

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การออกแบบและพัฒนารถสามล้อไฟฟ้าระบบมอเตอร์ขับเคลื่อน

จักรมาส เลหาวิช* นุชิดา สุวแพทย์ และ ชลธิ์ โพธิ์ทอง

หน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

รับบทความ 25 มิถุนายน 2564 แก้ไขบทความ 16 มีนาคม 2565 ตอรับบทความ 4 เมษายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนารถสามล้อสกายแลป เป็นรถดัดสามล้อดัดแปลงติดตั้งเครื่องยนต์ของรถมอเตอร์ไซด์ รถประเภทนี้มีใช้งานทั่วไปในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ใช้สำหรับการขนส่งผลผลิตทางการเกษตรจากฟาร์มไปจำหน่ายที่ตลาด นอกไปจากนั้นยังใช้ในการรับจ้างทั่วไปในระยะทางที่ใกล้ๆ การดำเนินนี้เป็นการพัฒนาให้เป็นรถไฟฟ้าต้นแบบที่มีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังแทนการใช้เครื่องยนต์ รถไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ออกแบบมีขนาดความกว้าง 1.25 เมตร ความยาว 3.00 เมตร และความสูง 1.94 เมตร มุมแคสเตอร์ล้อหน้าเท่ากับ 20 องศา ระบบต้นกำลังประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาด 4 กิโลวัตต์ 48 โวลต์ จำนวน 2 ตัว แบตเตอรี่ขนาด 80 แอมป์ชั่วโมง แรงดัน 12 โวลต์ แบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดละ 4 ลูก ต่ออนุกรมขนาด 48 โวลต์ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละตัว มอเตอร์ไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว สามารถสลับการทำงานและทำงานร่วมกันได้ ขึ้นอยู่กับภาระโหลดใช้งาน ระบบส่งกำลังมีอัตราทดเท่ากับ 6.5 : 1 จากการทดสอบสมรรถนะ พบว่าในสภาวะบรรทุกน้ำหนัก สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุด 500 กิโลกรัม ระยะทางสูงสุดต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง คือ 40 กิโลเมตร ความเร็วสูงสุดเท่ากับ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถออกตัวบนทางชันได้ 15 องศา โดยมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าประมาณ 1.03 บาทต่อกิโลเมตรเมื่อบรรทุกเต็มพิกัด

คำสำคัญ : รถสามล้อไฟฟ้า; สกายแลป; ระบบมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 1544 4408, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: juckamas.l@msu.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Design and Development of Electric Tricycle with Dual Motor Drive System

Juckamas Laohavanich* Nuchida Suwapaet² and Chonlatee Photong

Post-Harvest Technology and Agricultural Machinery Engineering Research Unit

Faculty of Engineering, Mahasarakham University

41/20 Khamriang Sub-District, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150

Received 25 June 2021; Revised 16 March 2022; Accepted 4 April 2022

Abstract

This research is the design and development of Skylab tricycles. It is a modified tricycle equipped with a motorbike engine. This type of vehicle is generally used in the northeastern region of Thailand, used for transporting agricultural products from the farm to the market. In addition, it is also used for general contracting in a short distance. This study was to develop a prototype electric vehicle with an electric motor as a power source instead of an engine. An electric motor was used as driving power instead of an engine. The prototype is 1.25 m wide, 3 m long, and 1.94 m high. The front wheel caster angle is 20°. The driving power system consists of two 4kW-48V-DC electric motors, two sets of four 12V-80Ah batteries connected in series (48V) for each motor and one 12V-68Ah battery for powering other electrical equipment. Two electric motors could work alternately or work together depending on load. The transmission system has a 6.5 gear ratio. In performance tests with loads, it could carry up to 500 kg, traveled 40 km on a single charge at a maximum speed of 50 km/h and could start on a 15° slope. The electricity consumption rate is about 1.03 baht per kilometer when fully loaded.

Keywords : Electric Tricycle; Skylab; Dual Motor Drive System

* Corresponding Author. Tel.: +668 1544 4408, E-mail Address: juckamas.l@msu.ac.th

1. บทนำ

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles, EVs) ได้รับความคาดหวังว่าจะมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต [1] ด้วยข้อได้เปรียบด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีกว่ารถเครื่องยนต์สันดาปภายในถึง 3 เท่า [2] ทั้งยังช่วยลดการปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคขนส่งได้ จึงทำให้รถยนต์ไฟฟ้าถูกคาดการณ์ว่าจะมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต ซึ่งพบว่าส่วนหนึ่งเกิดจากการนำยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงมาดัดแปลงใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานทดแทน โดยเฉพาะยานยนต์ขนาดเล็ก เช่น มอเตอร์ไซด์ และรถสามล้อเครื่อง ที่ได้มีการดัดแปลงสร้างเป็นรถจักรยานไฟฟ้า รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และรถซาเล้งไฟฟ้า ออกมาใช้งานในหลายรูปแบบและมีใช้งานในหลายประเทศ รวมถึงในประเทศไทย ซึ่งมีการนำรถดัดแปลงมาใช้งานแพร่หลายมากขึ้น [3] ซึ่งการใช้งานรถมอเตอร์ไซด์ไฟฟ้าไม่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน จึงช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้งาน [4], [5]

ตัวอย่างผลการศึกษาในประเทศเยอรมัน [6] เกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการพัฒนาด้านการตลาดของยานยนต์ไฟฟ้าพบว่ายานยนต์ไฟฟ้ามีศักยภาพในการแทนที่ได้ถึง 1 ใน 3 ของยานยนต์น้ำมัน โดยยานยนต์ที่จะถูกแทนที่ได้แก่ รถยนต์ขนาดกลางที่ใช้ทั่วไปทั้งแบบส่วนตัวและแบบธุรกิจ นอกจากนี้ ยานยนต์ไฟฟ้ายังมีศักยภาพในการแทนที่ได้ทั้งรถยนต์ใช้น้ำมัน ดีเซลและน้ำมันเบนซิน ซึ่งหลังจากปี 2025 น้ำมันเชื้อเพลิงแบบเบนซินจะถูกแทนที่ในวงกว้างก่อน แล้วจึงตามด้วยแบบดีเซล สำหรับในเชิงนโยบาย ผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ไม่ควรมุ่งเป้าไปที่การส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าในเขตเมืองเท่านั้น ในชนบทหรือแม้แต่ท้องที่ห่างไกล ล้วนมีศักยภาพเช่นกัน การสร้างโครงสร้างพื้นฐานให้ครอบคลุมทุกพื้นที่จะส่งเสริมให้เกิดการใช้งาน นอกจากนี้ นโยบายด้านภาษีก็เป็นสิ่งจำเป็น ทั้งในมิติของผู้ผลิตและผู้บริโภค

สำหรับในประเทศไทย มาตรการผลักดัน “ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle)” ของรัฐบาลถือเป็นหนึ่งใน “วาระแห่งชาติ” ที่จะปฏิวัติวงการยานยนต์ไทย [7] โดยประเทศไทยมีแผนจะลดก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 20-25 ภายในปี พ.ศ. 2573 โดยจะหันมาส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบขนส่งของประเทศ รวมทั้ง “นวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้า” หรืออุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ (Next-generation Automotive) เป็น 1 ใน 10 อุตสาหกรรมเป้าหมายที่รัฐบาลให้การส่งเสริมอย่างจริงจัง ยานยนต์ไฟฟ้าจะเป็นคลื่นลูกแรกในการปฏิวัติอุตสาหกรรมรถยนต์ คลื่นลูกที่สองคือ ยานยนต์ไร้คนขับที่ขับเคลื่อนอัตโนมัติ

ในปี พ.ศ. 2560 สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย โดย ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์ และคณะ [8] ร่วมกับ บริษัท ดั๊กดัก 1999 จำกัด ได้พัฒนารถดั๊กดักไฟฟ้าดัดแปลง เพื่อเป็นทางเลือกในการใช้งานเป็นรถขนส่งสาธารณะ โดยทำการพัฒนาให้เป็นไปตามประกาศกรมการขนส่งทางบก ที่กำหนดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ. 2560 โดยมีรายละเอียดของมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งจะต้องมีกำลังพิกัด (Rated Power) ไม่น้อยกว่า 4 กิโลวัตต์ และสามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่มีน้ำหนักรวมน้ำหนักบรรทุก (Gross Vehicle Weight) ได้ต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ปัจจุบันสามารถจดทะเบียนกับกรมการขนส่งทางบก และใช้งานจริงได้แล้ว ซึ่งเหมาะสมสำหรับใช้งานในเขตเมืองเป็นหลัก

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย รถสามล้อเครื่องหรือที่นิยมเรียก “รถสกายแลป” เป็นชื่อเรียกของรถจักรยานยนต์ดัดแปลงประเภทหนึ่งที่ใช้ประชาชนในชนบทหรือจังหวัดหัวเมืองนิยมมีความใช้ในชีวิตประจำวัน [9] รถสามล้อสกายแลป ถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2519 สามล้อเครื่องแบบใหม่เริ่มเป็นที่

นิยมอย่างรวดเร็วในเขตพื้นที่จังหวัดอุดรธานี และจังหวัดอื่นๆ เนื่องจากราคาไม่สูงมาก สามารถนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันได้ โดยเฉพาะผู้ที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม พ่อค้าแม่ค้า หรืออาชีพรับจ้างทั่วไป โดยใช้ในการขนส่งของไปรษณีย์ หรือใช้เพื่อขนส่งสินค้าไปขายที่ตลาด รวมถึงใช้ในการรับจ้างทั่วไป โดยรถสามล้อสกยาแลปนั้นได้นำเครื่องยนต์มาดัดแปลงติดตั้งในรถสามล้อถีบ เพื่อใช้เป็นต้นกำลังแทนการปั่นด้วยแรงคน และต่อมาได้พัฒนารูปแบบโครงสร้างของรถด้านหลังเป็นกระบะทำให้สามารถรับผู้โดยสารหรือบรรทุกสิ่งของได้ปริมาณมากขึ้น โดยขนาดของเครื่องยนต์รถสกยาแลปจะอยู่ระหว่าง 90 -150 cc.

รถสกยาแลปที่พัฒนาใช้งานกันในปัจจุบันนั้นมีความกำลังในการขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์เบนซิน มีรูปแบบการส่งกำลังระบบโซ่และเฟืองไปยังเพลาขับที่ล้อหลังโดยตรง ต่อมา มีการนำชุดเฟืองท้ายมาติดตั้งทำให้สามารถขับเคลื่อนได้ดียิ่งขึ้นอย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวยังพบปัญหาในการใช้งานเกี่ยวกับ เสียงดังจากเครื่องยนต์และระบบไอเสีย ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยเฉพาะที่หากราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะพัฒนาระบบมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นต้นกำลังทดแทน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและพัฒนารถสกยาแลปไฟฟ้าต้นแบบ รวมทั้งทดสอบสมรรถนะ เพื่อให้ได้รถสกยาแลปไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงาน สามารถนำมาทดแทน รถสกยาแลปที่ใช้เครื่องยนต์ได้ต่อไปในอนาคต

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการออกแบบและพัฒนา รถสามล้อสกยาแลปขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า โดยเลือกรถสามล้อสกยาแลปของบริษัท อธิพงษ์มอเตอร์ จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายรายใหญ่ของประเทศมา

เป็นรถต้นแบบในการพัฒนา โดยมีมิติของตัวรถมีขนาด 1190x3050x1950 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง) (รูปที่ 1)

การออกแบบและพัฒนารถสามล้อสกยาแลปจากพื้นฐานรถสามล้อสกยาแลปของบริษัท อธิพงษ์มอเตอร์ จำกัด มีขั้นตอนและวิธีการทางวิศวกรรม [10] , [11] รวมถึงนำข้อกำหนดของ กรมการขนส่งทางบกที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา [12] ประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่อง กำหนดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ. 2563 โดยมีสาระสำคัญเกี่ยวกับรถประเภทสามล้อ ตาม ข้อ 5 “รถยนต์รับจ้างสามล้อและรถยนต์สามล้อส่วนบุคคลที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าต้องมีกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 4 กิโลวัตต์ และสามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง” และข้อ 7 “มอเตอร์ไฟฟ้าของรถตามข้อ 3 ข้อ 4 ข้อ 5 และข้อ 6 ต้องสามารถขับเคลื่อนรถในขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกรวม น้ำหนักบรรทุก (Gross Vehicle Weight) ตามที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยความเร็วสูงสุด ตามที่กำหนดในประกาศนี้ ได้ต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที” มาเป็นเกณฑ์ในการออกแบบซึ่งมีการดำเนินการประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างตัวถังและวิเคราะห์วิเคราะห์ความแข็งแรง การออกแบบระบบไฟฟ้าและระบบส่งกำลัง สร้างรถต้นแบบ ก่อนทำการทดสอบสมรรถนะการขับขี่

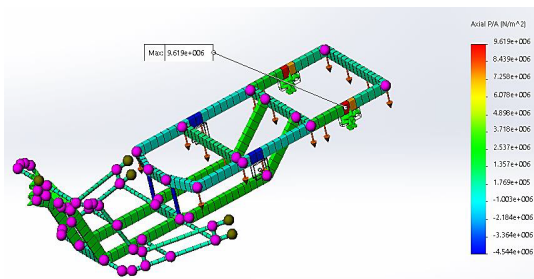


รูปที่ 1 รถสามล้อสกยาแลปรุ่นเพชรอุดรของบริษัท อธิพงษ์มอเตอร์ จำกัด

2.1 การออกแบบโครงสร้างตัวถังและวิเคราะห์ความแข็งแรง

ในการออกแบบโครงสร้างการรองรับน้ำหนัก ผู้วิจัยนำโครงสร้างของรถสามล้อสกายแลปได้ใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks Simulation เพื่อทดสอบค่าความปลอดภัย การใช้งานในแบบภาระงานสถิตย์ (Static Load) ดังแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ตามรูปที่ 2 ผลลัพธ์ Stress ที่จะแสดงออกมาเป็นค่า Von Mises Stress เพื่อหาว่าชิ้นงานได้รับความเค้นรวมเท่าใด โดยปกติจะใช้ค่านี้มาเปรียบเทียบกับค่า Yield Stress ของวัสดุเพื่อดูว่าชิ้นงานเสียหายหรือไม่ โดยถ้าค่า Maximum Von Mises Stress มากกว่า Yield ก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหายต้องทำการแก้ไขการออกแบบ [16] โดยวัสดุที่เลือกใช้คือ เหล็ก AISI 1020 ที่มีค่า โดยมีค่าความเค้นที่เกิดจากแรงแนวแกน ความเค้นที่เกิดจากแรงเฉือน และความเค้นที่เกิดจากแรงบิดกระทำกับโครงสร้าง คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ประกอบโครงสร้างมีการกำหนดค่าการทดสอบด้วยรูปแบบการทดสอบแบบ Linear Elastic Isotropic กำหนดค่า

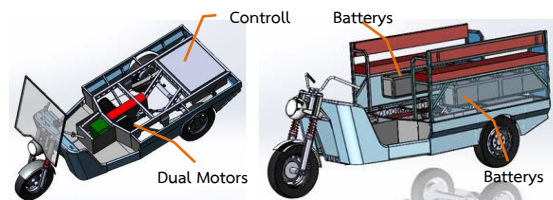
- Yield Strength 282.69 เมกะปาสคาล
- Tensile strength 585.00 เมกะปาสคาล
- โมดูลัสของยัง 204.90 จิกะปาสคาล
- อัตราส่วนปัวซอง 0.29
- โมดูลัสของแรงเฉือน 79.99 จิกะปาสคาล
- สปส.การขยายตัว 1.1×10^{-5} เคลวิน⁻¹



รูปที่ 2 แสดงการออกแบบเพื่อทดสอบหาค่าความปลอดภัยแบบภาระงานสถิตย์

2.2 การออกแบบโครงสร้างตัวถังตัวถังและระบบส่งกำลัง

ในส่วนการกระจายน้ำหนัก เนื่องจากผู้วิจัยได้ออกแบบให้รถไฟฟ้าต้นแบบสามารถรับผู้โดยสารได้ 6 คน และด้านหลังของผู้ขับรถจะเป็นพื้นที่ว่างไว้สำหรับเก็บสัมภาระ มีทางขึ้นทางด้านหลังของตัวรถ ดังนั้นเพื่อให้มีตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงรถที่เหมาะสมกับรูปลักษณะภายนอก ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบจัดวางแบตเตอรี่จำนวน 4 ลูกติดตั้งไว้ที่ด้านซ้ายของรถ และอีก 4 ลูกติดตั้งทางด้านขวาของรถ ตรงกลางระหว่างแบตเตอรี่ทั้งสองด้านจะติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า 2 ชุดคู่กัน และปรับตั้งมุมแคสเตอร์ใหม่ เพื่อให้ผู้ขับสามารถบังคับทิศทางรถได้ง่ายขึ้น และลดปัญหาการสับตัวของล้อหน้า ดังแสดงในรูปที่ 3

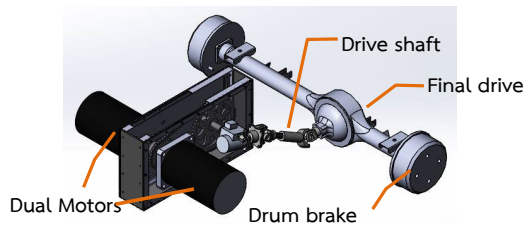


รูปที่ 3 รูปแบบการติดตั้งกล่องควบคุมระบบมอเตอร์ขับเคลื่อนและการจัดวางแบตเตอรี่

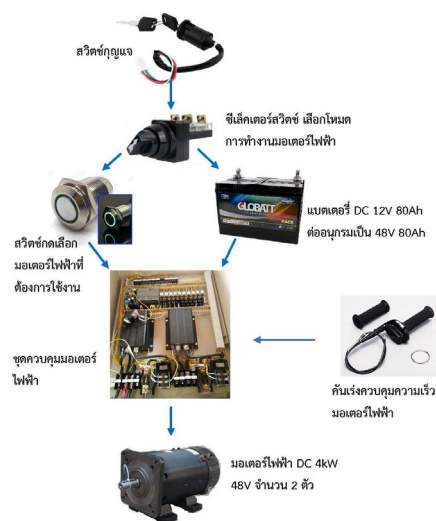
ในการออกแบบระบบส่งกำลัง จะติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าหนึ่งตัวอยู่ทางด้านซ้ายและอีกหนึ่งตัวอยู่ทางด้านขวา เพื่อกระจายน้ำหนักแต่ละด้านให้เท่า ๆ กัน โดยต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้าทั้งสองตัว จะมีลักษณะการทำงานอยู่ 2 แบบ คือ มอเตอร์ไฟฟ้าทั้ง 2 ตัว ทำงานร่วมกัน เพื่อเสริมกำลัง เมื่ออยู่ในสถานะที่มีน้ำหนักบรรทุก และสามารถสลับการทำงานได้ ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเพียงหนึ่งตัวทำงาน ในขณะที่อีกหนึ่งตัวถูกปิดใช้งาน โดยใช้ลูกปืนวันเวย์เข้ามาช่วยให้มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสลับการทำงานได้ โดยที่ไม่เกิดการหน่วงของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกปิดใช้งาน กำลังที่ถูกส่งจากมอเตอร์

ไฟฟ้าผ่านโซ่สูกียร์บ็อก แล้วส่งไปที่เพลากลาง เพลาท้ายไปจนถึงล้อ ดังแสดงในรูปที่ 4

การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อเปิดสวิตช์จะสามารถเลือกโหมดการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 โหมด คือ ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเองโดยสามารถเลือกให้มอเตอร์ชุดใดชุดหนึ่งทำงานหรือให้ทำงานพร้อมกันจากการกดปุ่ม และโหมดมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานอัตโนมัติโดยเลือกมอเตอร์ชุดใดชุดหนึ่ง เป็นตัวหลักแล้วเมื่อรถมีกำลังไม่พอหรือมีการป้อนกระแสไฟเข้ามอเตอร์เกินค่าที่ตั้งไว้ มอเตอร์อีกชุดจะทำงานร่วมกันโดยอัตโนมัติเพื่อเสริมกำลังขับเคลื่อน การทำงานเริ่มจากบิดคันเร่ง โดยส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังชุดควบคุมความเร็วเพื่อป้อนกระแสจากแบตเตอรี่ไปยังมอเตอร์ไฟฟ้า [3] , [13] ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 ระบบส่งกำลังแบบมอเตอร์คู่โดยใช้ลูกปืนวันเวย์เข้ามาช่วยให้มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสลับการทำงานได้



รูปที่ 5 ระบบส่งกำลังแบบมอเตอร์คู่โดยใช้ลูกปืนวันเวย์เข้ามาช่วยให้มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสลับการทำงานได้

ในการออกแบบระบบต้นกำลังได้คำนวณหา กำลังมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับการขับเคลื่อนโดยรถไฟฟ้า จะต้องสามารถเอาชนะแรงต้านอากาศ แรงต้านจากแรงโน้มถ่วงของโลก และแรงต้านการหมุนของล้อขับเคลื่อนได้ โดยได้มีการคำนวณขนาดของต้นกำลังในกรณีเมื่อมีการบรรทุกได้ ซึ่งมีตัวแปรที่กำหนดสำหรับการคำนวณ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ แรงบิดและกำลังที่ต้องการในการเคลื่อนที่ได้ดังนี้ [3], [14]

F_R = แรงต้านการหมุนกลิ้ง (นิวตัน)

F_L = แรงต้านทานจากลม (นิวตัน)

F_S = แรงไถทางลาดชัน (นิวตัน)

F_W = แรงต้านการเคลื่อนที่รวม (นิวตัน)

P_W = กำลังงานรวมจากการต้านทานการเคลื่อนที่ (วัตต์)

P_m = กำลังของมอเตอร์ต้นกำลังรวม (วัตต์)

T_W = แรงบิดจากการต้านทานการเคลื่อนที่รวม (นิวตัน-เมตร)

G_R = อัตราทดรวมของระบบขับเคลื่อน

v = ความเร็วของของรถ (เมตรต่อวินาที)

m = น้ำหนักของรถ (กิโลกรัม)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 (เมตรต่อวินาที²)

r = รัศมีของล้อรถ (เมตร)

μ_R = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ล้อ

(ยางทั่วไปเลือกใช้ค่า 0.02 [10])

C_w = ความต้านทานอากาศตามรูปร่างรถ

(หน้าตัดรถแบบรถเอนกประสงค์ใช้ค่า 0.6)

A = พื้นที่หน้าตัดรถ (ตารางเมตร)

($0.8 \times$ ความสูงรถ $\times$ ความกว้างรถ)

α = ความลาดชันของถนน (องศา)

กำหนดให้ในสภาวะที่รถมีน้ำหนักบรรทุก รวมกับน้ำหนักตัวรถ 1,000 กิโลกรัม ทดสอบขับขึ้นทางลาดชัน 15 องศา รัศมีวงล้อของรถต้นแบบ 0.27 เมตร ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(13.89 เมตรต่อวินาที) ในการขับเคลื่อน เพื่อคำนวณหาแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ใช้ในการเคลื่อนที่

คำนวณแรงต้านทานการหมุนกลิ้ง (F_R) แรงต้านทานจากลม (F_L) และแรงไถ่ทางลาดชัน (F_S) ได้จากสมการที่ (1), (2) และ (3) ตามลำดับ

$$F_R = mg\mu_R \quad (1)$$

$$F_L = 0.615C_wAv^2 \quad (2)$$

$$F_S = mg \sin \alpha \quad (3)$$

คำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} F_R &= 1000 \times 9.81 \times 0.02 \\ &= 192.60 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_L &= 0.615 \times 0.6 \times (0.8 \times 1.94 \times 1.25) \times 13.89 \\ &= 138.61 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_S &= 1000 \times 9.81 \times \sin(15^\circ) \\ &= 2539.01 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_W &= 192.60 + 138.61 + 2539 \\ &= 2870.22 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

คำนวณกำลังงานรวมจากการต้านทานการเคลื่อนที่และแรงบิดจากการต้านทานการเคลื่อนที่รวมได้จากสมการ (4) และ (5) ดังนี้

$$P_W = F_W \times v \quad (4)$$

$$T_W = F_W \times r \quad (5)$$

กรณีที่ใช้ในการประเมินค่ากำลังงานและแรงบิดสูงสุดในการศึกษานี้คือ กรณีขับขึ้นทางชันประมาณ 15 องศาตามข้อกำหนดในการออกแบบที่ตั้งไว้ และให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดของกรมการขนส่งทางบก โดยกำหนดน้ำหนักบรรทุกผู้โดยสารอยู่ที่ 1,000 กิโลกรัม ดังนั้นจะสามารถคำนวณค่า กำลังงานรวมจากการต้านทานการ

เคลื่อนที่และแรงบิดจากการต้านทานการเคลื่อนที่รวมได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_W &= 2870.22 \times 13.89 \\ &= 39867.36 \quad \text{วัตต์} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_W &= 2870.22 \times 0.27 \\ &= 774.96 \quad \text{นิวตัน-เมตร} \end{aligned}$$

คำนวณกำลังมอเตอร์ อัตราทดเกียร์ที่ทำให้รถสามารถขึ้นทางลาดชัน หากำลังมอเตอร์ไฟฟ้าที่ต้องการไฟฟ้า เมื่อออกแบบอัตราทดรวมของระบบขับเคลื่อนจากล้อขับไปที่มอเตอร์เท่ากับ 6.5:1 ดังนั้นจะได้กำลังมอเตอร์ที่ต้องการจากสมการที่

$$P_m = \frac{P_W}{G_R} \quad (6)$$

ดังนั้นจะสามารถคำนวณกำลังมอเตอร์ที่ต้องการได้เท่ากับ

$$P_m = \frac{39867.36}{6.5} = 6133.44 \text{ วัตต์ หรือ } 6.13 \text{ กิโลวัตต์}$$

ซึ่งค่าแนะนำในการเลือกใช้มอเตอร์ ควรเลือกใช้ช่วงร้อยละ 65 ถึง 100 ของกำลังมอเตอร์ จึงเลือกใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนที่มีกำลังรวม 8 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 2,800 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลังของรถต้นแบบ

2.3 การทดสอบสมรรถนะการขับขึ้น

การทดสอบสมรรถนะ เมื่อทำการออกแบบและพัฒนาารถต้นแบบเสร็จ จะเริ่มทำการทดสอบสมรรถนะของรถ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ [14], [15]

2.3.1 ทดสอบระยะทางที่วิ่งได้จากการชาร์จประจุแต่ละครั้ง

เริ่มต้นการทดสอบโดยชาร์จประจุแบตเตอรี่ให้เต็ม แล้วนำรถไปวิ่งตามสภาพจราจรปกติ จนกว่าแบตเตอรี่จะหมด แล้วบันทึกระยะทางในการวิ่งของรถ

จากการชาร์จประจุ 1 ครั้งโดยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย ใน 2 กรณีคือ กรณีการขับขึ้นในสถานะที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกทุกและกรณีมีน้ำหนักบรรทุกทุกเพื่อทราบถึงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยการออกแบบได้เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 80 แอมป์-ต่อวงจรแบบอนุกรมจำนวน 4 ลูกเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ต้นกำลัง 1 ตัว ติดตั้งชุดแบตเตอรี่ 2 ชุดบริเวณใต้เบาะที่นั่งด้านซ้ายและขวาเพื่อให้รถมีความสมดุล

2.3.2 ทดสอบความเร็วสูงสุดของรถ

ซึ่งจะทำการทดสอบบนถนน ในแนวราบ เพื่อให้ได้ความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงโดยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- 1) ชาร์จแบตเตอรี่ให้เต็มก่อนการทดสอบ
- 2) เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา ตลับเมตร และอุปกรณ์บันทึก
- 3) ทดสอบขีดความสามารถความเร็วสูงสุดของรถ ที่สภาวะรถเปล่า และบรรทุกผู้โดยสารพร้อมสัมภาระ

2.3.3 ทดสอบขึ้นทางชัน

โดยการเลือกสถานที่ที่มีความชันใกล้เคียงกับขอบเขตในการทดสอบ ใน 2 กรณีคือ กรณีการขับขึ้นในสถานะที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกทุกและกรณีมีน้ำหนักบรรทุกทุกซึ่งกำหนดความชันไว้ไม่เกิน 15 องศาโดยประมาณ โดยมีขั้นตอนทดสอบดังนี้

- 1) บรรทุกน้ำหนักผู้โดยสารพร้อมสัมภาระ ที่น้ำหนักบรรทุก 500 กิโลกรัม ตามการออกแบบ
- 2) ทดสอบโดยเริ่มออกตัวจากถนนที่มีความชัน
- 3) กรณีที่รถไม่สามารถขึ้นได้ จะทำการทดสอบหาน้ำหนักบรรทุกที่รถสามารถขึ้นทางชันได้

2.3.4 การหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้คำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยใช้สูตรค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในอัตราการใช้ไม่เกิน

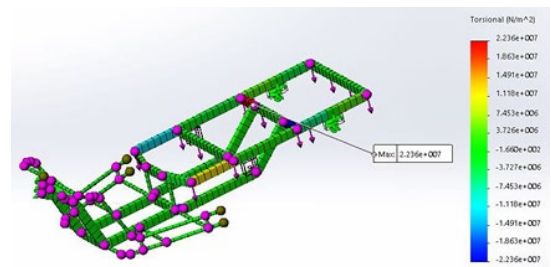
100 หน่วย ที่อัตราค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.6237 บาทต่อหน่วย (ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2565) จากนั้นคำนวณหาค่าไฟฟ้าในสภาวะมีการบรรทุกทุกและไม่บรรทุกน้ำหนัก โดยจากการทดสอบพบว่า ในการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้งใช้เวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้กระแสไฟฟ้า 20 แอมป์ พบว่าคิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 41.74 บาทต่อครั้งสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ 2 ชุด (ชุดละ 4 ลูก)

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการออกแบบโครงสร้างตัวถังและ

วิเคราะห์ความแข็งแรง

ในการออกแบบโครงสร้างการรองรับน้ำหนักผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks Simulation เพื่อทดสอบค่าความปลอดภัย การใช้งานในแบบภาระงานสถิตย์ (Static Load) โดยมีค่าความเค้นที่เกิดจากแรงแนวแกน ความเค้นที่เกิดจากแรงเฉือน และความเค้นที่เกิดจากแรงบิดกระทำกับโครงสร้าง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาจุดที่เกิดความเค้นจากแรงในแนวแกนสูงสุดความเค้นจากแรงเฉือนสูงสุด และความเค้นแรงบิดสูงสุด

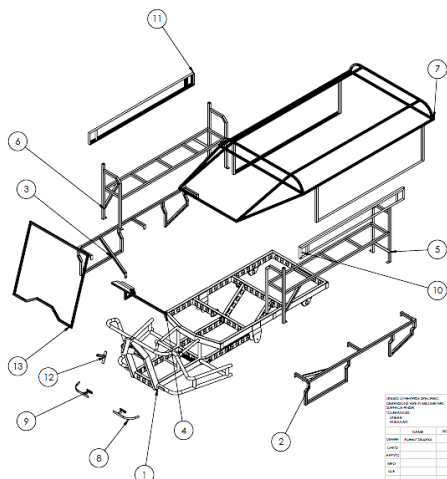
จากการวิเคราะห์โครงสร้างพบว่า

- จุดที่เกิดความเค้นจากแรงในแนวแกนสูงสุดคือจุดต่อระหว่างทุ่นด้านหลังกับโครงรถ
- จุดที่เกิดความเค้นจากแรงเฉือนสูงสุดคือจุดข้อต่อตรงกลาง
- จุดที่เกิดความเค้นแรงบิดสูงสุดคือจุดเดียวกับจุดที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุด

ในการออกแบบและสร้างจึงมีการเสริมความแข็งแรงและทำการเชื่อมเพิ่มเติมให้เกิดความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามความต้องการ

3.2 ผลการออกแบบโครงสร้างตัวถังตัวถังและระบบส่งกำลัง

เมื่อทำการออกแบบโครงสร้างหลักแล้วจึงดำเนินการออกแบบตัวถังรถสามล้อไฟฟ้าโดยยึดรูปแบบของรถ สกายแล็บ ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนผู้ขับขี่ที่บริเวณส่วนหน้าและส่วนโดยสารที่ตอนหลัง ลักษณะเป็นที่นั่งแบบสองแถวเช่นเดียวกับรถต้นแบบ (รูปที่ 7)



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY
1	001-001	Main frame	1
2	001-002	frame rearL	1
3	001-002-1	frame rear R	1
4	001-003	Console	1
5	001-004 -1	Passenger seat frame L	1
6	001-004 -2	Passenger seat frame R	1
7	001-005	Roof frame	1
8	001-006-1	Frame front body L	1
9	001-006-2	Frame front body R	1
10	001-007-1	Backrest passenger fame L	1
11	001-007-2	Backrest passenger fameR	1
12	001-007	mirror base frame	1
13	001-008	mirror frame	1

รูปที่ 7 โครงสร้างหลักของรถสามล้อไฟฟ้าระบบมอเตอร์คู่ที่พัฒนาขึ้นตามต้นแบบรถสกายแล็บ

ออกแบบให้ด้านล่างสามารถบรรจุแบตเตอรี่เรียงกันได้อย่างน้อย 4 ก้อน บริเวณพื้นที่ห้องโดยสาร

ส่วนท้าย ติดตั้งกล่องควบคุมระบบการขับเคลื่อนหลัก และที่บริเวณส่วนกลางของตัวรถติดตั้งชุดมอเตอร์คู่ สำหรับเป็นต้นกำลังขับเคลื่อน ซึ่งการติดตั้งบริเวณกึ่งกลางรถจะช่วยให้เรื่องของจุดศูนย์กลางมวลของรถได้ (Center of Gravity, CG) ทำให้การขับขี่ทำได้ดีขึ้น โดยจัดสร้างรถสามล้อไฟฟ้าต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงรถสามล้อไฟฟ้าส่งกำลังด้วยระบบมอเตอร์ไฟฟ้าคู่ต้นแบบที่สร้างขึ้น

คุณลักษณะและคุณสมบัติทางเทคนิคของรถไฟฟ้าต้นแบบนั้นจะมีโครงสร้างโดยรวมดังต่อไปนี้

- รถมีความกว้าง 1.25 เมตร มีความยาว 3 เมตร และมีความสูง 1.94 เมตร
- มีน้ำหนักกรโดยรวม 593 กิโลกรัม น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 500 กิโลกรัม
- ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง จุดศูนย์กลางมวล มีระยะห่างจากล้อหลังขวาไปทางล้อหลังซ้าย 53 เซนติเมตร มีระยะห่างจากล้อหลังไปล้อหน้า 49 เซนติเมตร
- มุมแคสเตอร์ล้อหน้า 20 องศา และมีรีซีมีมุมเลี้ยว จากจุดศูนย์กลางถึงจุดกึ่งกลางของล้อหลังทั้งสองข้าง เท่ากับ 3.1 เมตร
- ระยะห่างจากล้อหน้าถึงล้อหลัง 2.15 เมตร ความกว้างของล้อหลัง จากจุดศูนย์กลางล้อ 1.15 เมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อหน้าและล้อหลัง 54 เซนติเมตร ความกว้างของยาง 11.43 เซนติเมตร
- ระบบเบรกล้อหน้าเป็นดิสก์เบรก ล้อหลังเป็นดรัมเบรก

• ระบบกันสะเทือนและระบบรองรับน้ำหนักล้อหน้าเป็น โช้คอัพสปริง ล้อหลังเป็นแหนบและโช้คอัพ

• ชุดควบคุมมอเตอร์ ยี่ห้อ Curtis โมเดล 1204M-5203 36V/48V 275A

• ขับเคลื่อนด้วยกำลังมอเตอร์ชนิด DC ขนาด 4 กิโลวัตต์ 48 โวลต์ มีกระแสโหลดพิค 104 A แรงบิด 12.7 นิวตันเมตร ที่ความเร็วรอบ 2800 rpm Class H ที่อุณหภูมิทำงาน 25-40 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ SUPEMOTO รุ่น ZC4-48B จำนวน 2 ตัว จ่ายไฟโดยแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 80 แอมป์ชั่วโมง 2 ชุด ชุดละ 4 ลูก

• อัตราทดรวมเท่ากับ 6.51:1 โดยมีอัตราทดที่เกียร์บ็อก 1.25:1 ที่สเตอร์โซ่ 1.86:1 และที่เฟืองท้าย 2.80:1

• บรรทุกผู้โดยสารรวมคนขับ 7 คน ทั้งนี้ยึดตามจำนวนการบรรทุกของรถสายแล็บแบบเดิมที่ใช้งานจริงก่อนนำมาดัดแปลง

3.3 ผลการทดสอบสมรรถนะการขับขึ้น

การทดสอบสมรรถนะ เมื่อทำการออกแบบและพัฒนาารถไฟฟ้าต้นแบบเสร็จแล้วจะเริ่มทำการทดสอบสมรรถนะของรถ โดยมีผลการทดสอบดังนี้

3.3.1 ผลการทดสอบทดสอบระยะทางที่รถวิ่งได้จากการชาร์จประจุแต่ละครั้ง

ทำการทดสอบโดยชาร์จประจุแบตเตอรี่ให้เต็มแล้วนำรถไปทดสอบตามสภาพการจราจรปกติ จนกว่าแบตเตอรี่จะหมด แล้วบันทึกระยะทางในการวิ่งของรถจากการชาร์จประจุ 1 ครั้ง เพื่อทราบถึงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน กับการคำนวณทางทฤษฎี (ตารางที่ 1) โดยจากผลการทดสอบ พบว่ามีระยะทางใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยที่มีระยะทางในสถานะที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก 46.21 กิโลเมตร และมีระยะทางในสถานะที่มีน้ำหนักบรรทุก 40.68 กิโลเมตร ซึ่งมากกว่าที่กรมการขนส่งทางบกกำหนดไว้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระยะทางที่ได้จากการชาร์ตประจุในหนึ่งครั้ง

การทดสอบครั้งที่	สถานะที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก		สถานะที่มีน้ำหนักบรรทุก	
	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)
1	26	41.43	21	42.21
2	25	45.22	22	41.29
3	21	51.98	21	38.54
ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ	24	46.21	21	40.68

3.3.2 ผลการทดสอบความเร็วสูงสุดของรถ ซึ่งจะทำให้การทดสอบบนถนนในแนวราบ

ทำการทดสอบโดยชาร์จประจุแบตเตอรี่ให้เต็มแล้วนำรถไปทดสอบเพื่อให้ได้ความเร็วสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง โดยมีผลการทดสอบดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความเร็วที่วิ่งได้สูงสุดของรถ

การทดสอบครั้งที่	สถานะที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	สถานะที่มีน้ำหนักบรรทุก (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
1	55.10	49.25
2	55.30	50.08
3	54.76	50.10
ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ	55.05	49.81

จากการทดสอบ พบว่าความเร็วสูงสุดที่ได้จากสถานะที่รถไม่มีน้ำหนักบรรทุกคือ 55.05 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีความเร็วสูงสุดในสถานะที่มีน้ำหนักบรรทุกคือ 49.81 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่ารถไฟฟ้าต้นแบบ สามารถวิ่งได้ที่ความเร็วสูงสุด เป็นไปตามผลการคำนวณในการออกแบบจาก ระบบส่งกำลัง และคุณสมบัติของมอเตอร์ต้นกำลังที่เลือก (มอเตอร์มีแรงบิดสูงสุดคือ 11.5-25.5 นิวตันเมตร ทำงานที่ 1500-3300 รอบต่อนาที)

3.3.3 ผลการทดสอบขึ้นทางชัน

โดยการเลือกสถานที่ที่มีความชันใกล้เคียงกับขอบเขตในการทดสอบซึ่งกำหนดความชันไว้ไม่เกิน 15 องศาโดยประมาณ (รูปที่ 9) ทั้งรูปแบบการขับขึ้นแบบรถเปล่าและแบบมีการบรรทุกผู้โดยสารพร้อมสัมภาระ ที่น้ำหนักบรรทุก 500 กิโลกรัม ตามการออกแบบ โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความเร็วที่วิ่งได้สูงสุดของรถ

การทดสอบครั้งที่	สภาวะการขับขี่	ผลการทดสอบขับขี่ขึ้นทางชัน 15 องศา
1	รถเปล่า	ได้
2	รถ และ สัมภาระ 300 กิโลกรัม	ได้
3	รถ และ สัมภาระ 400 กิโลกรัม	ได้
4	รถ และ สัมภาระ 500 กิโลกรัม	ได้
5	รถ และ สัมภาระ 600 กิโลกรัม	ได้ (ค่อนข้างช้า)
6	รถ และ สัมภาระ 700 กิโลกรัม	ไม่ได้



รูปที่ 9 การทดสอบการขับขี่รถขึ้นทางชันที่ระดับความเอียง 15 องศา

จากการทดสอบขึ้นทางชันจะเห็นว่า ที่สภาวะรถไม่มีน้ำหนักบรรทุกนั้น สามารถออกตัวบนทางชันได้ด้วยมอเตอร์เพียงตัวเดียว และสภาวะที่มีน้ำหนักบรรทุกจะสามารถออกตัวบนทางชันได้ ด้วยการใช่มอเตอร์ 2 ตัว ทำงานร่วมกัน โดยสามารถรับน้ำหนักได้ สูงสุดไม่เกิน 500 กิโลกรัมตามที่ออกแบบ อย่างไรก็ตามการบรรทุกน้ำหนักมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของรถ เนื่องจากอาจทำให้รถพลิกคว่ำได้ง่ายจึงไม่แนะนำให้บรรทุกมากเกินไปที่ออกแบบไว้

3.3.4 ผลการหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากการทดสอบ พบว่าในการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้งใช้ค่าใช้จ่าย 42 บาท ดังนั้นในการทดสอบขั้นตอนการชาร์จ 1 ครั้ง กรณีไม่มีน้ำหนักบรรทุกซึ่งวิ่งได้ระยะทาง 46.21 กิโลเมตร และมีระยะทางในสภาวะที่มีน้ำหนักบรรทุก 40.68 กิโลเมตร จะสามารถคำนวณค่าพลังงานต่อการเคลื่อนที่ได้จาก

$$E = \text{อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (บาท/กม.)}$$

$$D_n = \text{ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในสภาวะที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก (km)}$$

D_l = ระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ในสภาวะที่มีน้ำหนักบรรทุก (km)

C = ค่าใช้จ่ายในการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง (บาท)

กรณีไม่มีน้ำหนักบรรทุก

$$E_m = \frac{41.745}{46.21} \quad E = 0.90 \text{ บาท/กม}$$

กรณีมีน้ำหนักบรรทุก

$$E_m = \frac{41.745}{40.68} \quad E = 1.03 \text{ บาท/กม}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถสามล้อสกายแล็บต้นแบบ [9] มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่ 35 กิโลเมตรต่อลิตร (ราคาน้ำมันปี พ.ศ. 2565 น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ลิตรละ 35-40 บาท) พบว่ามีอัตราค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใกล้เคียงกัน

รถสามล้อไฟฟ้าต้นแบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบ โดยการวิเคราะห์โครงสร้าง ความแข็งแรงของเฟรมรถก่อนดำเนินการสร้าง ทำให้เมื่อจัดสร้างเสร็จไม่พบปัญหาที่เกี่ยวกับโครงสร้างรถเลย ในระหว่างการทดสอบ สำหรับผลการทดสอบสมรรถนะรถต้นแบบสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ตามที่ออกแบบคือมากกว่า 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามแนะนำให้ใช้ความเร็วดังกล่าวในการขับขี่ทั่วไปเพื่อความปลอดภัย และมีสมรรถนะที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นเช่น รถสามล้อเนกประสงค์พลังงานแสงอาทิตย์ [5] ซึ่งเป็นรถดัดแปลงที่มีขนาดและลักษณะใกล้เคียงกันที่พบว่า สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ที่ 32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อบรรทุกน้ำหนัก 350 กิโลกรัม ในขณะที่รถสามล้อสกายแล็บไฟฟ้าต้นแบบสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ 500 กิโลกรัม รวมถึงในการทดสอบวิ่งได้ทางชันยังสามารถขึ้นทางชันได้ถึง 15 องศา

งานวิจัยนี้สามารถออกแบบรถได้เป็นไปตามข้อกำหนดของ กรมการขนส่งทางบกที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา [12] เรื่อง ประกาศกรมการขนส่งทางบก

เรื่อง กำหนดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนรถ ตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ พ.ศ. 2563 โดยมีสาระสำคัญเกี่ยวกับรถประเภทสามล้อ ตามข้อ “5 ข้อ ซึ่งระบุว่ารถยนต์รับจ้างสามล้อและรถยนต์สามล้อส่วนบุคคลที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าต้องมีกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 4 กิโลวัตต์ และสามารถขับเคลื่อนรถให้มีความเร็วสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 45 กิโลเมตรต่อชั่วโมง” และ “ข้อ 7 มอเตอร์ไฟฟ้าของรถตามข้อ 3 ข้อ 4 ข้อ 5 และข้อ 6 ต้องสามารถขับเคลื่อนรถในขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกรวมน้ำหนักบรรทุก (Gross Vehicle Weight) ตามที่ผู้ผลิตกำหนดด้วยความเร็วสูงสุดตามที่กำหนดในประกาศนี้ ได้ต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที” จึงเป็นรถต้นแบบที่มีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาต่อยอดต่อไป เพื่อใช้ประโยชน์จริงในอนาคต

4. สรุป

รถสามล้อไฟฟ้าต้นแบบ ได้รับการออกแบบและพัฒนาจากรถสามล้อสกายแลป โดยมีต้นกำลังคือมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 4 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว รวมกำลังขับ 8 กิโลวัตต์ ซึ่งสามารถทำงานร่วมกัน หรือแยกการทำงานได้อย่างอิสระ ขึ้นอยู่กับภาระโหลดใช้งาน รถไฟฟ้าต้นแบบนี้มีขนาดมิติตัวถัง กว้าง 1.25 เมตร ยาว 3 เมตร และสูง 1.94 เมตร แชนด์บังคับเลี้ยวออกแบบให้มีมุมแคสเตอร์ล้อหน้า 20 องศาสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ 500 กิโลกรัม และสามารถไต่ทางชันได้ 15 องศา จากการทดสอบสมรรถนะ ในสภาวะที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก และสภาวะที่มีน้ำหนักบรรทุก พบว่าสามารถทำความเร็วได้สูงสุด 55.05 และ 49.81 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รวมถึงสามารถขับเคลื่อนได้ 46.20 40.68 กิโลเมตรต่อการ ชาร์จประจุ 1 รอบ โดยมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าประมาณ 1.03 บาทต่อ กิโลเมตรเมื่อบรรทุกเต็มพิกัด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ 2560 และจากศูนย์ความร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Samsri and E. Phaisangittisagul, “Optimal real-time PEVs charging scheduling for enhancing energy management by maintaining power system peak demand,” *UBU Engineering Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 77-90, Jan-Jun. 2015.
- [2] N. Coovattanachai, “Hybrid and electric cars,” in *Research Community*, Bangkok, Thailand Research Fund, vol. 14, no. 12, 2008.
- [3] K. Meukdang and A. Khampinit, “Electric Tricycle by Double Brushless DC Motor” (Bachelors dissertation) Bangkok. King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2014.
- [4] C. Yiangkamolsing, “Cheapest powered personal electric bike,” *Thailand Engineering Journal*, vol. 65, no. 2, Mar-Apr. 2012.
- [5] T. Ruangrunchaikul and S. Aumkratum, “Multipurpose three-wheel solar mini truck,” *Thai Journal of Science and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 200-211, Mar-Apr. 2019.

- [6] H. Mazumder, M.M.Al Emran Hassan, M.Ektesabi and A.Kapoor, "Performance analysis of EV for different mass distributions to ensure safe handling," *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 949 – 954, 2012.
- [7] Energy Policy and Planning office. "Electric infrastructure development plan report to support electric vehicles in Thailand" (Final report) Bangkok. Ministry of Energy, 2017.
- [8] C. Yiangkamolsing, S. Channarong, B. Yaothani, P. Sasawat and V. Katikawong, 2019, "Developing a prototype of a modified electric tuk-tuk by the Thai Electric Vehicle Association," *Bangkok, Thai Electric Vehicle Association*, 2019.
- [9] Piyapat Panmuanga, Taweesak Thongsan, Nuchida Suwapaet, Juckamas Laohavanich and Chonlatee Photong, "A Novel Dual Motor Drive System for Three Wheel Electric Vehicles." in *Proceedings of the 6th Engineering International Conference on Education, Concept, and Application of Green Technology*, Semarang, Indonesia, 2017, pp. 020019-1 -020019-8.
- [10] A. Sripaphakorn and K. Theachakittirojna, "Electric vehicles: Basic and Design," 2nd ed, Bangkok, Chulalongkorn University Press, 2013.
- [11] P. Sankasem, "Automotive Engineering," 2nd ed. Bangkok, Top press, 2014.
- [12] Announcement of the Department of Land Transport, "Subject: Determining the power of electric motors used to drive a vehicle according to the law on automobiles B.E. 2563," *The Government Gazette*, vol. 138, Special Part 25, Feb. 2021.
- [13] K. Areerak, "Speed Control of Separately Excited DC Motors For Electric Vehicles," (Final Report) Nakhon Ratchasima, Suranaree University of Technology, 2013.
- [14] T. Suwanprateep, "Automotive Engineering," 8th ed. Bangkok, Vitpat press, 2008.
- [15] W. Manotrakul, W. Theansuwan, P. Hemaratmonatrakul. "Designing of prototype electric utility vehicle." in *Proceedings of the 28th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, 15-17 Oct 2014; Khonkaen, Thailand 2014, pp. 485 - 492.
- [16] Polwat Praipaisankit. (2021). "The result from Simulation", [Online]. Available: <http://thai-solidworks-simulation.blogspot.com/2016/03/simulation-part-25.html>