Received: Jan 27, 2022 **Revised:** May 15, 2022 **Accepted:** May 25, 2022

การออกแบบและทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเดินทางระยะสั้นคนเดียว
DESIGN AND TESTING OF ELECTRIC SCOOTER FOR SHOT DISTANCE SOLO TRAVEL

ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ[1], พิสิฐพงศ์ แป้นทอง[2], ลักษณปรีชา เกี้ยวสันเทียะ[3]
[1, 2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
[3] โรงเรียนนานาชาติแอ๊ดเวนติส-โคราช
Yuttachai Keawsuntia[1], Pisitpong Pantong[2], Laksanapreecha Keawsuntia[3]
[1,2]Lecturer in Mechanical Engineering Department, Faculty of engineering, Vongchavalitkul University,
[3] Student at Korat Adventist International School
Email: yuttachai_kea@vu.ac.th, laksanapreechakeaw@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการออกแบบ สร้าง และทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับการเดินทางระยะสั้นคนเดียว รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการขับเคลื่อนกับน้ำหนักรวมที่ใช้ในการเคลื่อนที่ไปบนพื้นราบทางตรงและการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชัน การดำเนินงานวิจัยได้เริ่มจากการศึกษาส่วนประกอบและหลักการทำงานของสกูตเตอร์ไฟฟ้า แรงต้านการเคลื่อนที่ของสกูตเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นได้คำนวณหากำลังของมอเตอร์สำหรับใช้ในการขับเคลื่อนสกูตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปสร้างและทดสอบ การทดสอบหาความเร็วสกูตเตอร์ไฟฟ้าได้ทดสอบทางตรงในแนวระดับระยะทาง 100 เมตร และขึ้นทางลาดชันที่มีมุมเอียง 5 องศา เป็นระยะทาง 10 เมตร จากการศึกษาและทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้น พบว่าสกูตเตอร์ไฟฟ้าควรใช้ฮับมอเตอร์ขนาด 350 วัตต์ เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนเพื่อรองรับน้ำหนักของผู้ใช้งานประมาณ 90 กิโลกรัม และเพื่อให้ได้ความเร็วประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับการเคลื่อนที่ไปบนทางลาดชันที่มีมุมเอียง 5 องศา สกูตเตอร์ไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้นมีน้ำหนักประมาณ 6 กิโลกรัม ในการทดสอบความเร็วของการเคลื่อนที่พบว่าสกูตเตอร์ไฟฟ้าทำความเร็วได้ประมาณ 22 ถึง 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมงสำหรับบนพื้นราบทางตรง ส่วนการเคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นเอียง สกูตเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้ประมาณ 13 ถึง 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของผู้ใช้งาน

คำสำคัญ: สกูตเตอร์ไฟฟ้า, ฮับมอเตอร์, ยานยนต์ไฟฟ้า

Abstract

The aims of this research are to design, build, and test the electric scooter to be used as an alternative for a short distance solo travel and study the relationship between moving speed and total weight in the case of moving along a straight direction on ground level and moving on towards the slope. The research operation has started from studying the component and the electric scooter working principle, resistance forces to movement of the electric scooter. After that, the motor power to propel the electric scooter was calculated for building and testing the electric scooter. To find the speed of the electric scooter, the electric scooter was tested on the 100 meters straight path in length without slope and moving towards a slope that has an angle of 5 degree, 10 meters in length. From the study and testing of the electric scooter, it was found that the electric scooter should use a hub motor of 350 watts to propel the electric scooter in order to support the driver's weight of about 90 kg and is capable of

moving on a slope that has an angle of 5 degree at 10 kilometers per hour. The electric scooter has weight 6 kg. The moving speed test results show that the electric scooter has the speed of about 22 to 25 kilometers per hour in the straightway on ground level. For moving on a slope that has an angle of 5 degree, the electric scooter has a speed of about 13 to 17 kilometers per hour. The speed of the electric scooter depends on the weight of driver.

Keywords: Electric scooter, Hub motor, Electric Vehicle.

บทนำ

ยานพาหนะที่ใช้งานปัจจุบันสำหรับการเดินทางระยะสั้นหรือระยะไกล เช่น รถมอเตอร์ไซค์ รถยนต์ หรือรถประจำทาง ล้วนเป็นยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เกิดมลพิษทางอากาศ รวมถึงการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว พลังงานงานไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้ในการขับเคลื่อนยานพาหนะ เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีต้นทุนที่ต่ำกว่าน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้ปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าได้เริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการใช้งานในชีวิตประจำวัน สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษายานยนต์ไฟฟ้าในรูปแบบของรถมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า รถจักรยานไฟฟ้า รวมถึงสกูตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับคนพิการ ดังแสดงในเอกสารของ ธนันต์ ศรีสกุล, ภมร ศิลาพันธ์ และมนตรี ศิริปรัชญานันท์ (2550) ซึ่งได้ทำการศึกษาสกูตเตอร์ไฟฟ้าที่ดัดแปลงจากรถมอเตอร์ไซค์ทั่วไป โดยได้ใช้ฮับ ดีซี มอเตอร์ (Hub DC motor) ขนาด 36 โวลต์ 12 แอมแปร์ 250 วัตต์ เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อน ติดตั้งในดุมล้อหลัง จากการศึกษาพบว่าสามารถทำความเร็วได้ 30 ถึง 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยความเร็วนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักของผู้ขับขี่ ต่อมา ธนันต์ ศรีสกุล, รังสิมันต์ น้อยเจริญ และมนตรี ศิริปรัชญานันท์ (2552) ได้ทำการศึกษาสเก็ตบอร์ดไฟฟ้า โดยใช้มอเตอร์แบบโซ่ 24 โวลต์ 350 วัตต์ เป็นต้นกำลัง รับน้ำหนักได้ 80 ถึง 150 กิโลกรัม จากการศึกษาพบว่าสเก็ตบอร์ดไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้ 20 ถึง 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับการใช้งานในรูปแบบจักรยานไฟฟ้า กิตติศักดิ์ หมึกแดง และอดิศักดิ์ คามพินิจ (2553) ได้ศึกษารถจักรยานไฟฟ้า 2 ล้อ ขับเคลื่อนด้วยฮับมอเตอร์ 2 ตัว ขนาด 250 วัตต์ 36 โวลต์ โดยรถจักรยานไฟฟ้ามีน้ำหนักของตัวรถรวมกับแบตเตอรี่ 80 กิโลกรัม จากผลการทดสอบการทำงานของรถจักรยานไฟฟ้าที่มีน้ำหนักของผู้ขับขี่ 80 กิโลกรัม สามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 32 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและสามารถไต่ระดับได้ที่ความชัน 20 , 27 และ 32 องศา ในส่วนรถสกูตเตอร์ไฟฟ้าสำหรับคนพิการ หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ (2554) ได้ทำการศึกษารถสกูตเตอร์ไฟฟ้า 4 ล้อ สำหรับผู้ป่วย คนพิการ เหมาะสำหรับผู้ใช้ที่มีน้ำหนักไม่เกิน 100 กิโลกรัม หรือ 200 กิโลกรัม เมื่อรวมกับน้ำหนักของรถ ใช้มอเตอร์แบบมีโซ่ (Chain motor) ขนาด 500 วัตต์ เป็นอุปกรณ์ส่งกำลังขับเคลื่อน แหล่งจ่ายพลังงานใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 2 ก้อน จากการศึกษาของหทัยเทพ พบว่าที่น้ำหนักรวม 150 กิโลกรัม การเคลื่อนที่ในแนวระดับสามารถทำความเร็วได้สูงสุด 6.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่น้ำหนักเดียวกันในการวิ่งทางลาดชัน 15 องศา ความเร็วของรถอยู่ที่ 2.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อน้ำหนักรวมเพิ่มขึ้นความเร็วจะลดลง ปัจจุบันในชั่วโมงเร่งด่วนสำหรับพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น การเดินทางระยะสั้นไม่เกิน 10 กิโลเมตร เช่นการไปและกลับระหว่างบ้านกับสถานที่ทำงานหรือสถานีรถไฟฟ้า รวมถึงป้ายรถเมล์ การใช้สกูตเตอร์ไฟฟ้าแบบยืนบนกระดาน (Razor scooter) เป็นหนึ่งในวิธีการเดินทางที่ได้รับความสนใจ วิธีนี้จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการเดินทางในกรณีที่รถติดบนถนนสายหลักได้ ธนบดี ราชปุม, นครินทร์ เปียนกา และปรัชญาพร ดวงคา (2562) ได้ทำการศึกษาสกูตเตอร์ไฟฟ้า 2 ล้อ แบบพับได้ โดยใช้ฮับมอเตอร์ ขนาด 250 วัตต์ 24 โวลต์ ล้อขับมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว น้ำหนักสกูตเตอร์รวมแบตเตอรี่ 10 กิโลกรัม จากการศึกษาพบว่าสกูตเตอร์ไฟฟ้ารับน้ำหนักได้สูงสุด 85 กิโลกรัม ความเร็วที่เคลื่อนที่ได้เท่ากับ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่เมื่อน้ำหนักรวมลดลงเหลือ 45 กิโลกรัม ความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากการศึกษาเอกสารข้างต้น พบว่ารถสกูตเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทยมีการใช้มอเตอร์ 2 แบบ คือมอเตอร์แบบโซ่ (Chain motor) กับฮับมอเตอร์ (Hub motor) ซึ่งการใช้มอเตอร์แบบโซ่ ต้องใช้โซ่เป็นอุปกรณ์ช่วยส่งกำลังทำให้โครงสร้าง

ของสกูตเตอร์มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก ซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานบนทางเท้าหรือบนถนนที่มีรถติดรวมถึงไม่สะดวกในการพกพาขึ้นรถไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เน้นที่จะศึกษาการออกแบบ สร้างและทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้าสองล้อแบบยืนบนกระดานที่มีน้ำหนักรวมของตัวสกูตเตอร์และแบตเตอรี่รวมไม่เกิน 10 กิโลกรัม และสามารถเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันที่มีมุมเอียง 5 องศา (พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร, 2564) ด้วยความเร็วประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้ฮับมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการขับเคลื่อน สำหรับการเคลื่อนที่ระยะสั้นที่สามารถพกพาได้สะดวก และเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับพัฒนาการใช้สกูตเตอร์ไฟฟ้าต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้าสองล้อแบบยืนบนกระดานที่ใช้ฮับมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังในการขับเคลื่อน

2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการขับเคลื่อนบนพื้นราบและเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันกับน้ำหนักรวมที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ได้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบฮับมอเตอร์ ขนาด 350 W 36 V เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนและมีเส้นผ่านศูนย์กลางล้อเท่ากับ 6.5 นิ้ว

2. การทดสอบได้ทดสอบที่น้ำหนักของสกูตเตอร์ไฟฟ้าและผู้ใช้งานรวมกันไม่เกิน 100 กิโลกรัม โดยสกูตเตอร์ไฟฟ้าที่ออกแบบมีมวลไม่เกิน 10 kg

3. การทดสอบหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของสกูตเตอร์ไฟฟ้าได้ทำการทดสอบบนทางราบตรงที่ระยะ 100 เมตร ส่วนการเคลื่อนที่บนทางลาดชันได้ทดสอบที่มุมเอียงไม่เกิน 5 องศา ระยะทางในการทดสอบ 10 เมตร เท่านั้น

ระเบียบการวิจัย

การศึกษางานวิจัยเรื่อง การออกแบบและทดสอบรถสกูตเตอร์ไฟฟ้าแบบยืนบนบอร์ดสำหรับการเดินทางระยะสั้นคนเดียว ผู้วิจัยได้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ส่วนประกอบและหลักการทำงานของสกูตเตอร์ไฟฟ้า แรงต้านการเคลื่อนที่ของสกูตเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นได้ทำการคำนวณหากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสกูตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปสร้างและทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ส่วนประกอบและหลักการทำงานของสกูตเตอร์ไฟฟ้า

สกูตเตอร์ไฟฟ้าเป็นยานพาหนะที่ไม่ปล่อยมลพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและต่อผู้คน เนื่องจากไม่ต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่ได้ใช้สำหรับการเดินทางระยะทางสั้นหรือปานกลางในตัวเมืองหรือหมู่บ้าน เนื่องจากขับง่าย ราคาถูก สกูตเตอร์ไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลักได้แก่มือจับหรือแฮนด์ พื้นสำหรับเหยียบ ล้อ และระบบไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 1 สำหรับระบบไฟฟ้าของสกูตเตอร์ไฟฟ้าประกอบด้วยแบตเตอรี่ มอเตอร์ ตัวควบคุมมอเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

ภาพที่ 1 สกูตเตอร์ไฟฟ้า

ที่มา: www.mercular.com/ninebot-kickscooter-f30, (2564)

1) ฮับมอเตอร์ (Hub motor) (George Joseph and Vishnu R.Kammath, 2020) มอเตอร์ไฟฟ้าที่นิยมใช้กับสกูตเตอร์ไฟฟ้ามีอยู่ 2 แบบคือ ฮับมอเตอร์ (Hub motor) หรือมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC motor) และมอเตอร์แบบใช้โซ่ (Chain motor) บางครั้งเรียกว่ามอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน (Brushed DC motor) ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยมอเตอร์ทั้งสองแบบเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ซึ่งได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฮับมอเตอร์เพราะระบบของฮับมอเตอร์ในสกูตเตอร์ไฟฟ้านั้นง่ายต่อการติดตั้ง รวมถึงถอดออกจากสกูตเตอร์ได้ง่าย เนื่องจากไม่มีระบบเกียร์และโซ่สำหรับส่งกำลัง ฮับมอเตอร์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแบบซิงโครนัสซึ่งขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรง ภายในมอเตอร์ชนิดนี้มีขดลวดอยู่ 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยขดลวดหลายขดและมีการป้อนกลับของสัญญาณจาก Hall sensor ทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งจะทำงานในระดับต่ำและสูงตามขั้วของแม่เหล็ก โดยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของฮับมอเตอร์จะถูกจ่ายให้กับขดลวดที่อยู่นิ่งในมอเตอร์ ทำให้แม่เหล็กถาวรหมุนโดยที่อาเมเจอร์ยังคงอยู่นิ่ง พลังงานจะถูกถ่ายโอนภายในฮับมอเตอร์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถลดการสัมผัสกันระหว่างชิ้นส่วนที่อยู่กับที่และส่วนที่เคลื่อนไหวเป็นผลให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง แม้ว่าฮับมอเตอร์จะมีราคาแพงกว่ามอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าและใช้งานได้ยาวนานกว่าระบบมอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน

a) ฮับมอเตอร์ (Hub motor) และส่วนประกอบ b) มอเตอร์แบบโซ่ (Chain motor)

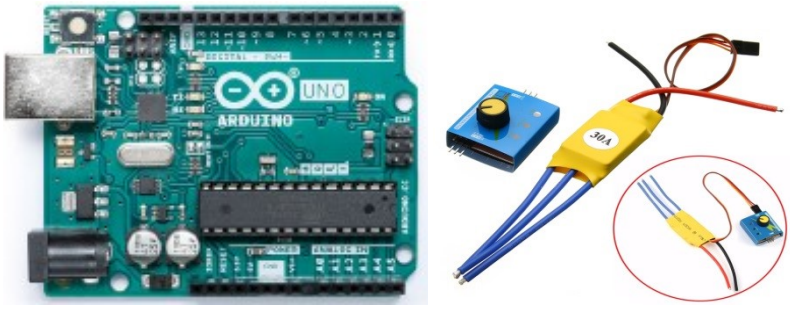
ภาพที่ 2 ฮับมอเตอร์และมอเตอร์แบบโซ่

ที่มา: a) George Joseph and Vishnu R.Kammath, (2020)

b) www.amazon.in/Electric-electric-tricycle-sprocket-eduction/dp/B00SL6012W, (2564)

2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) (Marc Gisbert Juárez, 2019) ในการปรับเปลี่ยนความเร็วของสกูตเตอร์ไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพื่อให้สามารถควบคุมระบบได้ เพื่อให้ระบบควบคุมทำงานได้อย่างสมบูรณ์ บอร์ดวงจร Arduino ได้ถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถประมวลผลของเซ็นเซอร์ทั้งหมดที่ใช้ในสกูตเตอร์ อย่างไรก็ตามการใช้บอร์ดวงจร Arduino อย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอ จึงต้องมีระบบควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์

(Electronic Speed Control, ESC) เพื่อใช้ควบคุมความเร็วของสกูตเตอร์ไฟฟ้าด้วย บอร์วงจร Arduino และชุดควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3

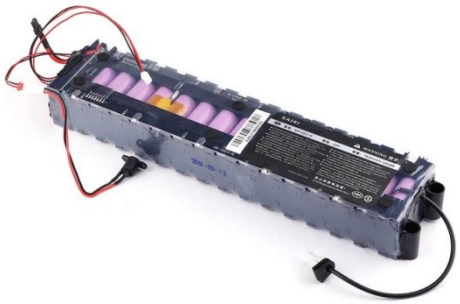


a) บอร์ดวงจร Arduino b) ชุดควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์

ภาพที่ 3 บอร์ดวงจร Arduino และชุดควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: Marc Gisbert Juárez, (2019)

3) แบตเตอรี่ (Battery) (Justin, 2021) แบตเตอรี่ดังแสดงในภาพที่ 4 เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีตั้งแต่หนึ่งเซลล์ขึ้นไป มีจุดต่อภายนอกสำหรับจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า แบตเตอรี่มีหลายชนิด ได้แก่ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรด (lead - acid) แบตเตอรี่แบบแห้ง และแบตเตอรี่แบบลิเธียมไอออนซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในปัจจุบัน แต่มีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่สองชนิดแรกข้างต้น แบตเตอรี่ประเภทลิเธียมไอออนนิยมนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความจุค่อนข้างสูงและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายเช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องมือกล รถวีลแชร์ไฟฟ้า รถจักรยานไฟฟ้า รถไฟฟ้าและรถบัสไฟฟ้า งานวิจัยนี้แบตเตอรี่แบบลิเธียมไอออนขนาด 36 V 10 ah ได้ถูกนำมาใช้กับสกูตเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถชาร์จใหม่ได้ มีความจุไฟฟ้าสูงและมีน้ำหนักเบา ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่สกูตเตอร์ไฟฟ้ามีความคล่องตัวและสะดวกยิ่งขึ้น



ภาพที่ 4 แบตเตอรี่สำหรับสกูตเตอร์ไฟฟ้า

ที่มา: Justin, (2021)

2. ความต้องการพลังงานในการขับเคลื่อนสกูตเตอร์ไฟฟ้า (Thomas D. Gillespie, 2021) เพื่อหากำลังของมอเตอร์ที่นำมาใช้ในการขับเคลื่อนสกูตเตอร์ไฟฟ้า แรงต้านการเคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วย แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling resistance force, F_r) แรงต้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic drag force, F_a) และแรงต้านทางชัน (Gradient resistance force, F_g) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาแรงต้านทานการเคลื่อนที่ทั้งหมด (Total force, F_t) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$F_t = F_r + F_a + F_g \quad (1)$$

เมื่อได้แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมด จะสามารถหากำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนสกูตเตอร์ไฟฟ้าจากสมการที่ 2

$$Power = F_t \times V \quad (2)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ซึ่งมีหน่วยเป็น m/s

1) แรงต้านการหมุนของล้อ เป็นผลเนื่องจากการสัมผัสกันระหว่างยางของสกูตเตอร์ไฟฟ้ากับพื้นถนน สมการที่ใช้คำนวณหาแรงต้านการหมุนของล้อ สามารถหาได้จากสมการที่ 3

$$F_r = C_r \times M \times g \times \cos\theta \quad (3)$$

โดยที่ C_r คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้นถนนซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.004 ในกรณีที่เป็นยางรถจักรยานกับพื้นคอนกรีต (Mahesh S. Khande, Akshay S. Patil, Gaurav C. Andhale, and Rohan S. Shirsat, 2020), M คือมวลรวมของสกูตเตอร์กับผู้ใช้งาน ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 100 kg และ θ คือมุมเอียงระหว่างพื้นกับเส้นทางการเคลื่อนที่ ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5 องศา และ g คือค่าความโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2 จากสมการที่ 3 สามารถหาค่าแรงต้านการหมุนของล้อได้เท่ากับ 3.9 N

2) แรงต้านอากาศพลศาสตร์ เป็นแรงที่เกิดจากสกูตเตอร์เคลื่อนที่ผ่านอากาศด้วยความเร็ว แรงต้านอากาศพลศาสตร์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดและรูปทรงของยานพาหนะ แรงต้านอากาศพลศาสตร์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$F_a = 0.5 \times C_d \times A_f \times \rho_{air} \times V^2 \quad (4)$$

โดยที่ C_d คือค่าสัมประสิทธิ์การฉุดอากาศพลศาสตร์ ในกรณีที่เป็นรถสกูตเตอร์ ให้มีค่าเท่ากับ 0.7 (Ji-Young Lee, Byung-Chul Woo, Jong-Moo Kim and Hong-Seok Oh, 2017), ρ_{air} คือค่าความหนาแน่นของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.18 kg/m^3 ที่ 25 $^\circ$, V คือความเร็วในการเคลื่อนที่ มีค่าเท่ากับ 3 เมตรต่อวินาที หรือประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับการรับน้ำหนักรวมที่ใช้ในการออกแบบ 100 kg และ A_f คือพื้นที่หน้าตัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.8 x H x W (ธีระยุทธ, 2556) โดยที่ H คือความสูง และ W คือความกว้าง ทั้งนี้กำหนดให้ความสูงและความกว้างของผู้ใช้สกูตเตอร์ เท่ากับ 1.8 m และ 0.5 m ตามลำดับ จากสมการที่ 4 เมื่อแทนค่าต่าง ๆ สามารถหาแรงต้านอากาศพลศาสตร์ได้เท่ากับ 2.7 N

3) แรงต้านทางชัน เป็นแรงที่สกูตเตอร์ไฟฟ้าใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชัน แรงต้านทางชันสามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$F_g = M \times g \times \sin\theta \quad (5)$$

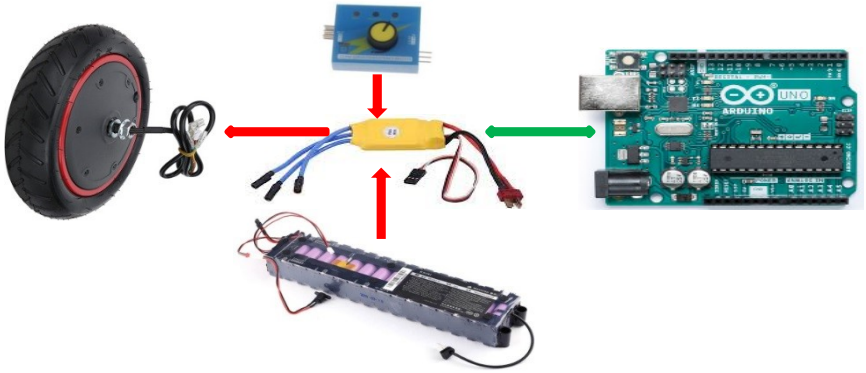
จากสมการที่ 5 เมื่อแทนค่า M และ ค่า g รวมถึงค่า θ ตามเงื่อนไขข้างต้น สามารถคำนวณหาค่าแรงต้านทางชันได้เท่ากับ 85.5 N จากผลการคำนวณหาค่าแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศพลศาสตร์ และแรงต้านทางชัน เมื่อนำค่าต่าง ๆ เหล่านี้ไปแทนในสมการที่ 1 สามารถหาค่าแรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดได้เท่ากับ 97.1 N และสามารถหาค่ากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสกูตเตอร์ไฟฟ้าตามสมการที่ 2 ได้เท่ากับ 291.3 W ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 350 W เป็นมอเตอร์ต้นกำลัง เนื่องจากได้คิดประสิทธิภาพการใช้งานของมอเตอร์ไว้ที่ 80 เปอร์เซ็นต์

3. การสร้างสกูตเตอร์ไฟฟ้า

ในการสร้างสกูตเตอร์ไฟฟ้า ส่วนประกอบทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ชุดเร่งแบบวอลุมและแบตเตอรี่จะถูกต่อเชื่อมต่อกับชุด ESC ด้านหนึ่ง ส่วนอีกด้านของชุด ESC จะถูกต่อเข้ากับมอเตอร์ ดังนั้นเมื่อผู้ใช้ต้องการขับสกูตเตอร์ให้เร็วขึ้น สามารถทำได้โดยปรับชุดเร่งแบบวอลุม และชุดเร่งนี้จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นผ่านชุดควบคุมความเร็วหรือ ESC

2) ชุด ESC และชุดไมโครคอนโทลเลอร์ Arduino จะถูกต่อเข้าด้วยกันเพื่อส่งข้อมูลให้กันและกัน ชุด ESC จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับบอร์ดวงจร Arduino เพื่อประมวลผลข้อมูลของชุดเร่งและควบคุมมอเตอร์ ในทางกลับกัน Arduino จะต้องเชื่อมต่อกับชุด ESC เพราะชุด ESC จะให้พลังงานจากแบตเตอรี่กับบอร์ดวงจร Arduino สกูตเตอร์ไฟฟ้าที่สร้างสำหรับใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักประมาณ 6 กิโลกรัม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งรายละเอียดส่วนประกอบหลักมีดังนี้ (1) โครงสร้างทำจากเหล็กกล่องหน้าตัด 1นิ้ว x นิ้ว และเหล็กเพลากลมกลวงขาด 6 หุน และเหล็กแผ่นหนา 3 mm น้ำหนักรวม 1.5 kg (2) ล้อหลังซึ่งเป็นฮับมอเตอร์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 นิ้ว 350 W 36 V น้ำหนัก 2.1 kg (3) ล้อหน้าซึ่งเป็นล้อฟรี เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว น้ำหนัก 0.6 kg (4) ชุดแบตเตอรี่ 36 V 10 ah และสายชาร์จแบตเตอรี่ น้ำหนัก 1.6 kg (5) ชุด ESC และอุปกรณ์ปรับความเร็ว น้ำหนัก 0.05 kg



ภาพที่ 5 โครงร่างการต่ออุปกรณ์การทำงานของสกูตเตอร์ไฟฟ้า

a) สกูตเตอร์ทั้งคัน b) ล้อหน้ากับระบบพับ (บน) และล้อขับเคลื่อน (ล่าง)

ภาพที่ 6 สกูตเตอร์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสำหรับการทดสอบ

วิธีการทดลอง

การทดสอบสกูตเตอร์ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเร็วสูงสุดที่สกูตเตอร์ไฟฟ้าทำได้เมื่อน้ำหนักรวมของผู้ใช้งานและสกูตเตอร์ไฟฟ้าเท่ากับ 65, 80 และ 100 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยทำการทดสอบทางตรงในแนวระดับและการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันที่มีมุมเอียง 5 องศา สำหรับการทดสอบการเคลื่อนที่ทางตรงในแนวระดับได้ให้สกูตเตอร์เคลื่อนที่เป็นทางตรงระยะทาง 100 เมตร ในส่วนของการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันได้ใช้ระยะทาง 10 เมตร จากนั้นทำการจับเวลาที่สกูต

เตอร์เคลื่อนที่ได้เพื่อคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของสกูตเตอร์ไฟฟ้า สำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อหาความเร็วของสกูตเตอร์นั้นได้ทำการทดสอบซ้ำจำนวน 4 ครั้ง ในแต่ละเงื่อนไข แล้วนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

จากการทดสอบและเก็บข้อมูลเวลาในการเคลื่อนที่ของสกูตเตอร์ไฟฟ้าบนทางราบตรงเป็นระยะทาง 100 เมตร และเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน 5 องศา เป็นระยะทาง 10 เมตร ที่น้ำหนักรวมต่าง ๆ กัน สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

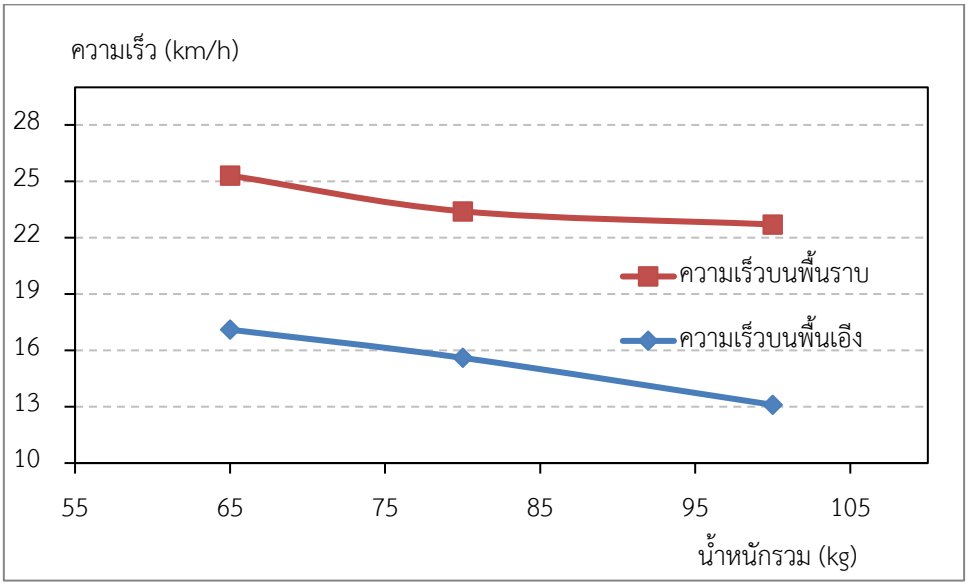
ตารางที่ 1 เวลาในการเคลื่อนที่บนทางราบตรงระยะทาง 100 เมตร

มวลรวม (kg)	เวลาในการเคลื่อนที่ (s)				เวลาเฉลี่ย (s)	ความเร็ว	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		(m/s)	(km/h)
65	14.3	13.9	15.1	13.5	14.20	7.04	25.34
80	15.2	15.7	14.8	15.4	15.27	6.54	23.54
100	15.8	16.4	15.4	15.7	15.82	6.32	22.75

ตารางที่ 2 เวลาในการเคลื่อนที่ขึ้นบนทางชัน 5 องศา ระยะทาง 10 เมตร

มวลรวม (kg)	เวลาในการเคลื่อนที่ (s)				เวลาเฉลี่ย (s)	ความเร็ว	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4		(m/s)	(km/h)
65	2.1	2.1	2.1	2.0	2.07	4.83	17.38
80	2.3	2.4	2.3	2.3	2.32	4.31	15.51
100	2.7	2.8	2.7	2.8	2.75	3.63	13.06

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของสกูตเตอร์ไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นการแสดงผลการทดสอบหาความเร็วในการเคลื่อนที่ของสกูตเตอร์ไฟฟ้าที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบในกรณีที่วิ่งบนพื้นราบทางตรงและเคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นเอียงที่มีความชัน 5 องศา ที่น้ำหนักของผู้ใช้งานต่าง ๆ กัน จากรูปที่ 7 พบว่า การวิ่งบนทางราบตรง สกูตเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้สูงสุดประมาณ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่น้ำหนักของผู้ใช้งานประมาณ 60 กิโลกรัม เมื่อน้ำหนักของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นความเร็วของการเคลื่อนที่ได้จะลดลง เมื่อผู้ใช้งานมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 75 และ 95 กิโลกรัม ความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ลดลงเหลือประมาณ 23 และ 22 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นนั้นได้ทำให้แรงต้านการหมุนของล้อเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่นั้นลดลง และการที่สกูตเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้สูงในกรณีที่เคลื่อนที่บนทางราบเนื่องจากไม่มีแรงต้านทางชันในการเคลื่อนที่ซึ่งทำให้แรงต้านการเคลื่อนที่น้อยลง ส่วนการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันที่มีมุมเอียง 5 องศา สกูตเตอร์ไฟฟ้ามีความเร็วลดลงมากเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ในแนวราบ ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นเอียงหรือทางลาดชัน แรงต้านการเคลื่อนที่จะเพิ่มขึ้นเนื่องมีแรงต้านทางชันซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่เกิดขึ้น และเมื่อน้ำหนักของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นความเร็วของสกูเตอร์ไฟฟ้าที่ได้นั้นจะลดลงไปด้วย ซึ่งจากผลการทดสอบการเคลื่อนที่ไปบนพื้นเอียง พบว่าเมื่อผู้ใช้งานมีน้ำหนักประมาณ 60, 75 และ 95 กิโลกรัม ความเร็วของสกูตเตอร์ไฟฟ้ามีค่าประมาณ 17, 15 และ13 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมกับความเร็วในการเคลื่อนที่

สรุปผลการทดสอบ

จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบ สกูตเตอร์ไฟฟ้าแบบยืนบนกระดานสำหรับใช้ในการเดินทางระยะสั้นคนเดียว เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมของผู้ใช้งานและสกูตเตอร์ไม่เกิน 100 กิโลกรัม กับความเร็วที่สกูตเตอร์เคลื่อนที่ได้ ทั้งในการเคลื่อนที่ในแนวราบและการเคลื่อนที่ขึ้นบนทางลาดชัน จากการศึกษาและทดสอบ พบว่าสกูตเตอร์ไฟฟ้าควรใช้ฮับมอเตอร์ขนาด 350 วัตต์ เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนเพื่อรองรับน้ำหนักของผู้ใช้งานประมาณ 90 กิโลกรัมและเพื่อให้ได้ความเร็วประมาณ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมงสำหรับการเคลื่อนที่ไปบนทางลาดชันที่มีมุมเอียง 5 องศา สำหรับสกูตเตอร์ที่ได้สร้างขึ้นสำหรับการทดสอบครั้งนี้มีน้ำหนักประมาณ 6 กิโลกรัม ในส่วนการทดสอบความเร็วของสกูตเตอร์ไฟฟ้า พบว่าสกูตเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้ประมาณ 22 ถึง 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมงสำหรับบนพื้นราบ ส่วนการเคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นเอียง สกูตเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้ประมาณ 13 ถึง 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของผู้ใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

กิตติศักดิ์ หมึกแดง และอดิศักดิ์. (2553). รถจักรยานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วย Brushless DC Motor 2 ตัว. (ปริญญานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธนบดี ราชปุม, นครินทร์ เปียนกา และ ปรัชญาพร ดวงคา. (2562). การออกแบบพาหนะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดพกพาด้วยการพับแบบเลื่อนเก็บ. วารสารการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 6 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 1, วันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 จังหวัดปทุมธานี จัดโดยมหาวิทยาลัยปทุมธานี, 271 – 275.

ธนันต์ ศรีสกุล , ภมร ศิลาพันธ์ และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์. (2550). รถสกูตเตอร์ไฟฟ้ากับการใช้งานอีกรูปแบบหนึ่งในปัจจุบัน. วารสาร WHAT THAI Electronics, 2(5), 58 – 62.

ธนันต์ ศรีสกุล, รังสิมันต์ น้อยเจริญ และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์. (2552). รถสเก็ตบอร์ดไฟฟ้า I. วารสาร WHAT THAI Electronics, 4(41), 114 – 119.

ธีระยุทธ สุวรรณประทีป. (2556). วิศวกรรมยานยนต์ (พิมพ์ครั้งที่ 13). น. 35. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์วิทยพัฒน์, บจก.

พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร. (2564). กฎกระทรวง เรื่องกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกในอาคาร สำหรับผู้พิการหรือทุพพลภาพ และคนชรา พ.ศ. 2548. สืบค้น 1 กันยายน พ.ศ. 2564, จาก https://download.asa.or.th/03media/04law/cba/mr/mr48-58e-upd(02).pdf

มอเตอร์แบบโซ่ [รูปภาพ]. (2564). สืบค้น 1 กันยายน พ.ศ. 2564, จาก www.amazon.in/Electric-electric-tricycle-sprocket-eduction/dp/B00SL6012W

สกูตเตอร์ไฟฟ้า [รูปภาพ]. (2564). สืบค้น 1 กันยายน พ.ศ. 2564, จาก www.mercular.com/ninebot-kickscooter-f30

หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2554).รถสกู๊ตเตอร์ไฟฟ้าอเนกประสงค์. วารสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, วันที่ 19-21 ตุลาคม พ.ศ. 2554 จังหวัดกระบี่ จัดโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

George Joseph and Vishnu R.Kammath, (2020). Study on Hub Motor & Design of Uni-Wheel Bike. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 9(8), 7524 – 7531. สืบค้น 1 กันยายน พ.ศ. 2564, จาก www.ijirset.com/upload/2020/august/111_STUDY_NC.PDF

Ji-Young Lee, Byung-Chul Woo, Jong-Moo Kim and Hong-Seok Oh. (2017). In-wheel Motor Design for an Electric Scooter. Journal of Electrical Engineering Technoloy, 12(6), 2307 - 2316. DOI:10.5370/JEET.2017.12.6.2307

Justin. (2021). Technical Guide: Electric Scooter Batteries. สืบค้น 1 กันยายน พ.ศ. 2564, จาก https://electric-scooter.guide/guides/electric-scooter-batteries/

Mahesh S. Khande, Akshay S. Patil, Gaurav C. Andhale, and Rohan S. Shirsat. (2020). Design and Development of Electric scooter. International Research Journal of Engineering and Technology, 7(5), 359 – 364. สืบค้น 1 กันยายน พ.ศ. 2564, จาก https://www.irjet.net/archives/V7/i5/IRJET-V7I578.pdf

Marc Gisbert Juárez. (2019). Design of an urban electric scooter. (Final Degree Project Engineering Degree in Industrial Technologies). Escola Tècnica Superiord'Enginyeria Industrial de Barcelona. สืบค้น 1 กันยายน พ.ศ. 2564, จาก https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/173440/design-of-an-urban-electric-scooter-marc-gisbert-ju-rez.pdf

Thomas D. Gillespie. (2021). Fundamentals of Vehicle Dynamics, Revised Edition. pp 67-99. Warrendale, PA: Publisher: Society of Automotive Engineers.