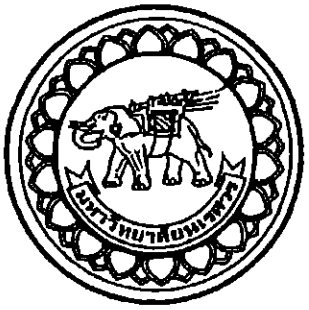


การออกแบบและจำลองรถจักรยานไฟฟ้าดัดแปลง

Design and simulation of electric bicycle conversion.

นายกมลศักดิ์ จำปาศักดิ์ รหัส 51363821

นายธนกร สามโพธิ์ศรี รหัส 51363982

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1600936
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและจำลองรถจักรยานไฟฟ้าดัดแปลง	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกมลศักดิ์ จำปาศักดิ์	รหัส 51363821
	นายธนกร สามโพธิ์ศรี	รหัส 51363982
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2554	

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

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

.....กรรมการ
(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

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

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและจำลองรถจักรยานไฟฟ้าดัดแปลง	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกมลศักดิ์ จำปาศักดิ์	รหัส 51363821
	นายธนกร สามโพธิ์ศรี	รหัส 51363982
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
ปีการศึกษา	2554	

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและสร้างแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมMATLAB คำนวณการใช้พลังงานภายในระบบของรถจักรยานไฟฟ้า, โหลดภาระกระทำต่างๆ และวัฏจักรการขับขี่ (Driving cycle) สำหรับรถจักรยานไฟฟ้าโครงงานนี้ได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 วัตต์ แบตเตอรี่ 12โวลต์(12Ah/20Hr)จำนวน 2 ลูกน้ำหนักรวมของรถจักรยานไฟฟ้าประมาณ 30 กิโลกรัม และใช้ผู้ทดสอบขับขี่หนักประมาณ 70 กิโลกรัมในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาความเร็ว, ความเร่ง, แรงบิดและระยะทางที่รถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งไปได้ไกลสูงสุดเพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อมูลจากผลการทดสอบรถจักรยานไฟฟ้าจริง จากผลการทดสอบจะสรุปได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองและผลที่ได้จากการทดสอบของจริงมีค่าใกล้เคียงกัน

Project title	Design and simulation of electric bicycle conversion	
Name	Mr. Kamonsak Jampasak	ID. 51363821
	Mr. Tanakon Samposri	ID. 51363982
Project advisor	Dr. Ananchai Ukaew	
Major	Mechanical Engineering	
Department	Mechanical Engineering	
Academic year	2011	

Abstract

This project is a study and modeling electric bicycle using MATLAB to calculate the power systems of electric bicycles, load, load actions and cycles driving (Driving cycle) for the electric bicycle projects that use electric motors DC 250 watt, 12 volt battery (12Ah/20Hr) of the total weight of the second electric bicycle is about 30 kg and the driving test is about 70 kg in the modeling to determine speed, acceleration, torque and range of electric bicycles. How far can I go to be compared with data from actual test results, electric bicycle. The result of the test is concluded that the results obtained from the model and the results of the tests are similar.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งกรุณาให้โอกาสให้ความรู้คำแนะนำคำปรึกษาและตรวจแก้ข้อบกพร่องต่างๆจนวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ภาณุ พุทธวงศ์, ผศ.ดร. ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ ที่ให้ความกรุณารับเป็นกรรมการการสอบและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ให้คำแนะนำให้กำลังใจตลอดการศึกษาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อนนักศึกษาในกลุ่มทำวิทยานิพนธ์เดียวกันที่ให้ความรู้คำแนะนำต่างๆและเป็นกำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้กราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่คอยเป็นกำลังใจสละเวลาและทุนสำหรับทำโครงงานนี้

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นาย ธนกร สามโพธิ์ศรี
นาย กมลศักดิ์ จำปาศักดิ์
มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน 1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.6 แผนการดำเนินงาน 2
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 แบบจำลองแรงฉุดลาก 4
2.2 แบบจำลองมอเตอร์ 8
2.3 แบบจำลองแบตเตอรี่ 9
2.4 แบบจำลองการไหลเวียนของพลังงาน 11

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 13
3.1 การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้า 13
3.2 การสร้างแบบจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้า 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 23
4.1 ผลจากการจำลองประสิทธิภาพของรถจักรยานไฟฟ้า 23
4.2 ผลการจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้า 25

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 28
5.1 บทสรุป 28
5.2 ข้อเสนอแนะ 28
เอกสารอ้างอิง 29
ภาคผนวก 30
ภาคผนวก ก 31
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 34

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน..... 2
2.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสมาการที่ 2.17..... 9
ก.1 ผลการทดลองความเร่งของจักรยานไฟฟ้า 32
ก.2 ผลการทดลองการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้าระยะทาง 0-100 เมตร..... 32
ก.3 ผลการทดลองแรงบิดกับความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์..... 33

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า
2.1 แรงที่กระทำต่อยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปตามความลาดชัน.... 4
2.2 การจัดเรียงอย่างง่ายสำหรับมอเตอร์ที่เชื่อมต่อไปยังล้อ....5
2.3 แผนภาพการไหลของพลังงานที่แสดงเข้า-ออกส่วนประกอบภายในระบบรถไฟฟ้าทั้งขับรถไปข้างหน้าธรรมดาและการเบรกซ้ำ....11
3.1 รถจักรยานไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง....14
3.2 มอเตอร์กระแสตรงขนาด 250 W รุ่น MY1016Z2-250W 15
3.3 คำสั่ง (Code) ในแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้า....16
3.4 Driving cycle ของรถไฟฟ้า....18
3.5 แบตเตอรี่แห้งชนิด (Lead-acid) ขนาดแรงดัน 12 โวลต์....18
3.6 คำสั่ง (Code) ในโปรแกรม E_BIKEdriving.m....19
3.5 คำสั่ง (Code) ในโปรแกรม ONE_CYCLE.m 20
3.5 คำสั่ง (Code) ในโปรแกรม EVNUdriving.m 21
4.1 กราฟความเร่งของแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้า....23
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถจักรยานไฟฟ้า....23
4.3 กราฟแบบจำลองแสดงประสิทธิภาพการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้า....24
4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้า....24
4.5 กราฟแบบจำลองระยะทางการวิ่งไกลสุดต่อการชาร์จ1ครั้งของรถจักรยานไฟฟ้า....25
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Torque....26
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Omega-Torque....26
4.8 กราฟแบบจำลองแรงบิดรถจักรยานไฟฟ้า....27

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

m	=	มวล
v	=	ความเร็ว
ψ	=	มุม
F_{rr}	=	แรงเสียดทานการหมุน
μ_{rr}	=	สัมประสิทธิ์ของการต้านทานต่อการหมุน
F_{ad}	=	แรงต้านอากาศพลศาสตร์
C_d	=	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอากาศ
F_{hc}	=	แรงขึ้นเนิน
F_{la}	=	แรงจากความเร่ง
F_{te}	=	แรงฉุดลากรวม
F_{axl}	=	แรงความเร่งเชิงมุมมอเตอร์
G	=	อัตราส่วนเกียร์
r	=	รัศมีล้อ
T	=	แรงบิด
ω	=	ความเร็วเชิงมุม
DoD	=	depth of discharged
n	=	จำนวนเซลล์แบตเตอรี่
C_p	=	ความจุ Peukert

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อนได้มีผลกระทบต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิตและธรรมชาติเป็นอย่างมากสาเหตุหนึ่งของปัญหาโลกร้อนเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากควันพิษของรถยนต์ซึ่งเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการเดินทาง โดยรถยนต์มีอยู่ด้วยกันหลายแบบแต่ละแบบจำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานเช่น น้ำมัน ก๊าซ ไฟฟ้า เป็นต้น ในสภาวะปัจจุบันนี้มีจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ประสบกับปัญหาในหลายด้านทั้งมลภาวะและการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้นโดยเกิดจากการใช้รถของประชากรในปัจจุบัน ทั้งนี้ยังรวมถึงปัญหาของราคาเชื้อเพลิงที่เราใช้กันโดยมีแนวโน้มที่จะมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นแหล่งพลังงานมีจำนวนน้อยลง ทำให้พลังงานทดแทนได้รับความสนใจมากขึ้นเพื่อทดแทนน้ำมัน เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ในการใช้พลังงานทดแทนโดยการใช้รถจักรยานไฟฟ้าเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้เกิดความคิดที่จะทำแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมจำลองการทำงานรถจักรยานไฟฟ้าเพื่อหาประสิทธิภาพและระยะทางที่รถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งไปได้ไกลสูงสุดเพื่อใช้เป็นตัวเลือกในการตัดสินใจสร้างรถจักรยานไฟฟ้าจริงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB จำลองระบบการทำงานของรถจักยานไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถจักรยานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.3.1 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้า

1.3.2 ใช้จักรยานเสือภูเขารุ่น TRIN X ในการทำจักรยานไฟฟ้า

1.3.3 ใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดยี่ห้อ NEW POWER (12V, 12AH)

1.3.4 ใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 250 W รุ่น MY1016Z2-250W

1.3.5 ใช้ถนนเรียบรอบมหาวิทยาลัยนเรศวรในการทดสอบ

1.3.6 ใช้น้ำหนักผู้ทำการทดลองที่ 70 กิโลกรัม

1.4ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงหลักการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้า

1.4.2 ได้ทราบถึงหลักการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.4.3 ได้ทราบถึงการใช้งานโปรแกรม MATLAB เบื้องต้น

1.5ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้า

1.5.2 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถจักยานไฟฟ้า

1.5.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB

1.5.4 วัดหาค่าตัวแปลที่จำเป็นต่างๆ ของรถจักยานไฟฟ้า

1.5.5 สร้างแบบจำลองของรถจักยานไฟฟ้า

1.5.6 ทดสอบผลที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริง

1.5.7 สรุปวิเคราะห์ผลและจัดทำรายงาน

1.6แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

รายการ	พ.ศ. 2554				พ.ศ. 2555		
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง							
2. ออกแบบระบบจำลอง และบันทึกผล							
3. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และสรุปผลการทดลอง							
4. จัดทำรายงานผลการทดลอง							

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

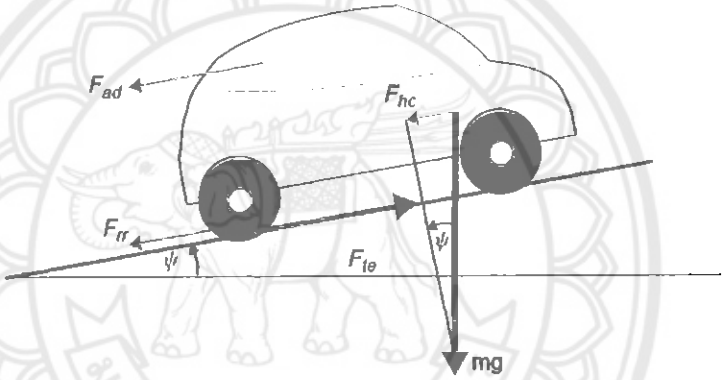
1. กระดาษ A4	500	บาท
2. ปริ้นเอกสาร	500	บาท
3. เข้าเล่มทำรายงาน	1000	บาท
รวมเป็นเงิน	2000	บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

การที่จะจำลองระบบของรถจักรยานไฟฟ้า(Electric Bike) จะต้องสร้างจากหลักการวิศวกรรมและทฤษฎี 4 อย่าง คือ แรงฉุดลาก, มอเตอร์, แบตเตอรี่และการไหลเวียนของพลังงาน

2.1แบบจำลองแรงฉุดลาก

ขั้นตอนแรกในการสร้างแบบจำลองการทำงานของยานพาหนะคือการหาสมการสำหรับแรงฉุดลากซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนของยานพาหนะที่ส่งไปยังพื้นถนนผ่านล้อ พิจารณายานพาหนะของมวล m ดำเนินการที่ความเร็ว v ขึ้นลาดชันของมุม ψ เช่นเดียวกับใน รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แรงที่กระทำต่อยานพาหนะที่เคลื่อนที่ไปตามความลาดชัน

2.1.1 แรงต้านทานการหมุน

แรงต้านทานต่อการหมุนเป็นแรงเสียดทานของยางยานพาหนะบนท้องถนน แรงเสียดทานในแบริ่ง และระบบเกียร์ยังซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแรงต้านทานต่อการหมุนโดยจะประมาณคงที่และจะไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถ ซึ่งเป็นสัดส่วนกับยานพาหนะน้ำหนักสมการคือ

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg \qquad (2.1)$$

ค่า μ_{rr} เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการต้านทานต่อการหมุน ปัจจัยหลักในการควบคุม μ_{rr} อยู่ชนิดของยางและลมยางซึ่งในการปั่นจักรยานจะสามารถรู้ได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของล้อจักรยานจะดีขึ้นมากถ้าสูบยางให้มีความดันสูง แต่อาจนั่งสะดวกสบายน้อยลง

2.1.2 แรงต้านอากาศพลศาสตร์

ส่วนหนึ่งของแรงนี้เกิดจากแรงเสียดทานของตัวรถที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศซึ่งเป็นพื้นที่ด้านหน้าของรถจักรยานไฟฟ้าสูตรสำหรับส่วนนี้คือ

$$F_{ad} = \frac{1}{2}\rho A C_d v^2 \qquad (2.2)$$

ค่า ρ คือความหนาแน่นของอากาศ, A เป็นพื้นที่ด้านหน้าของรถจักรยาน, v คือความเร็วและ C_d คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอากาศ

2.1.3 แรงขึ้นเนิน

แรงที่จำเป็นในการขับรถขึ้นเนินซึ่งมีเพียงแค่ส่วนประกอบของน้ำหนักยานพาหนะที่ทำหน้าที่ไปตามความลาดชันสมการคือ

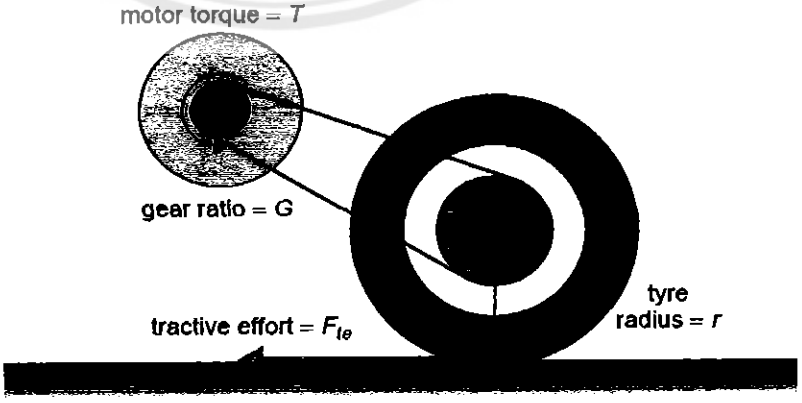
$$F_{hc} = mg\sin(\psi) \qquad (2.3)$$

2.1.4 แรงความเร่ง

ถ้าความเร็วของยานพาหนะที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนแล้วกำลังจะต้องถูกนำไปใช้นอกเหนือไปจากแรงที่แสดงในรูปที่2.1 กำลังนี้จะให้อัตราเร่งเชิงเส้นของยานพาหนะและจะได้รับโดยสมการของกฎข้อที่สองนิวตันสมการคือ

$$F_{la} = ma \qquad (2.4)$$

2.1.5 แรงจากความเฉื่อยของล้อ



รูปที่ 2.2 การจัดเรียงอย่างง่ายสำหรับมอเตอร์ที่เชื่อมต่อไปยังล้อ

จากรูปที่ 2.2 จากแรงบิดล้อ = $F_{te}r$ ที่ r คือรัศมีของยางและ F_{te} คือ แรงที่พยายามดึงจากการส่งกำลังของมอเตอร์ ถ้า G คือ อัตราทดเกียร์ของระบบมอเตอร์เชื่อมต่อไปยังเพลา และ T คือแรงบิดของมอเตอร์แล้วจะได้สมการคือ

$$F_{te} = \frac{G}{r}T \tag{2.5}$$

แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการเร่งความเร็วเชิงมุมนี้คือ

$$T = IG\frac{a}{r} \tag{2.6}$$

ที่ I เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยโรเตอร์ของมอเตอร์ แรงที่ล้อที่จำเป็นเพื่อให้การเร่งความเร็วเชิงมุม ($F_{\omega a}$) ที่พบโดยการรวมสมการ จากสมการที่ (2.5) และจากสมการที่ (2.6) จะได้

$$F_{\omega a} = \frac{G}{r}IG\frac{a}{r}$$

$$F_{\omega a} = I\frac{G^2}{r^2}a \tag{2.7}$$

ในสมการที่ (2.7) ได้สันนิษฐานว่าระบบเกียร์เป็นมีประสิทธิภาพ100% แต่ในระบบการทำงานจริงจะเกิดแรงเสียดทาน ทำให้ระบบเกียร์มีประสิทธิภาพต่ำกว่า100% ดังนั้นจากสมการที่ (2.7) จะได้ว่า

$$F_{\omega a} = I\frac{G^2}{\eta_g r^2}a \tag{2.8}$$

จาก η_g คือ ประสิทธิภาพเกียร์

2.1.6 แรงฉุดลากรวม แรงฉุดลากรวมคือผลรวมของแรงเหล่านี้ทั้งหมด

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a} \tag{2.9}$$

โดยที่:

- F_{rr} เป็นแรงต้านทานการหมุนตามสมการที่ (2.1)
- F_{ad} คือแรงต้านอากาศพลศาสตร์ตามสมการที่ (2.2)
- F_{hc} เป็นแรงขึ้นเนินตามสมการที่ (2.3)
- F_{la} เป็นแรงที่จำเป็นในการให้ความเร่งเชิงเส้นที่กำหนดตามสมการที่ (2.4)
- $F_{\omega a}$ เป็นแรงที่จำเป็นในการให้ความเร่งเชิงมุมของมอเตอร์หมุนให้ตามสมการที่(2.8)

จาก $\omega < \omega_c$, หรือ $v < \frac{r}{G}\omega_c$ ดังนั้น $T = T_{\max}$

เมื่อระยะแรงบิดนี้คงที่ถูกส่งผ่านไปคือ $\omega \geq \omega_c$ หรือ $v \geq r\omega_c / G$ แล้วทั้งพลังงานเป็นค่าคงที่ เช่นเดียวกับในมอเตอร์ประเภท brushless หรือมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟสและเราจะได้

$$T = \frac{T_{\max}\omega_c}{\omega} = \frac{rT_{\max}\omega_c}{Gv} \tag{2.10}$$

หรือแรงบิดตรงตามสมการเชิงเส้น

$$T = T_0 - k\omega$$

ซึ่งเมื่อสมการที่ (2.6) จะถูกแทนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมจะได้

$$T = T_0 - \frac{kG}{r}v \tag{2.11}$$

จากสมการที่ (2.9) แทนค่าสมการจะได้

$$F_{te}\eta_g = \mu_{rr}mg + 0.625AC_dv^2 + ma + I\frac{G^2}{\eta_g r^2}a$$

แทนสมการที่ (2.5) สำหรับ F_{te} และสังเกตว่า $a = \frac{dv}{dt}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{G}{r}T\eta_g = \mu_{rr}mg + 0.625AC_dv^2 + \left(m + I\frac{G^2}{\eta_g r^2}\right)\frac{dv}{dt} \tag{2.12}$$

ในระยะเร่งเริ่มต้นเมื่อ $T = T_{\max}$ ดังนั้นสมการที่ (2.12) กลายเป็น

$$\frac{G}{r}T_{\max}\eta_g = \mu_{rr}mg + 0.625AC_dv^2 + \left(m + I\frac{G^2}{\eta_g r^2}\right)\frac{dv}{dt} \tag{2.13}$$

และระยะที่2 เมื่อ $T = T_{P_{const}} = \frac{rT_{\max}\omega_c}{Gv}$ แรงบิดจะลดลงด้วยกำลังมอเตอร์คงที่ $T_{P_{const}}$ ดังนั้นจะได้

$$\frac{G}{r}T_{P_{const}}\eta_g = \mu_{rr}mg + 0.625AC_dv^2 + \left(m + I\frac{G^2}{\eta_g r^2}\right)\frac{dv}{dt} \tag{2.14}$$

2.2 แบบจำลองมอเตอร์

ในระบบรถไฟฟ้า มอเตอร์จะแทนที่เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ในการให้แรงบิดที่จะขับรถตามที่แสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งยังมีผลต่อแรงฉุดของยานพาหนะ สมการแรงบิดมอเตอร์, ความเร็วเชิงมุมและประสิทธิภาพของมอเตอร์จะถูกแสดงไว้ในสมการที่ (2.15), (2.16) และ (2.17) ตามลำดับดังนี้

2.2.1 แรงบิดมอเตอร์ (T)

จากสมการที่ (2.5) จะได้แรงบิดของมอเตอร์คือ

$$T = \frac{F_{te} r}{G} \text{ N.m} \qquad (2.15)$$

2.2.2 ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

จาก ความเร็วเชิงมุมเพลา $= \frac{v}{r}$ rad/s

ดังนั้นความเร็วเชิงมุมมอเตอร์ $\omega = G\frac{v}{r}$ rad/s (2.16)

ในทำนองเดียวกันการเร่งความเร็วเชิงมุมมอเตอร์ $\dot{\omega} = G\frac{a}{r}$ rad/s^{-2}

2.2.3 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ DC

แหล่งที่มาสำคัญของการสูญเสียในแปรง DC มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเช่นเดียวกับทุกประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้าและสามารถแบ่งออกเป็นสี่ประเภทหลักดังนี้ ประการแรกมีความสูญเสียที่มีทองแดง เหล่านี้เกิดจากความต้านทานไฟฟ้าของสายและแปรงของมอเตอร์ นี้ทำให้เกิดความร้อนและบางส่วนของพลังงานไฟฟ้าจัดจะกลายเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าพลังงานไฟฟ้าผลของความร้อนกระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของปัจจุบัน

$$\eta_m = \frac{T\omega}{T\omega + k_c T^2 + k_i \omega + k_w \omega^3 + C} \qquad (2.17)$$

โดยที่ k_c เป็นค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียทองแดง, k_i คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียธาตุเหล็ก, k_ω คือสัมประสิทธิ์การสูญเสีย windage และ C คือการสูญเสียคงที่นำไปใช้ที่ความเร็วใด ๆ

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสมาการที่ 2.17

ตัวแปร	มอเตอร์ขนาด 2-5 kW	มอเตอร์ขนาด 100 kW
k_c	1.5	0.3
k_i	0.1	0.01
k_m	10^{-5}	5.0×10^{-6}
C	20	600

2.3 แบบจำลองแบตเตอรี่

2.3.1 แรงดันไฟฟ้าแต่ละชนิดของแบตเตอรี่

พฤติกรรมพลวัตของแบตเตอรี่จะมีผลกระทบอย่างมากกับประสิทธิภาพของรถจักรไฟฟ้า ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมี 3 ประเภท คือ ตะกั่วกรด, นิกเกิลแคดเมียม และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แต่ละประเภทจะมีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (E) ของแบตเตอรี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสถานะ การเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวสามารถ คำนวณการเสื่อมของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

•ตะกั่วกรด:

$$E = n \cdot \left(2.15 - DoD \cdot [2.15 - 2.00]\right) \tag{2.18}$$

•นิกเกิล แคดเมียม:

$$E = n \cdot \begin{pmatrix} -8.2816DoD^7 + \\ 23.5749DoD^6 - \\ 30DoD^5 + \\ 23.7053DoD^4 \\ -12.5877DoD^3 + \\ 4.1315DoD^2 \\ -0.8658DoD + 1.37 \end{pmatrix} \tag{2.19}$$

•ลิเทียมไอออน:

$$E = n \cdot 3.3 \tag{2.20}$$

(พลังงานปกติ = 3.3v up to 80% DoD)

ที่จำนวน n ของเซลล์แบตเตอรี่และDoD เป็นการควบคุมการถ่ายประจุของแบตเตอรี่ (0 to 1)

2.3.2 การจำลองการใช้พลังงานแบตเตอรี่

ขั้นตอนแรกคือการหาสมการสำหรับ I กระแสจากแบตเตอรี่เมื่อถูกดใช้งานที่กำลังไฟ P(W) โดยมีสมการดังนี้

$$P = V \times I$$

ดังนั้นจาก $$P = V \times I = (E - IR) \times I = EI - RI^2$$

ดังนั้นพลังงานที่ปล่อยออกจากแบตเตอรี่คือ

$$I_B = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4RP_{bat}}}{2R} \quad (2.21)$$

จาก $$V = E + IR$$

ดังนั้น $$V = V \times I = (E + IR) \times I = EI + RI^2$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ใช้ในช่วงการเบรกคือ

$$I_B = \frac{-E + \sqrt{E^2 + 4RP_{bat}}}{2R} \quad (2.22)$$

ค่า R คือค่าต้านทานภายในของเซลล์ปกติ

2.3.3 การจำลองความจุของแบตเตอรี่

จุดเริ่มต้นของแบบจำลองความจุของแบตเตอรี่คือ มีความสามารถในการจุกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าความจุ Peukert ซึ่งเป็นค่าคงที่ได้จากสมการดังนี้

$$C_p = I^k T \quad (2.23)$$

โดยที่ ค่า k แบตเตอรี่กรดตะกั่ว (k ≈ 1.12) และลิเทียม ไอออน (k ≈ 1) เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ Peukert เทียบเท่ากับความจุ Amp hours

ความจุของแบตเตอรี่ (CR) มีการอัพเดทสำหรับขั้นตอนในแต่ละครั้ง (δt) ดังแสดงในสมการ

- การจ่ายกระแสทั้งหมดออกจากแบตเตอรี่โดย n ขั้น ของการจำลอง

$$CR_{n+1} = CR_n + \frac{\delta t \times I^k}{3600} \text{Ah} \quad (2.24)$$

•ความลึกของการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่คืออัตราส่วนของการชาร์จออกไปที่เดิมความจุ ดังนั้น ใน n ขั้นตอนที่ ของการจำลองขั้นตอนโดยขั้นตอนนี้คือ:

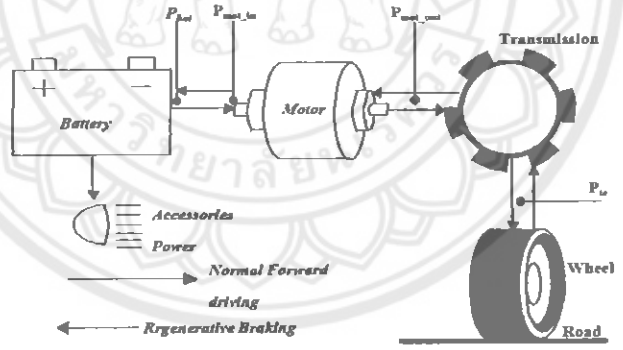
$$DoD_n = \frac{CR_n}{C_p} \tag{2.25}$$

•การชาร์จออกจากช่วงการเบรก

$$CR_{n+1} = CR_n - \frac{\delta t \times I}{3600} \text{ Ah} \tag{2.26}$$

2.4 แบบจำลองการไหลเวียนของพลังงาน

เพื่อให้มีประสิทธิภาพการจำลองการใช้พลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นในการคำนวณและปรับปรุงอัตราการใช้พลังงานไปในส่วนประกอบต่างๆ ของรถจักรยาน และล้อกับถนน ดังนั้นรูปแบบจะต้องมีความสามารถในการจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระแสไฟฟ้าทั้งในการขับขี่และการเบรกดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภาพการไหลของพลังงานที่แสดงเข้า-ออกส่วนประกอบภายในระบบรถไฟฟ้าทั้งขับรถไปข้างหน้าธรรมดาและการเบรกซ้ำ

2.4.1 กำลังที่จำเป็นในการเคลื่อนย้ายยานพาหนะสำหรับทุกวินาทีคือ:

$$P_{te} = F_{te} \times v \tag{2.27}$$

2.4.2 กำลังของมอเตอร์ในรูปแบบการขับเคลื่อนคือ:

$$P_{mot_in} = \frac{P_{mot_out}}{\eta_m} \ , \ P_{mot_out} = \frac{P_{te}}{\eta_g} \tag{2.28}$$

2.4.3 กำลังของมอเตอร์ในรูปแบบการเบรกคือ:

$$P_{mot_in} = P_{mot_out} \cdot \eta_m \ , \ P_{mot_out} = P_{te} \cdot \eta_g \tag{2.29}$$

2.4.4 พลังงานที่ใช้จากแบตเตอรี่คือ:

$$P_{bat} = P_{mot_in} + P_{ac} \tag{2.30}$$

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

ในการดำเนินงานของโครงงานนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้าและการสร้างแบบจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้า

3.1 การสร้างแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้า

การจำลองนี้เป็นการจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพของรถจักรยานไฟฟ้าโดยหาความเร่งและความเร็วสูงสุดที่รถจักรยานไฟฟ้า

3.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้า

ในขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลการจำลองรถจักรยานไฟฟ้าโดยใช้หลักเดียวกับการจำลองรถไฟฟ้าแต่กำหนดแต่แปรต่างๆ เป็นของจักรยานไฟฟ้าแทนเนื่องจากรถจักรยานไฟฟ้ามีหลักการทำงานเหมือนรถไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้

1.ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอากาศ (Drag coefficient, C_d)

2.ค่าสัมประสิทธิ์ของการต้านทานต่อการหมุน (Rolling resistance, μ_{rr})

3.น้ำหนักรวมของรถจักรยานไฟฟ้า (mass, m)

4.อัตราส่วนเกียร์ (Gear ratio, G)

5.ประสิทธิภาพเกียร์ (Gearing efficiency, η_g)

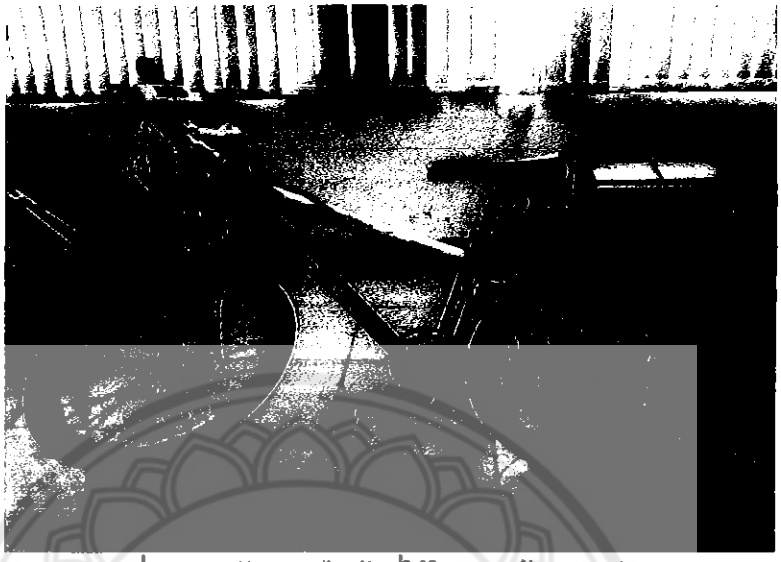
6.รัศมีล้อจักรยานไฟฟ้า (Tire radius, r)

7.พื้นที่ด้านหน้าของรถจักรยานไฟฟ้า (Frontal area, A)

8.แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ (Maximum torque, T_{max})

ทำการวัดค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณหาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถจักรยานไฟฟ้าเพื่อใช้จำลองหาประสิทธิภาพของรถจักรยานไฟฟ้า

3.1.2 การคำนวณหาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.1 รถจักรยานไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ทำการวัดหาค่าตัวแปรต่างๆ จากรถจักรยานไฟฟ้าจริงเพื่อหาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

1.สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานอากาศ (Drag coefficient C_d) = 0.75

2.สัมประสิทธิ์ของการต้านทานต่อการหมุน (Rolling resistance μ_{rr}) = 0.007

3.รถจักรยานไฟฟ้าหนัก= 30 kg และคนขับขี่หนักประมาณ= 70 kgรวมประมาณ = 100 kg

4.โมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์และล้อจะประมาณเป็น 5% ของน้ำหนักรวมของรถจักรยานไฟฟ้าดังนั้นน้ำหนักรวมเทียบเท่าจะมีค่าเท่ากับ 105 kg

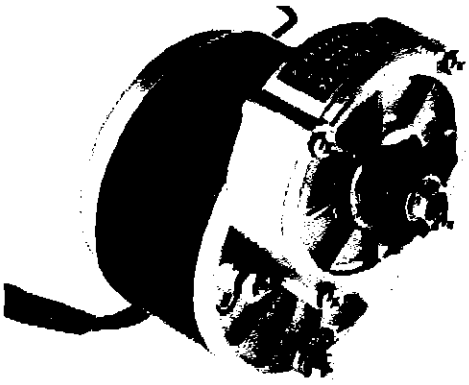
5.อัตราส่วนเกียร์ (Gear ratio, G) = 15:9, G = 1.67

6.ประสิทธิภาพเกียร์ (Gearing efficiency, η_g) = 0.95

7.รัศมีล้อรถจักรยานไฟฟ้า (Tire radius) r = 0.3 m

7.พื้นที่ด้านหน้าของรถจักรยานไฟฟ้า (Frontal area) A = 0.43 m^2

8.มอเตอร์กระแสตรงขนาด 250 W รุ่น MY1016Z2-250W แรงบิดสูงสุด T_{max} = 93.8 Nm, ω_c = 2.6 $rad.s^{-1}$ หรือเท่ากับ 25.5 rpm มอเตอร์ทำงานคงที่เท่ากับ 250 W ความเร็วรอบสูงสุดของมอเตอร์ = 393 rpm, ω_{max} = 41.18 $rad.s^{-1}$



รูปที่ 3.2 มอเตอร์กระแสตรงขนาด 250 W รุ่น MY1016Z2-250W

ระยะที่ 1

หาสมการแรงบิดคงที่ในระยะเริ่มต้นจากจากสมการที่ 2.13

$$\frac{G}{r}T_{max}\eta_g = \mu_r mg + 0.625AC_d v^2 + \left(m + I\frac{G^2}{\eta_g r^2}\right)\frac{dv}{dt}$$

แทนค่าในสมการที่ 2.13 จะได้

$$\frac{1.67}{0.3}\times 0.95\times 93.8 = 0.007\times 100\times 9.8 + 0.625\times 0.43\times 0.75v^2 + 105\frac{dv}{dt}$$

ย้ายข้างสมการจะได้

$$105\frac{dv}{dt} = 496.04 - 6.86 - 0.20v^2$$

$$\therefore \frac{dv}{dt} = 4.658 - 0.00190v^2 \qquad (3.1)$$

ระยะที่ 2

จากมอเตอร์ทำงานคงที่เท่ากับ 250 W หาแรงบิดจากสมการที่ 2.10 ดังต่อไปนี้

$$T = \frac{T_{max}\omega_c}{\omega} = \frac{rT_{max}\omega_c}{Gv} = \frac{250}{5.56v} = \frac{44.96}{v}$$

หาความเร็วขณะที่แรงบิดสูงสุดจะได้เท่ากับ

$$v = \frac{r}{G}\omega_c = \frac{0.3\times 2.6}{1.67} = 0.47m/s$$

หาความเร็วขณะที่ความเร็วรอบมอเตอร์สูงสุดได้เท่ากับ

$$v = \frac{r}{G}\omega_{max} = \frac{0.3\times 41.18}{1.67} = 7.4m/s$$

เมื่อความเร็วถึง 0.47 m/s สามารถหาสมการความเร็วได้จากสมการที่ 2.14 ดังต่อไปนี้

$$\frac{G}{r}T_{P_{const}}\eta_g = \mu_{rr}mg + 0.625AC_dv^2 + \left(m + I\frac{G^2}{\eta_g r^2}\right)\frac{dv}{dt}$$

แทนค่าในสมการที่ 2.14 โดยกำหนดให้ $T_{P_{const}} = \frac{68.34}{v}$ จะได้

$$\frac{1.67}{0.3}\times 0.95\times\frac{44.96}{v} = 0.007\times 100\times 9.8 + 0.625\times 0.43\times 0.75v^2 + 105\frac{dv}{dt}$$

$$5.28\times\frac{44.96}{v} = 6.86 + 0.20v^2 + 105\frac{dv}{dt}$$

ย้ายข้างสมการจะได้

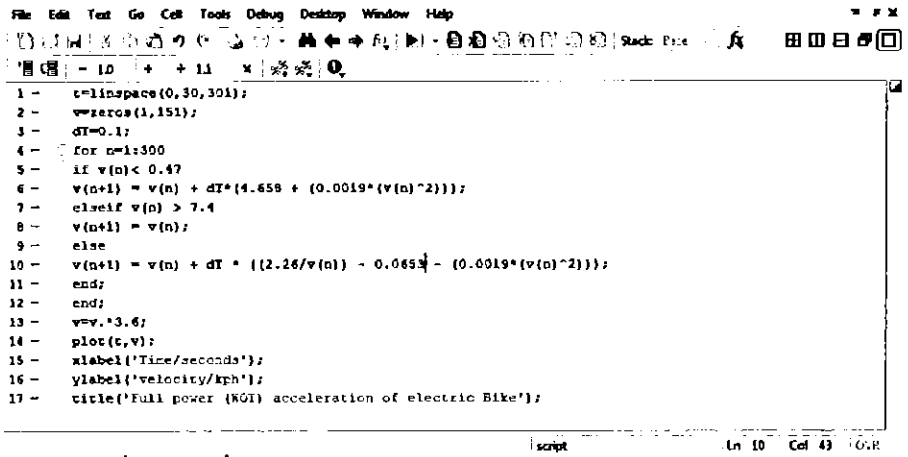
$$105\frac{dv}{dt} = \frac{237.38}{v} - 6.86 - 0.20v^2$$

$$\therefore \frac{dv}{dt} = \frac{2.26}{v} - 0.0653 - 0.00190v^2 \qquad (3.2)$$

ดังนั้นจะได้สมการอนุพันธ์ (Differential equation) ของความเร่งสมการที่3.1และสมการที่3.2นำไปคำนวณหาประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้าโดยใช้ MATLAB โดยจะได้กราฟความเร่งของรถจักรยานไฟฟ้าและความเร็วสูงสุดที่รถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งได้

3.1.3 ขั้นตอนการจำลองบนโปรแกรม MATLAB

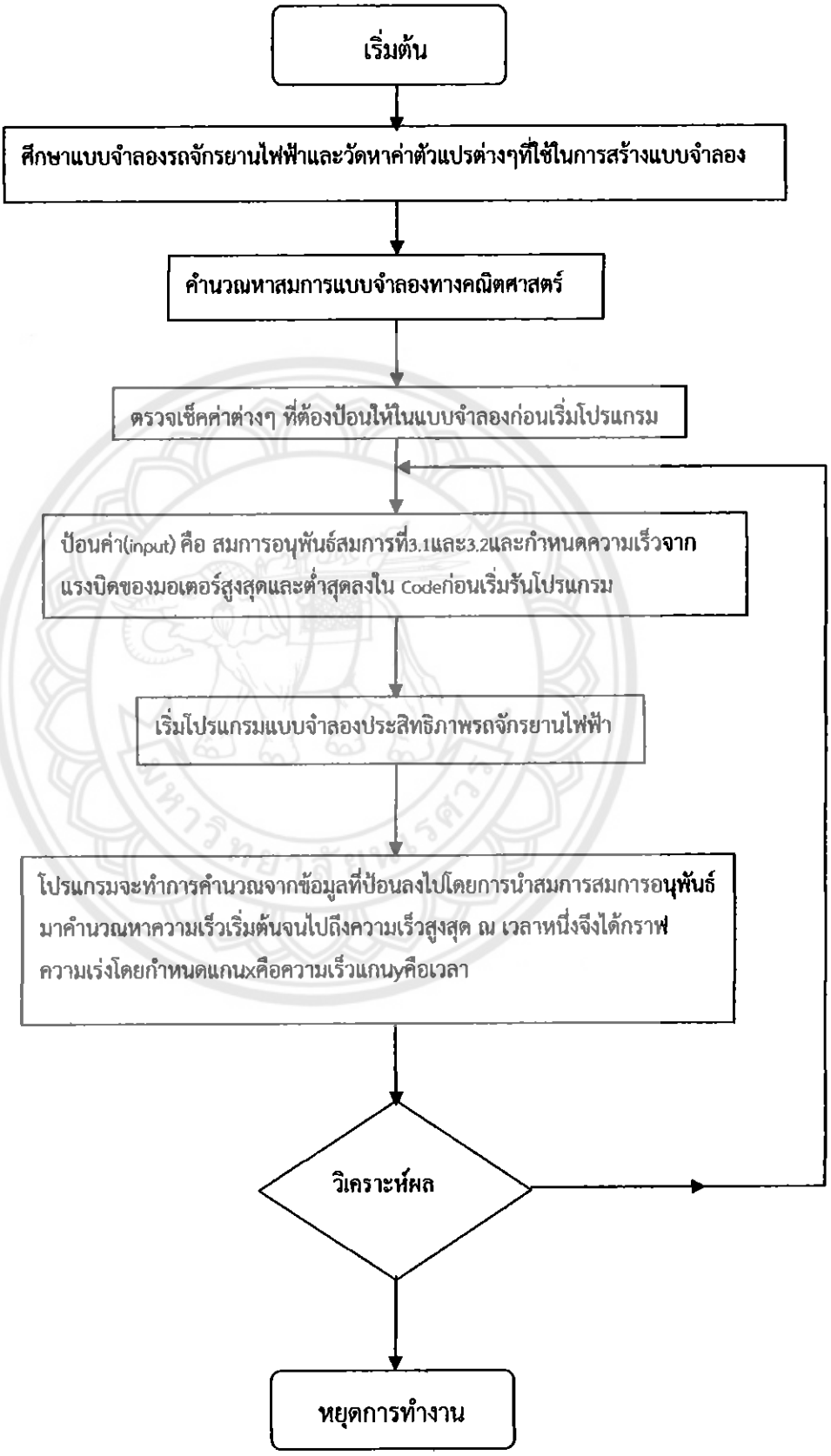
ในขั้นตอนการจำลองบนโปรแกรม MATLAB จะทำการเขียนคำสั่ง (Code) เพื่อใช้คำนวณหากราฟความเร่งของรถจักรยานไฟฟ้าโดยการนำสมการอนุพันธ์ (differential equation) ของความเร่งสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 มาใส่ใน Code ของแบบจำลองและกำหนดขอบเขตของความเร็วขณะที่มอเตอร์มีแรงบิดสูงสุดและต่ำสุด



```
File  Edit  Text  Go  Cell  Tools  Debug  Desktop  Window  Help
 1 -    t=linspace(0,30,301);
 2 -    v=zeros(1,151);
 3 -    dT=0.1;
 4 -    for n=1:300
 5 -    if v(n)< 0.47
 6 -    v(n+1) = v(n) + dT*(4.658 + (0.0019*(v(n)^2)));
 7 -    elseif v(n) > 7.4
 8 -    v(n+1) = v(n);
 9 -    else
10 -    v(n+1) = v(n) + dT * ((2.26/v(n)) - 0.0653 - (0.0019*(v(n)^2)));
11 -    end;
12 -    end;
13 -    v=v.*3.6;
14 -    plot(t,v);
15 -    xlabel('Time/seconds');
16 -    ylabel('velocity/kph');
17 -    title('Full power (KOT) acceleration of electric Bike');
```

รูปที่ 3.3 คำสั่ง (Code) ในแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้า

3.1.4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองประสิทธิภาพรถจักรยานไฟฟ้า

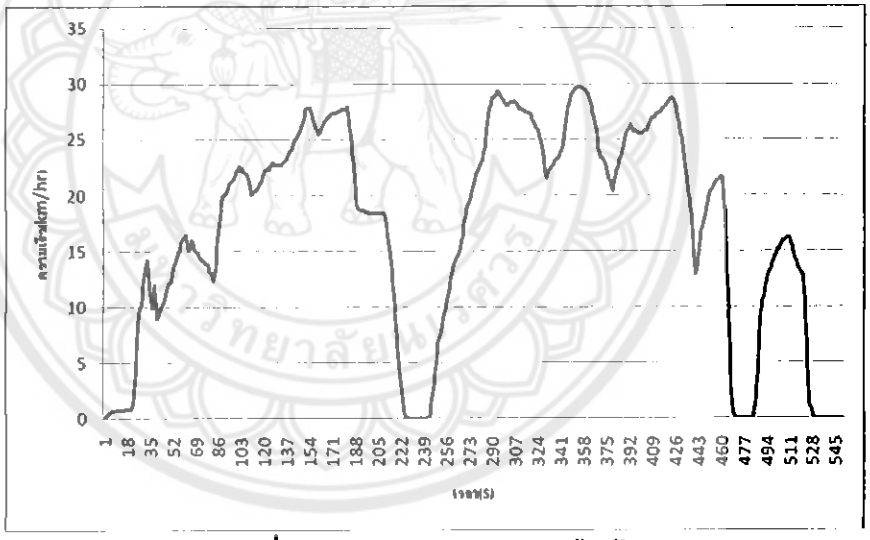


3.2 การสร้างแบบจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้า

การจำลองการขับขี่เป็นการจำลองการไหลเวียนพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังส่วนต่างๆ ของรถจักรยานไฟฟ้าที่สามารถทำให้รถจักรยานไฟฟ้าเคลื่อนไปได้ไกลแค่ไหนต่อการชาร์จหนึ่งครั้งโดยจะใช้สเปคในการจำลองจากหัวข้อที่ 3.1 และใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 2 ลูกต่อกันแบบอนุกรมซึ่งจะได้แรงดันรวมเท่ากับ 24 โวลต์ โดยจะเพิ่มInput เพิ่มเติมคือ วัฏจักรการขับขี่ (Driving cycle) ซึ่งจะเลือกวัฏจักรการขับขี่ของรถไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยนเรศวรเนื่องจากมีความเร็วใกล้เคียงกันมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกันและใช้ถนนรอบมหาวิทยาลัยในการทดสอบ เมื่อได้ข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะนำไปคำนวณในโปรแกรม MATLAB เพื่อหาระยะทางที่รถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งไปได้ไกลสูงสุดต่อการชาร์จหนึ่งครั้งและแรงบิดของรถจักรยานไฟฟ้าขณะขับขี่

3.2.1 กราฟวัฏจักรการขับขี่ (Driving cycle)

เริ่มต้นจากการบันทึกข้อมูลความเร็วต่อเวลาของรถไฟฟ้าที่วิ่งรอบมหาวิทยาลัยใช้เวลาประมาณ 550 วินาทีจึงได้กราฟดังรูปที่ 3.4

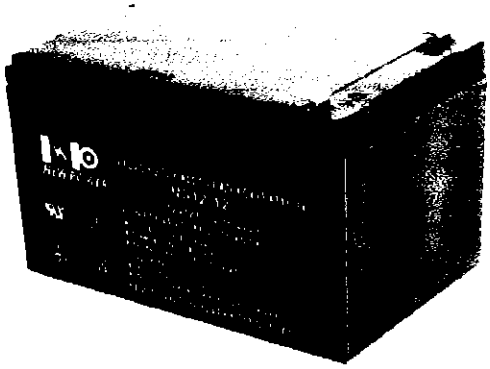


รูปที่ 3.4 Driving cycle ของรถไฟฟ้า

3.2.2 การจำลองการขับขี่ของรถจักรยานไฟฟ้าในโปรแกรม MATLAB

3.1.2.1 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการจำลอง

1. แบตเตอรี่แห้งชนิด (Lead-acid) ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 2 ลูก, ผลรวมของ No of cells = 12, Capacity = 12 Ah/20Hr
2. จำกัดการปล่อยกระแสของแบตเตอรี่ (Limit discharge) ที่ 80%
3. Regenerative ratio: Regen = 0.5



รูปที่ 3.5 แบตเตอรี่แห้งชนิด (Lead-acid) ขนาดแรงดัน 12 โวลต์

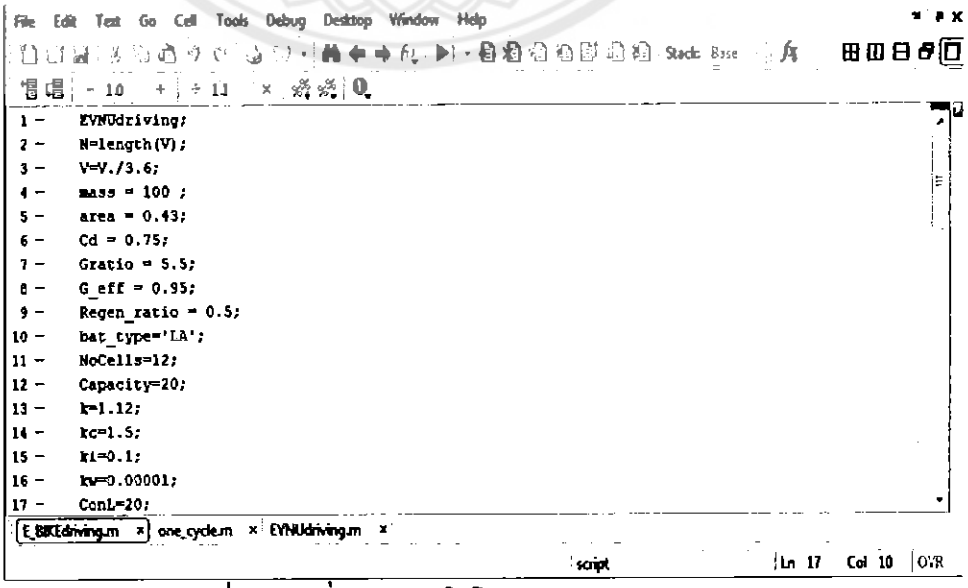
3.1.2.2 การคำนวณในโปรแกรม MATLAB

การคำนวณในโปแกรมMATLABสามมารถทำได้จากการสร้างหนึ่งโปรแกรมหลักและสองโปรแกรมย่อยดังนี้

1. E_BIKEdriving.m (เป็นโปรแกรมหลักในการจำลอง)
2. ONE_CYCLE.m (แบบจำลองการไหลของพลังในหนึ่งรอบการขับขี่)
3. EVNUdriving.m (Driving cycleของรถไฟฟ้า)

เมื่อได้โปรแกรมการคำนวณทั้ง 3โปรแกรมโดยโปรแกรมหลักจำทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการรับ Input จาก 2โปรแกรมย่อยเพื่อที่จะคำนวณหาระยะทางที่รถจักรยานไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ไปได้โดยกำหนดการใช้พลังงานแบตเตอรี่ทั้งหมด 80% เพื่อป้องกันการเสื่อมของแบตเตอรี่

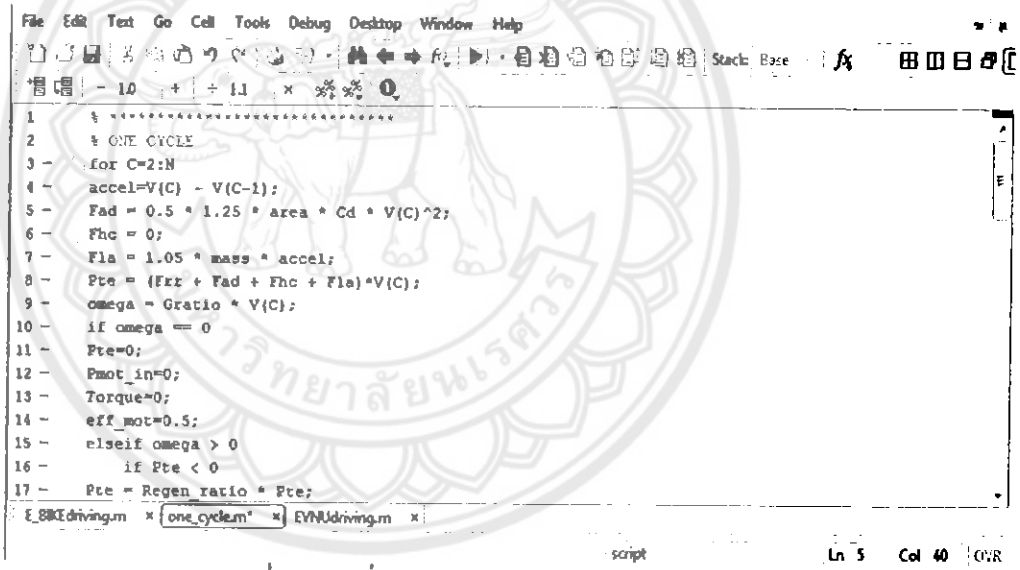
1.โปรแกรม E_BIKEdriving.m เป็นโปรแกรมหลักในการจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้าดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 คำสั่ง (Code) ในโปรแกรม E_BIKEdriving.m

คำสั่ง (Code) ของโปรแกรมหลักในการคำนวณของแบบจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้าโดยการกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ ที่จำเป็นในการคำนวณ เช่น ค่าตัวแปรต่างๆ ของรถจักรยานไฟฟ้า ชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ และค่าพลังงานสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ เป็นต้น หลังจากนั้นโปรแกรมจะนำค่าตัวแปรต่างๆส่งให้กับโปรแกรม ONE_CYCLE.m เพื่อคำนวณการใช้พลังงานที่จ่ายให้แก่ระบบการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าขณะที่รถจักรยานวิ่งที่ความเร็วขณะนั้น เมื่อได้ค่าการใช้พลังของแบตเตอรี่โปรแกรมหลักจะทำการ update ค่าการใช้พลังงาน ณ ความเร็วต่างๆ จนพลังที่อยู่ในแบตเตอรี่หมด โปรแกรมจะแสดงเป็นกราฟแสดงระยะทางการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้าเทียบกับการใช้พลังงานของแบตเตอรี่

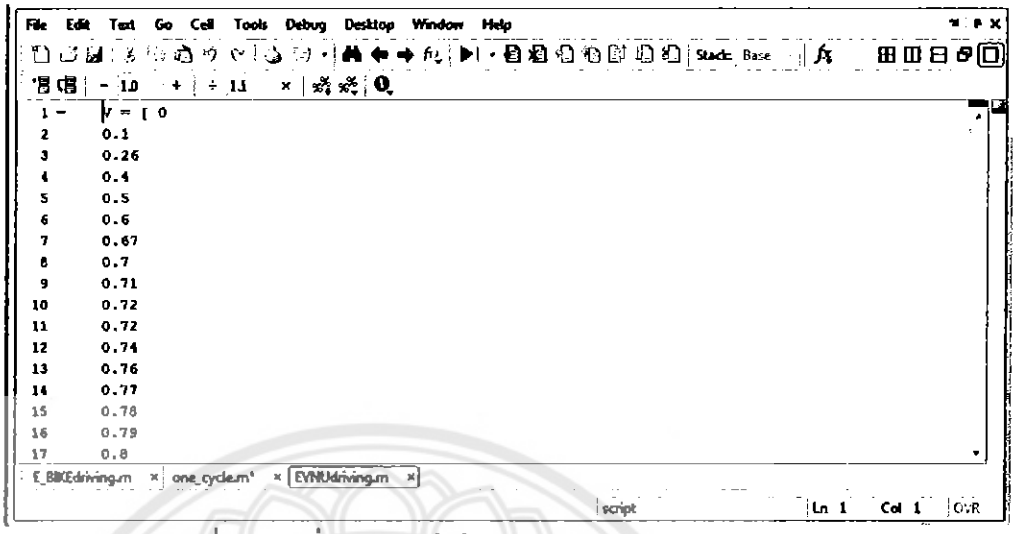
2. โปรแกรม ONE_CYCLE.m เป็นโปรแกรมการคำนวณการจำลองการไหลเวียนพลังงานที่ใช้ในระบบการทำงานรถจักรยานไฟฟ้าดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 คำสั่ง (Code) ในโปรแกรม ONE_CYCLE.m

คำสั่ง (Code) ของโปรแกรม ONE_CYCLE.m เป็นการคำนวณการไหลเวียนพลังงานในแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้าในขณะที่รถจักรยานวิ่งที่ความเร็วแตกต่างกันรวมไปถึงการใช้พลังงานส่วนของการเบรกเพื่อนำค่าการใช้พลังงานต่างๆ ส่งยังโปรแกรมหลักเพื่อทำการ update ต่อไป

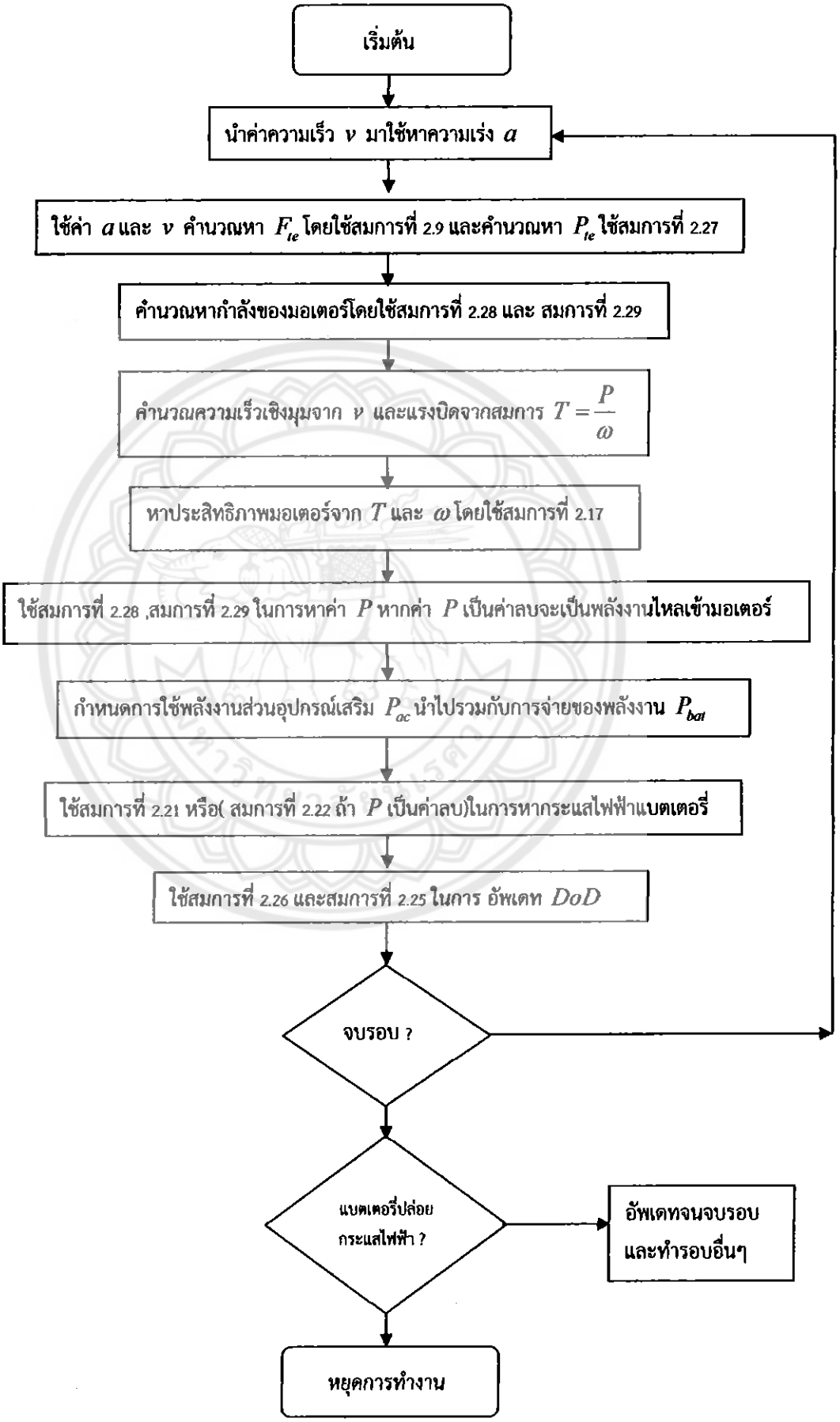
3.โปรแกรมEVNUdriving.mเป็นโปรแกรมการจำลองการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้าดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 คำสั่ง (Code) ในโปรแกรม EVNUdriving.m

คำสั่ง (Code) ของโปรแกรม EVNUdriving.m เป็นการนำค่าความเร็วการวิ่งของรถไฟฟ้าที่วิ่งบนพื้นถนนเรียบรอบมหาวิทยาลัยนเรศวรซึ่งแสดงในรูปที่ 3.4 นำมาใส่ในโปรแกรมเพื่อใช้เป็นค่า Input ในการจำลองการวิ่ง

3.2.3 ลำดับขั้นตอนการจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้าในโปรแกรม MATLAB

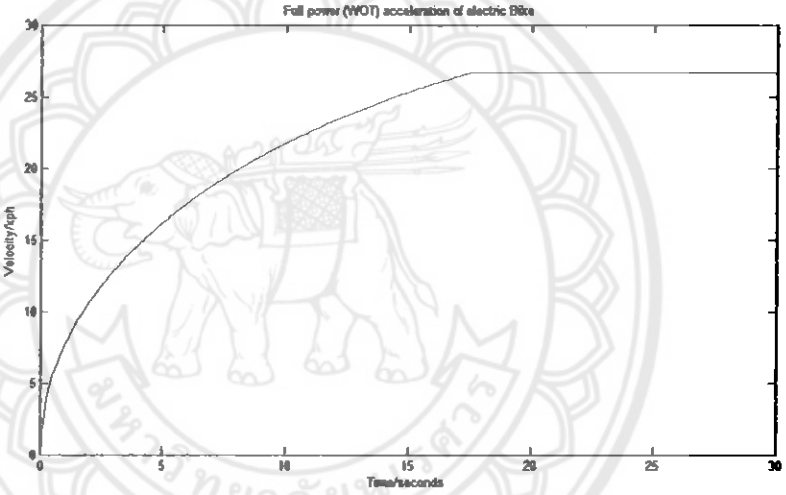


บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

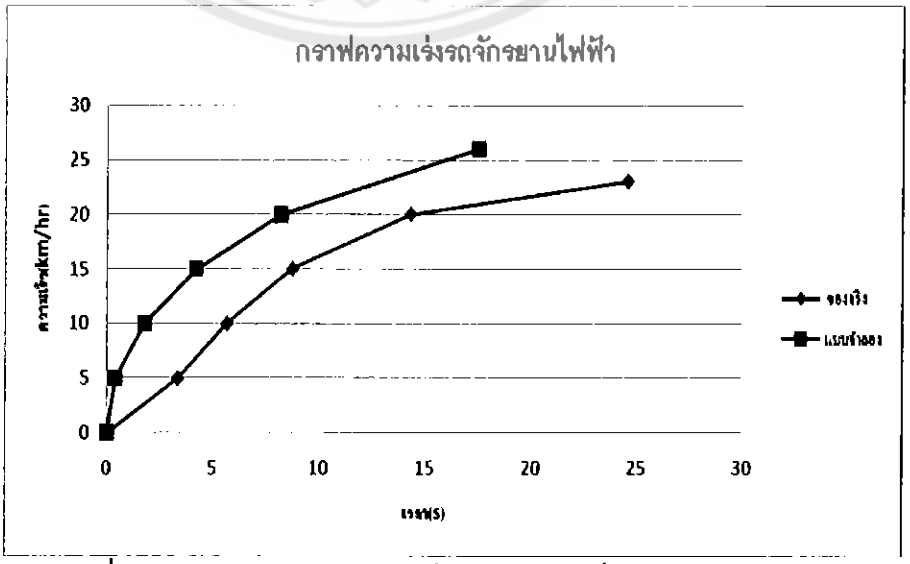
4.1 ผลจากการจำลองประสิทธิภาพของรถจักรยานไฟฟ้า

4.1.1 การจำลองหาความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้า

จากการจำลองหาความเร็วสูงสุดของรถจักรยานไฟฟ้าโดยใช้สมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 คำนวณในโปรแกรม MATLAB ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความเร่งของแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้า

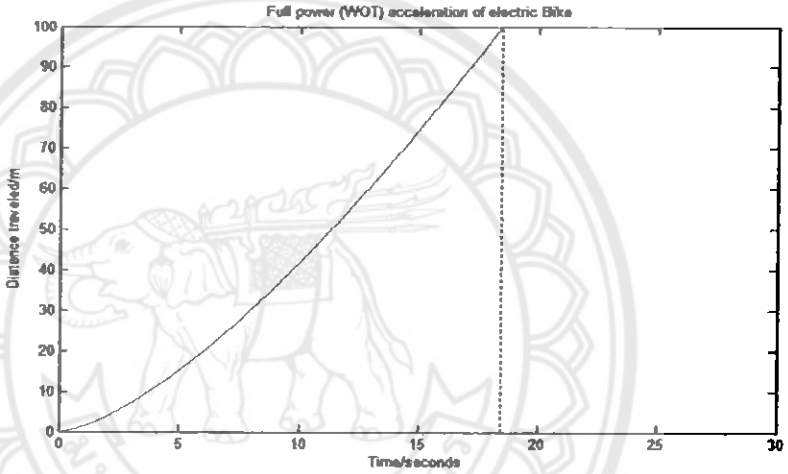


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับเวลาของรถจักรยานไฟฟ้า

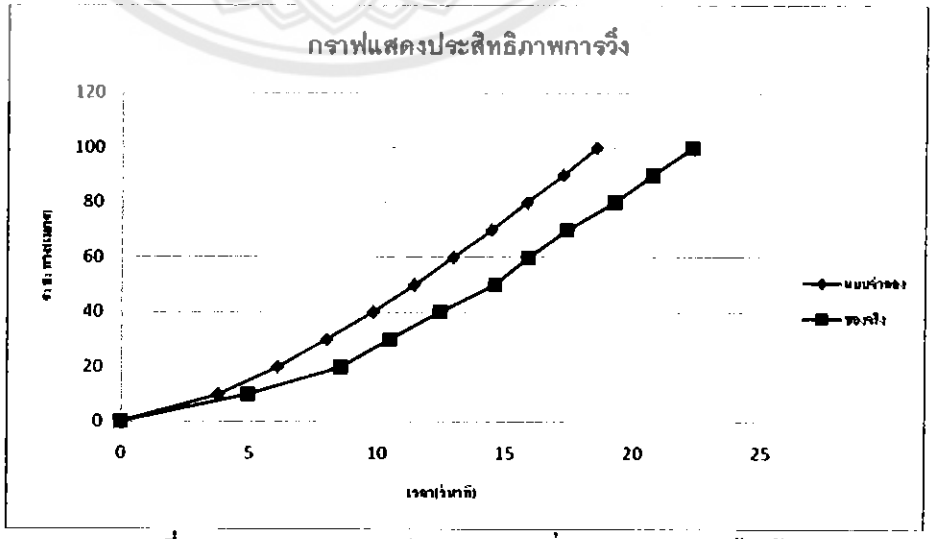
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่ารถจักรยานไฟฟ้าในแบบจำลองสามารถวิ่งได้ความเร็วสูงสุดที่ความเร็ว 26 km/hr. และในการทดสอบวิ่งจริงรถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ความเร็วประมาณ 23 km/hr. เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองแล้วจะได้ว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ของค่าจริงที่ทดสอบได้

4.1.2 การจำลองหาประสิทธิภาพของรถจักรยานไฟฟ้า

การจำลองหาประสิทธิภาพของรถจักรยานไฟฟ้าโดยจำลองการใช้เวลาในการวิ่งจากระยะทาง 0 ถึง 100 เมตรจากโปรแกรม MATLAB โดยผลการจำลองสามมารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแบบจำลองแสดงประสิทธิภาพการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้า

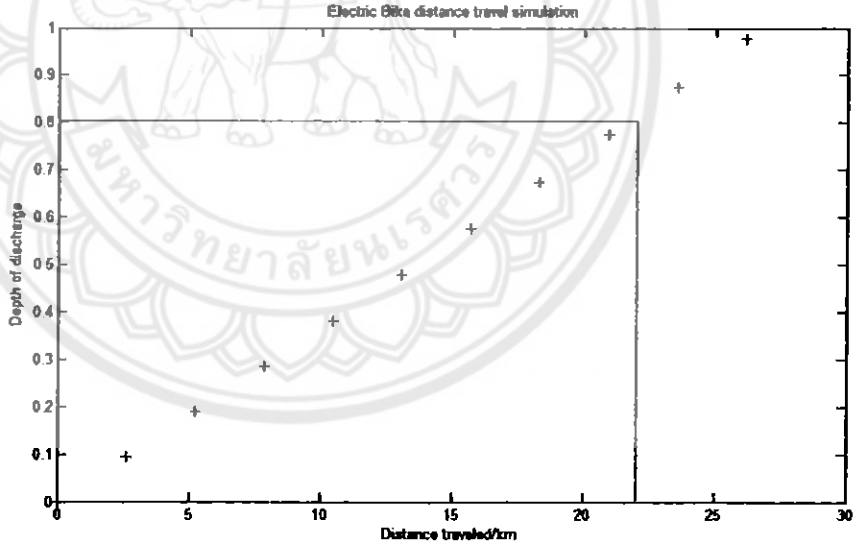
จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าการจำลองรถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งตั้งแต่ระยะทาง 0 ถึง 100 เมตรโดยใช้เวลา 18.5 วินาทีและในการทดสอบวิ่งจริงของรถจักยานไฟฟ้าในระยะทาง100เมตร ใช้เวลาโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 22 วินาที ซึ่งค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 15.9 เปอร์เซ็นต์ของค่าจริง

4.2 ผลการจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้า

การจำลองการขับขี่สามารถจำลองได้จากสร้างโปรแกรมคำนวณในหัวข้อที่ 3.1.2.2 ในโปรแกรม MATLAB ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมีดังต่อไปนี้

4.2.1 การจำลองหาระยะทางที่รถจักรยานไฟฟ้าวิ่งไปได้ไกลสูงสุด

ในการจำลองหาระยะทางที่รถจักรยานไฟฟ้าวิ่งไปได้ไกลสูงสุดโดยใช้ Driving cycle ของรถไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 3.4 เป็นแบบจำลองการขับขี่ของรถจักรยานไฟฟ้าและใช้คุณสมบัติต่างๆ ของรถจักรยานไฟฟ้าเป็น input ในการคำนวณลงในโปรแกรม MATLAB ผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังในรูปที่ 4.5

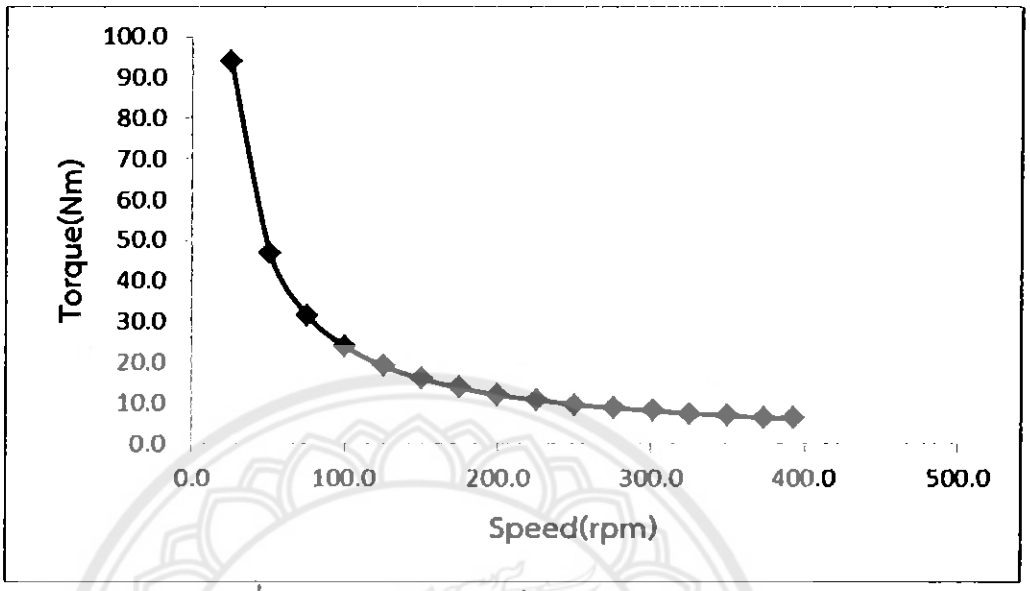


รูปที่ 4.5 กราฟแบบจำลองระยะทางการวิ่งไกลสุดต่อการชาร์จ1ครั้งของรถจักรยานไฟฟ้า

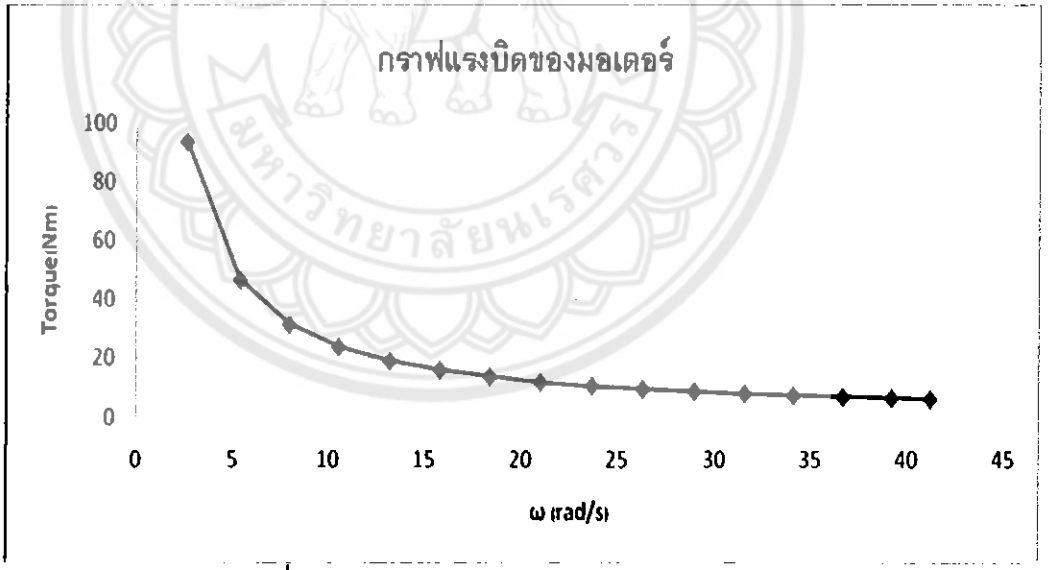
จากรูปที่ 4.5 กำหนดให้การใช้พลังงานแบตเตอรี่สูงสุด 80% จะเห็นว่ารถจักรยานไฟฟ้าในแบบจำลองสามารถวิ่งไปได้ระยะทางสูงสุดประมาณ 22 กิโลเมตรเมื่อเปรียบเทียบกับจักรยานไฟฟ้าจริงซึ่งวิ่งได้ระยะทางสูงสุดประมาณ 20 กิโลเมตร ซึ่งค่าที่ได้จากแบบจำลองรถจักยานไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

160029 36
มง.
ก.ค. 2564

4.2.2 ผลการทดสอบแรงบิดของมอเตอร์

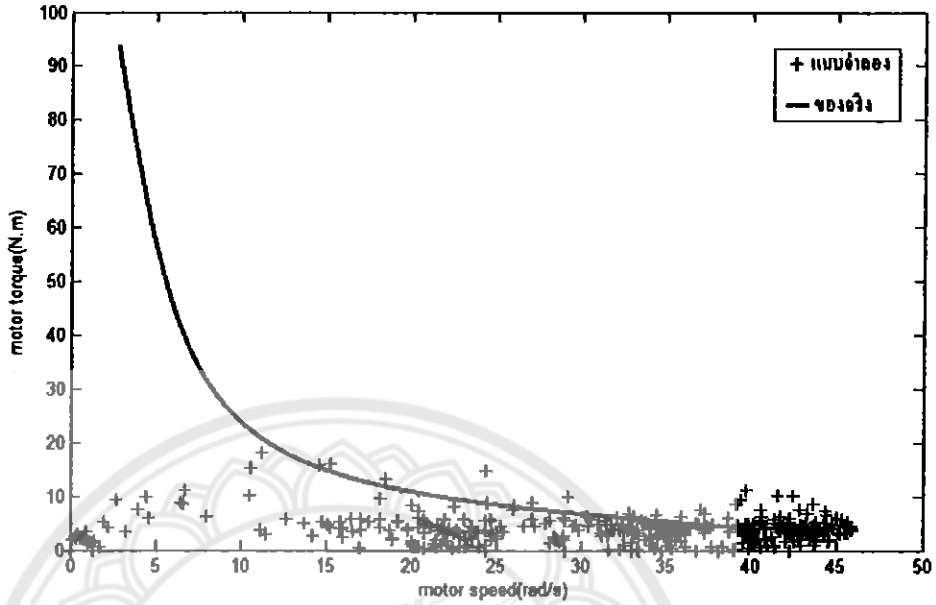


รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Speed-Torque



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Omega -Torque

4.2.3 การจำลองแรงบิดมอเตอร์



รูปที่ 4.8 กราฟแบบจำลองแรงบิดของรถจักรยานไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ของรถจักรยานไฟฟ้าโดยจุดที่มีการทับซ้อนกันคือจุดที่มีความเร็วคงที่ จะได้ว่าแรงบิดที่ได้จากการทดสอบจริงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 93.8 N.m โดยแรงบิดจะแปรผกผันกันความเร็วรอบคือยิ่งแรงบิดสูงความเร็วรอบจะต่ำ เมื่อเปรียบเทียบจากแบบจำลองแรงบิดจะพบว่ารถจักรยานไฟฟ้าจะใช้แรงบิดประมาณ 6 N.m ที่ความเร็วรอบ 400 rpm

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลที่ได้จากแบบจำลองตัวแปรที่มีผลต่อระบบการเคลื่อนที่ของรถจักรยานไฟฟ้าคือ น้ำหนักของรถจักรยาน,มอเตอร์,แบตเตอรี่และอื่นๆ เป็นต้นทำให้รถจักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ระยะทางและความเร็วตามหลักทฤษฎีพลศาสตร์ยานยนต์

จากผลการทดลองประสิทธิภาพของรถจักยานไฟฟ้าดังในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 ซึ่งผลที่ได้จากแบบจำลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงพบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนประมาณ13เปอร์เซ็นต์และ15.9เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากผลการจำลองการขับขี่และการจำลองแรงบิดดังในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 จะพบว่าแบบจำลองการขับขี่รถจักรยานไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์และแรงบิดที่ได้จากแบบจำลองรถจักรยานไฟฟ้าจะใช้แรงบิดประมาณ 6 N.m.ที่ความเร็วรอบ 400 rpm

จากผลที่ได้จากแบบจำลองพบว่าแบบจำลองนั้นสามารถทำนายประสิทธิภาพการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้าและระยะทางที่รถจักรยานไฟฟ้าไปได้ไกลสูงสุดได้ ซึ่งค่าที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีค่าสูงกว่าเสมอเนื่องจากในความเป็นจริงระบบการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าจริงจะมีการสูญเสียพลังงานที่มากกว่าเสมอ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การสร้างแบบจำลองควรใช้ค่า input ที่ตรงกับค่าจริงเพื่อลดการเกิดความคลาดเคลื่อน (Error) ในแบบจำลองเพื่อที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองได้

5.2.2 ควรมีการเปรียบเทียบแบบจำลองในโปรแกรมอื่นๆ

5.2.3 ควรใช้สเปคของจักรยานไฟฟ้าหลายๆแบบในการจำลองเพื่อเปรียบเทียบกัน

5.2.4 ควรมีการจำลองการวิ่งบนพื้นผิวถนนที่ต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

Larminie J., and Lowry J., "Electric Vehicle Technology Explained," John Wiley & Sons, Ltd., 2003

Ukeaw A., " Model based system design and simulation of electric vehicle conversion: low-cost design process," ICAE-7:March 28 – April 1, 2011.

Seth Leitman.,and Bob Brant., " Build Your Own Electric Vehical Second Edition," The McGraw-Hill Companies.Us.,2009.

MATLAB Commands and Functions, Dr. Brian VickMechanical Engineering Department Virginia Tech

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองความเร่งของรถจักรยานไฟฟ้า

ความเร็ว(km/hr.)	เวลา(s)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
5	3.3	2.95	3.77	3.34
10	5.7	5.23	6.05	5.66
15	8.63	8.26	9.36	8.75
20	14.19	13.95	14.79	14.31
23	24.68	24.5	24.47	24.55

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองการวิ่งของรถจักรยานไฟฟ้าระยะทาง 0 - 100 เมตร

ระยะทาง(m)	เวลา(s)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
10	5.17	4.8	4.95	4.97
20	8.67	8.52	8.5	8.56
30	10.64	10.36	10.45	10.48
40	12.13	12.28	12.85	12.42
50	14.64	14.76	14.32	14.57
60	16.22	16.31	15.11	15.88
70	17.92	17.14	16.78	17.37
80	19.87	19.06	18.87	19.26
90	21.71	20.76	19.63	20.7
100	23.49	22.42	20.92	22.27

ตารางที่ ก.3 ผลการทดลองแรงบิดกับความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

RPM	Torque(Nm)	Power(watt)	$\omega(rad/s)$
25.5	93.8	250.6	2.6
51.2	46.7	250.5	5.36
75.6	31.5	249.7	7.92
100.3	23.8	249.6	10.5
125.7	19.0	250.7	13.16
150.6	15.9	251.2	15.77
175.2	13.7	250.7	18.35
200.2	11.9	249.8	20.96
225.7	10.6	250.3	23.63
250.8	9.5	250.3	26.26
276.4	8.7	251.1	28.94
301.3	7.9	250.1	31.55
325.5	7.3	250.0	34.08
350.0	6.8	250.2	36.65
374.1	6.4	251.0	39.18
393.3	6.1	252.4	41.18