



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

การทำนายสถานะของแบตเตอรี่ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น
Predicting the State of Charge of the Battery in Electric Motorcycle Using a Linear Regression Model

วรรณฤทธิ์ ทวีชาติ (Wannaris Taveechara)¹ หารุณง บัวทอง (Hanrong Buathong)²

นิตา แซ่จ้อง (Nida Sae Jong)^{3*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยคือ เพื่อทำนายสถานะของแบตเตอรี่ (SOC) ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า โดยใช้เวลาและความเร็วเป็นตัวแปร รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารุ่น Hua Tai AUCMA Company พร้อมกับแบตเตอรี่ CHILWEE ขนาด 60 โวลต์ 20 แอมแปร์-ชั่วโมง และมอเตอร์ขนาด 500 วัตต์ ถูกใช้ในการทดสอบ การทดลองถูกแบ่งออกเป็น 4 เงื่อนไข ดังนี้ 1) ไร้อหลด ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 2) ไร้อหลด ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 3) มีโหลด 80 กิโลกรัม ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 4) มีโหลด 80 กิโลกรัม ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้เวลาในการทดลองเท่ากับ 1 ชั่วโมง ค่า SOC ลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทั้งในสภาวะไร้อหลดและมีโหลด ในสภาวะไร้อหลด ค่า SOC ลดลง 6% SOC และ 26% SOC ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขณะที่ ค่า SOC ลดลงเท่ากับ 59% SOC และ 76% SOC ที่ความเร็วดังกล่าว ในสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม ดังนั้นค่า SOC แปรผันตามเวลา ความเร็ว และมีโหลด ค่า SOC ของแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าลดลง ทั้งที่โหลดสูงและความเร็วที่เร็วขึ้น ดังนั้นการปรับให้เหมาะสมจึงมีความจำเป็นเพื่อลดผลกระทบของเงื่อนไขเหล่านี้

คำสำคัญ สถานะของแบตเตอรี่ เวลา ความเร็ว แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

¹ สาขาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

² สาขาวิชาช่างเทคนิคระบบขนส่งทางราง วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

³ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference

Abstract

The objective of this research was to predict the state of charge (SOC) of the battery in an electric motorcycle, using time and speed as variables. The Hua Tai AUCMA Company electric motorcycle equipped with a CHILWEE 60V 20Ah battery and a 500W motor was used for testing. The experiments was divided to four conditions as 1) no-load at a speed of 33kph 2) no-load at a speed of 38kph 3) 80kg load at a speed of 33kph and an 4) 80kg load at a speed of 38kph for one hour. The SOC decreased linearly as time increased in both no-load and 80 kg load conditions. In the no-load condition, the SOC value decreased by 6% SOC and 26% SOC at speeds of 33 kph and 38 kph respectively. Meanwhile, the SOC value decreased by 59% SOC and 76% SOC at those speeds under a load of 80kg. Therefore, the SOC value varies with time, speed, and loaded conditions. The battery SOC for the electric motorcycle diminished at both higher load and faster speed, thus further optimization is necessary to reduce the impact of these conditions

Keywords: State of charge (SOC), Time, Speed, Linear regression model, Electric motorcycle



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

บทนำ

ปัจจุบันรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากเป็นยานพาหนะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำกว่ารถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ภาสทิธี เติมนวงศ์ และ ศุภรัชชัย วรรัตน์, 2566) องค์ประกอบที่สำคัญของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าคือแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า การจัดการและการวิเคราะห์สถานะของประจุแบตเตอรี่ (State of Charge : SOC) เป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจาก SOC มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการใช้งานรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ค่า SOC คือ อัตราส่วนของประจุที่เหลืออยู่ต่อความจุที่แบตเตอรี่จะเก็บได้ ดังนั้นค่า SOC น้อย แสดงว่าประจุที่เหลือในแบตเตอรี่มีค่าน้อย (El Haini & Nouira, 2024)

การทดสอบภายใต้เงื่อนไขการใช้งานที่หลากหลาย เช่น ความเร็วและน้ำหนักที่แตกต่างกัน ช่วยให้เข้าใจถึงพฤติกรรมและการคายประจุของแบตเตอรี่ในสถานการณ์ต่างๆ ได้ดีขึ้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็ว และ SOC ของแบตเตอรี่ในรถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารุ่น Hua Tai AUCMA ซึ่งใช้แบตเตอรี่ขนาด 60V 20Ah และมอเตอร์ขนาด 500W โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะไร้โหลดและมีโหลด 80 กิโลกรัม ที่ความเร็วสองระดับ คือ 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการตรวจสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเร็ว และ SOC ของแบตเตอรี่ในสภาวะการทดสอบต่างๆ เพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนาย SOC ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะมีประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้งานรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงการวางแผนการจัดการพลังงานในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของเวลา ความเร็ว และสถานะของแบตเตอรี่ (SOC)
2. สร้างแบบจำลองที่สามารถทำนาย SOC ของแบตเตอรี่ที่แปรผันตามเวลาและความเร็ว

ระเบียบวิธีวิจัย

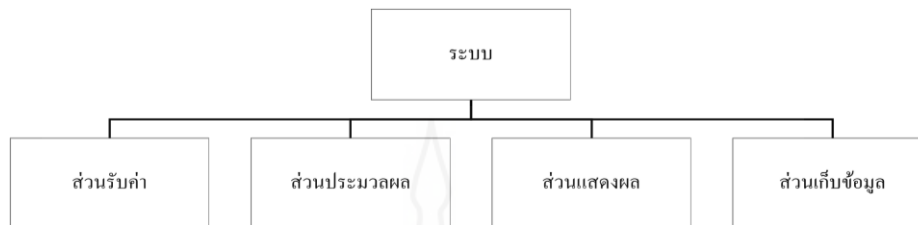
หัวข้อนี้อธิบายวิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยการออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูล การได้มาของข้อมูล และการสร้างโมเดลทำนายสถานะของแบตเตอรี่ โดยมีเวลาในการใช้งาน และความเร็วเป็นตัวแปรต้น รายละเอียดแสดงดังนี้

1. การออกแบบและสร้างระบบทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา ความเร็วและสถานะของแบตเตอรี่

การออกแบบระบบทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา ความเร็ว และสถานะของแบตเตอรี่ แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนรับค่าจากเซ็นเซอร์ PZEM-017 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้า ส่วนประมวลผลเป็นคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ โดยเขียนโปรแกรมบน Arduino รุ่น Node MCU ESP8266 mini ส่วนแสดงผลเป็นการแสดงข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมาบนแอปพลิเคชัน Bynk และส่วนเก็บข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกส่งผ่านคลาวด์ไปเก็บบน Google sheets แบบเรียลไทม์ แสดงดังภาพที่ 1



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 1 ระบบทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา ความเร็ว และสถานะของแบตเตอรี่

2. การได้มาของข้อมูล (Data acquisition)

การได้มาของข้อมูลเริ่มจากวัดค่ากระแสและแรงดันจากเซนเซอร์ PZEM-017 ขณะทำการทดสอบในสภาวะไร้โหลด และมีโหลด 80 กิโลกรัม ที่ความเร็ว 33 และ 38 กม./ชม. ตามลำดับ โดยใช้รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารุ่น Hua Tai AUCMA Company ในการทดสอบ ซึ่งใช้แบตเตอรี่ CHILWEE ขนาด 60 โวลต์ 20 แอมแปร์-ชั่วโมง และมอเตอร์ขนาด 500W จากนั้นข้อมูลที่วัดได้จะถูกส่งไปยัง Node MCU เพื่อประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้า และบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านคลาวด์ไปเก็บบน Google Sheets ได้แก่ วันและเวลาที่ใช้งาน แรงดัน กระแส พลังงาน ความเร็ว และ ค่า SOC แสดงดังภาพที่ 2

ค่าจริงที่ได้จาก Google Sheets							
Time	Time(S)	Voltage	Current	Power	speed	SOC	%SOC
8:04:06	60	65.18	0.72	46.930	33	2.173	79%
8:05:42	120	65.18	0.72	46.930	33	2.173	79%
8:06:18	180	65.17	0.73	47.574	33	2.172	79%
8:07:54	240	65.16	0.74	48.218	33	2.172	79%
8:08:30	300	65.16	0.74	48.218	33	2.172	79%
8:09:07	360	65.15	0.75	48.863	33	2.172	79%
8:10:42	420	65.15	0.72	46.908	33	2.172	79%
8:11:06	480	65.14	0.71	46.249	33	2.171	79%
8:12:44	540	65.13	0.72	46.894	33	2.171	79%
8:13:18	600	65.12	0.71	46.235	33	2.171	78%
8:14:06	660	65.12	0.73	47.538	33	2.171	78%
8:15:46	720	65.11	0.72	46.879	33	2.170	78%
8:16:18	780	65.11	0.74	48.181	33	2.170	78%
8:17:54	840	65.10	0.74	48.174	33	2.170	78%
8:18:31	900	65.09	0.73	47.518	33	2.170	78%
8:19:06	960	65.09	0.72	46.863	33	2.170	78%
8:20:42	1020	65.08	0.74	48.160	33	2.169	78%
8:21:18	1080	65.07	0.73	47.504	33	2.169	78%
8:22:54	1140	65.07	0.75	48.801	33	2.169	78%

ภาพที่ 2 การเก็บข้อมูลใน Google sheets



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

3. การหาความสัมพันธ์ของเวลา ความเร็ว และสถานะของแบตเตอรี่ (SOC)

หลังจากได้ข้อมูลค่า SOC ของแบตเตอรี่ ขณะทดสอบที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในสภาวะไร้โหลด และมีโหลด 80 กิโลกรัม จากนั้นนำค่าเวลาและ SOC มาพล็อตกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่แต่ละสถานะของการทดสอบ และสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนาย SOC ของแบตเตอรี่ตามเวลาที่ใช้งานและความเร็ว

4. การประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในโปรแกรม MATLAB

การประเมินประสิทธิภาพของโมเดล ในโปรแกรม MATLAB ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 3 มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำข้อมูลเข้าจากไฟล์ Excel

ขั้นตอนที่ 2 เลือกฟีเจอร์ที่ต้องการใช้ในการทำนาย กำหนดให้ x เป็นตัวแปรต้น ประกอบด้วย $x_1 = \text{Voltage}$
 $x_2 = \text{Current}$ และ $x_3 = \text{Power}$ โดย y เป็นตัวแปรตาม คือค่า SOC

ขั้นตอนที่ 3 นอร์มข้อมูลโดยใช้วิธี z-score

ขั้นตอนที่ 4 สร้างโมเดลการทำนายค่า SOC โดยใช้ linear regression แบ่งข้อมูลเป็นชุดฝึกสอน (80%) และชุดทดสอบ (20%)

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินประสิทธิภาพของโมเดล โดยแสดงเป็นกราฟของค่า SOC ที่วัดได้กับค่า SOC ที่ทำนายได้



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 3 ผังการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลการทำนาย SOC

ผลการวิจัย

การทดสอบแบ่งออกเป็นสองแบบคือ ในสถานะที่ไร้โหลด และมีโหลดที่ 80 กิโลกรัม โดยนำข้อมูลทั้งหมดไปสร้างโมเดลบนโปรแกรม MATLAB

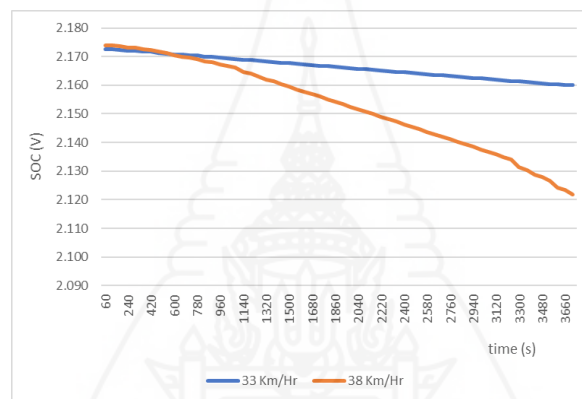
1. ผลการทดสอบในสถานะไร้โหลด

ภาพที่ 4 แสดงค่า SOC ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แกน x คือเวลาที่ใช้ในการทดสอบ มีหน่วยเป็นวินาที แกน y คือค่า SOC มีหน่วยเป็นโวลต์ ผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 65.18 ถึง 64.8 โวลต์ และ 0.69 ถึง 0.76 แอมป์ ตามลำดับ ค่า SOC อยู่ระหว่าง 2.173 (80% SOC) ถึง 2.160 ที่ ถึง (73% SOC) ขณะที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ มีค่าระหว่าง 65.22 ถึง 63.56 โวลต์ และกระแสอยู่ในช่วงประมาณ 1.20 ถึง 1.29 แอมป์ ค่า SOC อยู่ระหว่าง 2.174 (80% SOC) ถึง 2.122 (54% SOC) นอกจากนี้ยังสังเกตว่าค่า SOC จะลดลงแบบเป็นเชิงเส้น เมื่อเวลาในการใช้งานเพิ่มขึ้น ทั้งที่



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทำนายค่า SOC ถูกจำลองด้วยโปรแกรม MatLab โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบถดถอยเชิงเส้น ดังนี้ $SOC = -0.0009 * t + 2.1796$ ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ $SOC = -0.0022 * t + 2.1830$ ที่ความเร็ว 38 กม./ชม. t คือเวลาในการทดลอง มีหน่วยเป็นวินาที จากการเปรียบเทียบค่า SOC ทั้งสองโมเดลพบว่าอัตราการลดลงของ SOC เท่ากับ 0.0009 และ 0.0022 ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยค่า SOC ลดลงเร็วกว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราการคายประจุอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจบ่งบอกถึงการใช้พลังงานของมอเตอร์ที่สม่ำเสมอ ภายใต้สภาวะไร้โหลดและความเร็วที่กำหนด และอัตราการลดลงของ SOC ค่อนข้างต่ำบ่งบอกว่าแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพดี หรือมอเตอร์ใช้พลังงานน้อย



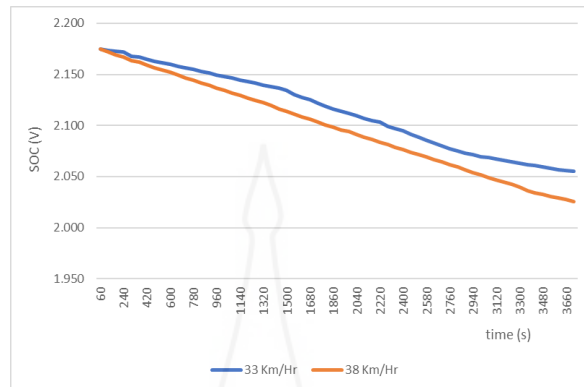
ภาพที่ 4 ค่า SOC ในสภาวะไร้โหลด

2. ผลการทดสอบในสภาวะโหลดที่ 80 กิโลกรัม

ภาพที่ 5 แสดงค่า SOC ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่า ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 65.24 ถึง 61.78 โวลต์ และ 9.01 ถึง 10.55 แอมป์ ตามลำดับ ค่า SOC อยู่ระหว่าง 2.175 (80% SOC) ถึง 2.059 (22% SOC) ขณะที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ มีค่าระหว่าง 65.24 ถึง 60.77 โวลต์ และ 12.97 ถึง 14.62 แอมป์ ค่า SOC อยู่ระหว่าง 2.175 (80% SOC) ถึง 2.026 (5% SOC) การทำนายค่า SOC ถูกจำลองด้วยโปรแกรม MatLab โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบถดถอยเชิงเส้น ดังนี้ $SOC = -0.0022 * t + 2.1830$ ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ $SOC = -0.0025 * t + 2.1762$ ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากการเปรียบเทียบค่า SOC ทั้งสองโมเดล พบว่าอัตราการลดลงของ SOC เท่ากับ 0.0022 และ 0.0025 ที่ความเร็ว 33 และ 38 กม.ชม. ตามลำดับ โดยค่า SOC ลดลงด้วยอัตราใกล้เคียงกันเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น แตกต่างกับในสภาวะไร้โหลดที่มีอัตราการลดลงของ SOC ต่างกันอย่างชัดเจนที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



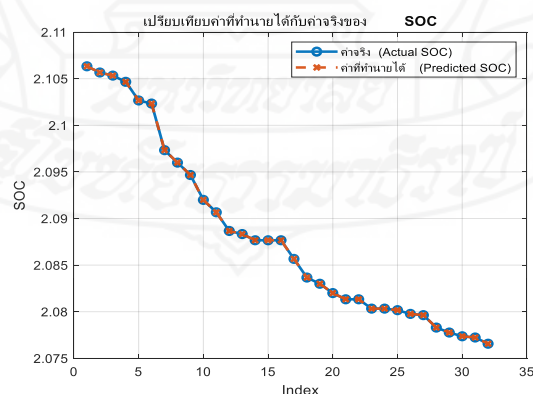
การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



ภาพที่ 5 ค่า SOC ในสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในโปรแกรม MATLAB ในสภาวะไร้โหลด

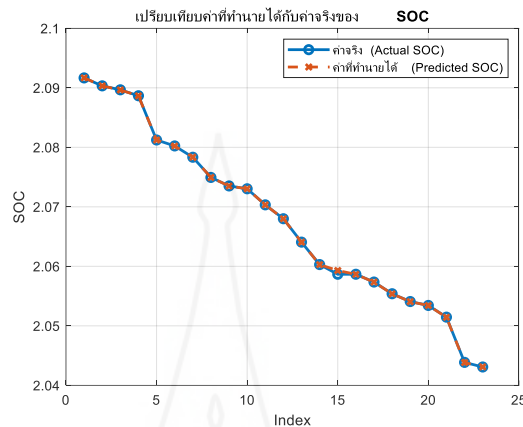
การประเมินประสิทธิภาพของโมเดล Linear Regression สำหรับทำนายค่า SOC ภายใต้การทดสอบในสภาวะไร้โหลด ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 6 แกน x คือชุดข้อมูลของตัวแปรต้น ซึ่งประกอบด้วยแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า จากภาพที่ 6 (ก) ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าแนวโน้มของค่าที่ทำนายได้ (Predicted SOC) ใกล้เคียงกับค่าจริง (Actual SOC) ซึ่งบ่งบอกว่าโมเดลสามารถทำนายค่า SOC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาพที่ 6 (ข) ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลลัพธ์ที่ได้ยังคงสอดคล้องกันระหว่างค่าจริงและค่าที่ทำนายได้โดยมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ทั้งสองกราฟแสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถทำนายค่า SOC ได้อย่างแม่นยำทั้งสองความเร็ว แต่ยังมีมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยบางจุด ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดของจำนวนข้อมูลที่ใช้สำหรับการสอน



(ก) ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

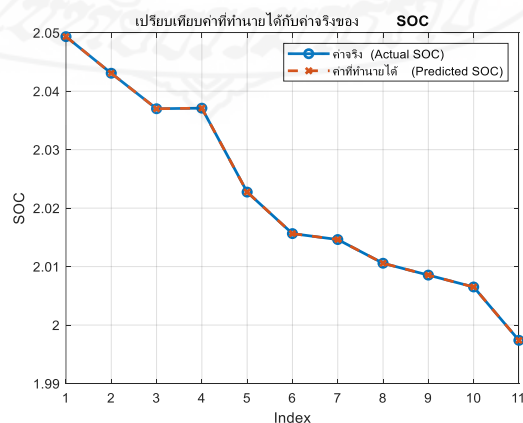


(ข) ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบค่าที่ทำนายกับค่าจริงของ SOC ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในโปรแกรม MATLAB ในสภาวะโหลด 80 กิโลกรัม

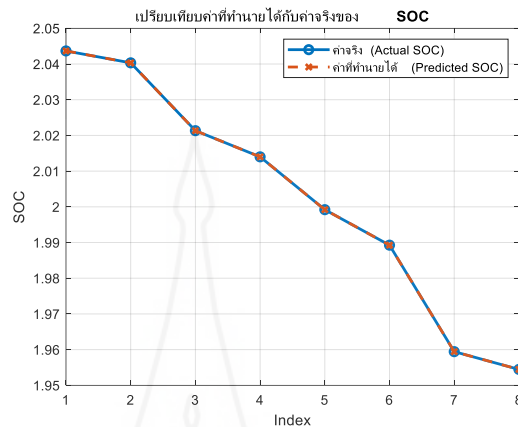
ในสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม ภาพที่ 7 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงของ SOC กับค่าที่ทำนายได้ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าที่ทำนายได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ตลอดช่วงเวลาการทดสอบ แต่ในบางจุดอาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย การทำนายของโมเดลทำได้ดีในสถานการณ์นี้ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการติดตามการลดลงของ SOC ภาพที่ 7 (ข) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงของ SOC กับค่าที่ทำนายได้ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าที่ทำนายได้ในกราฟนี้ยังคงมีความใกล้เคียงกับค่าจริง แต่มีบางจุดที่ความคลาดเคลื่อนอาจเห็นได้ชัดเจนกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกราฟที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามโมเดลยังสามารถทำนายการลดลงของ SOC ได้ค่อนข้างแม่นยำ ที่ความเร็วมากขึ้นและภาระโหลดที่มากขึ้น กราฟทั้งสองแสดงให้เห็นว่าโมเดลที่สร้างขึ้นสามารถทำนายค่า SOC ได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่มีน้ำหนักโหลด 80 กิโลกรัมที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยอาจเกิดขึ้นในบางจุด โดยเฉพาะในกรณีของความเร็วที่สูงขึ้น (38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)



(ก) ในสภาวะโหลด 80 กก. ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



(ข) ในสภาวะโหลด 80 กก. ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ภาพที่ 7 เปรียบเทียบค่าที่ทำนายกับค่าจริงของ SOC ในสภาวะโหลดที่ 80 กก.ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5. การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนและประสิทธิภาพของโมเดลการทำนาย

ตารางที่ 1 ประเมินความแม่นยำของโมเดลการทำนาย SOC

สภาวะการทดสอบ	Mean Absolute Error	Mean squared Error	Root Mean Squared Error	R-squared	Mean Absolute Percentage Error
	MAE	MSE	RMSE	R ²	MAPE
ไร้โหลด 33	0.0035	0.0000	0.0044	0.8229	0.17%
ไร้โหลด 38	0.0073	0.0001	0.0087	0.7434	0.35%
มีโหลด 33	0.0068	0.0001	0.0077	0.5979	0.34%
มีโหลด 38	0.0145	0.0003	0.0165	0.7299	0.72%

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดประสิทธิภาพของโมเดลการทำนาย SOC ในสภาวะการทดสอบที่แตกต่างกัน โดยมีการบันทึกค่า 5 ตัวชี้วัด ได้แก่ MAE, MSE, RMSE, R² และ MAPE สำหรับการทดสอบในแต่ละสภาวะ

Mean Absolute Error (MAE) ใช้วัดค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่คลาดเคลื่อนและค่าจริง โดยไม่มีการพิจารณาทิศทางของความคลาดเคลื่อน ค่า MAE ที่ต่ำแสดงถึงการทำนายที่ดีกว่า

Mean Squared Error (MSE) ใช้วัดค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน คำนี้นี้จะวัดการคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่มากกว่าการทำนายที่แม่นยำ



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

The 14th STOU National Research Conference

Root Mean Squared Error (RMSE) เป็นรากที่สองของ MSE ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของความคลาดเคลื่อนค่า RMSE ที่ต่ำแสดงถึงการทำนายที่ดีกว่า

R-squared (R^2) ใช้วัดความสามารถของโมเดลในการอธิบายความแปรปรวนในข้อมูล โดย R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่าที่สูงกว่าแสดงถึงความแม่นยำที่สูงขึ้น

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ใช้วัดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยบอกถึงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าจริง

จากตารางที่ 1 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าโมเดลมีความแม่นยำที่ต่างกันไปตามสภาวะการทดสอบ ค่า MAE ต่ำสุดอยู่ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (0.0035) ซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำสูงสุดในกรณีนี้ ในทางตรงกันข้าม สภาวะมีโหลดที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่า MAE สูงสุด (0.0145) แสดงถึงความคลาดเคลื่อนสูงสุด ค่า MSE และ RMSE ที่ต่ำสุดก็พบในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ($MSE = 0.0000$, $RMSE = 0.0044$) บ่งบอกถึงการทำนายที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด สภาวะที่มีค่า RMSE สูงสุดคือ มีโหลดที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (0.0165) ค่า R^2 สูงสุดอยู่ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (0.8229) ซึ่งหมายความว่าโมเดลสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ดีที่สุดในกรณีนี้ สภาวะมีโหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่า R^2 ต่ำสุด (0.5797) ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำน้อยกว่า ค่า MAPE ต่ำสุดอยู่ที่ไร้โหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (0.17%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความคลาดเคลื่อนในแบบเปอร์เซ็นต์ต่ำที่สุด ค่า MAPE สูงสุดคือ มีโหลดที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (0.72%) จากการวิเคราะห์ตัวชี้วัดทั้งหมด โมเดลนี้มีความแม่นยำสูงสุดในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ในสภาวะมีโหลดที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แม้โมเดลจะสามารถทำนายได้ดีในบางสภาวะ แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนในกรณีที่มีโหลดสูง

6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า

สภาวะการทดสอบ	แรงดัน (โวลต์)		กระแส (แอมป์)		ค่า SOC (โวลต์)		การลดลงของ % SOC
	min	max	min	max	min	max	
ไร้โหลด 33	64.8	65.18	0.69	0.76	2.160 (73%)	2.173 (80%)	6
ไร้โหลด 38	63.56	65.22	1.20	1.29	2.122 (54%)	2.174 (80%)	26
มีโหลด 33	61.78	65.24	9.01	10.55	2.059 (22%)	2.175 (80%)	59
มีโหลด 38	60.77	65.24	12.97	14.62	2.026 (5%)	2.175 (80%)	76



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14

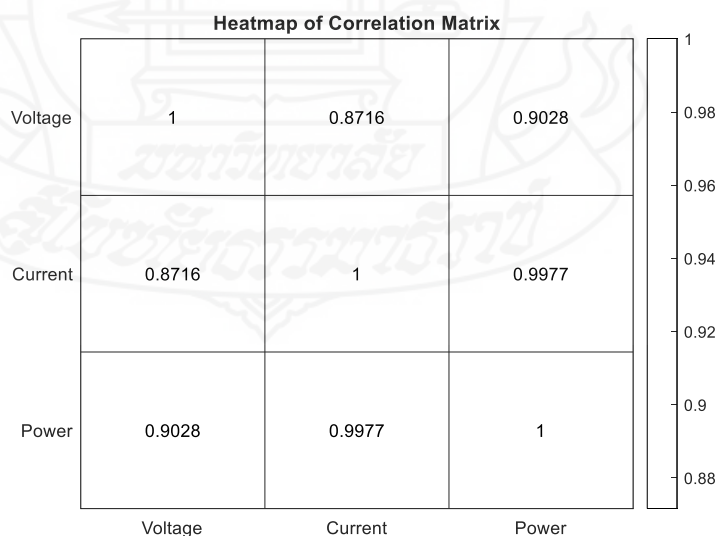
The 14th STOU National Research Conference

จากตารางที่ 2 พบว่าค่า SOC ก่อนเริ่มทำการทดสอบอยู่ที่ 80% ซึ่งมีค่าแรงดันระหว่าง 2.173 ถึง 2.175 โวลต์ นอกจากนี้หลังจากทำการทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าค่า SOC ลดลงต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ทั้งในสภาวะไร้โหลด และสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม ทั้งนี้ในสภาวะไร้โหลดมีการลดลงของค่า SOC เท่ากับ 6% SOC และ 26% SOC ที่ความเร็ว 33 กม./ชม และ 38 กม./ชม ตามลำดับ ขณะที่สภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม ค่า SOC ลดลงเท่ากับ 59% SOC และ 76% SOC ที่ความเร็ว 33 กม./ชม และ 38 กม./ชม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแรงดันลดลงประมาณ 1 ถึง 2 โวลต์ ในสภาวะไร้โหลด และประมาณ 3 ถึง 5 โวลต์ ในสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม เช่นเดียวกับกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงประมาณ 0.05 ถึง 0.09 แอมป์ ในสภาวะไร้โหลด และ ประมาณ 1.54 ถึง 1.65 แอมป์ ในสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม จากการสังเกตพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าน้อย แต่เปอร์เซ็นต์ SOC ลดลงมาก อย่างไรก็ตามการทดสอบแสดงให้เห็นว่าทั้งความเร็วและน้ำหนักมีผลต่อการลดลงของค่า SOC ของแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า ความเร็วและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แบตเตอรี่หมดเร็วขึ้น ในสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม ความเร็วที่สูงขึ้นทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง ขณะที่กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ SOC ลดลงมากกว่าสภาวะไร้โหลดและที่ความเร็วต่ำ บ่งบอกถึงการใช้พลังงานแบตเตอรี่มากขึ้น เมื่อมีการบรรทุกน้ำหนักและใช้ความเร็วสูง

7. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพีเจอร์ทัว Heatmap

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพีเจอร์ทัว Heatmap เป็นการแสดงผลแบบกราฟฟิคที่โดยแสดงค่าความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างพีเจอร์ทัวต่างๆ ประกอบด้วย Voltage Current และ ค่าความสัมพันธ์สามารถมีค่าได้ตั้งแต่ -1 ถึง 1

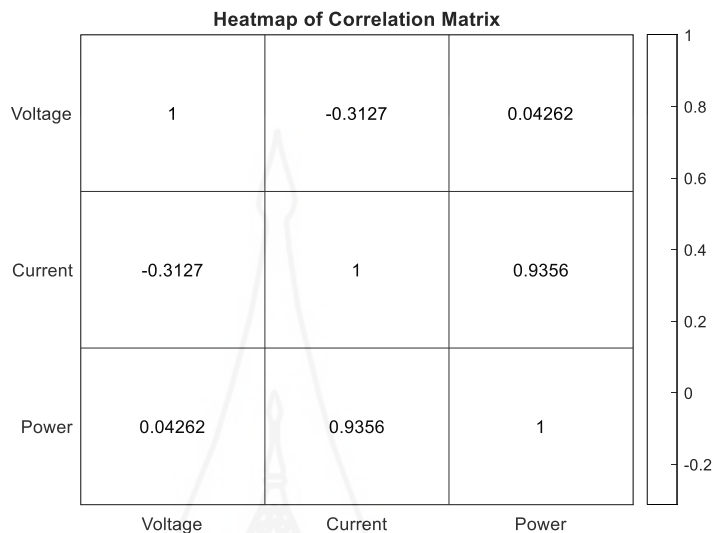
- ค่าสีที่ใกล้เคียงกับ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวก
- ค่าสีที่ใกล้เคียงกับ -1 แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงลบ
- ค่าสีที่ใกล้เคียงกับ 0 แสดงถึงไม่มีความสัมพันธ์



(ก) ภาพ Correlation Matrix ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในสภาวะไร้โหลด



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



(ข) ภาพ Correlation Matrix ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในสภาวะไร้โหลด

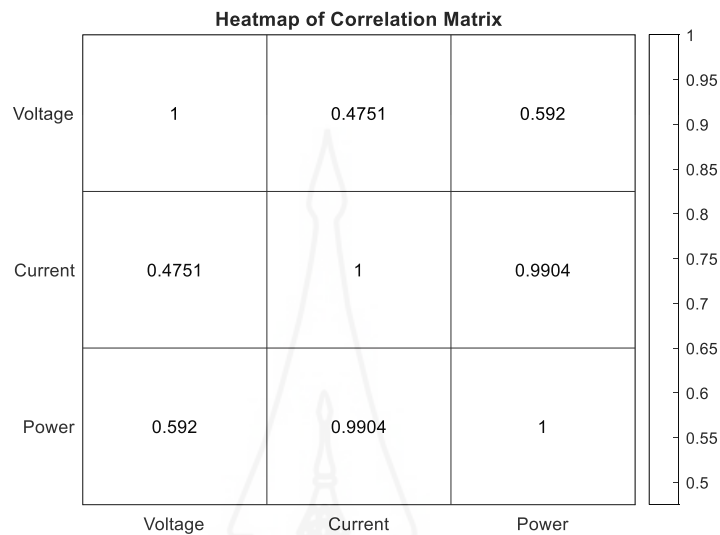
ภาพที่ 8 เปรียบเทียบ Heatmap ในสภาวะไร้โหลดที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอจอร์ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาพที่ 8(ก) Voltage มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ Current (0.8716) และ Power (0.9028) Current และ Power มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงมาก (0.9977) โดยรวมแล้วทุกตัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกค่อนข้างสูง ความสัมพันธ์ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage และ Current กลายเป็นเชิงลบ (-0.3127) ระหว่าง Voltage กับ Power มีค่าค่อนข้างต่ำ (0.0426) ความสัมพันธ์ระหว่าง Current และ Power ยังคงเป็นเชิงบวกสูง (0.9356) โดยรวมแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage กับตัวแปรอื่น ๆ มีการลดลงหรือเปลี่ยนแปลงเชิงลบเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น

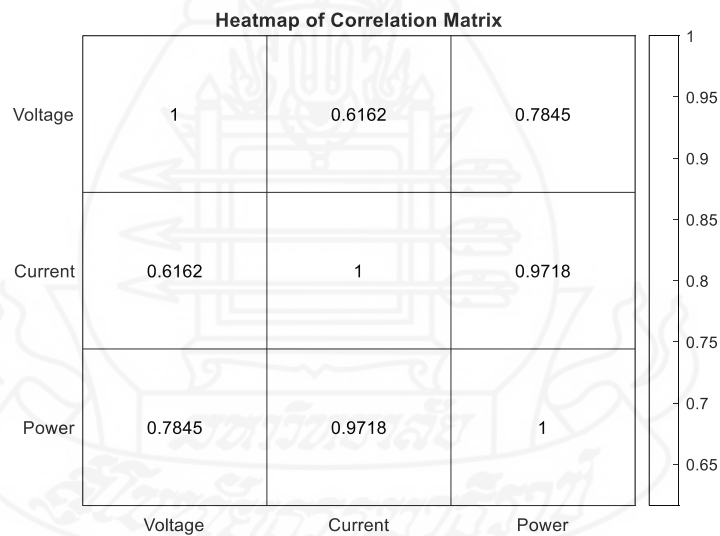
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในสภาวะมีโหลด 80 กิโลกรัม ภาพที่ 9(ก) ความสัมพันธ์ที่ความเร็ว 33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่า Voltage มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับ Current (0.4751) และ Power (0.592) Current และ Power มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงมาก (0.9904) โดยรวมแล้วทุกตัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกค่อนข้างสูง ขณะที่ความสัมพันธ์ที่ความเร็ว 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง Voltage และ Current มีความสัมพันธ์เชิงบวก (0.6162) Voltage กับ Power มีค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง (0.7845) ความสัมพันธ์ระหว่าง Current และ Power ยังคงเป็นเชิงบวกสูง (0.9718) โดยรวมแล้ว ความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage กับตัวแปรอื่น ๆ มีความสัมพันธ์เชิงบวก



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference



(ก) ภาพ Correlation Matrix ที่ความเร็ว 33 กม./ชม.ในสภาวะมีโหลดที่ 80 กก.



(ข) ภาพ Correlation Matrix ที่ความเร็ว 38 กม./ชม.ในสภาวะมีโหลดที่ 80 กก.

ภาพที่ 9 เปรียบเทียบ Heatmap ในสภาวะมีโหลด 80 กก. ที่ความเร็ว 33 38 กม./ชม.



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14 The 14th STOU National Research Conference

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการสร้างโมเดล เพื่อทำนายค่า SOC โดยมีตัวแปรคือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ ความเร็ว และสถานะไร้โหลดและมีโหลด รถจักรยานยนต์ไฟฟ้ารุ่น Hua Tai AUCMA ถูกใช้ในการทดสอบ ซึ่งใช้แบตเตอรี่ขนาด 60V 20Ah และมอเตอร์ขนาด 500W โดยทำการทดสอบภายใต้สถานะไร้โหลดและมีโหลด 80 กิโลกรัม ที่ความเร็วสองระดับ คือ 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทดสอบ ความเร็ว และค่า SOC ของแบตเตอรี่ในสถานะการทดสอบต่าง ๆ

การออกแบบระบบเก็บข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนรับค่าจากเซ็นเซอร์ PZEM-017 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ส่วนประมวลผลโดยใช้ Arduino รุ่น Node MCU ESP8266 mini ส่วนแสดงผลเป็นการแสดงข้อมูลบนแอปพลิเคชัน Bynk และส่วนเก็บข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกส่งผ่านคลาวด์ไปเก็บบน Google sheets แบบเรียลไทม์ จากนั้นนำค่าเวลาและ SOC มาพล็อตกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่แต่ละสถานะของการทดสอบ และสร้างแบบจำลองที่สามารถทำนาย SOC ของแบตเตอรี่ตามเวลาที่ใช้งานและความเร็ว

ผลการทดสอบถูกแบ่งเป็น 2 แบบคือ ในสถานะไร้โหลดและมีโหลด 80 กิโลกรัม จากผลการทดลองพบว่าทั้งสองสถานะ ค่า SOC ลดลงแบบเป็นเชิงเส้น เมื่อเวลาในการใช้งานเพิ่มขึ้น ทั้งที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยอัตราการลดลงของ SOC ในสถานะไร้โหลด เท่ากับ 0.0009 และ 0.0022 ที่ ขณะที่อัตราการลดลงของ SOC เท่ากับ 0.0022 และ 0.0025 ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งค่า SOC ในสถานะมีโหลดลดลงเร็วกว่าแบบไร้โหลดทั้งที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ในสถานะไร้โหลดมีการลดลงของค่า SOC เท่ากับ 6% SOC และ 26% SOC ขณะที่สถานะมีโหลด 80 กิโลกรัม ค่า SOC ลดลงเท่ากับ 59% SOC และ 76% SOC ที่ความเร็ว 33 และ 38 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ อย่างไรก็ตามการทดสอบแสดงให้เห็นว่าทั้งความเร็วและน้ำหนักมีผลต่อการลดลงของค่า SOC ของแบตเตอรี่

จากผลการวิจัยโมเดล Linear Regression สามารถทำนายค่า SOC ได้อย่างแม่นยำในสถานะไร้โหลดและมีโหลด แม้จะมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในบางจุด โดยเฉพาะในกรณีที่มีโหลดและความเร็วสูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ทำการทดลองภายใต้สถานะการทดลองที่หลากหลายมากขึ้น ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิหรือปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อ SOC
2. การเพิ่มข้อมูลหรือใช้โมเดลที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กฤษณะ จันทสิทธิ์ สนั่น เกชาวี และ คมสัน มุ้ยสี. (2558). การพัฒนาจักรยานไฟฟ้ากึ่งอัตโนมัติเพื่อชุมชนบ้านท่าศาลา อำเภอกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร. วารสารวิจัยราไพพรรณี, 9(3), 16-25.
- ภาสกรธิ์ เต็มบุรงค์ ศุภรัชชัย วรรัตน์. (2566). การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนวงจรชีวิตของรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดไฟฟ้าและแก๊สโซลีนในประเทศไทย. วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, 12(1), 62-75.



การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 14
The 14th STOU National Research Conference

มงคล ลาตชุย ภาคิน ขบขัน วสุพล กุลเกลี้ยง และณัฐชัย โพธิ์. (2564). การออกแบบและพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ.

วารสารวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยี, 1(1), 19-29.

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล กฤษณะ จันทสิทธิ์ และ ชีรวัดน์ ชื่นอัสดงคต. (2563). การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่ไฟฟ้า

3 ล้อขนาดเล็ก สำหรับใช้ในครัวเรือน. *วารสารวิจัยราไพพรรณี*, 14(3), 136-147.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2560). อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า. <https://www.nstda.or.th>

El Haini, J., & Nouira, T. (2024). A review of the estimation of state of charge (SOC) and state of health (SOH) of Li-Ion batteries in electric vehicles. In W. Leal Filho (Ed.), *World Sustainability Series* (pp. 519-541). Springer.

