงานให้เสถียรขึ้นได้ ส่วนใหญ่ภาคนี้จะใช้ Power Mosfet เนื่องจากไม่ต้องการกระแสจากภาคกำลัง สูงซึ่งต่างจาก Transistor ที่ต้องการกระแสเพื่อขับเบสที่มากทีเดียว ความร้อนก็สูงตามมาด้วยเช่นกัน

2.2.3 ชุดคันเร่ง

หลักการทำงานของคันเร่งก็เหมือน Volume ทั่วไปคือสามารถเร่งหรี่ปรับแรงดันขาออกได้ 0 - 5 โวลต์ โดยประมาณ แต่ภายในจะไม่ใช้ Volume แต่จะใช่ Hall Sensor (เซนเซอร์

สนามแม่เหล็ก) แทนเนื่องจากคงทน และแม่นยำกว่า Volume ที่เราพบเห็น Hall Sensor มีลักษณะเหมือนทรานซิสเตอร์มี 3 ขา คือ ขาไฟเลี้ยง 5 โวลต์ ขากราวด์ และขาไฟออก ซึ่งภายในคันเร่งจะมีแม่เหล็กลักษณะทรงโค้งฝังอยู่ในตัวบิด เมื่อเราบิดคันเร่งก็จะเกิดสนามแม่เหล็กเหนือ ใต้ที่ต่างกันออกไป ให้ Hall sensor แปรผันเป็นแรงดันไฟส่งไปให้ชุดควบคุมรับรู้อีกทีหนึ่ง (ส่งเป็นไฟธรรมดาไปนี่ล่ะ ไม่ใช่พัลส์อะไรทั้งนั้นใช้มิเตอร์เข็มวัดได้เลย) ชุดคันเร่งบางรุ่นดีหน่อยมีวงจรตรวจระดับแรงไฟติดมาให้ด้วย (หากจะประหยัดต้นทุน บางท่านอาจจะใช้ Volume ค่าสัก 10 k ต่อกับ ขาด้านหนึ่งต่อไฟ 5 โวลต์ อีกด้านหนึ่งลงกราวด์ ส่วนขากลางก็เป็นแรงดัน Output ส่งไปภาคควบคุม (Control) ได้

2.2.4 แบตเตอรี่ที่ใช้ในจักรยานไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโตรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ที่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุนั่นเอง แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้ การบำรุงรักษา การประจุและอุณหภูมิ ฯลฯ โดยสามารถจำแนกแบตเตอรี่ออกได้ 2 กลุ่มสำคัญๆ คือ ตามการใช้งานและประเภทของโครงสร้างเป็นแบตเตอรี่แห้งและมีชนิดของแบตเตอรี่ต่างๆ ดังนี้

2.2.4.1 แบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NI-MH)

แบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH) ให้พลังงาน 1.2 โวลต์ เหมือนกับแบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NI-CD) และสามารถชาร์จใหม่ได้หลายร้อยครั้งเช่นกัน แต่การชาร์จแบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH) จะไม่เกิดในกรณีที่แบตเตอรี่ใช้ไฟไม่หมดประจุ แล้วนำไปชาร์จใหม่บ่อยๆ ทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจำค่าสูงสุดที่เคยเก็บไว้ได้ เป็นสาเหตุให้แบตเตอรี่ค่อยๆ เสื่อมลงอย่างรวดเร็วที่เรียกว่า MEMORY EFFECT เหมือนแบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NI-CD) ตัวแบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH) จะสามารถรีชาร์จด้วยตัวเองประมาณ 1 - 4 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่เหลืออยู่ทุกวัน แต่ไม่สามารถเก็บแบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH) ไว้ได้นานเท่ากับแบตเตอรี่อื่นๆ

2.2.4.2 แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NI-CD)

แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NI-CD) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถรีชาร์จได้ และสามารถจะรีชาร์จใหม่ได้กว่า 100 ครั้ง แต่จำเป็นที่จะต้องใช้แบตเตอรี่ให้หมดก่อนถึงจะชาร์จใหม่ได้

มิฉะนั้นจะทำให้เกิดเมโมรี่เอ็ฟเฟ็กต์ (Memory Effect) ซึ่งหมายถึงการชาร์จแบตเตอรี่ได้เพียงบางครั้ง และไม่สามารถชาร์จได้เต็มที่ ซึ่งเกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่เดิมยังไม่หมด ทำให้การชาร์จครั้งต่อไปจะใช้เวลาสั้นลงเนื่องจากแบตเตอรี่จะเก็บความจำในการชาร์จที่สั้นที่สุดเอาไว้ และทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดน้อยลง หรือหากชาร์จทิ้งเอาไว้นานเกินไปก็จะทำให้แบตเตอรี่ร้อนมากและเสียหายได้อีกเช่นกัน แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NI-CD) ให้พลังงานเพียง 1.2 โวลต์ ซึ่งน้อยกว่าแบตเตอรี่อัลคาไลน์ที่ให้พลังงาน 1.5 โวลต์ และนอกจากนี้สารแคดเมียมยังเป็นสารพิษที่อันตรายมากอีกด้วย

2.2.4.3 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนาโนฟอตเฟต (Li-Fe หรือ A123)

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนาโนฟอตเฟตเป็นแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Li-ion) ชนิดหนึ่งที่เคลือบขั้วแคโทด (ขั้วบวก) ด้วยอนุภาคของฟอสฟอรัสระดับนาโนเมตร การเคลือบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจะทำให้การเคลื่อนที่ของประจุบวกภายในเซลล์เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น ทำให้สามารถรับกระแสชาร์จและจ่ายกระแสได้สูง

2.2.4.4 แบตเตอรี่ลิเธียมโพลีเมอร์ (LI-PO)

แบตเตอรี่ชนิดนี้จะคล้ายลิเทียมไอออนมาก ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดนี้คือ แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ สามารถออกแบบทำให้มีรูปร่างต่างๆ ได้ ขณะที่ลิเทียมไอออนจำกัดอยู่แค่รูปร่างที่เป็นก้อนสี่เหลี่ยม แต่เทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน แบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ยังมีราคาแพงอยู่มาก จึงไม่ค่อยพบเห็นในการนำมาใช้ทั่วไปนัก

2.2.4.5 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Pb)

แบตเตอรี่แบบแห้งจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือประเภทที่ใช้เจลเป็นวัสดุดูดซับกรดเรียกว่า แบตเตอรี่แบบเจล (Gel Battery or GelCell) และประเภทที่ใช้แผ่นซิลิกาไฟเบอร์เป็นตัวดูดซึม เรียกว่า แบตเตอรี่แบบ AGM (AGM Battery) ซึ่งลักษณะการแบ่งประเภทแบบนี้เป็นการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของแบตเตอรี่แต่การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดยังแบ่งได้อีกลักษณะหนึ่งคือ การแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน โดยจะแบ่งเป็นแบตเตอรี่แบบใช้งานทั่วไปหรือแบบที่ใช้สำหรับสตาร์ทเครื่องยนต์แบบคายประจุลึก และแบบลูกผสม

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

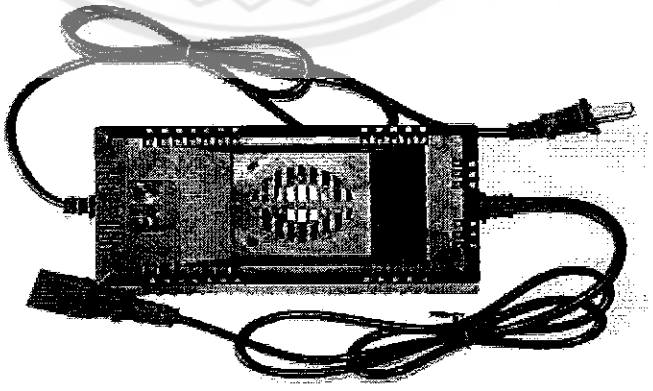
ชนิดของแบตเตอรี่	ข้อดี	ข้อเสีย
แบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ Nickel-Metal hydride battery (NI-MH)	1. สามารถประจุไฟได้โดยไม่ต้องคายประจุออกจากตัวแบตเตอรี่ก่อน แต่หากต้องการให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรจะทำการคายประจุที่เหลือภายในตัวแบตเตอรี่ออกก่อนที่จะทำการประจุไฟใหม่ 2. จ่ายไฟได้ค่อนข้างคงที่ และยาวนานกว่า NI-CD ในปริมาณที่ความจุเท่ากัน	1. NI-MH การเก็บรักษา ต่างจาก NI-CD คือ ต้องมีประจุไฟเหลือค้างอยู่ภายในแบตเตอรี่ หากไฟภายในแบตเตอรี่หมดนานๆ แบตเตอรี่จะเสีย 2. หากต้องการแบตเตอรี่ NI-MH ที่จ่ายไฟที่ดี ดังนั้นเครื่องชาร์จต้องมีประสิทธิภาพในการประจุ 3. การดูแลรักษาก่อนและหลังใช้แบตเตอรี่ NI-MH ค่อนข้างจะยุ่งยาก 4. อายุการใช้งานสั้นกว่า LI-PO
แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม Nickel-Cadmium battery (NI-CD)	1. NI-CD สามารถเก็บได้โดยไม่ต้องมีไฟเหลือค้างอยู่ภายในแบตเตอรี่ 2. น้ำหนักตัวของแบตเตอรี่ NI-CD จะเบากว่า NI-MH	1. ก่อนนำมาชาร์จใหม่หากไม่คายประจุภายในแบตเตอรี่ก่อน แบตเตอรี่จะจำการชาร์จครั้งสุดท้าย ที่เรียกว่า MEMORY EFFECT 2. จ่ายไฟดุดันและรุนแรง แต่ไม่สามารถจ่ายไฟได้นานๆ
แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนนาโนฟอตเฟต Lithium Iron Phosphate battery (Li-Fe หรือ A123)	1. จ่ายกระแสได้สูงขึ้น 2. สามารถชาร์จประจุกลับได้รวดเร็วขึ้น 3. มีความทนทาน	1. ราคาแพง
แบตเตอรี่ลิเธียมโพลีเมอร์ Lithium-Polymer battery (LI-PO)	1. การจ่ายไฟเสมอต้นเสมอปลาย และจ่ายไฟดีกว่า NI-MH 2. การดูแลไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องคายประจุที่เหลือค้างภายในตัว	1. ข้อควรระวังของ LI-PO คือห้ามใช้จนแรงดันต่ำกว่า 2.8 โวลต์ต่อเซล แค่ครั้งเดียวจะทำให้แบตเตอรี่ บวม/เสื่อม อาจ

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่	ข้อดี	ข้อเสีย
แบตเตอรี่ลิเธียมโพลีเมอร์ Lithium-Polymer battery (LI-PO)	แบตเตอรี่ 3. อายุการใช้งานยาวนานกว่า NI-MH	เกิดไฟลุกได้ แรงดันของ LI-PO ขณะชาร์จเต็ม แรงดันไม่เกิน 4.2 โวลต์ ต่อ 1 เซล 2. สามารถใช้เครื่องชาร์จได้หลายแบบ แต่ต้องชาร์จในโหมด LI-PO
แบตเตอรี่ตะกั่วกรดปิดผนึก lead-acid battery (Pb)	1. ไม่มี memory effect 2. ราคาถูก 3. ปลอดภัย ได้มาตรฐาน	1. มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่จ่ายออกมา

2.2.5 เครื่องประจุไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ใช้ในการใส่พลังงานเข้าไปในเซลล์สำรองหรือแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าด้วยการบังคับให้กระแสไฟเข้าไปในตัวแบตเตอรี่ ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี และความจุของแบตเตอรี่ ตัวอย่างเช่น ในปัจจุบันการชาร์จแบตเตอรี่รถยนต์ 12 v กับแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือมีความแตกต่างกันมากในการประจุไฟฟ้า (ดังรูปที่ 2.3)

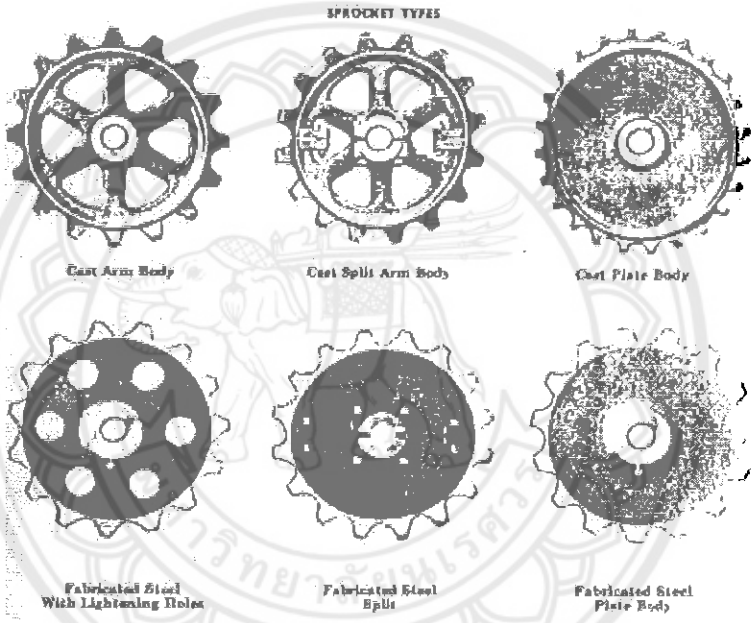


รูปที่ 2.3 เครื่องประจุไฟฟ้า
ที่มา : www.telepart.net

ตัวประจุไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประจุฟ้าแบตเตอรี่ของจักรยานไฟฟ้า การประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ซึ่งที่ตัวประจุไฟฟ้าก็จะมีหลอดไฟแสดงสถานการณ์ทำงานอยู่ ขณะที่กำลังประจุไฟอยู่หลอดไฟจะขึ้นโชว์เป็นสีแดงเมื่อประจุไฟเต็มแล้ว หลอดไฟก็จะขึ้นโชว์เป็นสีเขียวโดยตัวประจุไฟฟ้าจะตัดไฟโดยอัตโนมัติ แต่ไม่ควรประจุไฟทิ้งไว้หลังจากไฟขึ้นโชว์เป็นไฟเขียวแล้ว เพราะจะให้แบตเตอรี่เกิดการบวม และมีอายุการใช้งานที่สั้นลงได้

2.3 การปรับปรุงดัดแปลงจักรยานให้เป็นจักรยานไฟฟ้า

2.3.1 โซ่ส่งกำลัง



รูปที่ 2.4 เฟืองโซ่ประเภทต่างๆ

ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

เฟืองโซ่สามารถทำขึ้นจากวัสดุหลายๆ ชนิด และมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งานและความยากลำบากในการบำรุงรักษาที่ต้องการ เฟืองโซ่สามารถทำขึ้นจากวัสดุหล่อหลายชนิด เช่น เหล็กหล่อสีเทา (Gray Iron) และ Chilled Rim และยังมี Fabricated Steel ที่มีความแข็งแรงสูงสุดและมีความต้านทานการสึกหรอตามที่ต้องการเฟืองโซ่ที่นิยมใช้กัน 3 ประเภท มีดังนี้

1. Arm Body

เฟืองโซ่ประเภทนี้ โดยทั่วไปจะใช้เมื่อต้องการให้มีขนาดใหญ่ เพื่อลดน้ำหนักทำให้การขนถ่ายง่ายขึ้น และราคาถูก

2. Split (Arm or Plate) Body

เฟืองโซ่แบบ Split Body เป็นแบบแยกเป็น 2 ส่วน ออกแบบมาให้สะดวกในการติดตั้ง และถอดออกจากเพลาได้โดยไม่ต้องยุ่งเกี่ยวกับแบริ่งหรืออุปกรณ์ที่ด้านปลายอื่นๆ ซึ่งลดเวลาในการติดตั้งหรือถอดได้มาก

3. Plate Body

เฟืองโซ่แบบนี้ โดยทั่วไปจะใช้เมื่อต้องการให้มีขนาดเล็กลง ในเมื่อใช้เฟืองโซ่แบบ Arm ไม่ได้ และจะใช้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อแรงดึงโซ่มากกว่าความแข็งแรงของจานโซ่แบบ Arm Body

เฟืองโซ่แบบ Fabricated Steel โดยทั่วไปเป็นแบบ Flame cut และผลิตขึ้นจากแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา (Plain Carbon) หรือโลหะผสม ฟันเฟืองจะชุบแข็งแบบ Flame หรือแบบกระแสเหนี่ยวนำ นอกจากนี้เฟืองโซ่ยังสามารถทำได้จากแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ แผ่นเหล็กกล้า Carburized และชุบแข็งแบบ Flame แบบกระแสเหนี่ยวนำหรือ Salt Bath

จากการออกแบบอัตราทดเฟืองชุดขับเคลื่อน

หาความสัมพันธ์กับล้อเพื่อหาจำนวนรอบของล้อ และเฟืองซึ่งติดอยู่กับล้อ

จากสมการ

$$n_2 = \frac{V}{2\pi r}$$

V = ความเร็วจักรยาน

r = รัศมีของล้อ

อัตราทดเฟือง (I) = ความเร็วรอบเฟืองขับ(n_1)/ความเร็วรอบเฟืองตาม(n_2)

อัตราทดเฟื่องรวม (I) = ผลคูณของความเร็วรอบเฟื่องขับ × ผลคูณของความเร็วเฟื่องตาม

อัตราทดเฟือง (I) = จำนวนเฟื่องขับ(Z_2)/จำนวนฟันเฟืองตาม(Z_1)

2.3.2 แรงต้านการเคลื่อนที่

แรงต้านการเคลื่อนที่เป็นแรงที่ออกแรงตรงข้ามกับแรงที่ส่งกำลังมา ซึ่งกำลังจากมอเตอร์ที่นำมาขับเคลื่อนอาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ทั้งหมด เนื่องจากเกิดการสูญเสียในการส่งกำลัง และกำลังส่วนที่เหลือจะนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนที่รถจักรยานไฟฟ้าได้ แรงต้านการเคลื่อนที่สามารถแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

1. แรงต้านการหมุนของล้อ
2. แรงต้านอากาศ
3. แรงต้านจากทางชัน

โดยแรงต้านเหล่านี้จะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของจักรยานไฟฟ้าซึ่งการเคลื่อนที่ของจักรยานไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่ 3 แบบ คือ การเคลื่อนที่ในแนวราบ การเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน และการเคลื่อนที่ลงทางลาด

2.3.2.1 แรงต้านการหมุนของล้อ

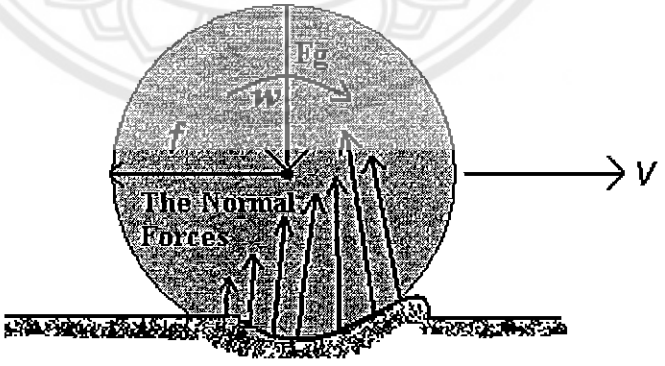
แรงต้านการหมุนของล้อเป็นแรงที่มีความจำเป็นมากที่สุดซึ่งจำเป็นกับการส่งกำลัง เนื่องจากทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ โดยอาศัยแรงเสียดทานที่ล้อกระทำกับพื้นเพื่อทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านการหมุนของล้อ ได้แก่

1. สภาพของยางล้อจักรยาน ซึ่งหมายถึงวัสดุที่นำมาทำยาง รูปทรงของยาง ความกว้างและขนาดของยาง ความดันของลมยาง รวมถึงดอกยางอีกด้วย ซึ่งยางที่มีขนาดวงล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตจะมีแรงต้านการหมุนของล้อที่น้อยกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก

2. สภาพของผิวที่ขับขี่ ซึ่งบริเวณผิวที่ขรุขระจะทำให้แรงต้านการหมุนของล้อมาก และบริเวณที่มีผิวเรียบจะทำให้แรงต้านการหมุนมีค่าน้อย

3. น้ำหนักของรถจักรยานไฟฟ้า และผู้ขับขี่ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลมากในการขับเคลื่อนของรถจักรยานไฟฟ้า ซึ่งถ้าจักรยานไฟฟ้า และผู้ขับขี่มีน้ำหนักมากจะส่งผลให้แรงต้านจากการหมุนมากตามไปด้วย

4. อัตราเร็วของจักรยานไฟฟ้า แรงต้านการหมุนของจักรยานจะมากที่สุดในช่วงเริ่มเคลื่อนที่ เนื่องจากจำเป็นต้องเอาชนะแรงต้านความเฉื่อยด้วย และจะมีแรงต้านการหมุนน้อยลงเมื่ออัตราเร็วของจักรยานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงแรงต้านการหมุนของล้อ
ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

แรงต้านการหมุนของล้อสามารถคำนวณได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$R_r = K_r N \tag{2.1}$$

ซึ่ง R_r = แรงต้านการเคลื่อนที่ ,N

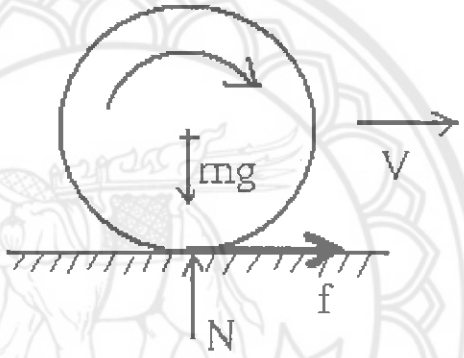
K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

N = แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อจักรยาน ,N

โดยที่ ค่า N = mg ถ้ารถจักรยานเคลื่อนที่ในพื้นราบ

N = mg cos θ ถ้ารถจักรยานเคลื่อนที่ในพื้นเอียง

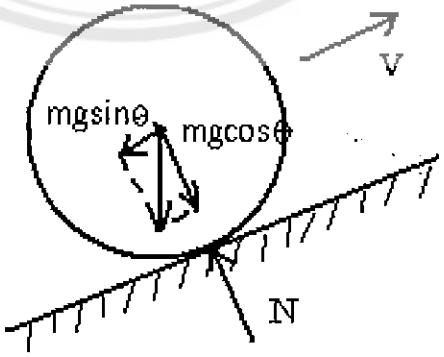
การเคลื่อนที่ในแนวราบ



รูปที่ 2.6 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ในแนวราบ

ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

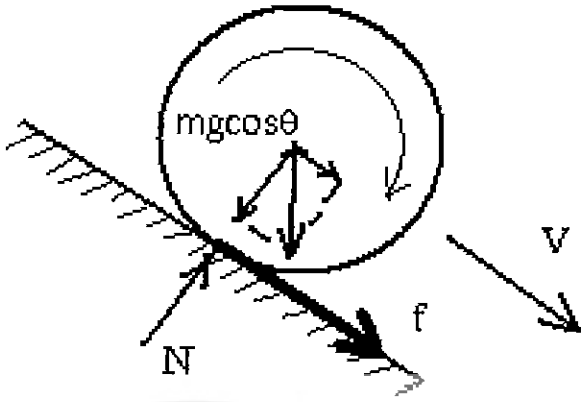
การเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน



รูปที่ 2.7 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน

ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

การเคลื่อนที่ลงทางลาด



รูปที่ 2.8 แสดงแรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ลงทางลาด
ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

ซึ่งค่า K_r เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของผิวถนนที่ขับขี่ ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพผิวต่างๆ

ชนิดและสภาพของถนน	Kr (เฉลี่ย)
ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต สภาพถนนดีเยี่ยม	0.014 - 0.018
สภาพดีพอใช้	0.018 - 0.020
ถนนหินปูน	0.023 - 0.030
ถนนลูกรัง	0.020 - 0.025
ถนนทราย	0.01 - 0.30

ซึ่งการคำนวณโดยทั่วไปนั้นการนำมาวิเคราะห์นั้น เราจะนำค่า K_r มาคิดที่ค่าเฉลี่ยโดยทั่วไป และเนื่องจากอัตราเร็วเองก็มีผลกับแรงต้านของการหมุนของล้อ เราจึงสามารถนำมาคำนวณหาค่า K_r โดยใช้สูตร

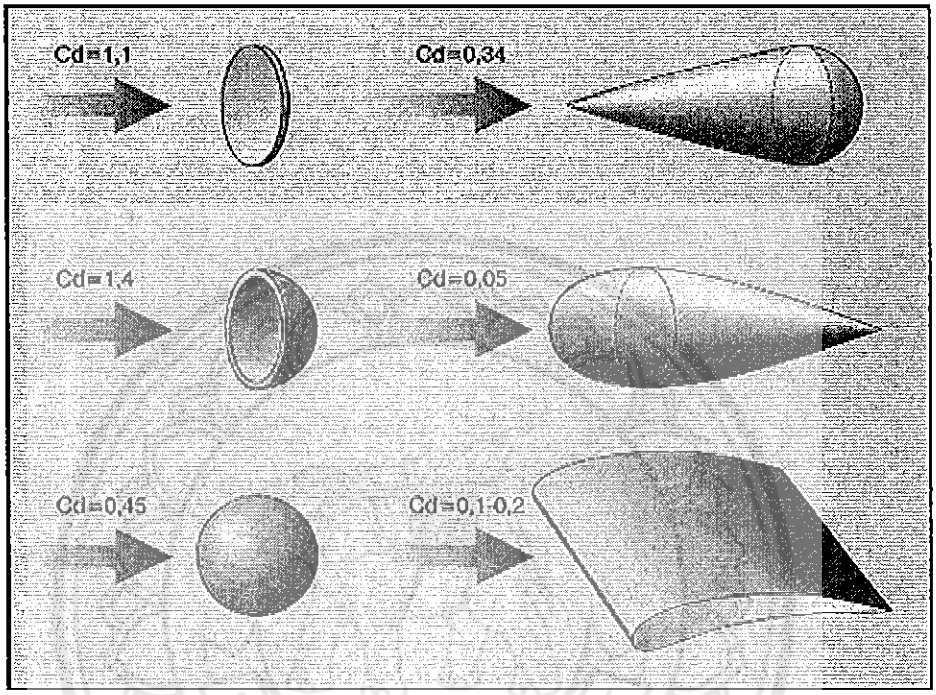
$$K_r = 0.015 + 0.00016V \qquad (2.2)$$

ซึ่ง K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

V = อัตราเร็วของรถจักรยานไฟฟ้า ,km/hr

2.3.2.2 แรงต้านอากาศ

แรงต้านอากาศ เป็นแรงที่เกิดจากการที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในอากาศด้วยความเร็วทำให้เมื่อเคลื่อนที่ไปจะมีอัตราเร็วสัมพัทธ์ของอากาศมากระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่นั้น ซึ่งค่าแรงต้านอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด และรูปทรงของพาหนะ



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของรูปทรงที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ
ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

ในปัจจุบันการออกแบบรูปทรงตามหลักอากาศพลศาสตร์ จะส่งผลให้แรงต้านอากาศลดลงได้ ซึ่งเป็นผลให้เกิดข้อดีหลายประการ คือ ทำให้อัตราเร็วสูงสุดของพาหนะเพิ่มขึ้น และยังทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นอีกด้วย โดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านอากาศ คือ

1. ความเร็วลม ถ้าความเร็วลมมีทิศทางสวนทางกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงต้าน และในทางกลับกัน ถ้าทิศทางของลมเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงเสริม

2. ลักษณะรูปทรงของพาหนะ แรงต้านที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับรูปทรงที่อากาศมากระทบแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการที่เกิดความดันระหว่างด้านหน้า และด้านหลังของรถแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงกระทำจากบริเวณที่มีความดันที่สูงกว่าผลักต้านการเคลื่อนที่ของรถเอาไว้

สำหรับการขับเคลื่อนของจักรยานไฟฟ้านั้น รูปทรงที่เกิดขึ้นไม่สามารถออกแบบได้ และพื้นที่หน้าตัดก็ไม่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยม แต่เราสามารถคำนวณค่าแรงต้านทานจากอากาศได้โดยประมาณ จากสมการ

$$R_a = \frac{1}{2}\rho C_D A V^2 \qquad (2.3)$$

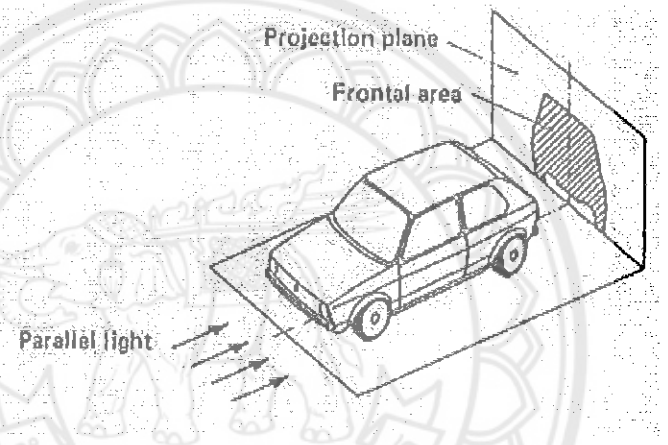
ซึ่ง R_r = แรงต้านอากาศ ,N

ρ = ความหนาแน่นอากาศ ,kg m^3 (ρ_{air} = 1.2 kg m^3)

C_D = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (Drag Coefficient)

V = ความเร็วของจักรยานไฟฟ้า ,m/s

A = พื้นที่หน้าตัดของรถจักรยานไฟฟ้า ,m^2



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการหาพื้นที่หน้าตัดของพาหนะโดยประมาณ
ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

โดยที่ พื้นที่หน้าตัดสามารถคำนวณหาได้จาก

$$A = 0.8(W \times l) \qquad (2.4)$$

ซึ่ง A = พื้นที่หน้าตัดของรถจักรยานไฟฟ้า ,m^2

w = ความกว้างของรถจักรยานไฟฟ้า ,m

l = ความยาวของรถจักรยานไฟฟ้า ,m

และเมื่อแทนค่า $K_a = 1/2\rho C_D$ จะได้สมการของแรงต้านอากาศ ดังนี้

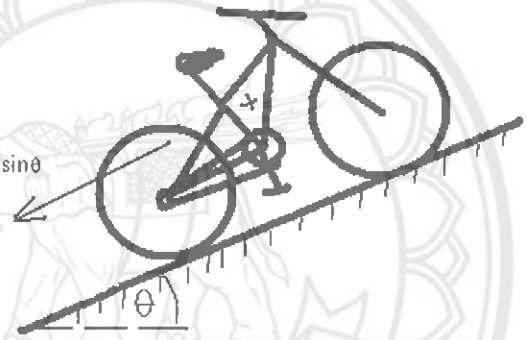
$$R_a = K_a A V^2 \qquad (2.5)$$

2.3.2.3 แรงต้านจากทางชัน

แรงต้านจากทางชัน เกิดจากการที่รถจักรยานเคลื่อนที่ขึ้นไปบนทางชันแล้วทำให้มีความจำเป็นต้องใช้กำลังบางส่วนเพื่อเอาชนะแรงต้านซึ่งเกิดจากน้ำหนักของตัวรถจักรยานไฟฟ้าและผู้ขับขี่เอง เพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่ขึ้นไปบนทางชันได้ แต่ในกรณีที่รถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนที่ลงทางลาดนั้นจะเป็นกรณีตรงข้ามกันเนื่องจากการเคลื่อนที่ลงทางลาดจะทำให้เกิดแรงเสริม เนื่องจากน้ำหนักรถจักรยานไฟฟ้า และผู้ขับขี่ ปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านที่เกิดจากทางชัน ได้แก่

1. น้ำหนักของรถจักรยานไฟฟ้า และผู้ขับขี่
2. ความชันของพื้นผิวถนน

การคำนวณแรงต้านจากทางชันนั้นเกิดจากการแตกแรงออกเป็น 2 แรง ก็คือ แรงที่ตั้งฉากกับผิวทางชัน และแรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถจักรยานไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 แสดงถึงแรงต้านจากทางชัน
ที่มา : http://www.ebikethaikit.com

แรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถจักรยานไฟฟ้า สามารถนำมาคำนวณหาแรงต้านจากทางชันได้

$$R_g = W \sin\theta \qquad (2.6)$$

ส่วนแรงที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่สามารถนำมาคำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อจักรยานได้ $N = W \cos\theta$

จากสมการ (2.6) ในกรณีที่มุมมีค่าน้อยๆ จะได้ว่า $\sin\theta \approx \tan\theta$ และกำหนดให้ G = % ความชัน = $\sin\theta \times 100$ จะได้

$$Rg = \frac{WG}{100} \qquad (2.7)$$

ซึ่ง R_g = แรงต้านทางชัน ,N

W = น้ำหนักรถยนต์ ,N

G = เปอร์เซ็นต์ความชัน ,%

จากแรงต้านทั้ง 3 ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สามารถนำมาวิเคราะห์หาแรงต้านทั้งหมดได้

$$R_t = R_r + R_a + R_g \tag{2.8}$$

2.3.3 การหาแรงในการขับเคลื่อน

ในการขับเคลื่อนของจักรยานปกติแล้วจะต้องใช้เท้าปั่นเพื่อส่งกำลังไปยังล้อเพื่อทำให้ล้อหมุน แต่สำหรับจักรยานไฟฟ้านั้นสามารถขับเคลื่อนได้ทั้งการปั่นด้วยเท้าหรืออาจขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ซึ่งการคำนวณหาภาระแรงที่ต้องใช้เพื่อทำให้จักรยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้นั้น มีการคำนวณที่คล้ายกัน

แรงขับเคลื่อนที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องคำนวณหากำลังที่ต้องใส่เข้าไปอาจจะเป็นการปั่นด้วยเท้าหรือขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ

สมการความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของมอเตอร์กับทอร์กของมอเตอร์ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_m = 2\pi N T_m \tag{2.9}$$

ซึ่ง P_m = กำลังของมอเตอร์ ,W

N = อัตราเร็วรอบของมอเตอร์ ,rps

T_m = แรงบิดของมอเตอร์ ,N.m

สมการความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กของล้อกับทอร์กของมอเตอร์

$$T_w = \eta_t \times i_g \times i_f \times T_m \tag{2.10}$$

ซึ่ง T_w = แรงบิดที่ล้อหลังจักรยาน ,N.m

η_t = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง

i_g = อัตราการทดระหว่างเฟืองขับมอเตอร์และเฟืองท้ายจักรยาน

i_f = อัตราการทดระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองท้ายกับเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหลัง

T_m = แรงบิดของมอเตอร์ ,N.m

สมการความสัมพันธ์แรงขับเคลื่อนกับทอร์กของล้อ

$$F = \frac{T_w}{r} \tag{2.11}$$

ซึ่ง F = แรงขับเคลื่อนที่ต้องการเอาชนะแรงต้าน ,N

T_w = แรงบิดของล้อหลังจักรยาน ,N.m

r = รัศมีของล้อจักรยาน ,m

จากสมการที่ (2.10) และสมการที่ (2.11) สามารถสรุปได้ว่า

$$F = \frac{\eta_t i_g i_f T_m}{r} \tag{2.12}$$

หรือ

$$F = \frac{\eta_t i_0 T_m}{r} \tag{2.13}$$

ซึ่ง $i_o = i_g \times i_f$ = อัตราทดของระบบส่งกำลัง

การหาความเร็วรอบที่ต้องการ

ในการเคลื่อนที่ของรถจักรยานไฟฟ้านั้น อัตราเร็วของจักรยานจะมีความสัมพันธ์กับค่าอัตราเร็วรอบโดยขึ้นอยู่กับอัตราการทดเฟือง ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาอัตราเร็วของจักรยานได้โดย

ถ้า อัตราเร็วรอบของมอเตอร์ = N (rps)

จะได้ว่า อัตราเร็วของล้อ = N/i_o (rps)

เส้นรอบวงของยางล้อ 1 รอบ = $2\pi r$ (m)

อัตราเร็วรถจักรยาน = $2\pi r (N/i_o)$ (m/s)

หรือ = $2\pi r (N/i_o) \times (3600/1000)$ (km/hr)

ดังนั้นจะได้ว่าสมการการหาอัตราเร็วของจักรยานไฟฟ้าได้เป็น

$$V = \frac{3.6(2\pi r)N}{i_o} \tag{2.14}$$

หลังจากที่สามารถคำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่ และอัตราเร็วของรถจักรยานไฟฟ้าได้แล้วนั้น จะสามารถหากำลังขับเคลื่อนของล้อจากสมการ การหากำลังขับเคลื่อน

$$P_w = \frac{FV}{3.6} \tag{2.15}$$

แต่เนื่องจากในการส่งกำลังโดยทั่วไปนั้น ไม่สามารถส่งกำลังไปสู่ชิ้นส่วนอื่นๆ ได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะมาวิเคราะห์หากำลังของมอเตอร์ที่ต้องใช้โดยการใช้ค่าประสิทธิภาพในการส่งกำลัง เพื่อใช้การออกแบบจะได้ประสิทธิภาพการส่งกำลังได้เป็น

$$\eta_t = \frac{P_w}{P_m}$$

เมื่อแทนค่ากำลังการขับเคลื่อนของล้อแล้วได้สมการ

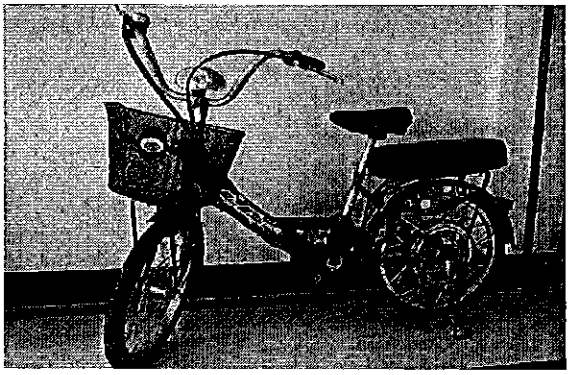
$$P_m = \frac{FV}{3.6\eta_t} \tag{2.16}$$

2.4 ชนิดของจักรยานไฟฟ้า

จักรยานไฟฟ้าที่มีขายในท้องตลาดยังมีปัญหาที่ต้องปรับปรุงอีกหลายอย่าง ในทางเทคนิค การประจุไฟแต่ละครั้ง ประสิทธิภาพด้านความเร็ว จักรยานไฟฟ้าที่ดีจะสามรถสลับไปใช้การปั่นได้ ตามปรกติได้โดยสะดวกเพราะถ้าไฟหมด จักรยานไฟฟ้าไม่สามารถวิ่งกลางฝนตกหนักได้ และก็มักมีปัญหากับการใช้งานในฤดูฝน ชนิดของจักรยานไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ จักรยานไฟฟ้าแบบติดตั้งเอง และจักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูป

2.4.1 จักรยานไฟฟ้าแบบติดตั้งเอง (Self E - Bike Installation)

จักรยานทั่วไปหรือบางครั้งเรียกว่าจักรยานจ่ายกับข้าว ส่วนมากเป็นจักรยานไม่มีเกียร์ มักจะขายสำเร็จรูปพร้อมอุปกรณ์ประกอบ เช่น บังโคลน ไฟหน้า ขาตั้ง บังโซ่ อานซ้อนท้าย รวมไปถึงตะแกรงหน้า จักรยานแบบนี้มีน้ำหนักมากจึงต้องใช้แรงมาก แต่มีข้อดี คือ ราคาถูก (ประมาณ 1,500 - 3,000 บาท) และหาซื้อได้ทั่วไป รวมทั้งเมื่อชำรุดก็มีร้านซ่อมอยู่ทั่วๆ ไป และปรับปรุงจักรทั่วไปหรือที่มีอยู่ด้วยอุปกรณ์มาติดตั้งเองเข้ากับจักรยาน โดยการเปรียบเทียบ ข้อดี ข้อเสีย



รูปที่ 2.12 จักรยานไฟฟ้าแบบติดตั้งเอง

ที่มา : www.sebbike.com/main/index.php?option=com_content&task=view&id=46

คุณสมบัติ (Specifications)	
ระยะทางที่วิ่งได้ต่อการชาร์จ 1 ครั้ง	25 - 30 กิโลเมตร
ความเร็วสูงสุด	35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่	3 - 4 ชั่วโมง
ขนาดมอเตอร์	250/350 วัตต์ (Honey well)
แบตเตอรี่	36 โวลต์ (9/12/14 AH)
น้ำหนักรถ	25 กิโลกรัม
น้ำหนักบรรทุก	90 - 110 กิโลกรัม
ระบบเบรกหน้า	ก้ามปู
ระบบเบรกหลัง	ดรัมเบรก
ขาตั้ง	ขาตั้งคู่ล้อหลัง
ชนิดล้อ	ล้อธรรมดา (ซี่ลวด)
ขนาดวงล้อ	16/18/20/22/24 นิ้ว
ระบบกันสะเทือนหน้า	ไม่มี
ระบบกันสะเทือนหลัง	ไม่มี

2.4.2 จักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูป (E - Bike Goods)

จักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูปเป็นจักรยานไฟฟ้าทั่วไปที่ขายตามท้องตลาดที่ผู้ผลิตได้ออกแบบ และสร้างขึ้นโดยเฉพาะที่ช่วยในการปั่นของผู้ซื้อ และมีหลายรุ่นหลายแบบให้เลือก

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รูปที่ 2.13 จักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูป

ที่มา : www.sebbike.com/main/index.php?option=com_content&task=view&id=46

คุณสมบัติ (Specifications)	
ระยะทางที่วิ่งได้ต่อการชาร์จ 1 ครั้ง	35 กิโลเมตร
ความเร็วสูงสุด	35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่	3 - 4 ชั่วโมง
ขนาดมอเตอร์	300 วัตต์ (Honey well)
แบตเตอรี่	36 โวลต์ (12 - 15 AH)
น้ำหนักรถ	35 กิโลกรัม
น้ำหนักบรรทุก	120 กิโลกรัม
ระบบเบรกหน้า	ดรัมเบรก
ระบบเบรกหลัง	ดรัมเบรก
ขาตั้ง	**ขาตั้งคู่ล้อหลัง**
ชนิดล้อ	**ล้อซี่ธรรมดา**
ขนาดวงล้อ	16 x 2.215 นิ้ว
ระบบกันสะเทือนหน้า	**โช้คอัพคู่**
ระบบกันสะเทือนหลัง	**โช้คอัพเดี่ยวกลางตัวรถ**
ระบบกันขโมย	**ระบบล็อคกันขโมยในตัว เบรกหลัง**

I5904936
ว/ร-
ว 524 ก
2554

2.5 ประเภทการประจุไฟฟ้า

การประจุไฟฟ้ากับแบตเตอรี่ใช้ในจักรยานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ และการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานประเภทใด และขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ อาจทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลงได้ ทั้งนี้สามารถแบ่งประเภทการประจุไฟฟ้าได้ดังนี้

2.5.1 การประจุแบบง่าย

2.5.1.1 แบบ DC

การทำงานโดยการใช้ค่าคงที่ DC หรือแหล่งกำลังพัลส์ DC เข้าไปยังแบตเตอรี่ ที่ชาร์จอย่างง่าย โดยไม่มีการปรับ output ยึดตามเวลาหรือค่าที่ใช้เกี่ยวแบตเตอรี่ ความเรียบง่ายซึ่งหมายความว่าชาร์จง่ายมีราคาไม่แพงมีการแลกเปลี่ยนที่มีคุณภาพ โดยปกติแล้วชาร์จอย่างง่ายใช้เวลานานในการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความรุนแรงกับแบตเตอรี่ เพราะฉะนั้นแบตเตอรี่ที่เป็นเครื่องชาร์จอย่างง่าย ก็ชาร์จนานเกินไปจะสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากเกินการชาร์จไฟ การชาร์จประเภทนี้สามารถปรับเปลี่ยนแรงดันให้คงที่ให้เป็นแรงดันคงที่ในปัจจุบันของแบตเตอรี่ได้

2.5.1.2 แบบ AC

การชาร์จแบตเตอรี่ที่อาศัยกำลังแรงดันและคลื่นที่สูงกว่าปัจจุบันที่มีอยู่ของตัวแบตเตอรี่ เมื่อคลื่นอยู่ในระดับที่ผู้เชี่ยวชาญแนะนำแรงดันไฟฟ้าจะยังอยู่ในระดับถ้าอยู่ในการที่แนะนำ โดยทั่วไปคลื่นความถี่ในระดับปกติ 12 V 100 Ah แบตเตอรี่ VRLA เป็น 5 แอมแปร์ ตราบที่ปัจจุบันกระรอกคลื่นไม่มากพอ (ประมาณ 3 - 4 เท่า อยู่ในระดับผู้เชี่ยวชาญแบตเตอรี่แนะนำ) อายุตามที่คาดของการชาร์จแบตเตอรี่ VRLA จะอยู่ใน 3 เปอร์เซ็นต์ ของอายุของแบตเตอรี่ DC ในการชาร์จคงที่

2.5.2 การประจุไฟฟ้าทีละช้าๆ (Trickle)

Trickle ชาร์จเป็นการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่คลื่นความถี่ต่ำตั้งแต่ (0 - 1,500 mA) โดยทั่วไปจะใช้ในการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ความจุขนาดเล็ก (20 - 30 Ah) เครื่องประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ประเภทนี้ใช้ในการรักษาแบตเตอรี่ที่มีความจุขนาดใหญ่ (> 30 Ah) ที่มักจะพบในแบตเตอรี่รถยนต์ เรือ RVs และยานพาหนะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการใช้งานความจุขนาดใหญ่ในปัจจุบัน การประจุไฟฟ้าแบบกระแสต่ำๆ เป็นการประจุไฟฟ้าชดเชยประจุจากประจุที่สูญเสียไปจากการคายประจุของแบตเตอรี่ด้วยตัวของมันเอง (Self Discharge) เพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่ตลอดเวลาหรือใช้กระแสปริมาณน้อยๆ จ่ายเข้าไปเพื่อประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้กระแสอยู่ที่ประมาณ 0.05 - 0.1 C

2.5.3 การประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive)

Inductive charging ใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะมีอุปกรณ์อยู่สองส่วนก็คือ charging station และตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่แบบชาร์จได้อยู่ภายใน โดยขณะชาร์จไฟอุปกรณ์ทั้งสองจะต้องอยู่ใกล้ชิดกันเพื่อให้เกิดการส่งผ่านพลังงานได้ หากแกะดูหม้อแปลงไฟจะเห็นขดลวดกับแท่งเหล็กอยู่ภายใน และผ่าหม้อแปลงออกเป็นสองส่วน โดยให้ส่วนหนึ่งอยู่กับ charging station และส่วนที่เหลืออยู่ที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อนำทั้งสองส่วนมาติดกันก็จะทำให้หม้อแปลงทำงาน โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดใน charging station ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำส่งผ่านพลังงานไปที่ขดลวดในอุปกรณ์ไฟฟ้าขดลวดที่ว่านี้จะต่อไว้กับแบตเตอรี่เพื่อให้เกิดการชาร์จประจุไฟฟ้า เทคโนโลยี Inductive charging มีมานานแล้ว และถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์ที่เราคุ้นเคย เช่น แปรงสีฟันไฟฟ้า ที่โกนหนวดไฟฟ้า

2.5.4 การชาร์จแบบเร็ว (Fast Charge)

ออกแบบมาสำหรับใช้กับแบตเตอรี่แบบนิกเกิลโดยเฉพาะระยะเวลาในการชาร์จประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงจะเปลี่ยนโหมดไปเป็นการชาร์จแบบชาร์จเติมประจุการชาร์จแบบเร็วนี้ค่อนข้างเป็นผลดีกับแบตเตอรี่แบบนิกเกิลเพราะจะช่วยลดโอกาสในการเกิดผลึกภายในเซลล์ลดลง (การเกิดผลึกทำให้แบตเตอรี่ประพฤติตัวเหมือนมีหน่วยความจำ ทำให้เก็บประจุได้น้อยลงหรือที่เรียกว่า Memory Effect) แต่การชาร์จแบบนี้เครื่องชาร์จจะต้องมีตัวจับการชาร์จหรือตัวเซ็นเซอร์ที่มีความแม่นยำสูง มิฉะนั้นแล้วแบตเตอรี่จะเกิดโอเวอร์ชาร์จ (Overcharge) ได้ง่าย เมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้ววงจรตรวจจับจะต้องตัดการชาร์จแบบเร็ว และเปลี่ยนโหมดไปเป็นการชาร์จแบบเติมประจุแทน มิฉะนั้นแล้วแบตเตอรี่อาจจะเกิดความร้อนหรือแก๊สภายในเซลล์มากจนเกินไป การชาร์จแบบนี้พบได้ในวิทยุสื่อสาร เครื่องมือแพทย์ เครื่องมืออุตสาหกรรม

2.5.5 การประจุไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulse)

การประจุไฟฟ้าแบบพัลส์เป็นการประจุไฟฟ้าที่อาศัยแรงดัน และกระแสไหลเข้าไปในแบตเตอรี่พัลส์ DC เป็นการควบคุมสัญญาณทางไฟฟ้าให้เปลี่ยนไป ให้มีอัตราพัลส์เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่ทำซ้ำๆ เทคโนโลยีพัลส์นี้สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดัน และความจุของแบตเตอรี่ทุกๆ ขนาดทุกๆ ชนิด รวมทั้งแบตเตอรี่ และวาล์วควบคุมอื่นๆ การประจุไฟฟ้าแบบพัลส์สามารถประจุไฟฟ้าที่แรงดันสูงแล้วประจุไฟฟ้าโดยที่แบตเตอรี่ไม่ร้อนเลย

การประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่แบบพัลส์เป็นการชาร์จที่ทำให้ประจุไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของแรงดันทำให้ประจุไฟได้ไว การประจุไฟฟ้าแบบพัลส์ยังสามารถแปลงเป็นในการประจุไฟฟ้าทางลบได้ดี ไม่มีหลักการที่แน่นอน แต่กล่าวการประจุไฟฟ้าทางลบมีประสิทธิภาพมากกว่าการประจุไฟฟ้าประจุไฟฟ้าแบบทั่วไป

2.5.6 การประจุไฟฟ้าแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Chargers)

การประจุไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง การประจุไฟฟ้าสามารถประจุไฟได้ เมื่อมีพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ทุกคนรู้จักกันว่า เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ มีแผงเชื่อมต่อแผงที่ใช้ติดอยู่ข้างนอกบริเวณโล่งแจ้งยกตัวอย่างเช่น แผงโซล่าเซลล์บนหลังคารถยนต์เป็นการประจุที่ใช้กับแสงอาทิตย์เท่านั้น แต่ก็ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่จะสามารถทำให้มันใช้ได้ที่ๆ มีแสงน้อย เช่น มีเมฆมาก การประจุไฟฟ้าแบบพลังงานแสงอาทิตย์ มักจะเป็นการปะจุไฟฟ้าแบบ (Trickle) ขึ้นอยู่กับวัตต์เป็นการประจุไฟฟ้าทีมีความสมบูรณ์

2.5.7 การประจุไฟฟ้าแบบใช้หลักการเคลื่อนที่ (Motion Powered Charger)

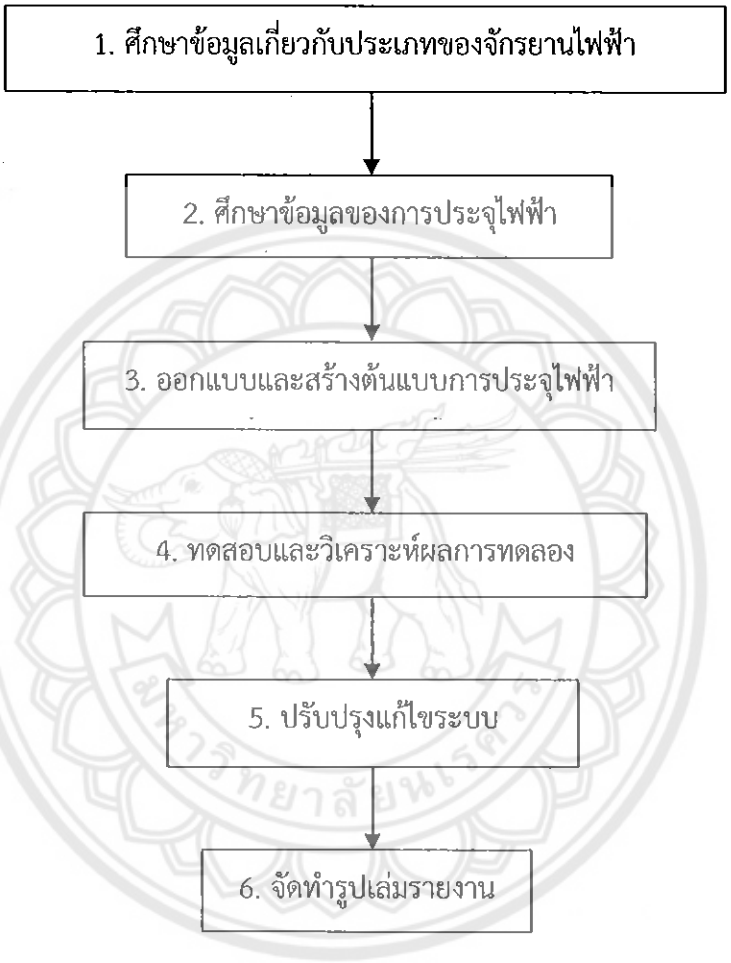
ในหลายบริษัทได้มีการริเริ่มการทำอุปกรณ์การประจุไฟฟ้า โดยใช้หลักการเคลื่อนไหวทั่วไปของมนุษย์ มีตัวอย่างหนึ่ง เช่น ไฟฟ้าที่ทำขึ้นจากแม่เหล็กที่มีสปริงทั้งสองข้าง เมื่อเคลื่อนไหวจะทำให้สปริงเคลื่อนไหวทำให้สามารถทำการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ได้ แต่ในเชิงพาณิชย์อุปกรณ์ยังไม่ประสบผลสำเร็จในนัยที่สำคัญ

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบของการประจุไฟฟ้าข้อดี และข้อเสีย ดังต่อไปนี้

ประจุไฟฟ้าแบบ	ข้อดี (Advantages)	ข้อเสีย (Disadvantages)
Simple	สามารถปรับใช้กับแบตเตอรี่ได้หลายชนิด	ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลงกว่าเดิม จากการชาร์จที่ทำให้แบตเตอรี่ใช้งานได้ดี
Trickle	แม้ว่าการชาร์จแบบนี้ใช้เวลานาน แต่มันก็สามารถทำให้แบตเตอรี่ชาร์จเต็มได้	ใช้เวลานานในการชาร์จ
Inductive	ไม่จำเป็นต้องมีส่วนที่เป็นโลหะตัวนำไฟฟ้าโผล่ออกมาด้านนอก ทำให้สามารถออกแบบเพื่อนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีความชื้นได้ดี	อาจจะใช้เวลาชาร์จนาน และเกิดความร้อนเนื่องจากการส่งผ่านพลังงาน
Pulse	ประจุไฟฟ้าแรงดันสูง แต่ไม่เกิดความร้อน	แรงดันสูงทำให้แบตเตอรี่อายุการใช้งานสั้นลง
Solar charger	สามารถประจุไฟฟ้าโดยไม่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้	วัตต์ไม่คงที่ ไม่มีแสงแดดประจุไฟไม่ได้
Motion-powered charger	สามารถทำการประจุไฟฟ้าโดยการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น	ความไม่แน่นอนของประจุไฟฟ้า
Fast charger	มีผลดีต่อการชาร์จแบตเตอรี่แบบนิกเกิล	เกิดความร้อนหรือแก๊สภายในเซลล์มากเกินไป จำเป็นต้องมีพัดลมระบายความร้อน

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาโครงงานนี้ได้จัดแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีความรู้ในการจัดทำการสร้างระบบจักรยานแบบแบ่งปัน แต่ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงการรวบรวมข้อมูล และขั้นตอนการออกแบบระบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของจักรยานไฟฟ้า

3.1.1 จักรยานไฟฟ้าแบบติดตั้งเอง

3.1.2 จักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูป

3.2 ศึกษาข้อมูลของการประจุไฟฟ้า

3.2.1 การประจุไฟฟ้าแบบง่าย

3.2.1.1 แบบง่าย AC

3.2.1.2 แบบง่าย DC

3.2.2 การประจุไฟฟ้าแบบทีละช้าๆ (Trickle)

3.2.3 การประจุไฟฟ้าแบบแรงเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive)

3.2.4 การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Fast Charge)

3.2.5 การประจุไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulse)

3.2.6 การประจุไฟฟ้าแบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar chargers)

3.2.7 การประจุไฟฟ้าแบบใช้หลักการเคลื่อนที่ (Motion powered charger)

3.3 ออกแบบและสร้างต้นแบบการประจุไฟฟ้า

ออกแบบการประจุไฟฟ้าจะเป็นการวิเคราะห์ ข้อดี ข้อเสีย มาประยุกต์ให้เข้ากับสถานีจักรยานไฟฟ้า โดยรวบรวมลายเอียดเกี่ยวกับประเภทและการประจุไฟฟ้าจักรยานไฟฟ้า

3.4 การจัดทำระบบอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

การใช้ข้อมูลเกี่ยวกับจักรยานไฟฟ้า การประจุไฟฟ้าประเภทต่างๆ ที่ได้จากการออกแบบการประจุไฟฟ้า และการประยุกต์แบตเตอรี่ เครื่องประจุไฟฟ้า ให้เข้ากับสถานีจักรยานแบบแบ่งปันภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร

3.5 ปรับปรุงและแก้ไข

ทำการปรับปรุงระบบจากการประยุกต์ว่า การประจุไฟฟ้ามีข้อดี ข้อเสีย อย่างไร ถ้าประจุไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่แล้วแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด

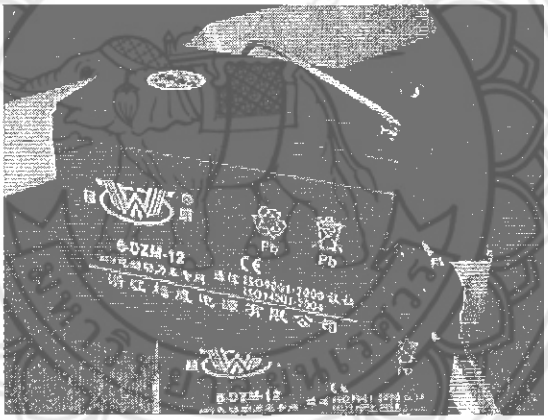
3.6 จัดทำรูปเล่มรายงาน

จัดทำรายงานตามรูปแบบของคู่มือการจัดทำปริญญานิพนธ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ฉบับ พ.ศ. 2554

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 การเลือกใช้แบตเตอรี่ในจักรยานไฟฟ้า

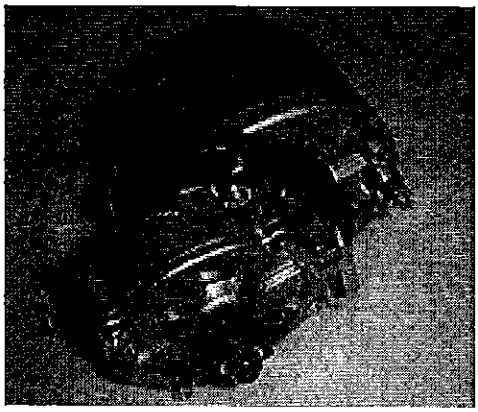
การเลือกใช้แบตเตอรี่ในจักรยานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการประจุไฟ และการใช้งานในงานประเภทใด ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่อาจทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลง แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เนื่องด้วยวิธีการใช้ การบำรุงรักษา ขนาด น้ำหนักและอุณหภูมิ การเลือกแบตเตอรี่ที่ดี ควรเลือกกำลังไฟให้เหมาะกับการใช้งานเพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดปิดผนึกที่มีคุณสมบัติคือ ราคาถูก ปลอดภัย ได้มาตรฐาน ไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก ไม่มีเกิดการจดจำ (Memory Effect) และการคายประจุด้วยตัวเองน้อย (ดังรูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรดปิดผนึก

4.2 การเลือกใช้มอเตอร์ในจักรยานไฟฟ้า

การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าควรคำนึงถึงความเร็วของมอเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้า อายุการใช้งาน และตัวแปรที่ส่งผลต่ออายุการใช้งาน คือ อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ การระบายความร้อน ค่า Service factor แรงดันไฟฟ้าควรสามารถติดตั้งกับจักรยานที่ต้องการได้ ราคาถูก การบำรุงรักษาง่าย สามารถขับโหลดได้ตามที่ต้องการ ใช้กระแสไฟแบบกระแสตรง (DC) หรือกระแสสลับ (AC) และปริมาณกินไฟของมอเตอร์ ทั้งนี้คือต้องคำนึงให้เหมาะสม และมอเตอร์ที่นำมาใช้ คือ มอเตอร์ DC 250 W 24 V กระแสไฟตรง (DC) ชนิดเฟืองทดรอบช้า (ดังรูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 มอเตอร์ DC 250 W 24 V

4.3 การเลือกใช้การประจุไฟฟ้า

การเลือกใช้การประจุไฟฟ้าสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ เมื่อประจุไฟเข้าแบตเตอรี่จะส่งผลต่อแบตเตอรี่อย่างไรเช่น อายุการใช้งาน ความร้อนของแบตเตอรี่ แหล่งกำเนิดไฟฟ้า เวลาในการประจุ ควรเลือกแบบประจุไฟที่ส่งผลดีมากกว่าผลเสีย หากเลือกประจุที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลเสียกับแบตเตอรี่ และงบประมาณในการซ่อมบำรุง ทั้งนี้จึงเลือกการประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ ใช้การประจุไฟฟ้าแบบง่าย DC (Simple) ที่สามารถปรับใช้กับแบตเตอรี่ได้หลายชนิด และสามารถปรับเปลี่ยนแรงดันให้คงที่ให้เป็นแรงดันคงที่ในปัจจุบันของแบตเตอรี่ได้

4.4 การปรับปรุงดัดแปลงจักรยานให้เป็นจักยานไฟฟ้า

การออกแบบขับเคลื่อนของรถจักรยานไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

4.4.1 โซ่ส่งกำลัง

จากการศึกษาข้อมูลจากจักรยานไฟฟ้าได้ข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้ในการออกแบบอัตราทดลองเฟืองชุดขับเคลื่อน ดังนี้

ความเร็วจักรยาน (V) = 20 กิโลเมตร/ชั่งโมง คือ (20×1000)/60 = 333 เมตร/นาที

ความเร็วมอเตอร์ (n_1) รุ่น MY1016Z2-250 W เมื่อมีโหลดเท่ากับ 357 รอบ/นาที อัตราทดเฟือง 6:1

นำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์กับล้อเพื่อหาจำนวนรอบของล้อ และเฟืองขับซึ่งติดอยู่กับล้อ

เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ = 0.6 เมตร

รัศมี = 0.3 เมตร

หาเส้นรอบวงล้อ จาก $2\pi r$ จะได้เส้นรอบวงล้อ $2\pi(0.3)$ = 1.88 เมตร

$$n_2 = \frac{V}{2\pi r}$$

$$= \frac{333}{1.88}$$

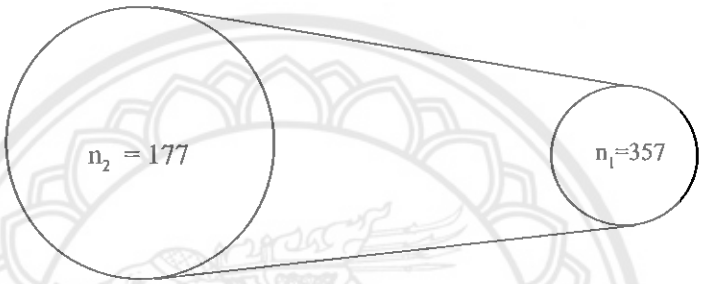
$$= 177 \text{ รอบ/นาที}$$

ดังนั้น ความเร็วรอบเฟืองตาม (n_2) คือ 177 รอบ/นาที

อัตราทดเฟือง(I) = ความเร็วรอบเฟืองขับ(n_1)/ความเร็วรอบเฟืองตาม(n_2)

$$= \frac{357}{177}$$

$$= 2$$



รูปที่ 4.3 แสดงอัตราทดเฟือง (i)

ดังนั้น อัตราทดเฟืองที่ทำให้ได้ความเร็ว 177 รอบ/นาที โดยความเร็วของจักรยาน เท่ากับ 333 เมตร/นาที คือ 2:1

อัตราทดเฟืองรวม (I) = ผลคูณของความเร็วรอบเฟืองขับ × ผลคูณของความเร็วเฟืองตาม

$$= \frac{6}{1} \times \frac{2}{1}$$

$$= 12$$

ดังนั้น อัตราทดเฟืองรวม คือ 12:1

หลังจากได้อัตราทดเฟืองที่ต้องการคือ 2:1 แล้วจึงได้ออกแบบ และหาเฟืองให้ได้ตามอัตราเฟืองที่ต้องการ โดยมีเฟืองขับของมอเตอร์ (Z_1) = 9 ฟัน และหาจำนวนฟันเฟืองตาม (Z_2)

อัตราทดเฟือง (I) = จำนวนเฟื่องขับ (Z_2)/จำนวนฟันเฟืองตาม (Z_1)

$$0.5 = \frac{9}{Z2}$$

$$Z_2 = 18$$

ดังนั้น จำนวนฟันเฟืองตาม (Z_2) ที่ต้องการคือ 18 ฟัน

4.4.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง DC Gear Motor รุ่น MY1016Z2-250 W

การออกแบบกำลังขับเคลื่อนเป็นการหาแรงต้านเคลื่อนที่ทั้งหมดของรถจักรยานไฟฟ้าให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด เพื่อนำแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดนี้ไปออกแบบขนาดมอเตอร์

การคำนวณหาแรงต้านการเคลื่อนที่

1. แรงต้านการหมุนของล้อ

$$R_r = K_r N$$

จากค่า $K_r = 0.015+0.00016V$

$K_r = 0.015+0.00016(25)$

$K_r = 0.019$

และจากค่า N = mg (สำหรับการออกแบบที่เส้นทางราบ)

$N = 12 \times 9.81$

$N = 1177.2$ N

นำมาแทนในสูตร $R_r = K_r N$ จะได้

$R_r = (0.019) \times (1177.2)$

ดังนั้น $R_r = 22.36$ N

2. แรงต้านอากาศ

$$R_a = K_a A V^2$$

โดย $k_a = 0.03$ (จากตารางที่ ก.2 $k_a = 0.13 - 0.15$ สำหรับพื้นที่หน้าตัดของรถแข่งส่วนที่ต้านกับอากาศ 1.0 - 1.3 m^2 แต่เนื่องจากรถจักรยานไฟฟ้ามีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.4 m^2 จึงเลือก $k_a = 0.03$)

$A = 0.3\ m^2$

$$R_a = (0.03)(0.4)(25)^2$$

ดังนั้น $R_a = 7.5$ N

3. แรงต้านจากทางชัน

$$Rg = W \sin\theta$$

เนื่องจากการออกแบบจะใช้เส้นทางเรียบจะได้ว่า

$$Rg = 0$$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่าแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดได้เป็น

$$R_t = R_r + R_a + R_g$$

$$R_t = 22.36+7.5+0$$

ดังนั้น $R_t = 30.13$ N

แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดมีค่า 30.13 N

การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ และความเร็วที่ต้องการ

จาก สมการ $P_w = \frac{FV}{3.6}$ และ $\eta_t = P_w / P_m$

จะได้ความสัมพันธ์เป็น $P_m = FV/3.6\,\eta_t$

$$P_m = \frac{(30.13)(25)}{3.6(0.9)}$$

$$P_m = 232.48 \text{ W}$$

ดังนั้น มอเตอร์ที่เราเลือกจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 W

การกินกระแสไฟของมอเตอร์ในสภาวะไม่มี Load

จาก P = VI จะได้ I = p/v

แทนค่า I = 250/24 = 10.4 A

ดังนั้น มอเตอร์กินกระแสไฟเท่ากับ 10.4 A แต่แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟ 9 A เพราะฉะนั้นจะทำให้การออกตัวรถจักรยานไฟฟ้าช้าลง

4.4.3 การจ่ายกระแสไฟ

เลือกใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดปิดผนึก เพื่อนำไปขับมอเตอร์กระแสตรง 24 V โดยการใช้แบตเตอรี่แห้งขนาด 12 V 9 A จำนวน 2 ลูก ต่อกันแบบอนุกรมจะได้กระแสไฟเท่ากับ 24 V

4.5 ผลการทดสอบ

การทดสอบจักรยานที่น้ำหนักตัวเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม โดยเมื่อประจุไฟแบตเตอรี่เต็มแล้ววิ่งจนมอเตอร์ไม่สามารถขับเคลื่อนได้จะได้ค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.5.1 การทดสอบสมรรถภาพของจักรยานไฟฟ้า

การทดสอบจักรยานที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม โดยใช้ไมล์วัดความเร็วจักรยานวัดค่าต่างๆ (ดังตารางที่ 4.1) และ (ดังตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 การทดสอบสมรรถภาพของจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 กิโลกรัม

ครั้งที่	ระยะทาง (km)	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)
1	17.784	24.5	19.1
2	18.609	22.1	18.5
3	19.441	22.3	17.3
4	16.086	25.5	19.7
5	17.159	24.7	19.8

ตารางที่ 4.2 การทดสอบสมรรถภาพของจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 80 กิโลกรัม

ครั้งที่	ระยะทาง (km)	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)
1	14.365	22.8	15.0
2	15.513	20.4	14.7
3	14.741	20.1	13.4
4	13.608	23.6	15.5
5	14.114	22.2	15.9

4.5.2 การทดสอบแบตเตอรี่

สามารถประจุแบตเตอรี่ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีกระแสไฟค้างอยู่ภายในแบตเตอรี่ และการทดสอบจักรยานที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม โดยใช้ไมล์วัดความเร็วจักรยานวัดค่าต่างๆ (ดังตารางที่ 4.3) และ (ดังตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.3 การทดสอบแบตเตอรี่ที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 กิโลกรัม

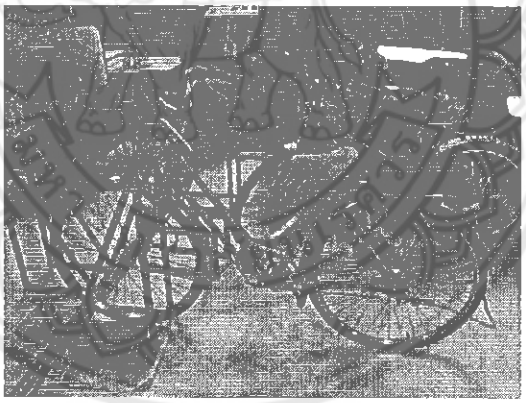
ครั้งที่	ระยะเวลาในการวิ่ง (นาที)
1	54.05
2	56.45
3	63.08
4	51.27
5	53.52

ตารางที่ 4.4 การทดสอบแบตเตอรี่ที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 80 กิโลกรัม

ครั้งที่	ระยะเวลาในการวิ่ง (นาที)
1	46.20
2	48.67
3	54.52
4	43.94
5	45.66

4.5.3 การทดสอบระบบการประจุไฟของจักรยานไฟฟ้า

ระบบการประจุสามารถชาร์จไฟได้โดยอัตโนมัติกับสถานี และเมื่อชาร์จแบตเตอรี่เต็มสถานีจะตัดไฟโดยอัตโนมัติ เครื่องประจุไฟสามารถแสดงไฟสัญญาณสีเขียวเมื่อแบตเตอรี่ชาร์จเต็มและแสดงไฟสัญญาณสีแดงเมื่อแบตเตอรี่กำลังชาร์จไฟอยู่ (ดังรูป 4.4) และระบบประจุไฟใช้เวลาในการชาร์จ (ดังตารางที่ 4.5)



รูปที่ 4.4 การทดสอบระบบประจุไฟ

ตารางที่ 4.5 การทดสอบเวลาในการชาร์จของระบบ

จำนวนครั้งที่ชาร์จ	เวลาในการชาร์จต่อครั้งโดยประมาณ (ชั่วโมง)
1	4.20
2	5.10
3	4.40
4	4.50
5	5.30

4.6 การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบใหม่

จากการที่ระบบเดิมที่มีอยู่ได้ทำการเพิ่มเติมอุปกรณ์ระบบเข้ากับสถานี (ดังตารางที่ 4.6)

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบระบบเดิมกับระบบใหม่

ระบบเดิม	ระบบใหม่
- Station - Locking System - ID student	- ระบบการประจุไฟ - จักรยานไฟฟ้า

4.7 การซ่อมบำรุงรักษา

4.7.1 ตรวจเช็คและการบำรุงรักษาระบบประจุไฟทุก 1 เดือน

4.7.1.1 การจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge)

ก. หลีกเลี่ยงการจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินความสามารถของแบตเตอรี่ (Over Discharge) โดยการใช้งานหนักเกินความจำเป็น (Over Load) เนื่องจากจะทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง เพราะฉะนั้นควรให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้าประมาณ 70 - 80 เปอร์เซ็นต์ ของ Capacity เช่น แบตเตอรี่ 24 โวลต์ ควรมี Cut - Off Discharge Voltage ประมาณ 20.4 โวลต์

ข. สภาพการใช้ และความจุของแบตเตอรี่ ความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสภาพของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ที่แห้ง และสะอาด จะมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ดี ใช้ยกหรือบรรทุกสิ่งของด้วยความเหมาะสมกับความสามารถ ซึ่งควรมีความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง

ข.1 การจ่ายกระแสไฟฟ้า ความจุของแบตเตอรี่ ลดลงเมื่อจ่ายกระแสเพิ่มขึ้น

ข.2 อุณหภูมิ ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเมื่อใช้งานในสถานที่ที่มีอุณหภูมิต่ำๆ การใช้งานมานาน ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น การใช้งานบ่อยครั้งหรือเป็นเวลานานขึ้น

4.7.1.2 การประจุไฟ (Normal Charge)

ก. แบตเตอรี่เมื่อผ่านการใช้งานเสร็จสิ้นในแต่ละวัน ต้องได้รับการประจุไฟแต่ควรระวังไม่ให้อุณหภูมิของ ELECTROLYTE สูงเกิน 50°C ตรวจสอบองศาโดยใช้เทอร์โมสวิทช์ (Thermo switch) ควบคุมความร้อนไม่ให้อุณหภูมิเกิน ควรลดหรือตัดกระแสในการประจุไฟเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของ ELECTROLYTE สูงขึ้น

ข. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าในการต่อ Plug เพื่อการประจุไฟต้องแน่นกระชับขั้วถูกต้อง Charger อยู่ในตำแหน่ง Off เมื่อ On Charger แล้ว ห้ามถอดหรือขยับ Plug เพราะอาจทำ

ให้เกิดประกายไฟซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสะพานไฟ ข้อต่อต่างๆ หากมีความจำเป็นควร Cut Off Power Source

4.7.2 ตรวจเช็คและการบำรุงรักษาจักรยานไฟฟ้าทุก 1 เดือน

4.7.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

สภาพการใช้และกำลังของมอเตอร์ ความสามารถในการขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับสภาพของมอเตอร์ เช่น มอเตอร์ที่สะอาด และไม่ชำรุดจะมีความสามารถในการขับเคลื่อนได้ดี ใช้ขับเคลื่อนหรือบรรทุกสิ่งของด้วยความเหมาะสมกับความสามารถของมอเตอร์ ซึ่งควรมีความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง

4.7.2.2 ชุดควบคุม

ตรวจสอบให้แน่ใจว่าในการเชื่อมต่อ Plug ต้องแน่นกระชับ และถูกต้อง เนื่องจากจะทำประสิทธิภาพด้อยลง และอายุการใช้งานลดลง

4.7.2.3 โซ่และยาง

โซ่ควรให้ตึงอยู่ตลอดเวลาจะทำให้การส่งกำลังการขับเคลื่อนมากขึ้น และเติมลมยางให้ยางแข็งอยู่อย่างสม่ำเสมอ เพราะที่ความเร็วเท่ากันยางอ่อนใช้กำลังมากกว่ายางแข็ง

4.8 ต้นทุนการปรับปรุงจักรยานให้เป็นจักรยานไฟฟ้าต่อคัน

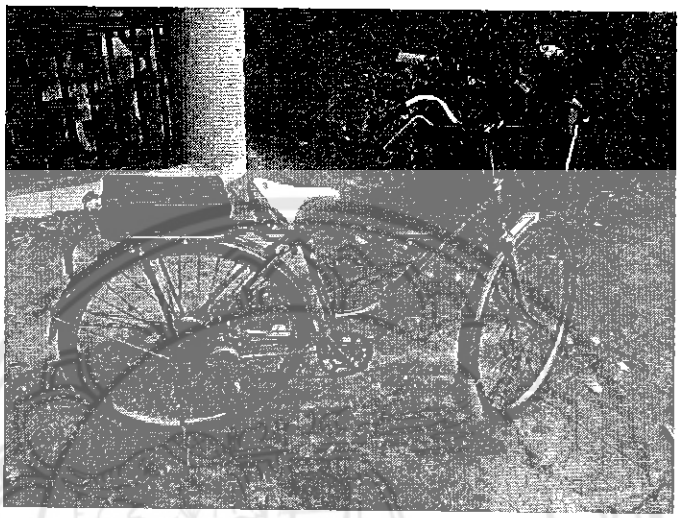
4.8.1 ชุด kit จักรยานไฟฟ้า มอเตอร์ 24 V 250 W รวมส่ง	6,313	บาท
4.8.2 ค่าแรง	500	บาท
(ข้อมูลจาก http://www.thaichamber.org/scripts/detail.asp?nNEWSID=5189)		
4.8.3 สายไมล์	90	บาท
4.8.4 ขั้วชาร์จตัวผู้ 1 ตัวและตัวเมีย 1 ตัว	40	บาท
4.8.5 เทปพันสายไฟ	15	บาท
4.8.6 ท่อหด	10	บาท
4.8.7 สายรัด 8 นิ้ว	45	บาท
ค่าใช้จ่ายรวมต่อคัน	7,013	บาท

ในระบบจักรยานแบบแบ่งปัน สำหรับจักรยานไฟฟ้า มีทั้งหมด 16 สถานี สถานีละ 2 คัน รวมมีจักรยานไฟฟ้าทั้งหมด 32 คัน (ข้อมูลจาก โครงงานระบบบริหารจัดการและระบบการซ่อมบำรุงจักรยาน ระบบแบ่งปันภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร) ดังนั้นต้นทุนทั้งหมดคือ 32×7,013 เท่ากับ 224,416 บาท

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการ

5.1.1 จากการศึกษาและออกแบบได้รถจักรยานไฟฟ้า (ดังรูปที่ 5.1)



รูปที่ 5.1 รถจักรยานไฟฟ้า

5.1.2 สมรรถนะของรถจักรยานไฟฟ้า

สรุปผลการทดสอบจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม วัดค่าต่างๆ โดยใช้ไมล์วัดความเร็วจักรยาน (ดังตารางที่ 5.1)

ตารางที่ 5.1 สรุปการทดสอบสมรรถภาพของจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม

สรุปการผลทดสอบ	น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 กิโลกรัม	น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 80 กิโลกรัม
ระยะทางโดยเฉลี่ยผลการทดสอบจากตารางที่ 4.1	17.816 กิโลเมตร	14.468 กิโลเมตร
ความเร็วสูงสุดโดยเฉลี่ยผลการทดสอบจากตารางที่ 4.2	23.82 กิโลเมตร/ชั่วโมง	21.82 กิโลเมตร/ชั่วโมง

5.1.3 การทดสอบแบตเตอรี่

5.1.3.1 สรุปผลการทดสอบจักรยานไฟฟ้าที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม วัดค่าต่างๆ โดยใช้ไมล์จักรยานดังนี้

ตารางที่ 5.2 สรุปการทดสอบแบตเตอรี่ที่น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 และ 80 กิโลกรัม

สรุปการผลทดสอบ	น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 56 กิโลกรัม	น้ำหนักตัวคนปั่นเท่ากับ 80 กิโลกรัม
ระยะเวลาโดยเฉลี่ยจากผลการทดสอบ	55.67 นาที	47.50 นาที

5.1.3.2 สามารถชาร์จได้โดยไม่ต้องมีไฟค้างอยู่ในแบตเตอรี่

5.1.4 มอเตอร์กินกระแสไฟของมอเตอร์ในสภาวะไม่มี Load

มอเตอร์กินกระแสไฟเท่ากับ 10.4 A แต่แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟ 9 A เพราะฉะนั้นจะทำให้การออกตัวรถจักรยานไฟฟ้าช้าลง

5.1.5 การทดสอบระบบการประจุไฟของจักรยานไฟฟ้า

5.1.5.1 ชาร์จไฟได้โดยอัตโนมัติกับสถานี

5.1.5.2 ระบบตัดไฟได้เมื่อแบตเตอรี่เต็ม

5.1.5.3 ระบบมีสัญญาณเมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือกำลังชาร์จ

5.1.5.4 ระบบการประจุไฟฟ้าสามารถชาร์จแบตเตอรี่เต็มโดยเฉลี่ย (จากตารางที่ 4.5) การทดสอบเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่เท่ากับ 4.7 ชั่วโมง

5.2 ค่าใช้จ่ายต่อคัน

ค่าใช้จ่ายรวมต่อคัน 7,013 บาท ในระบบจักรยานแบบแบ่งปันสำหรับจักรยานไฟฟ้า มีทั้งหมด 16 สถานี สถานีละ 2 คัน (ข้อมูลจาก โครงงานระบบบริหารจัดการและระบบการซ่อมบำรุงจักรยานระบบแบ่งปันภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร) รวมมีจักรยานไฟฟ้าทั้งหมด 32 คัน ดังนั้นต้นทุนทั้งหมดคือ 32×7,013 เท่ากับ 224,416 บาท

5.3 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการดำเนินการและการแก้ไข

5.3.1 การติดตั้งจักรยาน รถจักรยานที่เอามาทำค่อนข้างเก่า อะไหลในการบำรุงรักษาค่อนข้างยาก

5.3.2 ตัวจักรยานต้องมีการติดตั้งชุด Kit จึงทำให้น้ำหนักมากขึ้น ดังนั้นวัสดุที่นำมาทำจักรยานต้องสามารถรับน้ำหนักชุด Kit ผู้ขับขี่ และผู้ซ้อนได้

5.3.3 หากใช้มอเตอร์ปั่นจักรยานจนทำให้มอเตอร์ร้อน การขับเคลื่อนของมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนน้อยลงจากเดิม

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรเลือกซื้อชุด Kit ให้เหมาะสมกับจักรยานประเภทต่างๆ

5.4.2 ควรจัดทำชุดครอบมอเตอร์ไม่ให้มอเตอร์โดนแสงแดด และน้ำโดยตรงอาจเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้

5.4.3 หากต้องการให้รถจักรยานมีความเร็วมากขึ้น ควรเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดความเร็วรอบมากขึ้นกว่าเดิม

5.5 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ควรปรับปรุงแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น และการประจุไฟให้รวดเร็ว มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยใช้เทอร์โมสวิทช์ (Thermo Switch) ควบคุมการประจุไฟ เมื่อแบตเตอรี่เกิดความร้อนเกินกำหนดที่เทอร์โมสวิทช์กำหนดไว้เทอร์โมสวิทช์จะทำหน้าที่ตัดการประจุไฟ และจะประจุไฟตามปกติเมื่อแบตเตอรี่เย็นตัวลง

เอกสารอ้างอิง

การประจุไฟฟ้า (E-Bike Systems). สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2554. จาก http://translate.google.co.th/translate?hl=th&langpair=en|th&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Charging

การวิเคราะห์ความลาดชัน. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2554. จาก ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทียบความเร็วลมและชนิดลมของมาตรโบฟอร์ด. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2554. จาก http://www.marine.tmd.go.th/thai/windhtml/windhtml.html

เผด็จ สนเกษม. **ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานลม.** สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2554. จาก หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์

พิสุทธิ์ อภิชยกุล. (2552). **เครื่องมือและการวัดทางอุตสาหกรรม (Industrial Instrumentation and Measurement).** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2554. จาก ARMY TRANSPORTATION ENGINEERING SCHOOL.

อะไหล่จักรยานไฟฟ้าต่างๆ. สืบค้นเมื่อ 27 กันยายน 2554. สืบค้นเมื่อ 29 สิงหาคม 2554. จาก http://cfbike.weloveshopping.com/template/a29/shop.php?shopid=131704

เอกชัย รัตนะสิทธิ์. **ประเภทจักรยานไฟฟ้า (E-Bike).** สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2554. จาก http://www.ebikethaikit.com/

เอกชัย รัตนะสิทธิ์. **ระบบจักรยานแบ่งปัน (Bike Sharing).** สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2554. จาก http://www.ebikethaikit.com/

ภาคผนวก

ค่าที่ใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ ก.1 สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ Kr
(ที่มา ARMY TRANSPORTATION ENGINEERING SCHOOL)

ชนิดและสภาพของถนน	Kr (เฉลี่ย)
ถนนลาดยางและถนนคอนกรีต สภาพถนนดีเยี่ยม	0.014 - 0.018
สภาพดีพอใช้	0.018 - 0.020
ถนนหินปูน	0.023 - 0.030
ถนนลูกรัง	0.020 - 0.025
ถนนทราย	0.01 - 0.30

ตารางที่ ก.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานลม
(ที่มา หนังสือกลศาสตร์ยานยนต์ ,เผด็จ สนเกษม)

ลักษณะของรถยนต์	K_a	$A(m^2)$
รถแข่ง	0.13 - 0.15	1.0 - 1.3
รถยนต์นั่ง	0.20 - 0.35	1.6 - 2.8
รถตู้	0.25 - 0.40	4.5 - 6.5
รถบรรทุก	0.60 - 0.70	3.0 - 5.0

ตารางที่ ก.3 การวิเคราะห์ความลาดชัน
(ภาควิชาภูมิสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ลักษณะ	ความชัน
ที่ราบ	ความชัน น้อยกว่า 5 %
ที่ลาดชันน้อย	ความชัน 5 - 10 %
ที่ลาดชันปานกลาง	ความชัน 10 - 25 %
ที่ลาดชันมาก	ความลาดชันสูงกว่า 25 %

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายปัญญา พงษ์อุดทา
ภูมิลำเนา 183 หมู่ 6 ต.ลานสัก อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนร่องตาทีวิทยา จ.อุทัยธานี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: goft_herosanook@hotmail.com

ชื่อ นายเอกวิทย์ จันทะคุณ
ภูมิลำเนา 46 หมู่ 1 ต. ป่าแดง อ. ชาติตระการ จ. พิษณุโลก
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชาติตระการวิทยา จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: akkawit_joe@windowslive.com