



## การพัฒนาและออกแบบวีลแชร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย

Development and design of wireless electric wheelchairs

นายธนารักษ์	แต่สุวรรณ	รหัสบัณฑิต 59362178
นายวณิชกรณ์	दानอดม	รหัสบัณฑิต 59364660
นายวิชนะ	ราชทะนุ	รหัสบัณฑิต 59365049

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2562



## ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงการ : การพัฒนาและออกแบบวีลแชร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย  
(Development and design of wireless electric wheelchairs )

ผู้ดำเนินโครงการ : นายธนารักษ์ แต่สุวรรณ รหัสนิต 59362178  
นายวนิชกรณม์ ต่านอุดม รหัสนิต 59364660  
นายวัชระ ราชทะนุ รหัสนิต 59365049


อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว


สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล


ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะกรรมการสอบโครงการ

  
..... ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

  
..... กรรมการ  
(ผศ.ชวงค์ ช่วยเพ็ญ)

  
..... กรรมการ  
(ดร.ปองพันธ์ โอทากานนท์)

หัวข้อโครงการ : การพัฒนาและออกแบบวีลแชร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย  
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายธนารักษ์ แต่สุวรรณ รหัสนิสิต 59362178  
 นายวณิชกรณม์ ด้านอุดม รหัสนิสิต 59364660  
 นายวัชระ ราชทะนุ รหัสนิสิต 59365049  
 อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว  
 สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
 ปีการศึกษา : 2562

### บทคัดย่อ

การพัฒนาออกแบบวีลแชร์ไฟฟ้าที่มีระบบควบคุมแบบไร้สาย เป็นการออกแบบและสร้างชิ้นส่วนของรถวีลแชร์ที่สามารถนำไปประกอบกับรถวีลแชร์ทั่วไปได้รวมถึงการทดสอบสมรรถนะของรถวีลแชร์ไฟฟ้าแบบมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ล้อ ซึ่งรถวีลแชร์ที่ใช้ในการทำรถวีลแชร์ไฟฟ้าจะใช้วีลแชร์ที่มีอยู่แล้วแล้วเพิ่มชิ้นส่วนที่ติดตั้งกับรถวีลแชร์เพื่อให้สามารถทำรถวีลแชร์ธรรมดาให้เปลี่ยนเป็นรถวีลแชร์ไฟฟ้า โดยตัวรถจะมีขนาดกว้าง 27 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร สูง 82 เซนติเมตร ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ( Brushless DC หรือ BLDC ) ขนาด 150 วัตต์ 36 โวลต์ แบตเตอรี่ลิเธียม แบบชาร์จได้ขนาด 3.7 โวลต์ 3500 แอมป์ต่อชั่วโมง จำนวน 20 ลูก มีน้ำหนักรวมของตัวรถ 20 กิโลกรัม จุดสำคัญที่เน้นในการสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้า คือ ความปลอดภัยในการใช้งานของผู้ที่ใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้า

จากการทดสอบใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่า รถวีลแชร์ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ระยะเวลาที่นานที่สุด 6 ชั่วโมงที่ความเร็วระดับที่ 1 จาก 3 ระดับที่น้ำหนักของผู้ใช้ที่ 55 กิโลกรัม การทดลองหาการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดของวีลแชร์ไฟฟ้าจากการทดลองที่มีผู้ใช้งานมีน้ำหนักแตกต่างกัน 3 คน และที่ความเร็ว 3 ระดับของวีลแชร์ พบว่าน้ำหนักของผู้ใช้งานมีผลโดยตรงต่อการใช้กระแสไฟฟ้าและการเพิ่มระดับความเร็วส่งผลให้ใช้กระแสไฟฟ้าก็จะมากขึ้นตามไปด้วย แนวโน้มของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อผู้ทดสอบมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นแต่เมื่อวีลแชร์ใช้กระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 20 แอมป์การใช้กระแสไฟฟ้าเริ่มคงที่

**Project Title** : Development and design of wireless electric wheelchairs  
**Name** : Mr. Thanaruk Taesuwan Code 59362178  
Mr. wanichakorn Danudom Code 59364660  
Mr. Waschara Radtanu Code 59365049  
**Project Advisor** : Assist.professor Dr. Ananchai Ukaew  
**Department** : Mechanical Engineering  
**Academic** : 2019

---

## Abstract

Development and design of electric wheelchairs with wireless control systems is a design and build parts of wheelchairs that can be combined with general wheelchairs, including testing the performance of electric wheelchairs with motor driven wheels. The wheelchair that is used to make the electric wheelchair will use the existing wheelchair and add parts that are installed with the wheelchair so that it can make a normal wheelchair to change into electric wheelchair. This wheelchair has 27 centimeters wide, 90 centimeters long and 82 centimeters high, using a 150W 36V Brushless DC motor or BLDC, 3.7V amt rechargeable lithium battery, 3500 mA h, which is 20 pieces. Total weight is 20 kilograms of the wheelchair. An important point that focuses on building electric wheelchairs is the safety of people who use electric wheelchairs.

From the test of using electric wheelchairs in Naresuan University, it is found that electric wheelchairs can be used for a maximum period is 6 hours at a speed of 1 of 3 levels at a user's weight of 55 kilograms. The experiment to find the maximum electric wheelchair current using the experiment with 3 different users and the 3 wheel speed. It is found that the weight of the users directly affects the use of electricity and increasing the speed, resulting in the use of electricity will increase accordingly. The trend of electric current increases when the user gain more weight, but when wheelchairs use electricity at around 20 amps, the electric current starts to be stable.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้ดำเนินงาน ต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการ ตลอดจนติดตามประเมินผลการดำเนินโครงการมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่อบรมสั่งสอน และให้ความรู้แก่ผู้ดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงการ

ขอขอบพระคุณ นายชัชชัย อินเขียน และพีๆนิสิตป.โทที่ช่วยสร้างและจัดหาอุปกรณ์สำคัญของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้าหลายชิ้น

ขอขอบพระคุณบุคลากรและเพื่อนๆทุกคนสำหรับคำปรึกษา แนะนำ และให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงการนี้

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงการนี้ แต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงการนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงการ

ธนารักษ์ แต่สุวรรณ

วณิชกรณ์ ด่านอุดม

วัชระ ราชทะนุ

14 เมษายน 2563

## สารบัญ

ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
สารบัญสัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ขอวัตถุประสงค์โครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ.....	3
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.7 งบประมาณที่ต้องใช้.....	5
1.7.1 หมวดหมู่วิสตุและอุปกรณ์ต่างๆ.....	5
บทที่2.....	6
หลักการและทฤษฎี.....	6
2.1 หลักการทำงาน.....	6
2.2 พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์.....	6

2.2.1 แรงต้านการเคลื่อนที่.....	7
2.2.2 แรงเฉื่อย .....	10
2.2.3 แรงรวมทั้งหมดจากการส่งกำลังของมอเตอร์ .....	13
2.4 ชุดควบคุม .....	13
2.4.1 องค์ประกอบชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง .....	14
2.5 มอเตอร์ขับเคลื่อน .....	15
2.5.1 แบบจำลองมอเตอร์.....	16
2.6 แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า .....	17
2.6.1 แบบจำลองของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด.....	19
บทที่ 3 .....	21
วิธีการดำเนินการ.....	21
3.1 การออกแบบรถวีลแชร์ไฟฟ้า .....	22
3.1.1 หลักการออกแบบรถวีลแชร์ไฟฟ้า.....	22
3.2 การออกแบบชิ้นส่วนของรถวีลแชร์ไฟฟ้า .....	23
3.2.1 การออกแบบที่ยึดจับมอเตอร์ .....	23
3.2.2 ออกแบบตัวยึด .....	23
3.2.3 กล่องใส่แบตเตอรี่และบอร์ดควบคุม .....	24
3.2.4 ตัวยึดกล่องแบตเตอรี่ติดกับวีลแชร์.....	24
3.2.5 การนำชิ้นส่วนที่ออกแบบประกอบเข้ากับวีลแชร์.....	25
3.3 การคำนวณหาแรงต้านการเคลื่อนที่ .....	25
3.3.1 แรงต้านการหมุนของล้อ.....	26
3.3.2 แรงต้านจากทางชัน .....	26
3.3.3 การคำนวณหา กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ .....	26
3.4 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ .....	27
3.5 การทดสอบวีลแชร์ไฟฟ้า.....	34

วัตถุประสงค์การทดสอบ.....	34
ขอบเขตการทดสอบ.....	34
อุปกรณ์ในการทดสอบ .....	34
วิธีการทดสอบ.....	35
บทที่ 4 .....	36
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	36
4.1 ผลการทดลอง.....	36
4.1.1 การทดลองหากระแสไฟฟ้าสูงสุดและความเร็วสูงสุดต่อน้ำหนักผู้ใช้งาน .....	36
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	38
4.2.1 วิเคราะห์การหากระแสไฟฟ้าสูงสุดและความเร็วสูงสุดต่อน้ำหนักผู้ใช้งาน .....	38
บทที่ 5 .....	40
สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลโครงการ .....	40
5.1.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ .....	41
บรรณานุกรม.....	42
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก. รูปข้อมูลการใช้ออกแบบและการสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้า .....	44
ภาคผนวก ข. รูปการออกแบบและสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้า.....	48
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	52



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน .....	4
ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบของสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อตามประเภทของรถยนต์และ ถนน .....	8
ตารางที่ 2.2 สมการการทำโมเมนต์ความเฉื่อยของรูปทรงต่างๆ .....	12
ตารางที่ 2.3 แสดงตัวแปรของการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ .....	17
ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะจำเพาะของแบตเตอรี่รูปแบบต่างๆ .....	19
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 1 .....	36
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 2 .....	37
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 3 .....	37
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 1 .....	37
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 2 .....	37
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 3 .....	37
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 1 .....	37
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 2 .....	37
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 3 .....	38

## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	การทำงานของวงจรเบื้องต้น.....	6
รูปที่ 2.2	แรงขับเคลื่อนที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนในขณะที่ยานยนต์มีการเคลื่อนที่ กับแรงต้านทั้งหมด.....	7
รูปที่ 2.3	แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรูปทรงต่างๆ.....	9
รูปที่ 2.4	แรงต้านทางชั้น .....	10
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างการเชื่อมต่อมอเตอร์ไปยังล้อขับเคลื่อน .....	11
รูปที่ 2.6	การทำงานร่วมกันระหว่างชิ้นส่วนหลักของยานยนต์ไฟฟ้าผ่านชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง .....	14
รูปที่ 2.7	ระบบขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้า .....	14
รูปที่ 2.8	การเปลี่ยนแปลงของแรงบิดและกำลังขับที่เหมาะสมสำหรับการขับเคลื่อนยานยนต์ .....	16
รูปที่ 2.9	ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ .....	18
รูปที่ 2.10	สมรรถนะแบตเตอรี่ในมิติต่างๆ .....	19
รูปที่ 3.1	รถวีลแชร์ทั่วไปที่จะนำไปพัฒนาและออกแบบเป็นวีลแชร์ไฟฟ้า .....	22
รูปที่ 3.2	การออกแบบที่ยึดจับมอเตอร์ .....	23
รูปที่ 3.3	ตัวยึดส่วนที่ 1 .....	23
รูปที่ 3.4	ตัวยึดส่วนที่ 2 .....	23
รูปที่ 3.5	กล่องใส่แบตเตอรี่และบอร์ดควบคุม .....	24
รูปที่ 3.6	ฝาปิดกล่องแบตเตอรี่ .....	24
รูปที่ 3.7	ตัวยึดกล่องแบตเตอรี่ติดกับวีลแชร์ .....	24
รูปที่ 3.8	การนำชิ้นส่วนที่ออกแบบนำไปประกอบเข้ากับวีลแชร์ .....	25

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.9 รถวีลแชร์ .....	27
รูปที่ 3.10 บอร์ด 36v-35a-10s-bms-protection .....	27
รูปที่ 3.11 ถ่าน Awt-35a-3500mah .....	27
รูปที่ 3.12 บอร์ดควบคุมมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน .....	28
รูปที่ 3.13 Electric Skateboard Hub Brushless Motor 150 W .....	28
รูปที่ 3.14 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ 36 V ปลั๊กสี่เหลี่ยม (ปลั๊ก AC) .....	29
รูปที่ 3.15 buytra-10-dc-connector .....	29
รูปที่ 3.16 ถ่านชาร์จ Li-ion 3.7 V ความจุ 2000 mAh ขนาด 103450 .....	29
รูปที่ 3.17 โมดูลแหล่งจ่ายไฟ arduino-esp8266-nodemcu .....	30
รูปที่ 3.18 Module Wireless NRF24L01 2.4 GHz .....	30
รูปที่ 3.19 Arduino pro mini 328 - 5v/16mhz .....	30
รูปที่ 3.20 ตัวแปลงสัญญาณ USB TTL .....	31
รูปที่ 3.21 PS2 XY Joystick Module .....	31
รูปที่ 3.22 โมดูลวัตโวลต์ ระดับแบตเตอรี่ 12-60 V .....	31
รูปที่ 3.23 สวิตช์เปิด/ปิด รีโมทเกอร์สวิตช์ 3.3-12V 20A .....	32
รูปที่ 3.24 Tamaloha 36 V-72 V 700W .....	32
รูปที่ 3.25 แผ่นกระดาษขนวนกันความร้อน 1 S 18650 .....	32
รูปที่ 3.26 แผ่นนิกเกิลเชื่อมแบตเตอรี่ .....	33
รูปที่ 3.27 JoyStick Shield expansion board for arduino .....	33

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.28 Nokia 5110 LCD Module .....	33
รูปที่ 3.29 Arduino Uno R3 แบบ SMD .....	34
รูปที่ 3.30 พื้นถนนคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ.....	35
รูปที่ 3.31 ภาพประกอบในการทดสอบในการหาความเร็วและวัดกระแสของวีลแชร์ไฟฟ้า .....	35
รูปที่ 4.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ .....	36
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผู้ใช้งานกับการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความเร็วที่ 1 .....	38
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผู้ใช้งานกับการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความเร็วที่ 2 .....	38
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผู้ใช้งานกับการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความเร็วที่ 3 .....	39

## สารบัญสัญลักษณ์

ลำดับสัญลักษณ์ (การหาความเร่งและระยะทางในการเบรก)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$F$	แรงเสียดทานการเบรก	N
$m_R$	มวลที่กดลงบนล้อที่ทำการเบรก	kg
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$m/s^2$
$m_{total}$	มวลทั้งหมดของรถ	kg
$a$	ความเร่งของรถเมื่อทำการเบรก	$m/s^2$
$s$	ระยะทางในการเบรก	m
$u$	ความเร็วเมื่อรถเริ่มทำการเบรก	$m/s$
$v$	ความเร็วเมื่อรถหยุดนิ่ง	$m/s$
$\mu$	สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน	

## ลำดับสัญลักษณ์ (การเข้าโค้งบนโค้งราบ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$F_c$	แรงที่ทำให้ทรงตัวได้	N
$f_s$	แรงเสียดทาน	N
$m$	น้ำหนักของรถ	kg
$v$	อัตราเร็วของรถที่ทำให้รถเริ่มไถล	m/s
$r$	รัศมีความโค้งของการเลี้ยว	m
$g$	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s <sup>2</sup>
$\mu$	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างล้ออย่างกับถนน	



## ลำดับสัญลักษณ์ (การจำลองความเร่งยานยนต์)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
T	แรงบิดมอเตอร์	$N \cdot m$
V	ความเร็ว	$m / s$
$\rho$	ความหนาแน่นอากาศ	$kg / m^3$
m	มวลทั้งหมด (มวลคน+มวลรถ)	kg
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$m / s^2$
r	รัศมีของล้อ	m
$R_a$	ความต้านทานของอาร์มาเจอร์	$\Omega$
$\omega$	ความเร็วเชิงมุม	$rad / s$
A	พื้นที่หน้าตัดของรถ	$m^2$
$E_s$	แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์	V
$\mathcal{O}$	ค่าฟลักซ์ไฟฟ้า	$N \cdot m^2 / C$
$E_s$	แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์	V
G	อัตราทดเกียร์	
$C_d$	สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ	
$K_m$	ค่าคงที่ของมอเตอร์	
$\eta_{gear}$	ประสิทธิภาพเกียร์	
$\mu$	สัมประสิทธิ์แรงต้านที่ล้อ	

## ลำดับสัญลักษณ์ (แรงต้านการเคลื่อนที่)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$F_{te}$	แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมด	N
$F_r$	แรงต้านการหมุนของล้อ	N
$m$	มวลของรถ	Kg
$g$	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก	$m/s^2$
$\theta$	มุมความลาดเอียงของทางชัน	$^{\circ}$
$F_d$	แรงต้านจากอากาศ	N
$\rho$	ความหนาแน่นของอากาศ	$kg/m^3$
$A$	พื้นที่หน้าตัดรถ	$m^2$
$V$	ความเร็วของรถ	$m/s$
$F_{ct}$	แรงต้านทางชัน	N
$F_{a,l}$	แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น	N
$a$	ความเร่งของรถ	$m/s^2$
$F_{\omega a}$	แรงของล้อที่ต้องการให้เกิดความเร่งเชิงมุม	N
$I$	โมเมนต์ความเฉื่อย	$m^4$
$P$	กำลังของมอเตอร์	W
$f_r$	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	
$C_d$	สัมประสิทธิ์ความต้านทาน	
$G$	อัตราทดเกียร์	
$\eta_g$	ประสิทธิภาพของระบบเกียร์	



## ลำดับสัญลักษณ์ (มอเตอร์ขับเคลื่อน)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$T$	แรงบิดมอเตอร์	$N \cdot m$
$F_{te}$	แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมด	$N$
$r$	รัศมีวงล้อ	$m$
$\omega$	ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์	$rad / s$
$\dot{\omega}$	ความเร่งเชิงมุมของมอเตอร์	$rad / s^2$
$V$	ความเร็วของรถ	$m / s$
$a$	ความเร่งของรถ	$m / s^2$
$G$	อัตราทดเกียร์	
$\eta_m$	ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	
$k_c$	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียทองแดง	
$k_i$	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียธาตุเหล็ก	
$k_w$	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากแรงเสียดทาน	



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

วีลแชร์หรือรถเข็นนั่ง เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้ผู้พิการหรือผู้ป่วยที่มีปัญหาในการเคลื่อนไหวร่างกายให้สามารถพึ่งพาตัวเองได้มากขึ้น อีกทั้งยังอำนวยความสะดวกและลดข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวและการทำสิ่งต่างๆ การเลือกวีลแชร์ที่ตอบสนองความต้องการได้อย่างเหมาะสมจึงไม่เพียงแต่จะช่วยให้ผู้ป่วยในการเดินทางที่สะดวกมากขึ้น แต่ยังส่งเสริมคุณภาพชีวิตโดยเปิดโอกาสสู่โลกการศึกษา การทำงาน และการเข้าสังคมให้กับผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น

ปัจจุบันผู้พิการและผู้ป่วยที่ไม่อาจเดินได้ตามปกติมักได้รับคำแนะนำจากแพทย์ให้ใช้วีลแชร์เพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการและความจำเป็นของผู้ป่วยด้วยว่าต้องเคลื่อนที่มากน้อยเพียงใด เช่น ผู้ป่วยที่กระดูกหักอาจต้องใช้วีลแชร์เพียงในช่วงเวลาสั้น ๆ จนกว่ากระดูกจะประสานตัวดั้งเดิม แต่หากเป็นอัมพาตครึ่งล่างหรือขาพิการอาจต้องใช้วีลแชร์ไปตลอดชีวิต เป็นต้น

วีลแชร์นั้นมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้ แต่แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

วีลแชร์แบบขับเคลื่อนด้วยแรงคน เคลื่อนที่ได้ด้วยตัวผู้ใช้งานโดยใช้มือและแขนขึ้นไป เหมาะกับผู้ที่มึนกล้ามเนื้อลำตัวส่วนบนแข็งแรงมากพอ

วีลแชร์แบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องกล ทำงานโดยเครื่องยนต์และต้องใช้แบตเตอรี่ เหมาะสำหรับผู้ที่มีกล้ามเนื้อลำตัวส่วนบนไม่ค่อยแข็งแรง และมีราคาแพงกว่าวีลแชร์ชนิดออกแรง

ทั้งนี้ เพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ควรเลือกวีลแชร์ที่พอดีกับขนาดตัวของผู้ใช้และมีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมครบถ้วน ซึ่งแพทย์จะประเมินจากสุขภาพและความแข็งแรงของผู้ป่วย อายุการเคลื่อนไหว รูปแบบการใช้ชีวิต รวมถึงสภาพแวดล้อมที่อยู่อาศัย เมื่อนั่งลงแล้วต้องอยู่ในตำแหน่งท่าทางที่พอดี ทั้งความสูงของที่นั่ง ที่พนักขา ที่พนักหลัง และตำแหน่งแขน นอกจากนี้ผู้ใช้งานควรคำนึงถึงความปลอดภัยและความทนทานในการใช้งานความสามารถในการขึ้น-ลง ประกันภัย ความสะดวกในการซ่อมเมื่อชำรุดและความพึงพอใจส่วนตัวด้วย

จากการสังเกตปัญหาและความสำคัญของผู้ป่วยที่ต้องการใช้รถวีลแชร์เพื่อทำให้การใช้ชีวิตดีขึ้นในด้านต่างๆ ผู้ดำเนินโครงการจึงนำเทคโนโลยีด้านไฟฟ้าและการควบคุมโดยการบังคับระยะไกลมาใช้กับวีลแชร์ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องกล โดยการออกแบบและติดตั้งให้เข้ากับรถวีลแชร์ในแบบต่างๆ โดยที่มีราคาไม่สูงมากเพื่อที่ผู้ป่วยที่ด้อยโอกาสสามารถนำไปใช้ได้ โดยทางผู้ดำเนินโครงการจะมีการทดลองและเก็บค่าข้อมูลต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวีลแชร์ไฟฟ้า

## 1.2 วัตถุประสงค์ขอวัตถุประสงค์โครงการ

1.2.1. เพื่อช่วยเหลือผู้ป่วยที่ต้องใช้รถวีลแชร์ในการเคลื่อนที่ให้สามารถเดินทางโดยตนเองได้ โดยลดการพึ่งพาผู้อื่น

1.2.2. เพื่อปรับปรุงการใช้งานรถไฟฟ้าให้ดีขึ้น

1.2.3. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมแบบไร้สาย

## 1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

1.3.1. วีลแชร์มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแกน Y

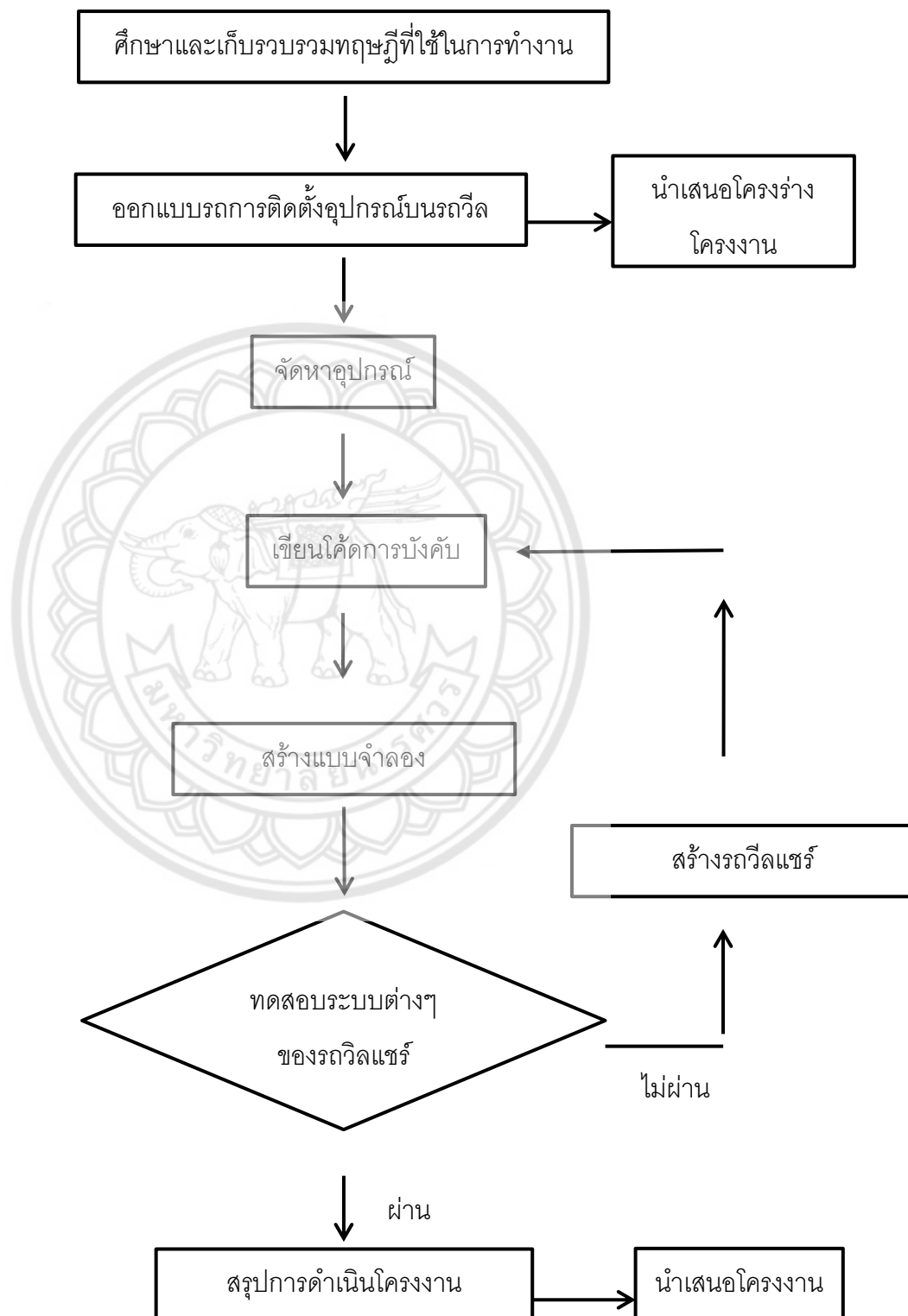
1.3.2. ความเร็วของรถวีลแชร์ไม่เกิน 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.3.3. บอร์ดที่ใช้ในการควบคุมใช้บอร์ดควบคุม Arduino UNO R3, Arduino Nano 3.0, Motor Drive Module L298N

1.3.4. ทำการทดสอบบริเวณภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรโดยเน้นที่ใช้ทำการทดลองเป็นเนินผู้ป่วยที่ไม่เกิน 15 องศา

1.3.5. มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง Wheel Hub Motor 150 วัตต์ ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ



## 1.5 แผนการดำเนินงาน

### ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการปฏิบัติการ	2562					2563			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาหลักการและ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง									
2.ออกแบบชิ้นส่วนและ เขียนโปรแกรม									
3.จัดหาและสั่งซื้อวัสดุ อุปกรณ์									
4.สร้างรถรถวีลแชร์ ไฟฟ้า									
5.ทดสอบและบันทึกผล การทดสอบ									
6.วิเคราะห์และสรุปผล การทดสอบ									
7.จัดทำรูปเล่มปริญา นิพนธ์									

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1. สามารถนำไปใช้งานได้จริงและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ป่วยที่ต้องใช้รถวีลแชร์ในชีวิตประจำวัน

1.6.2. ได้พัฒนาการควบคุมแบบไร้สาย

## 1.7 งบประมาณที่ต้องใช้

### 1.7.1 หมวดหมวดวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ

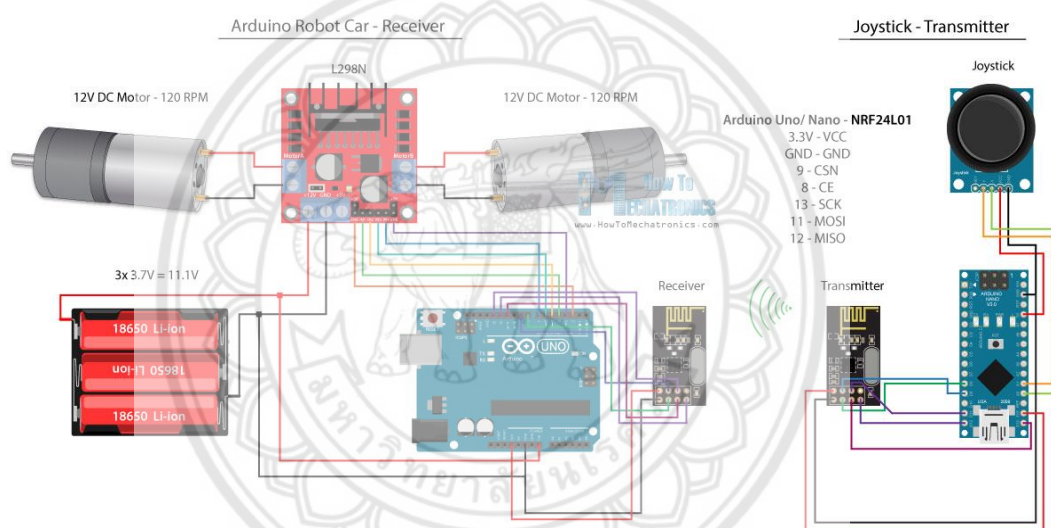
NRF24L01 Module สื่อสารไร้สาย 2.4G	200	บาท
Arduino Nano 3.0 Mini	500	บาท
Motor Drive Module L298N	360	บาท
LM2596S Module (3A) LM2596	80	บาท
Arduino UNO R3	500	บาท
สายไฟจัมเปอร์ 20cm ผู้-เมีย สีขาว	50	บาท
สายไฟจัมเปอร์ 20cm ผู้-เมีย สีน้ำเงิน	50	บาท
สายไฟจัมเปอร์ 20cm ผู้-เมีย สีเขียว	50	บาท
สายไฟจัมเปอร์ 20cm ผู้-เมีย สีเหลือง	50	บาท
สายไฟจัมเปอร์ 20cm ผู้-เมีย สีดำ	50	บาท
DIY สเก็ทบอร์ดไฟฟ้าลื้อ W/brushless	5400	บาท
PS2 XY Joystick Module	80	บาท
Arduino UNO R3 acrylic case box	100	บาท
Arduino Common Parts Package	70	บาท
แบตเตอรี่และเครื่องชาร์จ	2000	บาท
รถเข็นผู้ป่วย วีลแชร์	7000	บาท
รวมทั้งหมด	16540	บาท

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 หลักการทำงาน

หลักการทำงานของวีลแชร์ไฟฟ้าโดยจะอาศัยหลักการบังคับแบบไร้สายโดยจะส่งการผ่านรีโมตคอนโทรลไร้สาย โดยที่รีโมตคอนโทรลจะส่งการคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งสัญญาณให้มอเตอร์ทำงาน โดยหลักการทำงานจะเป็นไปตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทำงานของวงจรเบื้องต้น

(ที่มา : <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino>)

#### 2.2 พื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์

การจะให้รถยนต์มีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์แหล่งกำเนิดส่งมายังล้อรถ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นเมื่อล้อรถสัมผัสกับพื้นผิวถนนทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ และเมื่อนำแรงขับเคลื่อนทั้งหมดมาพิจารณา จะได้เป็นกำลังขับเคลื่อนซึ่งเป็นพื้นฐานการขับเคลื่อนยานยนต์ได้ดังนี้

### 2.2.1 แรงต้านการเคลื่อนที่

รถยนต์จะเคลื่อนที่ได้ต้องอาศัยต้นกำลังจากแหล่งกำเนิดจากเครื่องยนต์ โดยระบบจะส่งผ่านกำลังมายังล้อเพื่อที่จะขับเคลื่อนไปข้างหน้า โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างล้อเมื่อสัมผัสกับพื้นผิวถนน จึงทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ แต่ในขณะเดียวกันที่รถขับเคลื่อนไปข้างหน้าจะเกิดแรงต้านระหว่างการเคลื่อนที่ ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางสวนกันกับการเคลื่อนที่ อาศัยกฎข้อที่หนึ่งของนิวตันจะได้ว่า

$$\text{แรงขับเคลื่อน} = \text{แรงต้านทั้งหมด} \quad (2.1)$$

กล่าวคือ วัตถุจะรักษาสภาวะอยู่นิ่งหรือสภาวะการเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง นอกจากมี แรงลัพธ์ซึ่งมีค่าไม่เป็นศูนย์มากระทำ คือ ถ้าวัตถุอยู่นิ่งก็ยังคงอยู่นิ่งเหมือนเดิมหรือถ้าวัตถุเกิดการเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ความเร็วคงที่ หรือความเร่งจะเป็นศูนย์ ซึ่งจะเรียกว่า วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลสถิต (static equilibrium) และอีกกรณีหลังจะเรียกว่า วัตถุอยู่ในสภาวะสมดุลจลน์ (kinetic equilibrium)

กรณีที่ 1 ถ้าแรงขับเคลื่อนมากกว่าแรงต้าน จะทำให้อัตราเร็วเพิ่มขึ้น และในขณะนี้อัตราเร็วเพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้แรงต้านเพิ่มขึ้นไปด้วย และเมื่อแรงต้านทั้งหมดเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับแรงขับเคลื่อนจะส่งผลให้รถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่คงที่

กรณีที่ 2 ถ้าแรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแรงต้านทั้งหมด จะทำให้อัตราเร่งและความเร็วที่ลดลง และเมื่ออัตราเร็วลดลงจะทำให้แรงต้านทั้งหมดลดลงตามไปด้วย



(ก) รถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง



(ข) รถยนต์ขับเคลื่อนล้อหน้า



(ค) รถยนต์ขับเคลื่อนสี่ล้อ

รูปที่ 2.2 แรงขับเคลื่อนที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนในขณะที่ยานยนต์มีการเคลื่อนที่กับแรงต้านทั้งหมด



กำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะมีบางส่วนสูญเสียไปในระบบถ่ายทอดกำลัง เรียกว่าการสูญเสียในการถ่ายทอด (transmission loss) กำลังส่วนที่เหลือที่ล้อขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านต่างๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านเหล่านั้นได้แก่

1. แรงต้านการหมุนของล้อ (rolling resistance)
2. แรงต้านอากาศ (air resistance)
3. แรงต้านทางชัน (gradient resistance)

นอกจากนี้ในขณะที่เครื่องยนต์กำลังบางส่วนต้องสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเฉื่อยของรถยนต์ เรียกว่าแรงต้านความเฉื่อย (inertia resistance) แต่ในกรณีนี้จะไม่กล่าวถึงเนื่องจากความเร่งของรถสามล้อไฟฟ้าเพื่อการนำเที่ยวมีค่าน้อย ไม่ต้องการอัตราเร่งมาก

### 1. แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)

แรงต้านการหมุนของล้อรถนี้จัดว่าเป็นแรงต้านทานที่กระทำบนถนนอย่างหนึ่ง ซึ่งแรงต้านนี้เกิดขึ้นจากปัจจัยหลายอย่าง ตัวอย่างเช่น สภาพของผิวถนน แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในแบร์ริง ลักษณะโครงสร้างของขนาดของยาง (ยางกลวงหรือยางตัน) ลักษณะของดอกยางและสภาพของดอกยาง ความดันของลมในยาง ความเร็วของตัวรถ ความฝืดลูกปืนล้อ น้ำหนักของรถ โดยแรงต้านการหมุนของล้อนี้หาได้จาก

$$R_r = K_r W \quad (2.2)$$

เมื่อ  $R_r$  = แรงต้านการหมุนของล้อ หน่วยเป็น N

$K_r$  = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

$W$  = น้ำหนักของรถยนต์ หน่วยเป็น N

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบของสัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อตามประเภทของรถยนต์และถนน

ประเภทของรถยนต์	$K_r$		
	ถนนคอนกรีต	ถนนดินอัดแน่นปานกลาง	ถนนทราย
รถเก๋ง	0.015	0.08	0.30
ระบรทุก	0.012	0.06	0.25
รถแทรกเตอร์	0.020	0.04	0.20

## 2. แรงต้านอากาศ (Air Resistance)

เมื่อรถทุกประเภทสัมผัสกับพื้นถนนในขณะที่ล้อมีการหมุนข้างหน้า จะเกิดแรงต้านทานการหมุนขึ้น หรือแรงเสียดทาน และอีกอย่างที่เกิดขึ้นคือแรงต้านอากาศ เนื่องจากรถต้องวิ่งผ่านอากาศทำให้ความเร็วของรถยนต์และความเร็วของลมมีทิศทางไม่อยู่ในเส้นตรงเดียวกัน

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

เมื่อ  $R_a$  = แรงฉุดหรือแรงต้านอากาศ หน่วยเป็น N

$\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ หน่วยเป็น  $\text{kg}/\text{m}^3$

$V$  = ความเร็วของอากาศ หน่วยเป็น  $\text{m}/\text{s}$

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ หน่วยเป็น  $\text{m}^2$

$C_d$  = สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ (Coefficient of Drag)



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรูปทรงต่างๆ

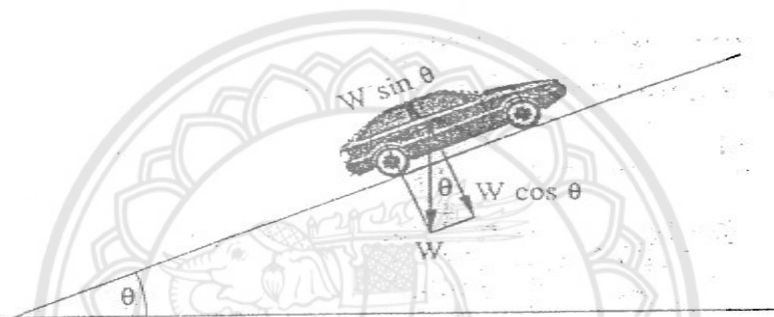
จะเห็นได้ว่าแรงต้านอากาศแปรผันกับความเร็ว ซึ่งหมายความว่า ความเร็วของตัวรถมีผลต่อแรงต้านอากาศโดยตรง และแรงต้านอากาศยังมีผลเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของตัวรถอีกด้วย และที่สำคัญอีกหนึ่งค่าคือสัมประสิทธิ์ความต้านทานหรือ  $C_d$

### 3. แรงต้านทางชัน (gradient resistance)

ในขณะที่รถทุกประเภทวิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์บางส่วนจะถูกนำไปเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทางชัน (gradient resistance) ทำให้เครื่องยนต์ทำงานหนักมากกว่าการวิ่งบนถนนในแนวระดับ แต่ในทางกลับกันถ้ารถยนต์วิ่งลงทางลาด เครื่องยนต์จะทำงานเบาลงเนื่องจากมีแรงโน้มถ่วงมาช่วยลดภาระเครื่องยนต์ในการวิ่งลงทางลาด

แรงต้านทางชันจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

- 1) น้ำหนักของรถยนต์
- 2) ความชันของถนน



รูปที่ 2.4 แรงต้านทางชัน

ที่มา (หนังสือวิศวกรรมยานยนต์ ,ธีระยุทธ สุวรรณประณีป)

จากรูปสามารถแตกน้ำหนักของรถออกได้เป็น  $W \sin \theta$  และ  $W \cos \theta$  เนื่องจากแรงต้านทางชันเกิดจาก  $W \sin \theta$  ดังนั้นรถยนต์จึงต้องเพิ่มแรงในการขับเคลื่อนเพื่อที่จะเอาชนะแรง  $W \sin \theta$  แรงต้านทางชันคือ

$$F_g = mg \sin \theta \quad (2.4)$$

โดยที่  $F_g$  คือ แรงต้านทางชัน (N)

$\theta$  คือ มุมความลาดเอียงของพื้นถนน

เมื่อรวมแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน จะได้แรงต้านทั้งหมดของรถยนต์ในขณะที่กำลังวิ่งขึ้นทางชัน

#### 2.2.2 แรงเฉื่อย

นอกจากจะมีแรงต้านอากาศ แรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านทางชัน ยังมีแรงอีกส่วนหนึ่งที่มีผลมากต่อการขับเคลื่อนที่ต้องการจากต้นกำลัง ได้แก่ แรงเฉื่อย (Inertia force) คือ ความพยายามของวัตถุในการรักษาสภาพของการหยุดนิ่งเอาไว้ หรือการต่อต้านความเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนไหว

แรงเฉื่อยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น และแรงเพื่อความเร่งเชิงมุม

### 1. แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น (Acceleration force)

โดยปกติยานยนต์เคลื่อนที่ที่ความเร็วค่าหนึ่งๆ เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วของยานยนต์ เราจำเป็นต้องมีการเพิ่มแรงให้กับยานยนต์ โดยแรงที่เพิ่มให้กับยานยนต์นี้คือแรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่สองของนิวตัน (Newton's second law) สามารถแสดงได้ดังสมการ

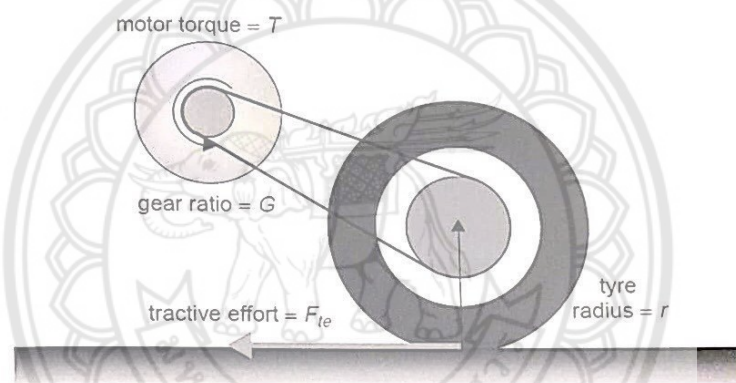
$$F_{a,l} = ma \quad (2.5)$$

โดยที่  $F_{a,l}$  คือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น (N)

$m$  คือ มวลของรถและน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด (kg)

$a$  คือ ความเร่งของรถ ( $m/s^2$ )

### 2. แรงเพื่อความเร่งเชิงมุม



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการเชื่อมต่อมอเตอร์ไปยังล้อขับเคลื่อน

จากรูปที่ 2.4 เห็นได้ชัดเจนว่าแรงบิดของล้อเท่ากับ  $T = \frac{F_{te}r}{G}$  เมื่อ  $r$  คือรัศมีของยางและ  $F_{te}$  คือ

แรงที่พยายามดึงจากการส่งกำลังของมอเตอร์ ถ้า  $G$  คืออัตราทดเกียร์ของระบบมอเตอร์เชื่อมไปยังล้อ และ  $T$  คือแรงบิดของมอเตอร์แล้วจะได้สมการคือ

$$F_{te} = \frac{G}{r} T \quad (2.6)$$

ทำการแก้สมการอีกครั้งดังนี้

ความเร็วเชิงมุมเพลลา  $\omega = \frac{V}{r} \text{ rad/s}$

ดังนั้น

$$\omega = G \frac{V}{r} \text{ rad/s} \quad (2.7)$$



ในทำนองเดียวกัน

$$\omega = G \frac{a}{r} \quad \text{rad/s}^2$$

แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการเร่งความเร็วเชิงมุมนี้คือ

$$T = IG \frac{a}{r} \quad (2.8)$$

ตารางที่ 2.2 สมการการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของรูปทรงต่างๆ

Cross-section shape	Moment of inertia of area
	$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$
	$I = \frac{\pi(d^4 - d_i^4)}{64}$ <p>Thin wall <math>I \approx \frac{\pi}{8} t \cdot d_m^3</math></p>

วงกลมตัน  $I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (2.9)$

วงกลมกลวง  $I = \frac{\pi(d^4 - d_i^4)}{64} \quad (2.10)$

เมื่อ  $I$  เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยโรเตอร์ของมอเตอร์ แรงของล้อที่ต้องการให้ความเร่งเชิงมุม ( $F_{\omega a}$ ) ที่พบโดยการรวมสมการ จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.8) จะได้

$$F_{\omega a} = \frac{G}{r} IG \frac{a}{r} \quad (2.11)$$

$$F_{\omega a} = I \frac{G^2}{r^2} a \quad (2.12)$$

ในสมการที่ (2.12) ผ่านมาเราได้สันนิษฐานว่าระบบเกียร์มีประสิทธิภาพ 100 % แต่ในความเป็นจริงระบบจะมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นด้วย ทำให้ระบบเกียร์มีประสิทธิภาพต่ำกว่า 100 % ดังนั้นจากสมการที่ (2.12) จะได้ว่า

$$F_{\omega a} = l \frac{G^2}{\eta_g r^2} a \quad (2.13)$$

โดยที่  $F_{\omega a}$  คือ แรงของล้อยที่ต้องการให้เกิดความเร่งเชิงมุม (N)  
 $\eta_g$  คือ ประสิทธิภาพของระบบเกียร์

### 2.2.3 แรงรวมทั้งหมดจากการส่งกำลังของมอเตอร์

$$F_{te} = F_r + F_d + F_{cl} + F_{a,l} + F_{\omega a} \quad (2.14)$$

โดยที่  $F_r$  คือ แรงต้านการกลิ้ง (N)  
 $F_d$  คือ แรงต้านทานจากอากาศ (N)  
 $F_{cl}$  คือ แรงต้านทางลาดชัน (N)  
 $F_{a,l}$  คือ แรงเฉื่อยจากความเร่งเชิงเส้น (N)  
 $F_{\omega a}$  คือ แรงของล้อยที่ต้องการให้เกิดความเร่ง (N)

จากที่กล่าวมา แรงที่นำมาใช้ในการออกแบบรถสามล้อไฟฟ้านั้นมีเพียงแรงต้านการกลิ้ง และแรงต้านทานจากอากาศเท่านั้น เนื่องจากรถวิ่งด้วยความเร็วค่อนข้างคงที่และแรงอื่น ๆ มีค่าน้อยมาก จึงไม่นำมาพิจารณาในการออกแบบ

### 2.2.3 กำลังของมอเตอร์ (P)

คือการรวมแรงที่กระทำกับจักรยานทั้งหมดเพื่อนที่จะหาค่ากำลังของมอเตอร์ ซึ่งเราสามารถเขียนสมการในรูปของกำลังจะได้ดังนี้

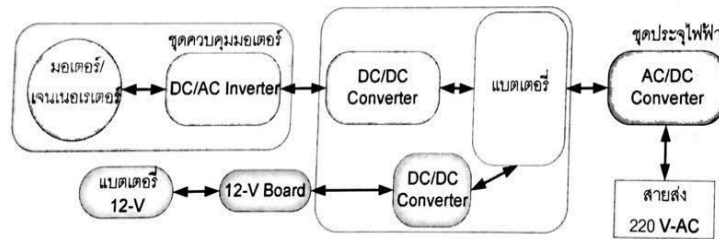
$$P = F_{te} \cdot V \quad (W) \quad (2.15)$$

$$V = \text{ความเร็ว (m/s)}$$

$$F_{te} = \text{แรงรวมทั้งหมดในระบบ (N)}$$

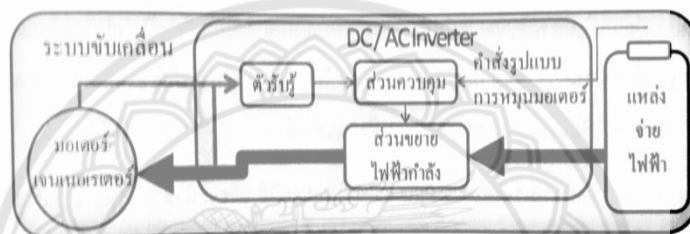
## 2.4 ชุดควบคุม

ในส่วนของยานยนต์ไฟฟ้านั้น ส่วนหนึ่งของการทำงานหลักคือการรับพลังงานไฟฟ้าในระดับแรงดันที่หลากหลายแตกต่างกัน และแปรให้เป็นระดับแรงดันที่ต้องการ รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าจากชิ้นส่วนหลักของยานยนต์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ หรือชุดประจุไฟฟ้า(charger) ต่างส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าในระดับแรงดันที่ต่างกัน และอุปกรณ์ที่นั่นคือชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.6 การทำงานร่วมกันระหว่างชิ้นส่วนหลักของยานยนต์ไฟฟ้าผ่านชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง (ที่มา ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ , กิตติพันธ์ เตชะกิตติโรจน์)

### 2.4.1 องค์ประกอบชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.7 ระบบขับเคลื่อนของยานยนต์ไฟฟ้า

#### 1. ตัวรับรู้

ตัวรับรู้ (sensor) ทำหน้าที่หลักในการดูสถานะของมอเตอร์ในกรณีชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า หรือดูสถานะของแบตเตอรี่ในกรณีชุดควบคุมไฟฟ้าสำหรับประจุแบตเตอรี่ เมื่อรับรู้สถานะปัจจุบันแล้ว ตัวรับรู้ก็จะส่งข้อมูลสถานะให้ชุดควบคุมตัดสินใจสั่งงาน

ตัวรับรู้ทางกลเป็นอุปกรณ์ที่พบมากในการควบคุมมอเตอร์ ในการควบคุมมอเตอร์ให้ได้การตอบสนองตามที่ต้องการ ชุดควบคุมไฟฟ้ามีความจำเป็นที่จะต้องรู้สถานะทางกลของมอเตอร์ เพื่อที่จะสามารถปรับแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการทำงาน ณ ตอนนั้นค่าทางกลที่สำคัญได้แก่ ความเร็วรอบของมอเตอร์ หรือตำแหน่งของแกนมอเตอร์

การวัดตำแหน่งของแกนมอเตอร์ทำได้หลายวิธี เช่น การวัดด้วยสัญลักษณ์บนแกน วิธีนี้จะทำสัญลักษณ์บนแกนของมอเตอร์ จากนั้นจะมีตัวรับรู้เพื่อตรวจจับสัญลักษณ์นั้นๆ เมื่อมอเตอร์หมุน จุดที่สัญลักษณ์นั้นผ่านตัวรับรู้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขึ้น ทำให้ทราบได้ถึงตำแหน่งของแกนมอเตอร์

#### 2. ส่วนขยายไฟฟ้ากำลัง

ส่วนขยายไฟฟ้ากำลังเป็นเสมือนร่างกายของชุดควบคุมไฟฟ้า โดยเป็นส่วนที่ใช้ในการปรับกระแสไฟฟ้า เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบที่ต้องการ

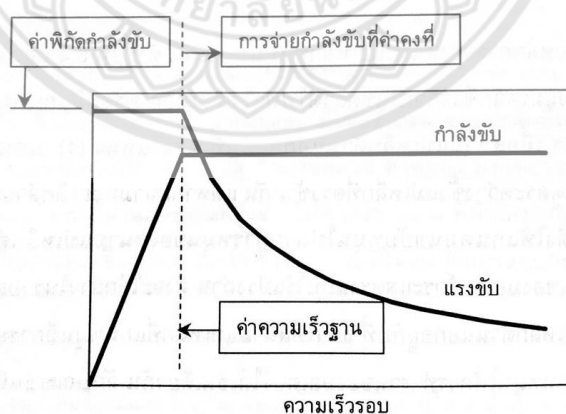
ถ้าเป็นวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ความเร็วรอบของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน ส่วนขยายไฟฟ้ากำลัง จะทำการจ่ายไฟฟ้ากำลังให้มีระดับแรงดันที่แตกต่างกัน ตามแต่ได้รับคำสั่งจาก ส่วนควบคุม ในกรณีที่ต้องการให้มอเตอร์หมุนกลับทาง ส่วนขยายไฟฟ้ากำลังจะทำการจ่ายไฟฟ้ากำลังกลับซ้ำ

### 3. ส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมเป็นเหมือนสมองของชุดควบคุมไฟฟ้า ส่วนควบคุมเป็นส่วนที่นำความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น ความเร็ว อัตราเร่ง มาประมวลผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้ แล้วตัดสินใจสั่งงานส่วนขยายไฟฟ้ากำลังให้สร้างรูปแบบของไฟฟ้ากำลังที่เหมาะสมออกมาเพื่อส่งไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์หรือชุดแบตเตอรี่

#### 2.5 มอเตอร์ขับเคลื่อน

สำหรับการใช้งานในยานยนต์นั้น เพื่อสมรรถนะการขับเคลื่อน มอเตอร์ต้องสามารถจ่ายทั้งแรงบิดและกำลังขับได้อย่างเหมาะสม เพื่ออัตราเร่งในการออกตัว มอเตอร์ต้องให้แรงบิดเพียงพอ ในขณะที่การขับเคลื่อนที่ความเร็วสูงนั้น มอเตอร์ต้องให้กำลังขับที่เพียงพอ ลักษณะการแปรผันระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่เหมาะสมต่อการขับเคลื่อน โดยเมื่อทำการออกตัว (ที่ความเร็วเป็นศูนย์) นั้นแรงบิดมอเตอร์จะมีค่าสูงสุดและจะมีค่าประมาณคงที่ไปถึงความเร็วรอบหนึ่งๆ เรียกว่าความเร็วฐาน (base speed) ของมอเตอร์ ซึ่งเป็นค่าความเร็วอ้างอิงสำหรับกำหนดค่าพิกัดกำลังของมอเตอร์ และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นเกินความเร็วฐาน แรงบิดจะลดต่ำลงและให้กำลังขับที่คงที่ โดยมอเตอร์ที่ให้แรงบิดสูงที่รอบต่ำหมายถึงการออกตัวและการขึ้นทางชันที่ดี



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงของแรงบิดและกำลังขับที่เหมาะสมสำหรับการขับเคลื่อนยานยนต์ (ที่มา ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ , กิตติพันธ์ เตชะกิตติโรจน์)

สำหรับการขับเคลื่อนยานยนต์นั้น นอกจากลักษณะของแรงบิดต่อความเร็วรอบแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้าต้องมีลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมอื่นๆ เช่น มีประสิทธิภาพสูงในช่วงความเร็วรอบและช่วงแรงบิดที่กว้าง และให้การทำงานแบบ regenerative braking ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังต้องมีความทนทานต่อสภาวะการทำงานต่างๆ ทั้งอุณหภูมิสูง การสั่นสะเทือน และการขาดการบำรุงรักษา



### 2.5.1 แบบจำลองมอเตอร์

ในระบบยานยนต์ไฟฟ้านั้น แบบจำลองมอเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ สมการแรงบิดมอเตอร์ ความเร็วเชิงมุม และประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยจะถูกแสดงไว้ในสมการที่ 2.25 ตามลำดับดังนี้

#### 1.แรงบิดมอเตอร์ (T)

$$T = F_{te} \cdot r \quad \text{N.m} \quad (2.22)$$

#### 2.ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

$$\text{ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์} \quad \omega = G \frac{v}{r} \quad \text{rad / s} \quad (2.23)$$

$$\text{ความเร่งเชิงมุมของมอเตอร์} \quad \dot{\omega} = G \frac{a}{r} \quad \text{rad / s}^2 \quad (2.24)$$

#### 3.ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

แหล่งที่มาสำคัญของการสูญเสียในการแปลงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเช่นเดียวกับมอเตอร์ไฟฟ้าทุกประเภทและสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลักดังนี้ ความสูญเสียที่ทองแดง เกิดจากความต้านทานไฟฟ้าของสายและบางส่วนของพลังงานไฟฟ้าจะกลายเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าพลังงานไฟฟ้าผลของความร้อนกระแสไฟฟ้า เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของความเร็วรอบในการหมุน

$$\eta_m = \frac{\text{output power}}{\text{input power}}$$

$$\eta_m = \frac{T\omega}{T\omega + K_c T^2 + K_i + K_w + c} \quad (2.25)$$

โดย

$K_c$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียทองแดง

$K_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียฮัตุเหล็ก

$K_w$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียจากแรงเสียดทาน

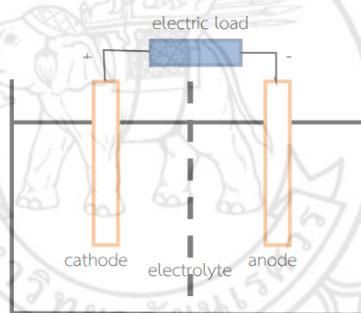
$c$  คือ การสูญเสียคงที่นำไปใช้ที่ความเร็วใดๆ (ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและแรงบิด)

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวแปรของการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

ตัวแปร	มอเตอร์ขนาด 2-5 kW	มอเตอร์ขนาด 100 kW
$k_c$	1.5	0.3
$k_i$	0.1	0.01
$k_w$	$10^{-5}$	$5 \times 10^{-6}$
C	20	600

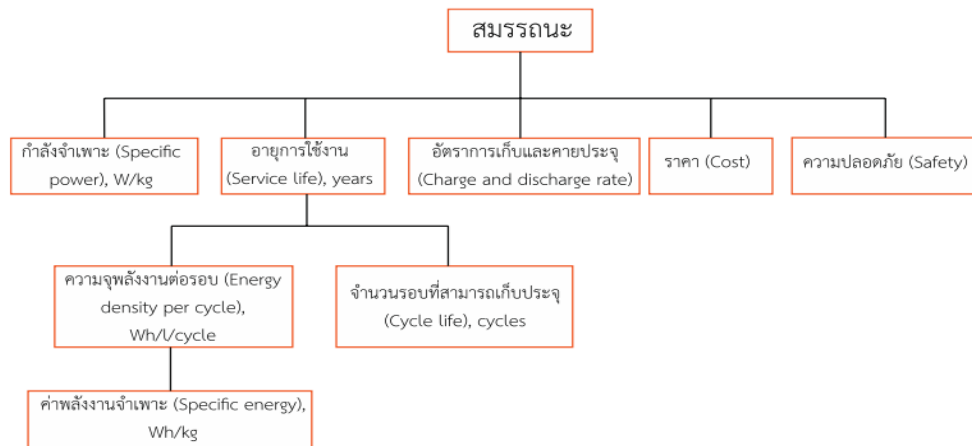
## 2.6 แบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการทางเคมีไฟฟ้าในการเก็บพลังงาน ส่วนประกอบที่สำคัญของแบตเตอรี่ (รูปที่ 2.15) ประกอบด้วยขั้วแบตเตอรี่ (ขั้วแคโทด ขั้วแอโนด) และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) แบตเตอรี่จะเป็นทั้งเซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ในขณะที่ใช้งาน และเซลล์อิเล็กโทรไลติก (electrolytic cell) ในขณะที่ประจุไฟฟ้า ในขณะที่ใช้งานกระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วแคโทดผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าไปสู่ขั้วแอโนด



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่

การวัดสมรรถนะของแบตเตอรี่จะวัดกันในหลายมิติ มิติที่สำคัญได้แก่ กำลังจำเพาะ (specific power, W/kg) อายุการใช้งาน (service life) อัตราการเก็บและคายประจุ (charge and discharge rate) ราคาและความปลอดภัย (safety) อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ขึ้นกับความจุ (capacity, Ah) และจำนวนรอบที่สามารถเก็บประจุ (charge cycles) ซึ่งค่าความจุจะขึ้นกับค่าของพลังงานจำเพาะ (specific energy, Wh/kg) หรือค่าความหนาแน่นพลังงาน (energy density, Wh/l) องค์ประกอบในการพิจารณาสมรรถนะของแบตเตอรี่จึงเขียนได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.10 สมรรถนะแบตเตอรี่ในมิติต่างๆ

ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะจำเพาะของแบตเตอรี่รูปแบบต่างๆ

สมบัติ	ประเภทของแบตเตอรี่		
	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-ion
ความจุพลังงาน (Wh/kg)	30-40	75-100	110-175
พลังงานต่อปริมาตร (Wh/L)	54-95	200-300	250-360
กำลังจำเพาะ (W/kg)	600-800	1000-1500	1500-3000
แรงดันต่อหน่วย (v)	2.1	1.2	3.2-3.6
ราคา (บาท/kWh)	3400-5100	17000-27200	17000-34000
อายุวัฏจักรการใช้งาน (ที่ระดับการคายประจุ 80%)	300-800	>1000	>2000
เวลาประจุไฟ (ชั่วโมง)	8	1	2-3

(ที่มา ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ , กิตติพันธ์ เตชะกิตติโรจน์)

### 2.6.1 แบบจำลองของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

#### 1. แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตะกั่ว -กรด

พฤติกรรมพลวัตของแบตเตอรี่จะมีผลกระทบอย่างมากกับประสิทธิภาพของยานยนต์ไฟฟ้า โดยจะมีแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (E) แบตเตอรี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถ คำนวณการเสื่อมของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

#### แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดเป็นทางเลือกของแบตเตอรี่ที่มีความจุพลังงานต่อน้ำหนักต่ำ แต่ก็ยังมีราคาเริ่มต้นที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยพลังงานด้วย ดังนั้น จึงเหมาะกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ทำงานที่ความเร็วต่ำ ทั้งนี้ก็ด้วยน้ำหนักของแบตเตอรี่ในตัวรถ ตัวอย่างการใช้งานก็เช่น รถกอล์ฟ ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า (forklift) หรือรถโดยสารที่ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กที่นิยมใช้กันอยู่ค่อนข้างกว้างขวาง ในปัจจุบันแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดจะมีใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ทำงานที่ความเร็วสูงก็เฉพาะกับรถกระบะที่มีพื้นที่พอดิตั้งแบตเตอรี่

$$E = n \cdot (2.15 - \text{DoD} \cdot [2.15 - 2.00]) \quad (2.26)$$

โดย  $n$  คือ จำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่

DoD คือ การควบคุมการถ่ายประจุของแบตเตอรี่ (0 to 1)

#### 2. การจำลองการใช้งานของแบตเตอรี่

ขั้นตอนแรกคือการหาสมการสำหรับ กระแสจากแบตเตอรี่ ( $I$ ) เมื่อถูกใช้งานที่กำลังไฟฟ้า  $P(w)$  โดยสมการมีดังนี้

$$P = V \times I \quad (2.27)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad P = V \times I = (E - IR) \times I = EI - RI^2 \quad (2.28)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากแบตเตอรี่คือ

$$I_B = \frac{-E + \sqrt{E^2 + 4RP_{\text{bat}}}}{2R} \quad (2.29)$$

เมื่อทำการเบรกมอเตอร์จะรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative braking)

$$\text{จาก} \quad V = E + IR \quad (2.30)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad P = V \times I = (E + IR) \times I = EI + RI^2 \quad (2.31)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากแบตเตอรี่ที่ได้ในช่วงเบรก

$$I_B = \frac{-E + \sqrt{E^2 + 4RP_{\text{bat}}}}{2R} \quad (2.32)$$

โดย

P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

E คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V)

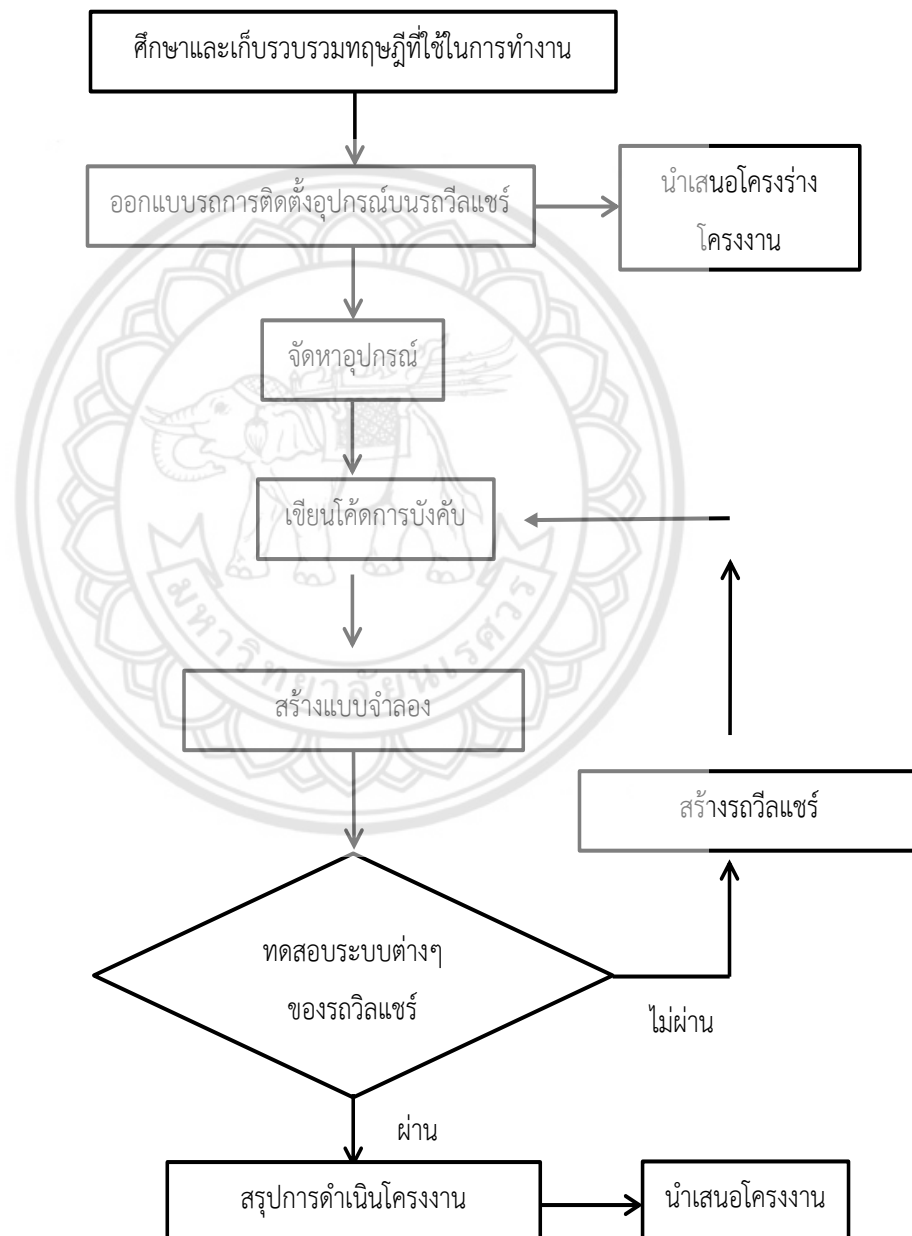
V คือ แรงดันย่อยของแบตเตอรี่ (V)

R คือ ค่าความต้านทานภายในเซลล์ ( $\Omega$ )



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการ



การดำเนินการของโครงการเริ่มจากการศึกษาและเก็บรวบรวมทฤษฎีที่ใช้ในการทำงาน แล้วทำการออกแบบที่ใส่มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนและที่เก็บบอร์ดควบคุมการทำงานแล้วนำเสนอโครงร่าง หลังจากนั้นทำการจัดหาจัดซื้ออุปกรณ์ เขียนโปรแกรมในการใช้บังคับ สร้างแบบจำลองโดยใช้ 3D Printer และสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปทดสอบระบบต่างๆของรถวีลแชร์

### 3.1 การออกแบบรถวีลแชร์ไฟฟ้า

#### 3.1.1 หลักการออกแบบรถวีลแชร์ไฟฟ้า

หลักการออกแบบรถวีลแชร์ไฟฟ้าเป็นการเอาโครงสร้างรถวีลแชร์แบบทั่วไปมาประกอบกับมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อน ดังรูปที่ 3.1 เพื่อนำมาสร้างเป็นรถวีลแชร์ไฟฟ้า โดยมีการประยุกต์ ดัดแปลง และออกแบบส่วนประกอบและชิ้นส่วนเองเพื่อให้สามารถเข้ากับวีลแชร์ที่มีอยู่ได้อย่างเหมาะสม โดยการ ใช้โปรแกรมในการออกแบบและใช้ 3D printer ในการสร้างชิ้นส่วนขึ้นมา ทั้งนี้ทำไปเพื่อคำนึงถึง ต้นทุนเป็นที่ตั้งเนื่องจากถ้าสร้างชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบที่ใช้เป็นโลหะทั้งหมดนั้นทำให้มีต้นทุนที่สูง ดังนั้นจึงเลือกที่ใช้ 3D printer โดยจะทำการสั่งซื้อวัสดุจำพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แทนเนื่องจาก จัดหาได้สะดวกและมีราคาที่ไม่สูงมาก

ชิ้นส่วนที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น อุปกรณ์ที่ทำการยึดจับมอเตอร์ กล่องใส่แบตเตอรี่และมอเตอร์ขับเคลื่อน โดยจะมีการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในชีวิตประจำวันและสามารถนำไปประกอบเข้ากับวีลแชร์ทั่วไปได้ โดยต้องมีความแข็งแรง น้ำหนักเบาสามารถยกหรือเคลื่อนย้ายได้สะดวกและมีต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูงมาก โดยออกแบบให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้วางเอาไว้

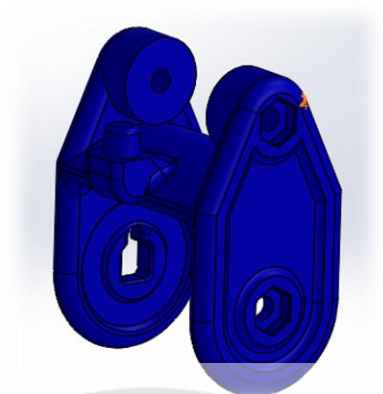
- 1) สามารถเคลื่อนที่ได้โดยควบคุมผ่านระบบไร้สาย
- 2) ออกแบบมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับรถวีลแชร์ที่ได้รับ
- 3) ผู้ใช้งานต้องสามารถใช้รถวีลแชร์ในการเคลื่อนที่ในเบื้องต้นโดยไม่ต้องพึ่งพาผู้อื่นได้



รูปที่ 3.1 รถวีลแชร์ทั่วไปที่จะนำไปพัฒนาและออกแบบเป็นวีลแชร์ไฟฟ้า

### 3.2 การออกแบบชิ้นส่วนของรถวีลแชร์ไฟฟ้า

#### 3.2.1 การออกแบบที่ยึดจับมอเตอร์

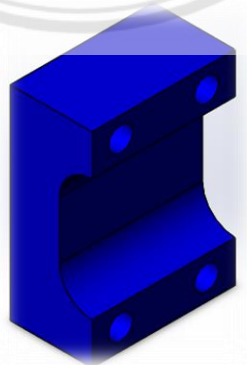


รูปที่ 3.2 การออกแบบที่ยึดจับมอเตอร์

#### 3.2.2 ออกแบบตัวยึด



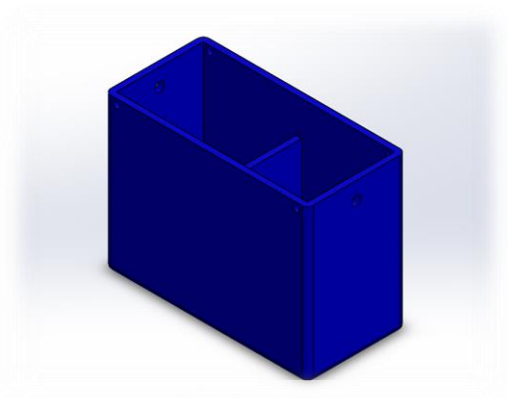
รูปที่ 3.3 ตัวยึดส่วนที่ 1



รูปที่ 3.4 ตัวยึดส่วนที่ 2



### 3.2.3 กล่องใส่แบตเตอรี่และบอร์ดควบคุม

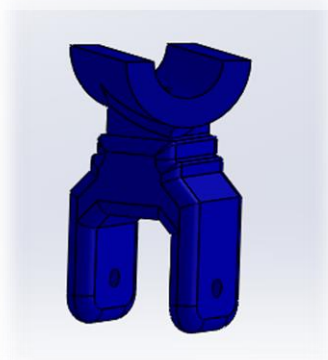


รูปที่ 3.5 กล่องใส่แบตเตอรี่และบอร์ดควบคุม



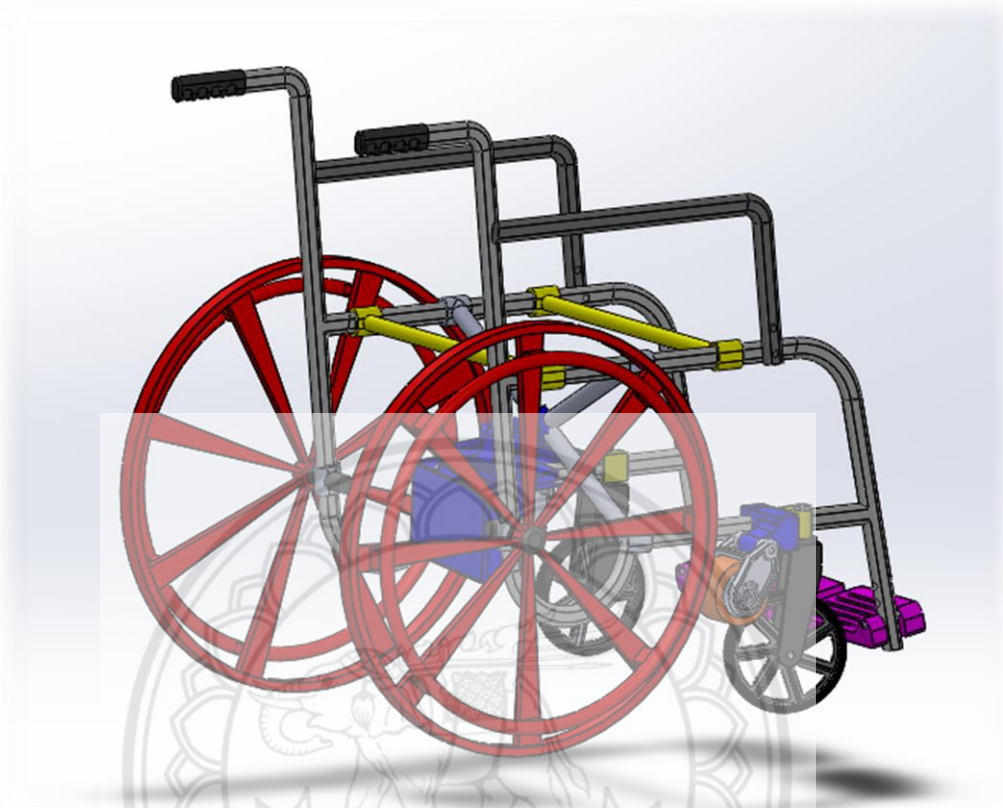
รูปที่ 3.6 ฝาปิดกล่องแบตเตอรี่

### 3.2.4 ตัวยึดกล่องแบตเตอรี่ติดกับวีลแชร์



รูปที่ 3.7 ตัวยึดกล่องแบตเตอรี่ติดกับวีลแชร์

### 3.2.5 การนำชิ้นส่วนที่ออกแบบประกอบเข้ากับวีลแชร์



รูปที่ 3.8 การนำชิ้นส่วนที่ออกแบบนำไปประกอบเข้ากับวีลแชร์

### 3.3 การคำนวณหาแรงต้านการเคลื่อนที่

แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถวีลแชร์ไฟฟ้าเป็นแรงที่มีส่วนสำคัญที่ใช้ในการหาค่ากำลังของมอเตอร์ เพื่อหาแรงต้านการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้รถวีลแชร์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้องตามที่วางวัตถุประสงค์ไว้ โดยแรงต้านการเคลื่อนที่มีทั้งหมด 4 แรงได้แก่ 1.แรงต้านการหมุนของล้อ (rolling resistance) 2.แรงต้านอากาศ (air resistance) 3.แรงต้านทางชัน (gradient resistance) 4.แรงต้านความเฉื่อย (inertia resistance) แต่ในกรณีนี้เนื่องจากรถวีลแชร์ไฟฟ้ามีความเร็วที่น้อย อัตราแรงที่น้อย จึงไม่คำนวณแรงต้านอากาศและแรงต้านความเฉื่อย

โดยมีเงื่อนไขที่กำหนดดังนี้

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1. น้ำหนักรวมทั้งหมดของวีลแชร์ ( Wheel chair ) | 12 กิโลกรัม                      |
| 2. ความเร็วไม่เกิน                             | 5 กิโลเมตร/ชม.                   |
| 3. มีการขึ้นทางชันที่                          | 15 องศา                          |
| 4. รับน้ำหนักได้สูงสุด                         | 100 กิโลกรัม ( ไม่รวมน้ำหนักรถ ) |

### 3.3.1 แรงต้านการหมุนของล้อ

การคำนวณหาแรงต้านการหมุนของล้อนั้นกำหนดให้น้ำหนักรถวิลแชร์รวมกับผู้ใช้เท่ากับ 80 กิโลกรัม ความเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s และให้สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อตามประเภทถนนมีค่าเท่ากับ 0.02 (ตารางที่ 2.1)

จากสมการ

$$F_r = K_r mg$$

$$F_r = 0.02 \times 80 \times 9.81$$

$$F_r = 15.7 \text{ N}$$

### 3.3.2 แรงต้านจากทางชัน

การคำนวณหาแรงต้านจากทางชัน ให้มุมเอียงความลาดชันถนนเท่า 15 องศาตามวัตถุประสงค์การออกแบบ น้ำหนักรถวิลแชร์รวมกับผู้ใช้เท่ากับ 80 กิโลกรัม ความเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 m/s

จากสมการ

$$F_g = mg \sin \theta$$

$$F_g = 80 \times 9.81 \times \sin (15)$$

$$F_g = 203.12$$

### 3.3.3 การคำนวณหากำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์

ในการออกแบบรถวิลแชร์ไฟฟ้าต้องมีการคำนวณหากำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ แรงขับเคลื่อนที่ต้องการเพื่อให้รถวิลแชร์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งการคำนวณหากำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์จะคำนวณจากสูตรการหากำลังของมอเตอร์ โดยแรง  $F_{te}$  คือแรงต้านทั้งหมดในระบบ(N) และ  $V$  คือ ความเร็ว(m/s) กำหนดให้เท่ากับ 5 km/h

จากสมการ

$$P = F_{te} \cdot V \text{ (W)}$$

$$P = (203.12 + 15.7) \times \left( 5 \times \frac{1}{3600} \times \frac{1000}{1} \right)$$

$$P = 303.72 \text{ W}$$

หลังจากการคำนวณกำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ได้ 303.72 W แต่เนื่องจากใช้มอเตอร์ 2 ตัว ในการขับเคลื่อนรถวิลแชร์ไฟฟ้า กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์จะมีค่าข้างละ 151.86 W

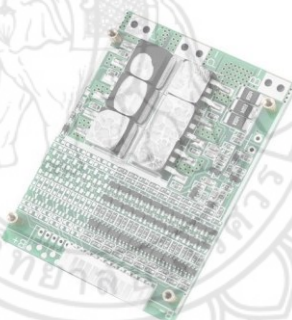
### 3.4 การจัดหาวัสดุอุปกรณ์

#### 1. รถเข็นวีลแชร์



รูปที่ 3.9 รถวีลแชร์

#### 2. บอร์ด 36v-35a-10s-bms-protection



รูปที่ 3.10 บอร์ด 36v-35a-10s-bms-protection

#### 3. ถ่าน Awt-35a-3500mah

**AWT**



รูปที่ 3.11 ถ่าน Awt-35a-3500mah

4. บอร์ดควบคุมมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน Hall BLDC DRIVER BOARD DC 12-36 V 15A 500 W



รูปที่ 3.12 บอร์ดควบคุมมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน  
Hall BLDC DRIVER BOARD DC 12-36 V 15A 500 W

5. Electric Skateboard Hub Brushless Motor 150 W



รูปที่ 3.13 Electric Skateboard Hub Brushless Motor 150 W

6. เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ 36 V ปลั๊กสี่เหลี่ยม (ปลั๊ก AC)



รูปที่ 3.14 เครื่องชาร์จแบตเตอรี่ 36 V ปลั๊กสี่เหลี่ยม (ปลั๊ก AC)

7. buytra-10-dc-connector



รูปที่ 3.15 buytra-10-dc-connector

8. ถ่านชาร์จ Li-ion 3.7 V ความจุ 2000 mAh ขนาด 103450



ArduinoAll.com

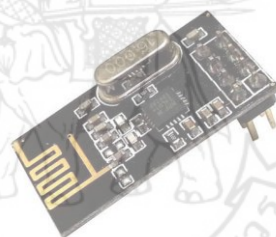
รูปที่ 3.16 ถ่านชาร์จ Li-ion 3.7 V ความจุ 2000 mAh ขนาด 103450

9. โมดูลแหล่งจ่ายไฟ arduino-esp 8266-nodemcu



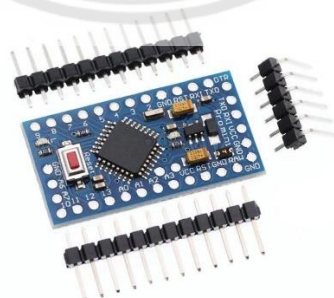
รูปที่ 3.17 โมดูลแหล่งจ่ายไฟ arduino-esp8266-nodemcu

10. Module Wireless NRF24L01 2.4 GHz



รูปที่ 3.18 Module Wireless NRF24L01 2.4 GHz

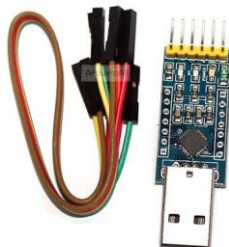
11. Arduino pro mini 328 - 5v/16mhz



รูปที่ 3.19 Arduino pro mini 328 - 5v/16mhz



12. ตัวแปลงสัญญาณ USB TTL



รูปที่ 3.20 ตัวแปลงสัญญาณ USB TTL

13. PS2 XY Joystick Module



รูปที่ 3.21 PS2 XY Joystick Module

14. โมดูลวัดโวลต์ ระดับแบตเตอรี่ 12-60 V



รูปที่ 3.22 โมดูลวัดโวลต์ ระดับแบตเตอรี่ 12-60 V

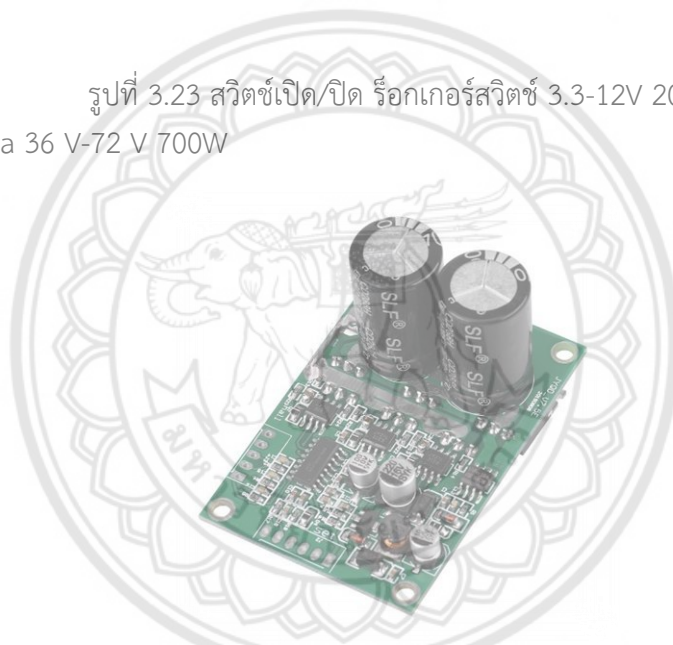


15. สวิตช์เปิด/ปิด รีเลย์สวิตช์ 3.3-12V 20A



รูปที่ 3.23 สวิตช์เปิด/ปิด รีเลย์สวิตช์ 3.3-12V 20A

16. Tamaloha 36 V-72 V 700W



รูปที่ 3.24 Tamaloha 36 V-72 V 700W

17. แผ่นกระดาษฉนวนกันความร้อน 1 S 18650



รูปที่ 3.25 แผ่นกระดาษฉนวนกันความร้อน 1 S 18650

18. แผ่นนิกเกิลเชื่อมแบตเตอรี่



รูปที่ 3.26 แผ่นนิกเกิลเชื่อมแบตเตอรี่

19. JoyStick Shield expansion board for Arduino



รูปที่ 3.27 JoyStick Shield expansion board for arduino

20. Nokia 5110 LCD Module



รูปที่ 3.28 Nokia 5110 LCD Module

## 21. Arduino Uno R3 แบบ SMD



รูปที่ 3.29 Arduino Uno R3 แบบ SMD

### 3.5 การทดสอบวีลแชร์ไฟฟ้า

การทดสอบวีลแชร์เพื่อทำการทดลองหาค่าต่างๆ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ทำการคำนวณไว้ว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ โดยการทำทดสอบรถวีลแชร์ไฟฟ้าได้ทำการทดสอบตามวัตถุประสงค์และขอบเขตดังนี้

#### วัตถุประสงค์การทดสอบ

1. เพื่อหากระแสไฟฟ้าแต่ละระดับความเร็วความเร็ว
2. เพื่อหากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายให้กับมอเตอร์

#### ขอบเขตการทดสอบ

1. ทดสอบบนพื้นถนนคอนกรีต
2. ทดสอบการวิ่งขึ้นเนินที่มีความชัน 15 องศา
3. สมาชิกในกลุ่มเป็นผู้ทดสอบ

#### อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. รถวีลแชร์
2. แอมมิเตอร์
3. แอปพลิเคชัน Speeometer GPS เพื่อใช้จับความเร็ว

### วิธีการทดสอบ

1. เลือกถนนที่เป็นถนนคอนกรีต
2. ทดสอบวิ่งโดยที่ใช้ระยะทาง 20 เมตร
3. ขับวีลแชร์ และ ขณะทีวี่ลแชร์เคลื่อนที่ให้วัดกระแสสูงสุดและความเร็วสูงสุด โดยกระแสสูงสุด วัดจากสายขั้วบวกที่จ่ายไฟออกมาจากแบตเตอรี่
4. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วทั้ง 3 ระดับจนครบ และทำตามข้อที่ 2 กับ 3



รูปที่ 3.30 พื้นถนนคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.31 ภาพประกอบในการทดสอบในการหาความเร็วและวัตตกระแสของวีลแชร์ไฟฟ้า

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการทดลอง

##### 4.1.1 การทดลองหากระแสไฟฟ้าสูงสุดและความเร็วสูงสุดต่อน้ำหนักผู้ใช้งาน

การทดสอบหาการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดและความเร็วสูงสุดต่อน้ำหนักผู้ใช้งานโดยการทดสอบจะแบ่งระดับความเร็วไว้ที่ 3 ระดับ การทดสอบใช้ผิวถนนเป็นคอนกรีตเรียบและระนาบตั้งฉากกับแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ 4.1 สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ

##### 4.1.1.1 ทดสอบคนที่ 1 ผู้ทดสอบมีน้ำหนัก 55 กิโลกรัม

##### ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 1

กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
6.3 A	6.1 km/h	6 ชม.

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 2

กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
17 A	11.3 km/h	1 ชม 7 นาที

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 3

กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
21 A	11.9 km/h	50 นาที

4.1.1.2 ทดสอบคนที่ 2 ผู้ทดสอบมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 1

กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
9.5 A	5.6 km/h	4 ชม.

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 2

กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
21 A	9 km/h	1 ชม 8 นาที

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 3

กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
22.7 A	11.5 km/h	50 นาที

4.1.1.3 ทดสอบคนที่ 3 ผู้ทดสอบมีน้ำหนัก 85 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 1

กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
14 A	6.1 km/h	3 ชม.

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 1

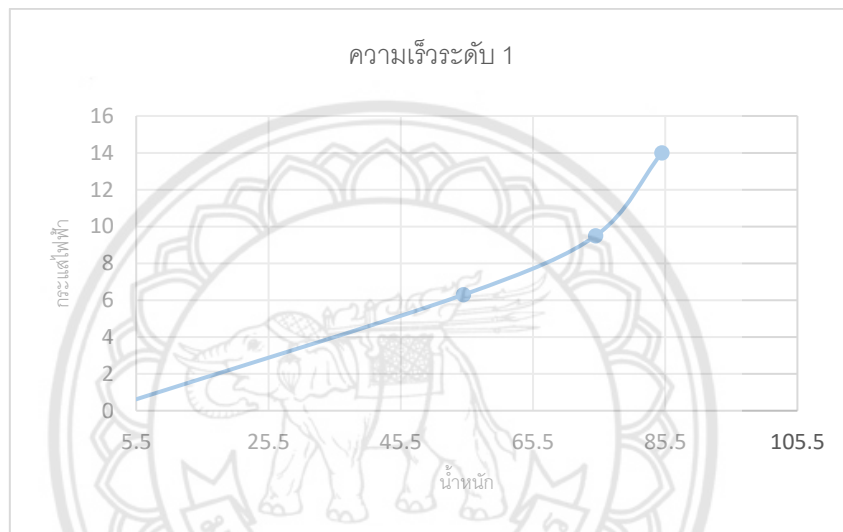
กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
21.6 A	8.3 km/h	1 ชม.

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการใช้งานที่ระดับความเร็วที่ 3

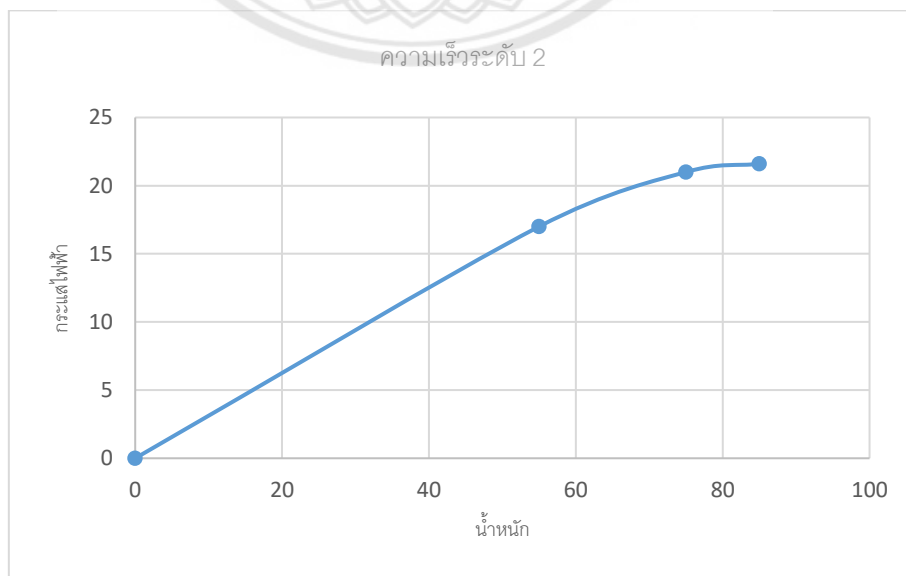
กระแสไฟฟ้าสูงสุด	ความเร็วสูงสุด	แบตเตอรี่ที่ใช้ได้นาน
24 A	10.8 km/h	45 นาที

#### 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 4.2.1 วิเคราะห์การหากระแสไฟฟ้าสูงสุดและความเร็วสูงสุดต่อน้ำหนักผู้ใช้งาน

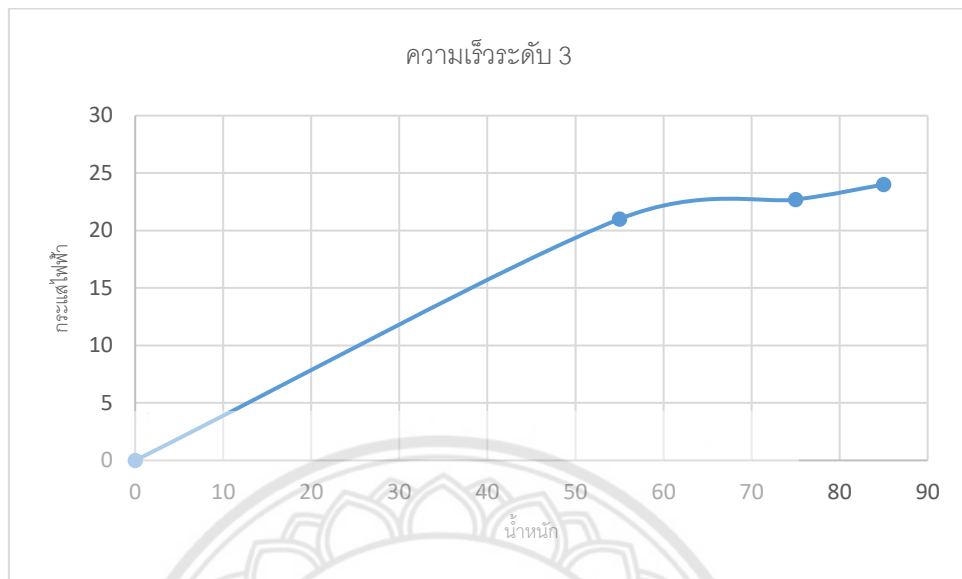


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผู้ใช้งานกับการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความเร็วที่ 1



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผู้ใช้งานกับการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความเร็วที่ 2





รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผู้ใช้งานกับการใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับความเร็วที่ 3

จากการทดลองเพื่อหาการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดและความเร็วสูงสุดของใช้งานวีลแชร์ที่ผู้ทดลองมีน้ำหนัก 55, 75 และ 85 กิโลกรัม โดยมีการแบ่งระดับความเร็วเป็น 3 ระดับ จากทดลองจะเห็นว่าน้ำหนักของผู้ใช้งานมีผลโดยตรงต่อการใช้กระแสไฟฟ้าและการเพิ่มระดับความเร็วส่งผลให้ใช้กระแสไฟฟ้าก็จะมากขึ้นตามไปด้วยตามแนวโน้มของกราฟในรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ในรูปที่ 4.2 แนวโน้มของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างยิ่งยวดเมื่อผู้ทดสอบมีน้ำหนักมากขึ้น ส่วนรูปที่ 4.3 แนวโน้มของกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเมื่อผู้ทดสอบมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นแต่เมื่อวีลแชร์ใช้กระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 20 A การใช้กระแสไฟฟ้าเริ่มคงที่และในรูปที่ 4.4 จะพบว่าแนวโน้มของกราฟในช่วงกระแสไฟฟ้าที่ประมาณ 20 A แนวโน้มการใช้กระแสไฟฟ้าเริ่มคงที่หรืออาจจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสอดคล้องกับรูปที่ 4.3



## บทที่ 5

### สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลโครงการ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีสำหรับใช้พัฒนาออกแบบและสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้าบังคับแบบไร้สาย จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทำการออกแบบและพัฒนาวีลแชร์ไฟฟ้าแบบไร้สายขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้งานวีลแชร์เกิดความสะดวกสบายมากขึ้นในการใช้งานรถวีลแชร์ในชีวิตประจำวัน โดยลดภาระการพึ่งพาผู้อื่นให้น้อยลงและยังสามารถพึ่งพาตัวเองได้มาก โครงการพัฒนาและออกแบบวีลแชร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย ใช้สำหรับการศึกษาและพัฒนากระบวนการควบคุมแบบไร้สายและทำการออกแบบให้มีน้ำหนักเบาที่สามารถนำไปติดตั้งกับวีลแชร์ทั่วไปได้ และนำวีลแชร์ไฟฟ้าไปทดสอบประสิทธิภาพสมรรถนะ ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร และพื้นที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงของวีลแชร์ เพื่อหาพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือการประหยัดพลังงานของรถวีลแชร์ไฟฟ้าและอื่นๆ

จากการศึกษาทฤษฎียานยนต์ไฟฟ้า เพื่อหาคำประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำมาติดตั้งในการสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้า และทำการออกแบบสร้างชิ้นส่วนที่จะสามารถนำไปประกอบติดกับวีลแชร์และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำมาติดตั้ง เช่น มอเตอร์ แบตเตอรี่ เป็นต้น สำหรับการสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้าในครั้งนี้ และจำลองประสิทธิภาพสมรรถนะของรถวีลแชร์ไฟฟ้า ได้แก่ การใช้พลังงาน การใช้กระแสไฟฟ้ากับน้ำหนักของผู้ใช้งานส่งผลต่อความเร็วการใช้งาน แล้วจึงนำไปทดสอบภาคสนามภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร

##### 5.1.1 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพรถวีลแชร์ไฟฟ้า

1) การใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้านั้นถ้าผู้ใช้งานมีน้ำหนักน้อยจะสามารถใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้าได้ในระยะเวลานานยิ่งขึ้นจากตารางที่ 4.1 ที่น้ำหนักผู้ใช้งาน 55 กิโลกรัมแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ถึง 6 ชั่วโมง ถ้าผู้ใช้งานมีน้ำหนักน้อยกว่า 55 กิโลกรัมสามารถใช้งานได้ยาวนานยิ่งขึ้น

2) การใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้านั้นถ้าใช้งานที่ความเร็วระดับ 3 ที่มีความเร็วสูงมากนั้น จะทำการใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้านั้นใช้งานได้ระยะเวลาที่สั้นลง โดยปกติแล้วความเร็วระดับที่ 3 นั้นถูก

ออกแบบเพื่อให้ใช้ในการขึ้นเนินของผู้ป่วยเพื่อให้สามารถขึ้นเนินได้ง่ายโดยผู้ใช้รถวีลแชร์ได้ โดยจากการทดลอง ที่น้ำหนักที่ 55 75 85 กิโลกรัม สามารถใช้งานได้ดังนี้ 50 50 45 นาทีตามลำดับ

3) การใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้าถ้าผู้ใช้งานมีน้ำหนักมากจะส่งผลให้การใช้งานรถมีระยะเวลาที่สั้นลง เนื่องจากมีน้ำหนักมากทำให้มอเตอร์ทำงานหนักและใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นจากการทดสอบที่ผู้ใช้งานน้ำหนักมากส่งผลให้แบตเตอรี่ใช้งานได้ในระยะเวลาที่สั้นลง

### 5.1.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1) หลังจากใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้าไปได้สักระยะเวลาหนึ่งทำให้น็อตที่ยึดกับวีลแชร์เกิดการคายตัวออกจากรถวีลแชร์ ข้อเสนอแนะคือ เปลี่ยนน็อตยึดเป็นน็อตทกเหลี่ยมและลองด้วยแหวนสปริง

2) มอเตอร์มีการเอียงออกจากแนวล้อที่ติดตั้งไว้ในตอนแรกหลังจากเกิดการใช้งานรถวีลแชร์ไปในระยะเวลาหนึ่ง ข้อเสนอแนะคือ ยึดแนวของมอเตอร์ที่ติดตั้งให้ตมามากกว่าเดิมโดยใช้สปริงในการค้ำไม่ให้มอเตอร์เกิดการขยับออก

3) การใช้งานรถวีลแชร์ไฟฟ้าในระยะเวลาานส่งผลทำให้บอร์ดควบคุมมีความร้อนขึ้นและจะส่งผลให้เกิดการทำงานของบอร์ดควบคุมไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ที่ขับล้อของรถวีลแชร์ทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ข้อเสนอแนะคือ ทำการติดตั้งที่ระบายความร้อนไว้บริเวณหลังบอร์ดควบคุมเพื่อให้เกิดการระบายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น และทำให้การใช้งานบอร์ดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4) การทำงานของแบบไร้สายมีการส่งค่าที่ไม่เสถียรส่งผลให้การทำงานของมอเตอร์มีปัญหา เนื่องการส่งค่าของตัวส่งมาหาตัวรับมีค่าที่ไม่เสถียร ข้อเสนอแนะคือ ปรับค่าของตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณให้เสถียรมากยิ่งขึ้น

5) ล้อหน้าของวีลแชร์มีปัญหาเวลาเริ่มออกตัวมีอาการหมุนฟรี ส่งผลให้ตัวรถวีลแชร์นั้นไม่สามารถออกตัวเป็นแนวตรงได้และเมื่อผู้ใช้งานขับด้วยความเร็ว ล้อหลังของวีลแชร์จะส่ายไปมาไม่เกาะกับถนน ข้อเสนอแนะคือ เปลี่ยนล้อหน้าให้มีเสถียรและปรับจุดศูนย์ถ่วงให้น้ำหนักของผู้ใช้งานลงน้ำหนักทั่วถึงทั้งล้อหน้าและล้อหลัง

6) เบรคฉุกเฉินของวีลแชร์นั้นอยู่ด้านหลัง จึงส่งผลให้ใช้งานไม่ได้ถ้าไม่มีผู้ช่วยอยู่ด้านหลังผู้ใช้งานอาจจะต้องใช้เบรคที่ล้อหลังทั้งสองจึงต้องใช้ผู้ใช้งานที่มีความชำนาญพอสมควร ข้อเสนอแนะคือ ย้ายเบรคฉุกเฉินมาด้านหน้าให้ผู้ใช้งานใช้งานได้แม้ไร้ผู้ช่วย

## บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมและพัฒนาชีวิตคนพิการ. (2561). รายงานข้อมูลสถานการณ์ด้านคนพิการในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2563, จาก <https://nadt.or.th/>.
- ธีระยุทธ สุวรรณประทีป. (2559). หนังสือวิศวกรรมยานยนต์. (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ:วิทย์พัฒน์.
- Auto2drive. (29 ธันวาคม 2556). รวมเรื่องรถยนต์ รถจักรยานยนต์ พาหนะอื่นๆ. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2563, จาก <http://www.auto2drive.com/>.
- Azhar. (18 กุมภาพันธ์ 2560). **Arduino Wireless Communication – NRF24L01 Tutorial**. สืบค้นเมื่อ 14 เมษายน 2563 , จาก <https://howtomechatronics.com/>.
- James Larminie, John Lowry. (2003). **Electric Vehicle Technology Explained**. England: John Wiley & Sons Ltd.

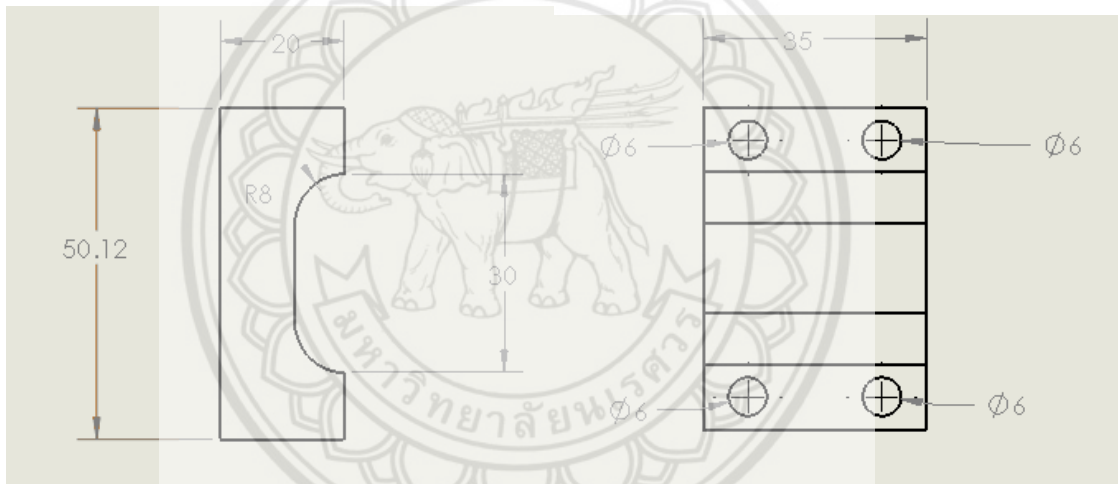
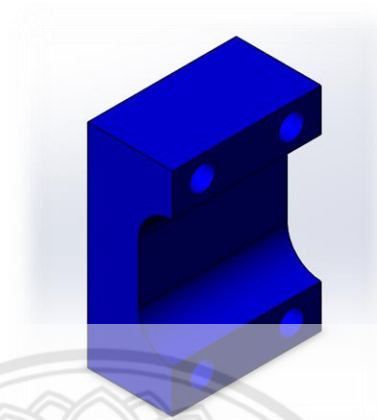




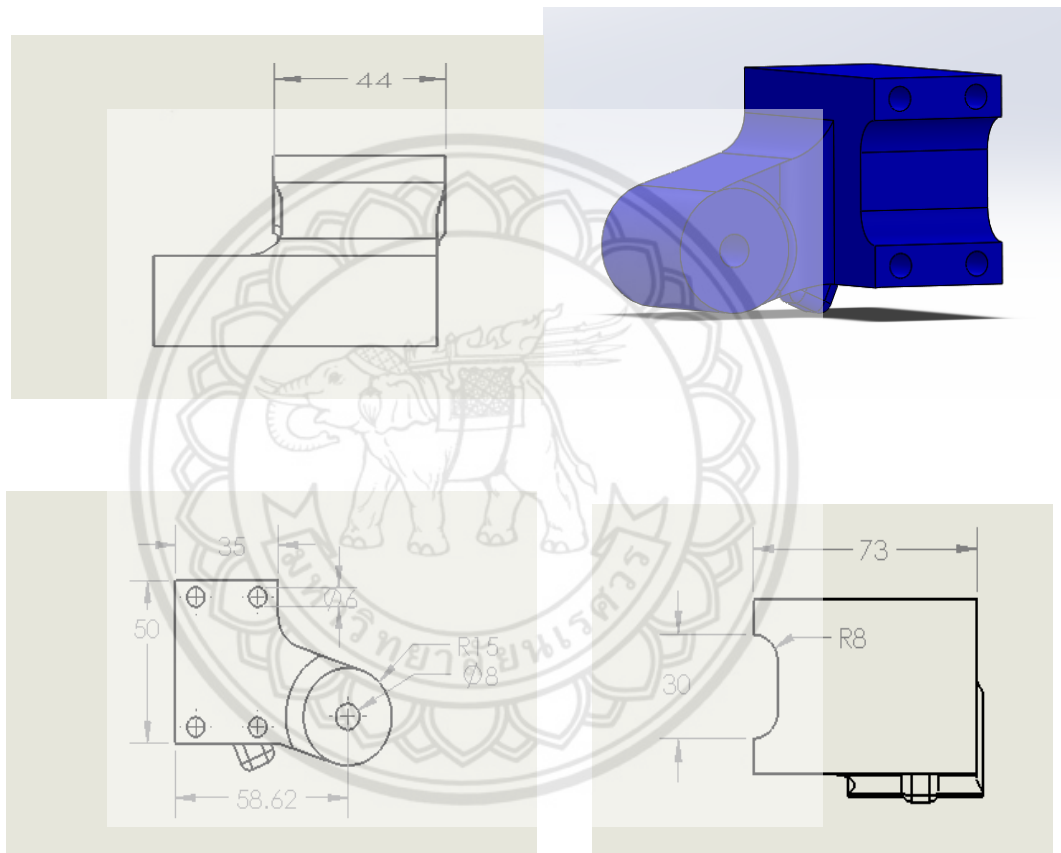
ภาคผนวก



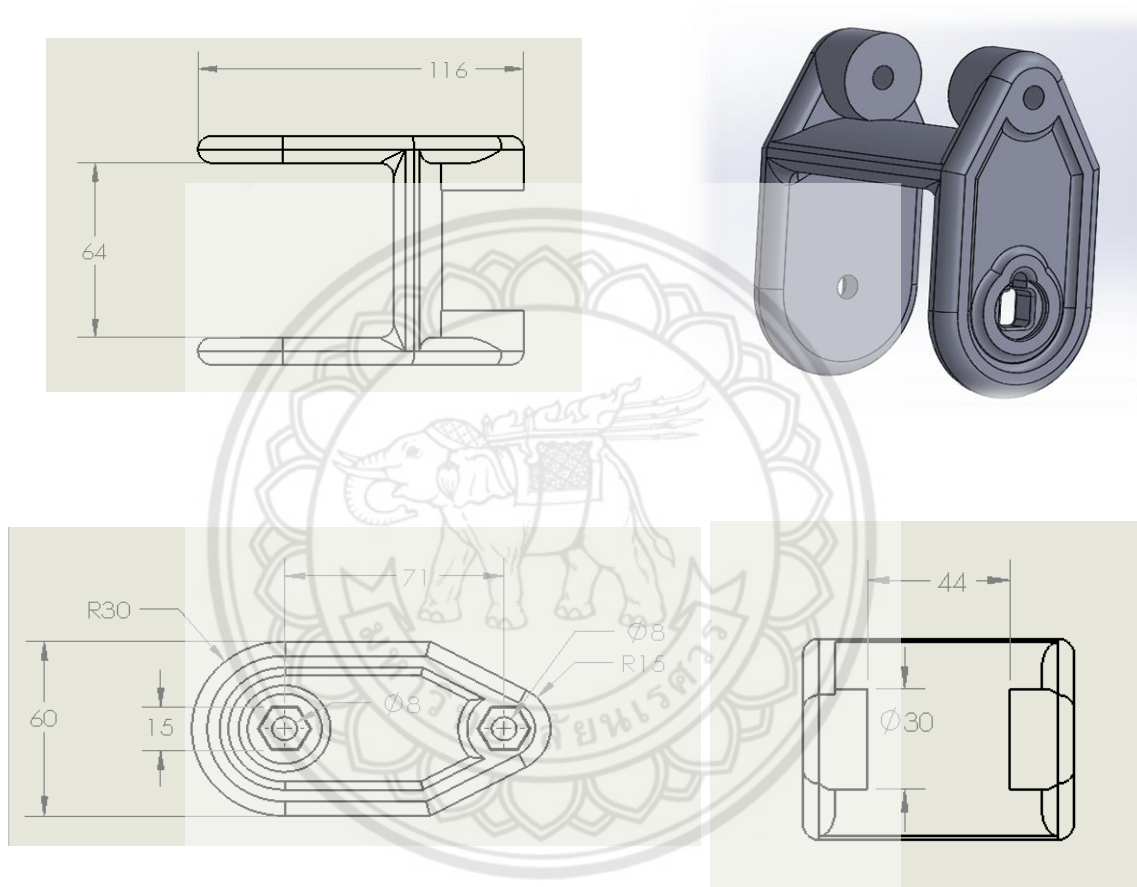
ภาคผนวก ก. รูปข้อมูลการใช้ออกแบบและการสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้า



รูปที่ ก.1 ชิ้นส่วนของตัวยึดมอเตอร์ส่วนที่ 1



รูปที่ ก.2 ชิ้นส่วนของตัวยึดมอเตอร์ส่วนที่ 2

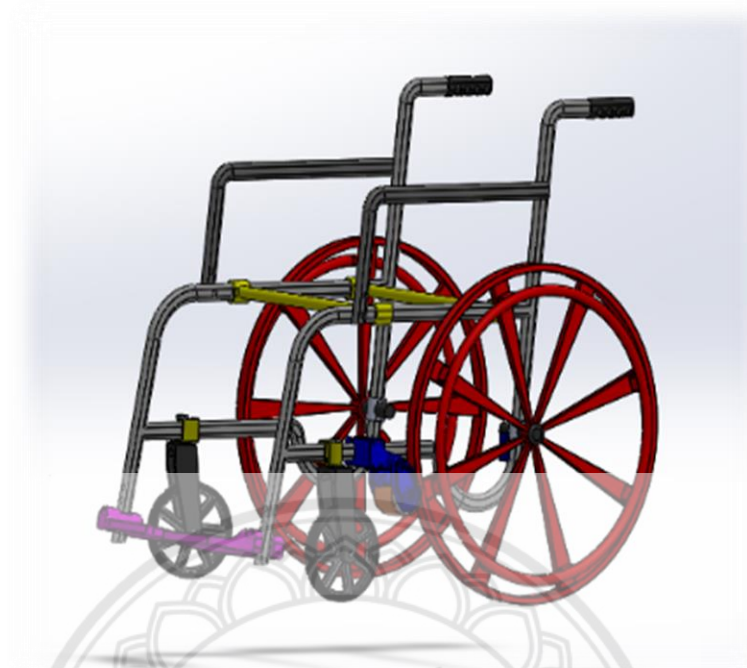


รูปที่ ก.3 ชิ้นส่วนของตัวยึดมอเตอร์ส่วนที่ 3

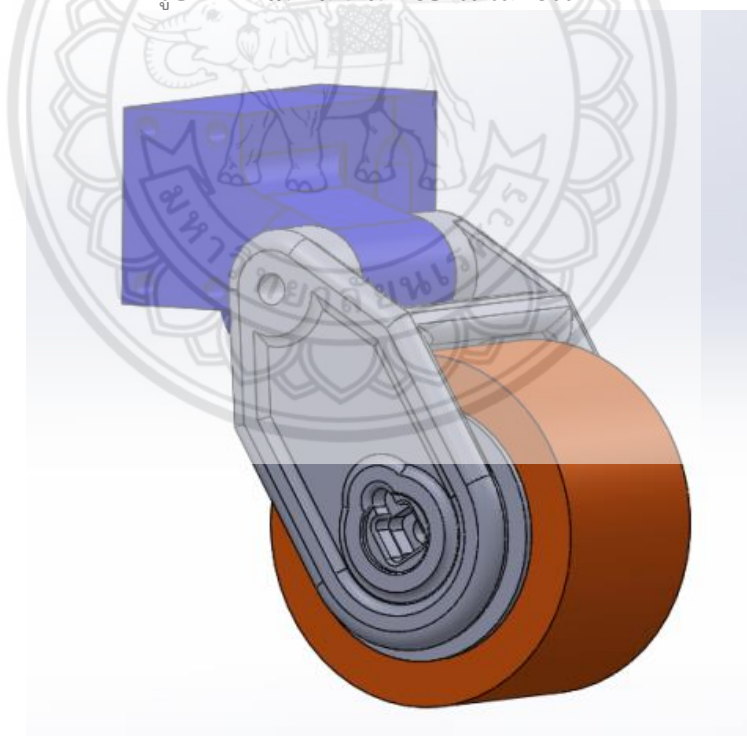




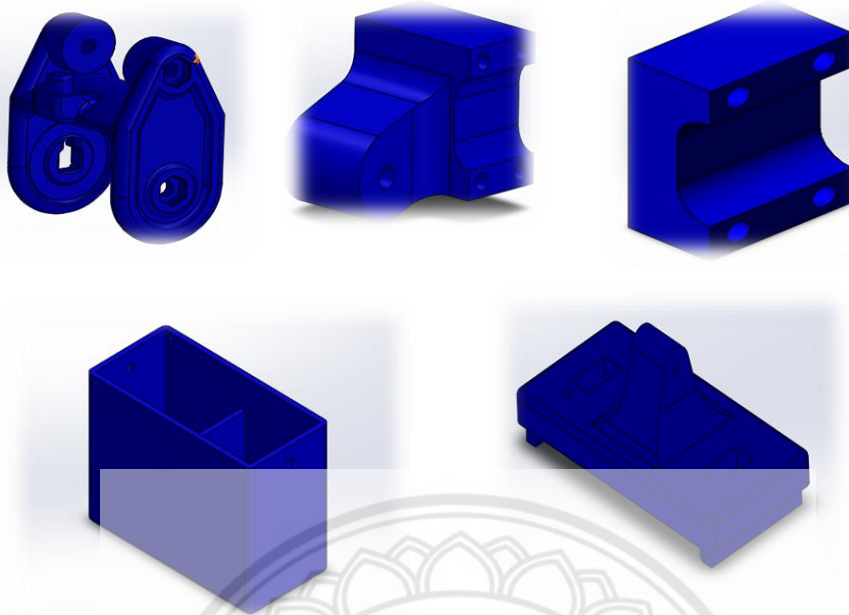
ภาคผนวก ข. รูปการออกแบบและสร้างรถวีลแชร์ไฟฟ้า



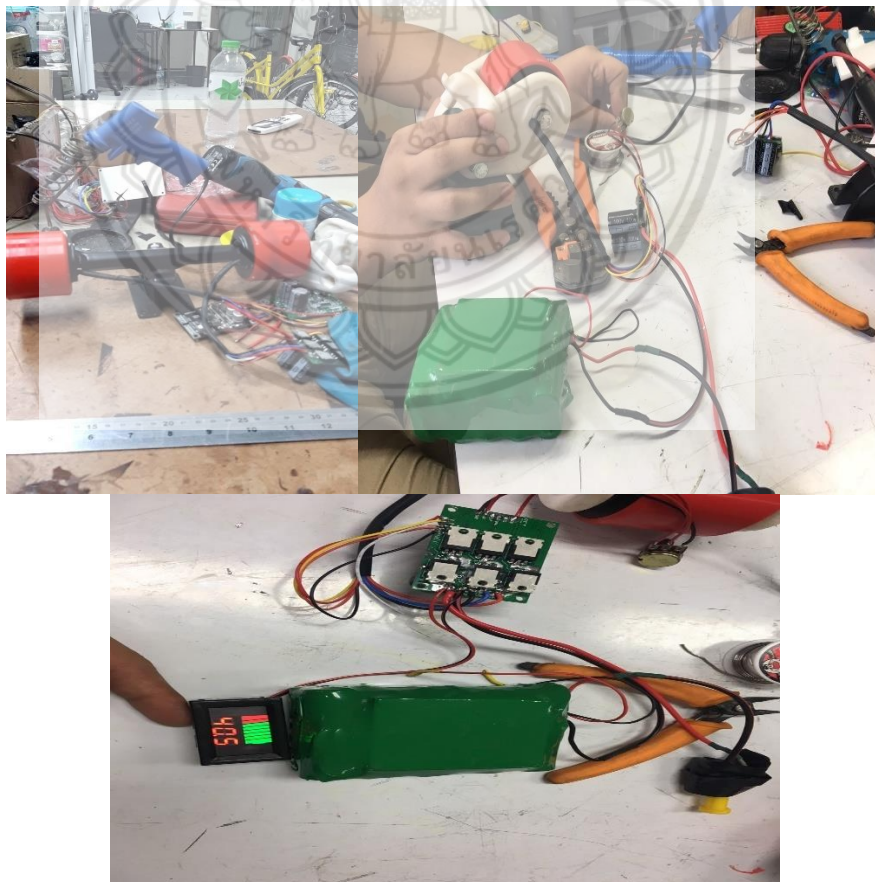
รูปที่ ก.1 โมเดล 3 มิติ ของรถวีลแชร์ไฟฟ้า



รูปที่ ก.2 โมเดล 3 มิติ ของอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับรถวีลแชร์



รูปที่ ข.3 ชิ้นส่วนในการประกอบเข้ากั้บรถวิลแชร์



รูปที่ ข.4 การทดสอบมอเตอร์ก่อนการติดตั้ง



รูปที่ ข.5 ประกอบชิ้นส่วนที่ออกแบบเข้าที่รถวีลแชร์



รูปที่ ข.6 บรรยากาศการทดสอบรถวีลแชร์ไฟฟ้า