การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง

โชคดี ปัดนา[1*] อานนท์ มุงวงษา[2]
วิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม[1 2*]
อีเมล์ : Patna1879@gmail.com[1*]

วันที่รับบทความ 5 สิงหาคม 2567
วันแก้ไขบทความ 12 พฤศจิกายน 2567
วันตอบรับบทความ 18 พฤศจิกายน 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านในจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อดัดแปลงจักรยานธรรมดาให้ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน 2) เพื่อศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ความเร็วระดับต่างๆ และ 3) เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อจักรยานไฟฟ้า หลังจากที่มีการออกแบบและทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือวัดของรถจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง ซึ่งการทดลองใช้ภาระโหลดที่ 40, 30 และ 20 กิโลกรัม ที่ความเร็ว 10, 15, และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในการทดสอบครั้งนี้เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้และการหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

ผลจากการทดลองพบว่า มอเตอร์ใช้กระแสมากที่สุดที่ภาระโหลด 40 กิโลกรัม (1.44 แอมป์แปร์) รองลงมาที่ 30 กิโลกรัม (1.38 แอมป์แปร์) และ 20 กิโลกรัม (1.22 แอมป์แปร์) ตามลำดับ สำหรับการหาค่ากำลังไฟฟ้ามอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดที่ภาระโหลด 40 กิโลกรัม (29.37 วัตต์) รองลงมาที่ 30 กิโลกรัม (28.15 วัตต์) และ 20 กิโลกรัม (24.88 วัตต์) ตามลำดับ การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการดัดแปลงจักรยานธรรมดาด้วยมอเตอร์ไร้แปรงถ่านสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในหลายด้าน ได้แก่ ลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับจักรยานไฟฟ้าสำเร็จรูป ช่วยให้สามารถประหยัดพลังงานเมื่อใช้งานในภาระและความเร็วที่เหมาะสม ลดความถี่ในการชาร์จไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา เนื่องจากมอเตอร์ไร้แปรงถ่านมีโครงสร้างที่เรียบง่าย และยังยืดอายุการใช้งานของจักรยาน ช่วยลดความจำเป็นในการซื้อจักรยานใหม่

คำสำคัญ : จักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง มอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน การใช้พลังงานไฟฟ้า

Study of Electrical Energy Consumption of Brushless DC motors modified electric bicycle batteries

Chokdee Patna[1*], Anon Mungwongsa[2]
That Phanom College, Nakhon Phanom University[1 2*]
E – mail : Patna1879@gmail.com[1*]

Received 5 August 2024
Revised 12 November 2024.
Accepted 18 November 2024

Abstract

This research investigates the electrical energy consumption of a brushless DC motor in a modified electric bicycle, with three objectives: 1) to convert a conventional bicycle to be powered by a brushless DC motor, 2) to study the motor's energy consumption rate at different speeds, and 3) to reduce costs compared to purchasing a commercially available electric bicycle. After designing and installing the electric drive system and measuring instruments on the modified electric bicycle, experiments were conducted using load weights of 40, 30, and 20 kilograms at speeds of 10, 15, and 20 kilometers per hour. The aim was to measure the current and electrical power consumption of the motor under these conditions.

The results indicate that the motor consumed the highest current with a 40 kg load (1.44 A), followed by 30 kg (1.38 A) and 20 kg (1.22 A). In terms of power consumption, the motor required the most power under a 40 kg load (29.37 W), followed by 30 kg (28.15 W) and 20 kg (24.88 W). This research suggests that converting a conventional bicycle with a brushless DC motor can help reduce costs in several areas, including lowering the initial equipment cost compared to buying a pre-built electric bicycle, conserving energy when operated at appropriate loads and speeds, reducing the frequency of recharging, and lowering maintenance expenses due to the simple structure of brushless DC motors. Furthermore, it extends the bicycle's lifespan, reducing the need to purchase a new one.

Keywords : Modified Electric Bicycle, Brushless DC Motor, Electrical Energy Consumption

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบัน ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปรับตัวขึ้นอย่างมาก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น การเติบโตของจำนวนประชากรและการขยายตัวของอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้พลังงานมากขึ้น การใช้รถยนต์หรือเครื่องจักรที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอยู่ลดลง นอกจากนี้ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ยังเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีส่วนในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (นะโม ชวลิต. 2566) แนวคิดเกี่ยวกับพลังงานทดแทนได้รับความสนใจในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอย่างจำกัด พลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ การใช้พลังงานทดแทนมีข้อดีหลายประการ เช่น ลดมลพิษทางอากาศ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในระยะยาว

จักรยานไฟฟ้าเป็นหนึ่งในยานพาหนะที่ประชาชนใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่านมาเป็นตัวขับเคลื่อนและใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานแทน จักรยานไฟฟ้ามีข้อดีหลายประการ เช่น ไม่ปล่อยไอเสีย ลดเสียงรบกวน และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางในระยะยาว ซึ่งปัจจุบันจักรยานไฟฟ้ามีความต้องการเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องราคาที่ค่อนข้างแพง ทำให้ประชาชนทั่วไปไม่สามารถซื้อมาใช้งานได้ (วีรยุทธ เติมสวัสดิ์. 2562)

จากเหตุผลดังกล่าวทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญและปัญหาของการดัดแปลงรถจักรยานธรรมดาที่ประชาชนมีอยู่แล้วนำมาดัดแปลงเป็นจักรยานไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลงตามภาระโหลดที่ความเร็วระดับต่าง ๆ ที่สามารถวิ่งได้เพื่อใช้เป็นตัวเลือกในการตัดสินใจในการสร้างจักรยานไฟฟ้ามาใช้งาน และเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อจักรยานไฟฟ้าที่มีราคาสูง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อปรับเปลี่ยนจักรยานธรรมดาให้สามารถขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน

2.2 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านภายใต้ภาระโหลด และความเร็วระดับต่าง ๆ

2.3 เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อจักรยานไฟฟ้าที่มีราคาสูง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย

3.1.1 จักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง

3.1.2 ตารางแสดงผลการทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

3.1.3 กราฟแสดงผลการทดสอบหาอัตราการสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

3.2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 รถจักรยานผู้วิจัยได้นำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่านเข้ามาใช้ในการสร้าง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดปัญหา ผู้วิจัยได้ทราบปัญหาในในสภาวะปัจจุบัน ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปรับตัวขึ้นอย่างมาก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น การเติบโตของจำนวนประชากรและการขยายตัวของอุตสาหกรรมที่ต้องการใช้พลังงานมากขึ้น การใช้รถยนต์หรือเครื่องจักรที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอยู่ลดลง นอกจากนี้ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้ยังเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีส่วนในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อนแนวคิดเกี่ยวกับพลังงานทดแทนได้รับความสนใจในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงและลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอย่างจำกัด พลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ การใช้พลังงานทดแทนมีข้อดีหลายประการ เช่น ลดมลพิษทางอากาศ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในระยะยาว

2) การรวบรวมข้อมูล การรวบรวมข้อมูลในการออกแบบและสร้างรถจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง ผู้วิจัยได้รวบรวมปัญหาที่เกิดจากสาเหตุต่างๆ ของประชาชนที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยพบปัญหาน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปรับตัวสูงขึ้นอย่างมาก และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการสร้างรถ จักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง ที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่าน ขึ้นมาจึงเป็นแนวทางแก้ไขปัญหาที่ช่วยลดการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงและช่วยนำรถจักรยานที่ไม่ได้ใช้แล้วกลับมาดัดแปลงใช้ใหม่ให้เป็นประโยชน์ต่อไป

3) เลือกวิธีการ ในการเลือกวิธีการผู้วิจัยได้เลือกวิธีการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่านขึ้นมาเพื่อปรับเปลี่ยนจักรยานธรรมดาให้สามารถขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน

4) ออกแบบและปฏิบัติการ ในการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์มีขั้นตอนในการดำเนินการโดยเริ่มจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์รถจักรยานไฟฟ้า ต่าง ๆ โดยมีขั้นตอนออกแบบและสร้าง ดังต่อไปนี้

(1) การร่างแบบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการร่างและแบบการติดตั้งโดยใช้ดินสอร่างแบบของเครื่องต้นแบบที่ต้องการโดยกำหนดรายละเอียดคร่าว ๆ ถึงโครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบ

(2) การออกแบบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าโดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. โครงสร้าง ผลิตขึ้นมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน เหล็กชนิดนี้มีความแข็งแรงสูงและทนทาน และค่อนค้างมีน้ำหนักมากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ และมักจะนำมาใช้ในจักรยานที่มีราคาประหยัด สามารถรับน้ำหนักได้ประมาณ 100-150 กิโลกรัม

ข. วงล้อ ผลิตมาจากอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่นิยมใช้มากที่สุด ปัจจุบันวงล้อจักรยานจะมีน้ำหนักเบา แข็งแรง และทนทาน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 นิ้ว

ค. ระบบส่งกำลัง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่าน มีแรงดันไฟฟ้า 24 โวลล์, กำลังไฟ 250 วัตต์, สเตอร์ 16 ฟัน, ความเร็วสูงสุด 3300 rpm, อัตราส่วนการลด 9.78

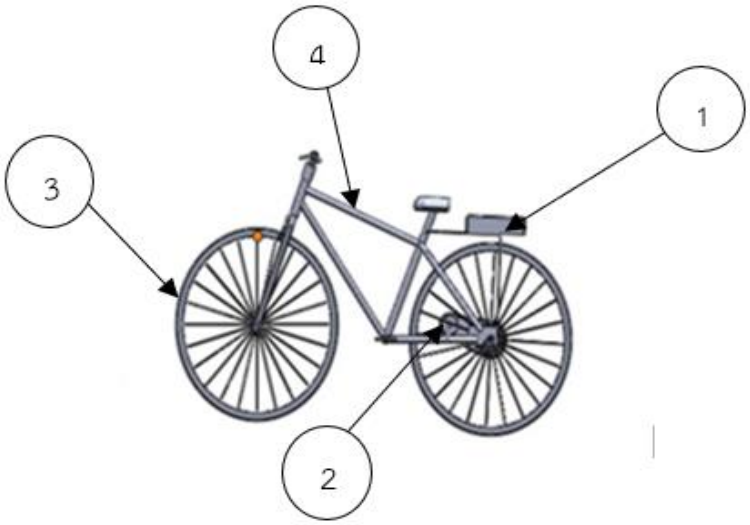
ง. แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน จำนวน 2 ก้อน 24V 20Ah

จ. มอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่าน จะใช้สนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรและขดลวดไฟฟ้าเพื่อสร้างแรงหมุน โดยมีการควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดโดยผ่านตัวควบคุมเพื่อทำให้มอเตอร์หมุนอย่างต่อเนื่อง

ฉ.ในการเร่งความเร็วของจักรยานไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์ชนิดไร้แปลงถ่าน ระบบควบคุมจะทำงานโดยการเพิ่มระดับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เพื่อสร้างแรงบิดที่สูงขึ้นและจะผ่านตัวควบคุมที่เป็น

อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะแปลงไฟกระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นกระแสสลับแล้วจ่ายเข้าสู่ขดลวดของมอเตอร์ตามลำดับที่กำหนด ตัวควบคุมจะปรับระดับของกระแสไฟฟ้าตามความเร็วที่ต้องการ โดยการปรับความเร็วหมุนของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับสัญญาณจากคันเร่ง ซึ่งสามารถควบคุมได้ผ่านการหมุนหรือการบีบคันเร่ง

และผู้วิจัยได้ดำเนินการเขียนแบบและโครงสร้างส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work ในการเขียนแบบทางด้านวิศวกรรม



รูปที่ 1 การออกแบบจักรยานไฟฟ้าดัดแปลงติดตั้งมอเตอร์ชนิดไร้แปลงถ่าน

รายละเอียดส่วนประกอบของรถจักรยานไฟฟ้า

1. ชุดวงจรควบคุมและแบตเตอรี่
2. มอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่าน
3. วงล้อ
4. โครงรถ

(3) การสร้างและประกอบ ผู้วิจัยได้นำแบบที่ได้จากการออกแบบมาทำการกำหนดวัสดุประมาณการจัดซื้อวัสดุและอุปกรณ์เพื่อทำการประกอบชิ้นส่วนตามแบบที่ได้ออกแบบไว้จากนั้นดำเนินการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันตามที่ได้ออกแบบไว้และมีต้นทุนที่น้อย เช่น สามารถปรับแต่งให้เหมาะสมกับความต้องการเฉพาะบุคคลได้ มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น สามารถกำหนดขนาดและน้ำหนักให้เบากว่าจักรยานที่มีขายในท้องตลาดและกำหนดเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น โดยเฉพาะในด้านการเร่งความเร็วและความคล่องตัว

4) ทดสอบ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบจักรยานไฟฟ้าติดตั้งมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่าน โดยการทดสอบมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) ทดสอบที่มีภาระโหลดตามที่กำหนด (รายละเอียดแสดงในขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย)

5) ปรับปรุงแก้ไข

ในส่วนของการปรับปรุงแก้ไขจักรยานไฟฟ้าติดตั้งมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่าน ผู้วิจัยได้นำผลจากการทดสอบในกรณีที่มีข้อผิดพลาดมาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้จักรยานไฟฟ้าติดตั้งมอเตอร์

กระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่านสามารถทำงานได้ โดยเปลี่ยนแบตเตอรี่แบบแห้งชนิดตะกั่วกรดซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บประจุไฟได้น้อยและตัวแบตเตอรี่มีน้ำหนักมากจึงเปลี่ยนมาเป็นแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้ น้ำหนักเบา อายุการใช้งานนาน ให้พลังงานสูง, คงที่ และชาร์จได้เร็วเพื่อให้จักรยานไฟฟ้าทำงานได้ต่อเนื่องไม่เกิดการกระตุกและทำให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานที่ดีขึ้น

3.3 วิธีการดำเนินวิจัย

การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้ การวัดความเร็วของจักรยานไฟฟ้าต้องเริ่มจากการเตรียมความพร้อมของจักรยานและอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ ก่อนที่จะลงมือทำการทดสอบจริง เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบจักรยานไฟฟ้าเพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ทั้งหมดทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์, แบตเตอรี่, และระบบควบคุม นอกจากนี้ยังต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็ว เช่น เซนเซอร์วัดความเร็วที่สามารถวัดค่าความเร็วได้เพื่อการบันทึกข้อมูลที่แม่นยำ เมื่อจักรยานไฟฟ้าพร้อมแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการเลือกสถานที่ทดสอบที่เหมาะสมที่มีพื้นผิวเรียบและปลอดภัยเพื่อป้องกันปัจจัยที่อาจรบกวนการทดลองการทดสอบเริ่มด้วยการขับขี่จักรยานไฟฟ้าจากจุดเริ่มต้น โดยให้ผู้ทดสอบเร่งความเร็วตามค่าที่กำหนด จากนั้นอุปกรณ์วัดความเร็วที่ติดตั้งจะทำหน้าที่บันทึกค่าความเร็วหรือค่าความเร็วเฉลี่ยระหว่างการขับขี่ การบันทึกข้อมูลควรทำอย่างต่อเนื่องและทดสอบหลายรอบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายเพียงพอและลดความคลาดเคลื่อนหลังการทดสอบเสร็จสิ้น ข้อมูลที่ได้จากการวัดจะถูกบันทึกเพื่อนำไปวิเคราะห์ ค่าความเร็วจากการทดสอบแต่ละครั้งจะถูกจดบันทึก เช่น อุณหภูมิและความชื้น เพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้ในเชิงลึก ค่าความเร็วเหล่านี้จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อสรุปผลการทดลอง การวิเคราะห์อาจรวมถึงการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในสถานการณ์หรือภาระที่แตกต่างกัน

ในการวิจัยเรื่องการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของรถจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง ภาระโหลดแต่ละขนาดสามารถกำหนดขึ้นได้โดยการใช้ระบบจำลองน้ำหนักที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง เช่น การบรรทุกสิ่งของหรือจำลองผู้ขับขี่ที่มีน้ำหนักต่างกัน เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการใช้งานและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ตัวกำหนดน้ำหนักของโหลดอาจใช้น้ำหนักของผู้ขับขี่หรืออุปกรณ์เสริมที่ติดตั้งเพิ่มเติมกับจักรยาน เช่น ถุงทราย อิฐหรืออุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักที่ปรับแต่งได้ เพื่อให้สามารถจำลองภาระที่หลากหลายตามสถานการณ์ที่ต้องการทดสอบ โดยการเลือกขนาดของโหลดจะขึ้นอยู่กับการกำหนดระดับภาระที่เหมาะสม ตั้งแต่ภาระเบาที่จำลองการขับขี่ทั่วไป ไปจนถึงภาระหนักที่อาจจำลองการขับขี่ขึ้นทางลาดหรือบรรทุกสิ่งของขนาดใหญ่

ในการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลงที่ภาระโหลดน้ำหนัก 40 กิโลกรัม เริ่มจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วที่เหมาะสม เช่น สปีดเซนเซอร์ (speed sensor) ที่ติดตั้งกับล้อจักรยานที่สามารถบันทึกค่าความเร็วได้ เมื่อทำการทดสอบจริงปรับความเร็วให้อยู่ในระดับที่ต้องการ คือ 10, 15, และ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ในระหว่างการขับขี่ อุปกรณ์วัดความเร็วจะทำการบันทึกค่าความเร็วของจักรยานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้แน่ใจว่าจักรยานรักษาความเร็วที่ตั้งไว้อย่างสม่ำเสมอ การทดสอบแต่ละครั้งควรทำซ้ำหลายครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและลดความคลาดเคลื่อน ผลการวัดจะถูกบันทึกเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละความเร็วแสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 การทดลองภาระโหลดที่น้ำหนัก 40 กิโลกรัม

ในการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลงที่ภาระโหลดน้ำหนัก 30 กิโลกรัม เริ่มจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วที่เหมาะสม เช่น สปีดเซนเซอร์ (speed sensor) ที่ติดตั้งกับล้อจักรยานที่สามารถบันทึกค่าความเร็วได้ เมื่อทำการทดสอบจริงปรับความเร็วให้อยู่ในระดับที่ต้องการ คือ 10, 15, และ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ในระหว่างการขับขี่ อุปกรณ์วัดความเร็วจะทำการบันทึกค่าความเร็วของจักรยานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้แน่ใจว่าจักรยานรักษาความเร็วที่ตั้งไว้อย่างสม่ำเสมอ การทดสอบแต่ละครั้งควรทำซ้ำหลายครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและลดความคลาดเคลื่อน ผลการวัดจะถูกบันทึกเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละความเร็ว แสดงดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 การทดลองภาระโหลดที่น้ำหนัก 30 กิโลกรัม

ในการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลงที่ภาระโหลดน้ำหนัก 20 กิโลกรัม เริ่มจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วที่เหมาะสม เช่น สปีดเซนเซอร์ (speed sensor) ที่ติดตั้งกับล้อจักรยานที่สามารถบันทึกค่าความเร็วได้ เมื่อทำการทดสอบจริงปรับความเร็วให้อยู่ในระดับที่ต้องการ คือ 10, 15, และ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ในระหว่างการขับขี่ อุปกรณ์วัดความเร็วจะทำการบันทึกค่าความเร็วของจักรยานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้แน่ใจว่าจักรยานรักษาความเร็วที่ตั้งไว้อย่างสม่ำเสมอ การทดสอบแต่ละครั้งควรทำซ้ำหลายครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและลดความคลาดเคลื่อน ผลการวัดจะถูกบันทึกเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในแต่ละความเร็ว แสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 การทดลองภาระโหลดที่น้ำหนัก 20 กิโลกรัม

4. ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

4.1 การทดลองภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านในจักรยานไฟฟ้าที่ได้รับการดัดแปลง โดยพิจารณาภายใต้ภาระโหลดอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ น้ำหนัก 40 กิโลกรัม, 30 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม การวัดค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละระดับได้ทำการทดสอบอยู่ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดลองที่ภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กระแสคงที่ (แอมป์แปร์) ความเร็ว10 กิโลเมตร/ชั่วโมง	กระแสคงที่ (แอมป์แปร์) ความเร็ว 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง	กระแสคงที่ (แอมป์แปร์) ความเร็ว 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง	อุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า (องศาเซลเซียส)
40	1.26	1.34	1.44	40.9
30	1.24	1.26	1.38	34.5
20	1.11	1.15	1.22	31.2

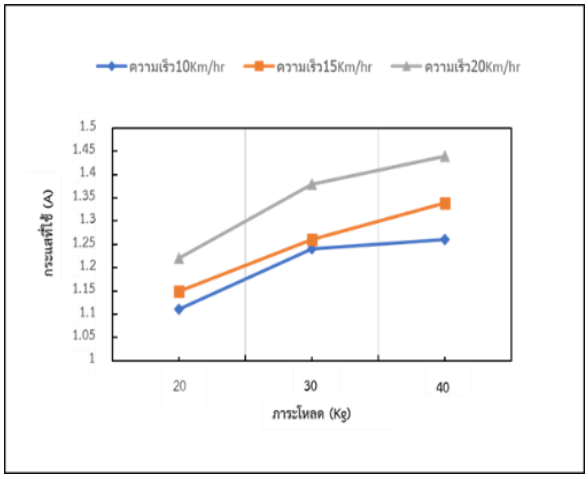
จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองของการรับภาระโหลดที่น้ำหนักต่างๆ ต่อการใช้กระแสไฟฟ้าในระบบจักรยานไฟฟ้า และได้ทำการทดลองในภาระโหลดอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ 40 กิโลกรัม, 30 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม มอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าทำการต่อเข้ากับสายไฟของมอเตอร์จากนั้นเครื่องจะอ่านค่าวัดในแต่ละระดับของภาระโหลด ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 40 กิโลกรัม ใช้ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.44 แอมป์แปร์, ใช้ความเร็วปานกลาง 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.34 แอมป์แปร์ และความเร็วต่ำสุด 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.26 แอมป์แปร์ ตามลำดับและอุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า 40.9 องศาเซลเซียส

การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 30 กิโลกรัม ใช้ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.38 แอมป์แปร์, ใช้ความเร็วปานกลาง 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.26 แอมป์แปร์ และความเร็วต่ำสุด 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.24 แอมป์แปร์ ตามลำดับและอุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า 34.5 องศาเซลเซียส

การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ใช้ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.38 แอมป์แปร์, ใช้ความเร็วปานกลาง 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.26 แอมป์แปร์ และความเร็วต่ำสุด 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระแสที่ใช้ 1.24 แอมป์แปร์ ตามลำดับและอุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า 31.2 องศาเซลเซียส

4.2 กราฟแสดงการทดลองภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงการทดลองภาระโหลดกับความเร็วหาค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน ของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง แสดงผลในรูปที่ 5 พบว่ามีการใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความต่างกันตามน้ำหนักของภาระโหลดที่ไม่เท่ากัน โดยมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านใช้กระแสไฟฟ้ามากที่สุด เมื่อรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 40 กิโลกรัม ใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.44 แอมป์แปร์ สำหรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 30 กิโลกรัม มอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.38 แอมป์แปร์ และที่ภาระโหลด 20 กิโลกรัม มอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.22 แอมป์แปร์ ตามลำดับ

กราฟแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักภาระโหลดส่งผลให้มีการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างภาระโหลดและการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ ผลการทดลองนี้สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านในจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในภาระโหลดต่าง ๆ

4.3 การทดลองภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง มีอยู่ 3 ระดับ ประกอบด้วย ภาระโหลดที่น้ำหนัก 40 กิโลกรัม, 30 กิโลกรัม และ20 กิโลกรัม เพื่อทดลองหาค่ากระแสที่ใช้ไปของมอเตอร์ไฟฟ้าขณะที่วิ่งด้วยความเร็วในระดับต่าง ๆ สามารถนำมาคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$P = E\,I$$

กำลังไฟฟ้า (P)	มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
แรงดันไฟฟ้า (E)	มีหน่วยเป็น โวลท์ (V)
กระแสไฟฟ้า (I)	มีหน่วยเป็น แอมป์ (A)

ตารางที่ 2 การทดลองที่ภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์

การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กำลังไฟฟ้า(วัตต์) ความเร็ว10 กิโลเมตร/ชั่วโมง	กำลังไฟฟ้า(วัตต์) ความเร็ว 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง	กำลังไฟฟ้า(วัตต์) ความเร็ว 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง	อุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า (องศาเซลเซียส)
40	25.70	27.33	29.37	40.9
30	25.29	25.70	28.15	34.5
20	22.64	23.46	24.88	31.2

จากตารางที่ 2 การทดลองที่ภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ ได้ทำการทดลองในภาระโหลดที่แตกต่างกันอยู่ 3 ระดับ ได้แก่ 40 กิโลกรัม, 30 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้กำลังที่ใช้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเสียดทานระหว่างล้อจักรยานไฟฟ้ากับพื้นถนนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

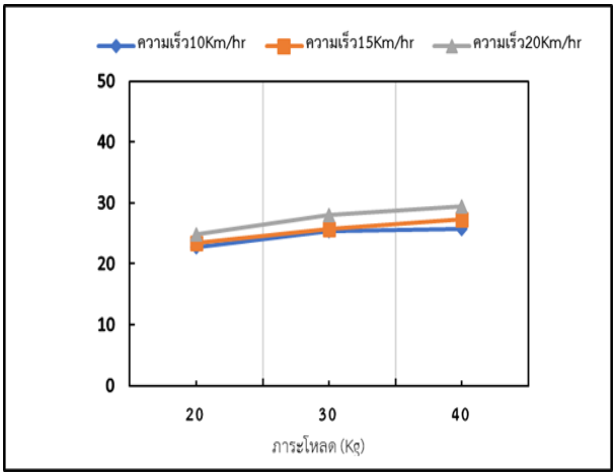
การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 40 กิโลกรัม ใช้ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 29.37 วัตต์, ใช้ความเร็วปานกลาง15กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 27.33 วัตต์ และความเร็วต่ำสุด 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 25.70 วัตต์ ตามลำดับและอุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า 40.9 องศาเซลเซียส

การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 30 กิโลกรัม ใช้ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 28.15 วัตต์, ใช้ความเร็วปานกลาง15กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 25.70วัตต์ และความเร็วต่ำสุด 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 25.29 วัตต์ ตามลำดับและอุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า 34.5 องศาเซลเซียส

การรับภาระโหลดที่น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ใช้ความเร็วสูงสุด 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 24.88 วัตต์, ใช้ความเร็วปานกลาง15กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 23.46 วัตต์ และความเร็วต่ำสุด 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 22.64 วัตต์ ตามลำดับและอุณหภูมิเฉลี่ยของมอเตอร์ไฟฟ้า 31.2 องศาเซลเซียส

ในการทดลองตามภาระโหลดและความเร็วในระดับต่างๆ มอเตอร์ไฟฟ้าจะมีความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นในการทดลองจึงใช้เครื่องเทอร์โมมิเตอร์ติดตั้งเข้ากับตัวของมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อทำการวัดอุณหภูมิและทำการบันทึกข้อมูล

4.4 กราฟแสดงการทดลองภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์



รูปที่ 5 กราฟแสดงการทดลองภาระโหลดกับความเร็ว เพื่อหากำลังไฟฟ้ามอเตอร์

จากการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านในจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง พบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์จะแตกต่างกันตามภาระโหลดที่รับ โดยมีการทดสอบที่ภาระโหลดน้ำหนัก 20 กิโลกรัม, 30 กิโลกรัม และ 40 กิโลกรัมผลการทดสอบพบว่าภาระโหลดที่ 40 กิโลกรัม ทำให้มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 29.37 วัตต์ ตามด้วยภาระโหลดที่ 30 กิโลกรัม ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้า 28.15 วัตต์ และภาระโหลดที่ 20 กิโลกรัม ใช้กำลังไฟฟ้า 24.88 วัตต์ จากผลการทดลองนี้ สามารถสรุปได้ว่าเมื่อภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

5. อภิปรายผลและสรุปผล

ในการศึกษาวิจัย เรื่อง การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านในจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง ผู้วิจัยสามารถอภิปรายผลการวิจัย ได้ดังต่อไปนี้

ผลการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่านซึ่งการทดลองใช้ภาระโหลดอยู่ที่ 40,20,30 กิโลกรัม และใช้ความเร็วอยู่ที่ 10,15 และ20 กิโลเมตร/ชั่วโมง มอเตอร์ไฟฟ้าจะใช้กระแสมากที่สุดในภาระโหลดที่ 40 กิโลกรัม, กระแสที่ใช้ 1.44 แอมป์แปร์ ,ลองลงมาภาระโหลดที่ 30 กิโลกรัม, กระแสที่ใช้ 1.38 แอมป์แปร์ และภาระโหลดที่ 20 กิโลกรัม, กระแสที่ใช้ 1.22 แอมป์แปร์ ตามลำดับ และ การทดลองเพื่อหากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์นั้นจะใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดในภาระโหลดที่ 40 กิโลกรัม, กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 29.37 วัตต์ ,ลองลงมาภาระโหลดที่ 30 กิโลกรัม,กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 28.15 วัตต์ และภาระโหลดที่ 20 กิโลกรัม, กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 24.88 วัตต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตตินันท์ ใจยิ้ม และศุภพล เสนาสุข (2563) ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่องรถสามล้อไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า ชิ้นงานสามารถรับภาระได้ไม่มากและมีความเร็วที่ต่ำ โดยขั้นต้นแก้ปัญหาการทดรอบเฟืองของมอเตอร์เพื่อเพิ่มแรงบิดและเพิ่มขนาดเพลา แบริ่ง พบว่าชิ้นงานมีความเร็วและรับภาระได้เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฐิติกร ปิ่นดอกไม้ หฤษฎ์ ปิ่นงาม ณัฐพล แดนประสาท วีระพล พลีสัตย์ อิทธิพล เหลาพรม และรุ่งโรจน์ สงวนวัฒนา (2565) ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง รถจักรยานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปลงถ่าน ผลการวิจัยพบว่า การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านสามารถควบคุมได้เป็นอย่างดี โดยมีการทำงานของสวิตช์ทั้ง 6 ตัวโดยไม่เกิดการลัดวงจร ซึ่งรถจักรย านไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 120 กิโลกรัม สามารถวิ่งได้ในทางเรียบและทางลาดชัน มีคุณสมบัติเหมาะกับการนำไปใช้งานทำรถจักรยานไฟฟ้า สอดคล้องกับที่ กันตภณ โล่นพันธ์ (2564) ได้รายงานว่า มอเตอร์แม่เหล็กถาวรขนาด 50 x 50 x 5 มม.มีสมรรถภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับมอเตอร์ต้นแบบให้แรงบิดสูงสุดเพิ่มขึ้น 33.47 เปอร์เซ็นต์ กำลังไฟฟ้าด้านทางออกเพิ่มขึ้น 4.46 เปอร์เซ็นต์ และมีประสิทธิภาพสูงสุดเพิ่มขึ้นประมาณ 1.99 เปอร์เซ็นต์ และการวิเคราะห์ด้วยการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบและการพัฒนาสมรรถภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วีรยุทธ เติมสวัสดิ์ และจักรกฤษณ์ จันทรศิริ (2562) ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนารถสามล้อไฟฟ้าเพื่อคนพิการทางขา ได้กล่าวไว้ว่า การพัฒนารถสามล้อไฟฟ้าเพื่อคนพิการทางขา สามารถเพิ่มหรือลดความเร็วได้โดยการใช้มือบิดคันเร่ง ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยชุดคอนโทรล ทดลองความเร็วบนถนนลาดยาง ถนนคอนกรีต และถนนลูกรัง ผลการวิจัยพบว่า ถนนลาดยางรถสามารถวิ่งได้ความเร็วเฉลี่ย 24.28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถนนคอนกรีตสามารถวิ่งได้ ความเร็วเฉลี่ย 23.13 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถนนลูกรังสามารถวิ่งได้ ความเร็วเฉลี่ย 19.66 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และระยะทางที่รถสามารถวิ่งได้ต่อการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้งสามารถวิ่งได้เฉลี่ย 20.05 กิโลเมตร

การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการดัดแปลงจักรยานธรรมดาด้วยมอเตอร์ไร้แปรงถ่านสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในหลายด้าน ได้แก่ ลดต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับจักรยานไฟฟ้าสำเร็จรูป ช่วยให้สามารถประหยัดพลังงานเมื่อใช้งานในภาระและความเร็วที่เหมาะสม ลดความถี่ในการชาร์จไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา เนื่องจาก

มอเตอร์ไร้แปรงถ่านมีโครงสร้างที่เรียบง่าย และยังยืดอายุการใช้งานของจักรยาน ช่วยลดความจำเป็นในการซื้อจักรยานใหม่

6. ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินวิจัย การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านของจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลง มีข้อเสนอแนะในการวิจัย ดังนี้

6.1 ควรออกแบบและสร้างชั้นวางภาระโหลดให้มีความแข็งแรงและทนทาน เพื่อลดความเสี่ยงจากการเสียหายที่อาจเกิดจากการรับน้ำหนักที่ไม่สม่ำเสมอหรือเกินขีดจำกัด

6.2 ควรจัดให้มีวิธีการยึดจักรยานไฟฟ้าให้แน่นและมั่นคงบนชั้นวาง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่หรือการหลุดล่วงที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน

6.3 วงล้อของจักรยานต้องได้รับการตรวจสอบและปรับแต่งให้มีความสมดุลและแข็งแรง เพื่อให้การขับขี่ปลอดภัยและลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุจากการสึกหรอหรือความไม่สมดุลของวงล้อ

7. เอกสารอ้างอิง

กันตภณ โล่นพันธ์. (2564). **การวิเคราะห์สมรรถภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับรถจักรยาน ไฟฟ้าด้วยการใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

กิตตินันท์ ใจยิ้ม และศุภพล เสนาสุข. (2563). **สามล้อไฟฟ้า**. ปริญญานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฐิติกร ปิ่นดอกไม้ หฤษฎ์ ปิ่นงาม ณัฐพล แดนประสาท วีระพล พลีสัตย์ อิทธิพล เหลาพรม และรุ่งโรจน์ สงวนวัฒนา. (2565). “รถจักรยานไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน”**. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.** 15 มีนาคม 2565. จังหวัดกำแพงเพชร. 786 - 794.

นะโม ชวลิต. (2566). **การลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย**. สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิทยาลัยการจัดการ, มหาวิทยาลัยมหิดล.

วีรยุทธ เติมสวัสดิ์ และ จักรกฤษณ์ จันทรศิริ. (2562). **การพัฒนารถสามล้อไฟฟ้าเพื่อคนพิการทางขา**. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

8. คุณค่าทางวิชาการ

การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านในจักรยานไฟฟ้าแบบดัดแปลงมีคุณค่าทางวิชาการที่สำคัญหลายด้าน โดยการวิจัยนี้ไม่เพียงแต่ช่วยในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานไฟฟ้าและการออกแบบจักรยานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ยังมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมและสนับสนุนการวิจัยในสาขาพลังงานทดแทน การศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานช่วยให้สามารถระบุจุดที่มอเตอร์อาจสูญเสียพลังงานและหาวิธีลดการสูญเสียนั้นๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อการปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อนต่าง ๆ การศึกษานี้ยังสามารถนำไปใช้ในการฝึกอบรมและการศึกษาในระดับอุดมศึกษาและวิชาชีพเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ และการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ