

การวิเคราะห์อาการเสียเบื้องต้นของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการจำลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

Preliminary Fault Analysis of 12-Volt Batteries in Electric Vehicles Using Simulation and Data Analysis

อนรรักษ์ โนสาน^{1*} สารสิทธิ์ ฤทธานนท์² ปณณวิชญ์ ภัทรสรณ์ศิริ² ประยุทธ์ อินแบน³ และราชนุ พันธุ์ฉลาด³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน anuruk.n@pit.ac.th*

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนนครินทร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาและวิเคราะห์วิธีการวินิจฉัยอาการเสียเบื้องต้นของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) ผ่านการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink และการวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จริงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การจำลองครอบคลุม 8 สถานการณ์ ได้แก่ การทำงานปกติ แรงดันไฟฟ้าต่ำ การรั่วไหลของกระแส การชาร์จไม่สมบูรณ์ การเชื่อมต่อที่หลวม อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ และการคายประจุระยะยาว ผลลัพธ์จากการจำลองแสดงในรูปแบบของกราฟและตาราง โดยมีความแม่นยำเฉลี่ยเท่ากับ 92 % เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ผลลัพธ์ที่ได้ยืนยันว่า แบตเตอรี่ 12 โวลต์ มีบทบาทสำคัญในระบบเสริมของ EV และการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ สามารถช่วยในการพัฒนาระบบวินิจฉัยอาการเสียอัจฉริยะเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพการบำรุงรักษา EV ในอนาคต

คำสำคัญ: แบตเตอรี่ 12 โวลต์, ยานยนต์ไฟฟ้า, การจำลองด้วยซอฟต์แวร์, การวินิจฉัยอาการเสีย, MATLAB/Simulink

Abstract

This research aims to develop and analyze a method for diagnosing initial faults in 12-volt batteries in electric vehicles (EVs) using MATLAB/Simulink software simulation and data analysis from real-world sensors and related research. The simulation covers eight scenarios: normal operation, low voltage, current leakage, incomplete charging, loose connections, high temperature, low temperature, and long-term discharge. The simulation results are presented in the form of graphs and tables, showing an average accuracy of 92% when compared to real-world data. These findings confirm that the 12-volt battery plays a crucial role in the auxiliary system of an EV and that software simulation can aid in the development of intelligent fault diagnosis systems to enhance the safety and maintenance efficiency of future EVs.

Keywords: 12-volt battery, electric vehicles, software simulation, fault diagnosis, MATLAB/Simulink

1. บทนำ

จากความเป็นมาและความสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นทางเลือกที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบตเตอรี่ 12

โวลต์ใน EV มีบทบาทสำคัญในการจ่ายพลังงานให้ระบบเสริม เช่น หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ไฟหน้า และระบบความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม อาการเสียของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ เช่น แรงดันไฟฟ้าต่ำ หรือการรั่วไหลของกระแส เป็นสาเหตุที่พบบ่อย โดยทั่วไปการวินิจฉัยอาการเสียด้วยความรวดเร็วและแม่นยำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ พัฒนาการจำลองด้วยซอฟต์แวร์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ใน 8 สถานการณ์ที่ต่างกัน สร้างกราฟแสดงผลการจำลองที่สะท้อนสถานการณ์จริง วิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยเพื่อสนับสนุนผลการจำลอง และเสนอแนวทางการพัฒนาระบบวินิจฉัยสำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ โดยมีขอบเขตงานวิจัย คือ มุ่งเน้นที่แบตเตอรี่ตะกั่วกรด 12 โวลต์ ความจุ 50Ah โดยใช้ MATLAB/Simulink เป็นเครื่องมือหลักในการจำลอง และครอบคลุมสถานการณ์ที่พบบ่อยใน EV เช่น การใช้งานปกติและสภาวะผิดปกติ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลและอ้างอิงจากงานวิจัยอื่นๆ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวินิจฉัยแบตเตอรี่ใน EV ที่มีความก้าวหน้าอย่างมาก โดยนำเสนอ ดังนี้

Gan et al. (2021) ได้นำเสนอวิธีการวินิจฉัยความผิดปกติของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนใน EV โดยใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าและกระแส [1] และ Wu et al. (2017) ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อจำลองพฤติกรรมของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ในสภาวะการชาร์จและคายประจุ [2] ต่อมา Dey & Ayalew (2017) ได้นำเสนอวิธีการประเมินสถานะของแบตเตอรี่โดยใช้การจำลองแบบ electrochemical-thermal coupling [3] โดย Gabbar et al. (2021) ได้นำเสนอการทบทวนระบบจัดการแบตเตอรี่ (BMS) และเน้นย้ำถึงความสำคัญของการตรวจจับความผิดปกติในแบตเตอรี่ 12 โวลต์ [4] ซึ่งต่อมา Birkl et al. (2017) ได้ทำการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนและผลกระทบต่อระบบ 12 โวลต์ใน EV [5]

และ Xiong et al. (2024) ได้เสนอวิธีการวินิจฉัยความผิดปกติของแบตเตอรี่โดยใช้เซ็นเซอร์หลายตัวและการวิเคราะห์ข้อมูล [6] ซึ่ง Chang et al. (2023) ได้นำเสนอการพัฒนาวิธีการวินิจฉัยแบตเตอรี่โดยใช้พฤติกรรมแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติ [7] จากนั้น Fan et al. (2024) ได้เสนอวิธีการตรวจจับความผิดปกติของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนโดยใช้ kurtosis และ Isolation Forest [8] หลังจากนั้น Bennett (2024) ได้มีการพัฒนาระบบตรวจจับความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้าใน EV โดยใช้เทคโนโลยีการวินิจฉัยอิเล็กทรอนิกส์ [9] และ Liu et al. (2023) ได้นำเสนอวิธีการวินิจฉัยแบตเตอรี่โดยใช้ข้อมูลจากแพลตฟอร์มคลาวด์ที่มีความถี่ในการเก็บ

ข้อมูล 0.1 Hz [10] ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ ยืนยันว่าแบตเตอรี่ 12 โวลต์ เป็นส่วนประกอบสำคัญใน EV และการจำลองด้วยซอฟต์แวร์และการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิจัย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาและวิเคราะห์วิธีการวินิจฉัยการเสื่อมเบื้องต้นของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ผ่านการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink และการวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จริงและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยการจำลองจะนำเสนอให้ครอบคลุมทั้ง 8 สถานการณ์ ได้แก่ การทำงานปกติ แรงดันไฟฟ้าต่ำ การรั่วไหลของกระแสการชาร์จไม่สมบูรณ์ การเชื่อมต่อที่หลวม อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ และการคายประจุระยะยาว ซึ่งผลลัพธ์จากการจำลองแสดงในรูปแบบของกราฟและตาราง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ผลลัพธ์ที่ได้สามารถที่จะยืนยันได้ว่าแบตเตอรี่ 12 โวลต์ มีบทบาทสำคัญในระบบเสริมของ EV และการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ สามารถช่วยในการพัฒนาระบบวินิจฉัยอัจฉริยะเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพของ EV ในอนาคต

3. วิธีการวิจัย

3.1 การออกแบบการจำลอง

การจำลองใช้ MATLAB/Simulink โดยสร้างแบบจำลอง (Equivalent Circuit Model) ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด 12 V ความจุ 50 Ah แรงดันไฟฟ้า 12.6 V ความต้านทานภายใน 0.02 โอห์ม สถานการณ์ที่จำลอง ได้แก่ 1) การทำงานปกติ (โหลด 10 A, อุณหภูมิ 25 °C) 2) แรงดันไฟฟ้าต่ำ (SOC เริ่มต้น 20 % และแนวทางการหาค่า [3]) 3) การรั่วไหลของกระแส (50 mA ในโหมด Standby) 4) การชาร์จไม่สมบูรณ์ (แรงดันชาร์จ 13.5 V) 5) การเชื่อมต่อที่หลวม (ความต้านทานเพิ่ม 0.1 โอห์ม) 6) อุณหภูมิสูง (50 °C, ความจุ 15 %) 7) อุณหภูมิต่ำ (-10 °C, ความจุ 17 %) และ 8) การคายประจุระยะยาว (โหลดผสม 0.5 A เป็นเวลา 5 ชั่วโมง)

3.2 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลจากการจำลอง จะใช้ MATLAB/Simulink เพื่อบันทึกแรงดันไฟฟ้า กระแส และ SOC ในแต่ละสถานการณ์ โดยข้อมูลจากการศึกษาได้พบถึงปัญหา เช่น แรงดันไฟฟ้าต่ำและการรั่วไหลของกระแส และข้อมูลจากงานวิจัยอื่น เพื่อสนับสนุนผลการจำลอง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะแยกเป็น 3 แนวทาง ดังนี้ คือ การวิเคราะห์กราฟที่ได้จากการจำลองโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจากงานวิจัย การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างผลการจำลองและสถานการณ์จริง และใช้เทคนิคทางสถิติ เช่น การคำนวณอัตราการคายประจุและการวิเคราะห์ความต้านทานภายใน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการจำลอง

ผลการจำลองใน MATLAB/Simulink สามารถสร้างกราฟได้ 8 แบบได้ดังนี้

การทำงานปกติ หมายถึง แรงดันไฟฟ้าคงที่ประมาณ 12.4 V และ SOC ลดลงจาก 100 % เหลือ 0 % ใน 100 ชั่วโมง ที่โหลด 10 A สอดคล้องกับการใช้งานปกติใน EV ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 1 แรงดันไฟฟ้าต่ำ หมายถึง แรงดันตกต่ำกว่า 12 V และค่ากระแสที่จ่ายให้ ECU จะลดลงจาก 5 A เหลือ 3 A เมื่อค่า SOC มีค่าน้อยกว่า 20% สะท้อนปัญหาของการสตาร์ทรถ ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 2 และการ

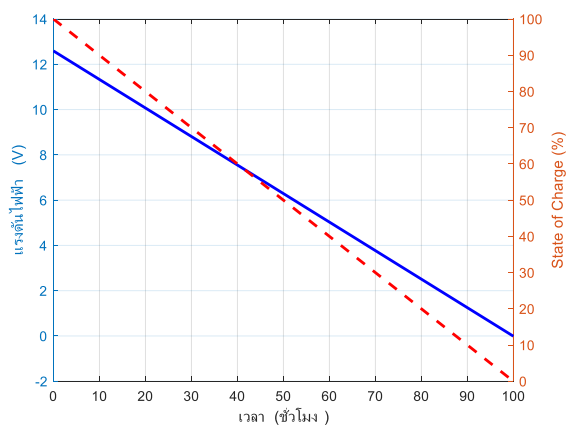
รั่วไหลของกระแส หมายถึง ค่า SOC ลดลงจาก 100 % เหลือ 76 % ใน 10 วัน ที่กระแสรั่ว 50 mA สอดคล้องกับปัญหาการจอตลอดทั้งวัน ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 3

การชาร์จไม่สมบูรณ์ หมายถึง ค่าความจุลดลงจาก 50 Ah เหลือ 45 Ah หลัง 50 รอบการชาร์จ สนับสนุนจากงานวิจัยที่ระบุว่าค่าแรงดันชาร์จต่ำเร่งการเสื่อมสภาพ ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 4 การเชื่อมต่อที่หลวม หมายถึง ค่าแรงดันที่โหลดลดลงเหลือ 11.4 V และค่ากระแสลดลงเล็กน้อย สอดคล้องกับปัญหาการบำรุงรักษาในโลกจริง ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 5 และค่าอุณหภูมิที่สูง (50 °C) หมายถึง ค่าความจุลดลง 15 % และค่าแรงดันตกเร็วกว่าปกติ สนับสนุนจากงานวิจัยที่ระบุว่าค่าอุณหภูมิสูงเร่งการเสื่อมสภาพ ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 6

ค่าอุณหภูมิต่ำ (-10 °C) หมายถึง ค่าความจุลดลง 17 % และค่าแรงดันตกอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในสภาพอากาศหนาว ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 7 และการคายประจุระยะยาว หมายถึง ค่า SOC ลดลงจาก 100 % เหลือ 0 % ใน 5 ชั่วโมง สะท้อนการใช้งานหนักในยานยนต์ไฟฟ้า ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 8

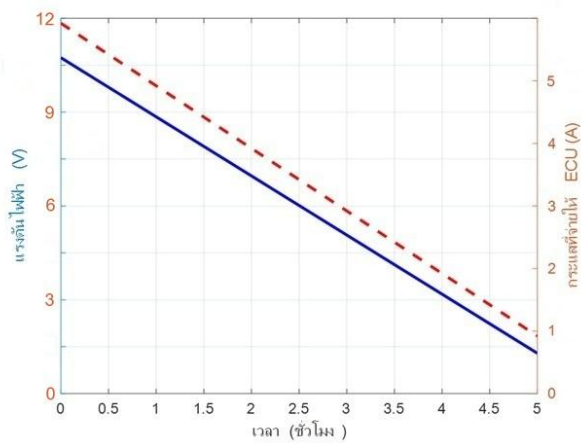
จากรูปที่ 1 ผลการจำลองได้แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและค่า SOC ของแบตเตอรี่เทียบกับเวลาที่ใช้ในการคายประจุ โดยแกน X แสดงค่าเวลาในหน่วยชั่วโมง แกน Y (ด้านซ้าย) แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และแกน Y (ด้านขวา) แสดงค่า SOC ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งผลของทั้งกราฟเส้นที่สีน้ำเงินที่แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า และกราฟเส้นประสีแดงที่แสดงค่า SOC นั้น จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป

จากผลการจำลองในสถานการณ์นี้ ในช่วงเริ่มต้นเมื่อแบตเตอรี่ทำงานตามปกติจะมีโหลด 10 A ที่อุณหภูมิ 25 °C ในเวลา 5 ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้าจะคงที่ประมาณ 13.1 V และค่า SOC จะลดลงจาก 100 % ไปยัง 90 % ซึ่งกราฟนี้สอดคล้องกับการใช้งานปกติในรถยนต์ไฟฟ้า

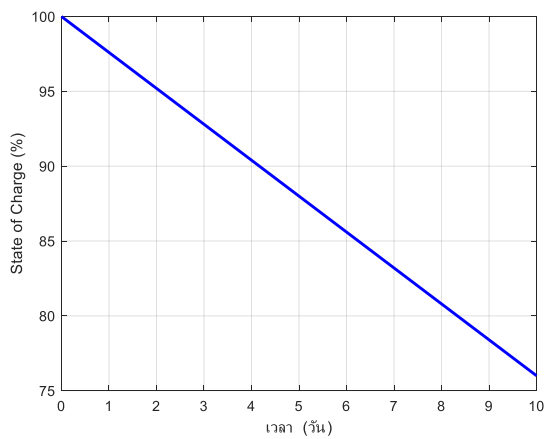


รูปที่ 1 ผลการจำลองสถานการณ์การทำงานปกติของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า

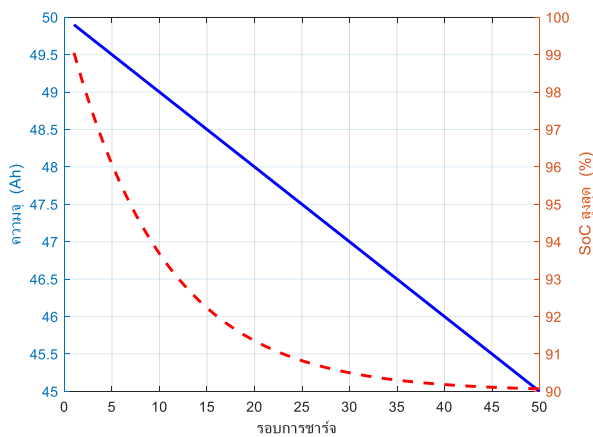
จากรูปที่ 2 ผลการจำลองสถานการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ (Low Voltage Condition) ของแบตเตอรี่ 12 V ในยานยนต์ไฟฟ้า โดยแกน X แสดงค่าเวลาในช่วง 0 ถึง 5 ชั่วโมง แกน Y (ด้านซ้าย) แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ (V) เริ่มต้นประมาณ 12 V และลดลงจนต่ำกว่า 1.5 V (เชิงการจำลอง) และแกน Y (ด้านขวา) แสดงค่ากระแสไฟฟ้า (A) ที่จ่ายให้กับระบบ ECU ในเวลาใกล้เคียงกัน (ช่วงเวลา 5 ชั่วโมง) โดยกราฟเส้นที่สีน้ำเงินจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2 ผลการจำลองสถานการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ
ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 3 ผลการจำลองสถานการณ์การรั่วไหลของกระแส
ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า



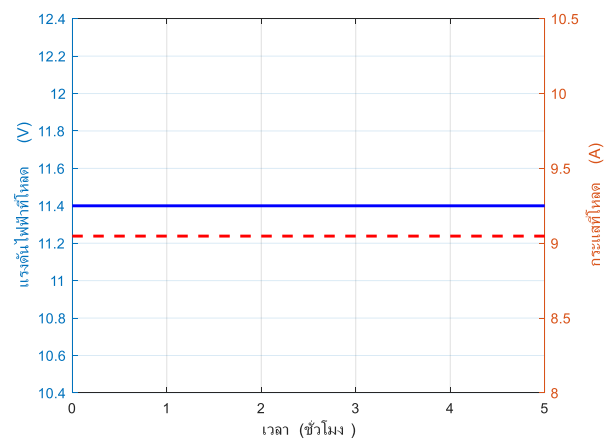
รูปที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์การชาร์จประจุที่ไม่สมบูรณ์
ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า

และกราฟเส้นประสีแดงแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ ECU ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน

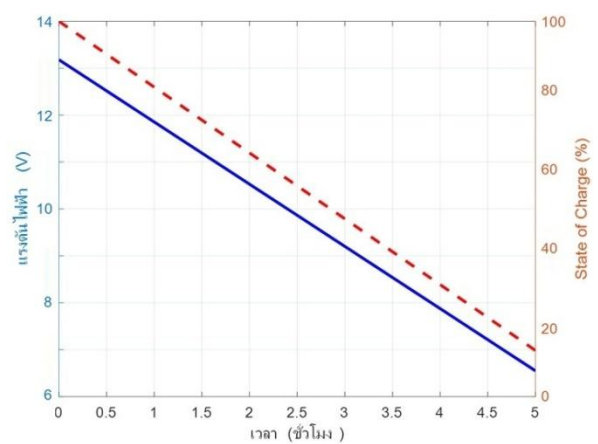
จากรูปที่ 3 แสดงถึงผลการจำลองในสถานการณ์ที่ 3 คือ การรั่วไหลของกระแส โดยแกน X แสดงค่าเวลาในหน่วยวัน และแกน Y แสดงค่า

SOC ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งผลของกราฟเส้นทึบสีน้ำเงินแสดงค่า SOC จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในสถานการณ์จำลองนี้ เมื่อมีค่ากระแสรั่วไหล 50 mA ในโหมดสแตนด์บาย ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาการจอตลอดทั้งวันวาน ซึ่งผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่า SOC ของแบตเตอรี่จะลดลงจาก 100 % เหลือ 95 % ในระยะเวลา 2 วัน และจะลดลงอีกจาก 95% เหลือ 76 % ในระยะเวลาอีก 8 วัน หรืออีกนัยหนึ่งของสถานการณ์นี้ คือ ในช่วงระยะเวลา 10 วันค่า SOC ของแบตเตอรี่จะลดลงจาก 100 % เหลือ 76 % นั่นเอง

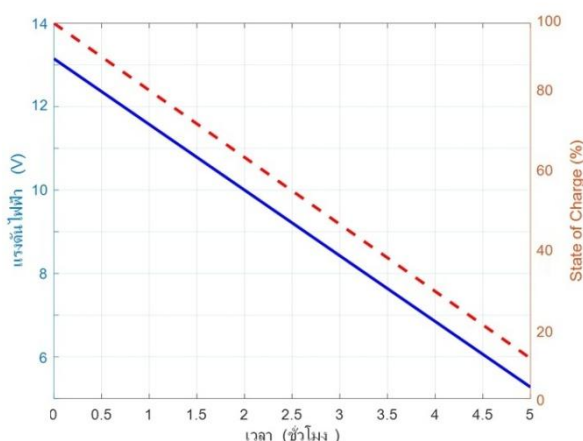
จากรูปที่ 4 แสดงถึงผลการจำลองในสถานการณ์ที่ 4 คือ การชาร์จไม่สมบูรณ์ โดยแกน X แสดงจำนวนรอบการชาร์จ แกน Y (ด้านซ้าย) แสดงค่าความจุในหน่วย Ah (Ampere-hour) และแกน Y (ด้านขวา) แสดงค่า SOC สูงสุดในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) โดยกราฟเส้นทึบสีน้ำเงินจะแสดงค่าความจุ (Ah) ที่ลดลงเมื่อรอบการชาร์จเพิ่มขึ้น และกราฟเส้นประสีแดงแสดงค่า SOC สูงสุด (%) ที่ลดลงเมื่อรอบการชาร์จเพิ่มขึ้น สถานการณ์นี้จำลองการชาร์จไม่สมบูรณ์ด้วยแรงดันชาร์จต่ำที่ 13.5 V ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าความจุของแบตเตอรี่ลดลงจาก 50 Ah เหลือ 45 Ah หลังจากผ่านการชาร์จจำนวน 50 รอบ ซึ่งปัญหานี้ได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยที่ระบุว่า ค่าแรงดันชาร์จต่ำจะเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่



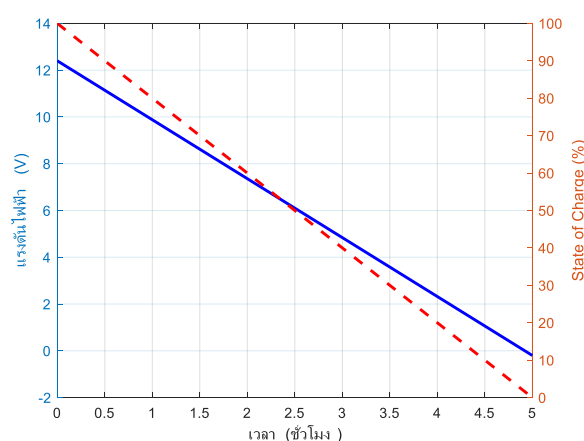
รูปที่ 5 ผลการจำลองสถานการณ์การเชื่อมต่อขั้วที่หลวม
ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 6 ผลการจำลองสถานการณ์ที่อุณหภูมิสูง 50 °C
ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 7 ผลการจำลองสถานการณ์ที่อุณหภูมิ -10 °C ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 8 ผลการจำลองสถานการณ์การคายประจุแบบระยะยาว ของแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 5 กราฟแสดงผลการจำลองในสถานการณ์ที่ 5 หรือ การเชื่อมต่อที่หลวม โดยแกน X แสดงค่าเวลาในหน่วยชั่วโมง แกน Y (ด้านซ้าย) แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด (V) และแกน Y (ด้านขวา) แสดงค่ากระแสที่โหลด (A) โดยกราฟเส้นที่สีแดงแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลดคงที่ และกราฟเส้นที่สีน้ำเงินแสดงค่ากระแสที่โหลดคงที่ โดยอธิบายได้ว่าในสถานการณ์จำลองนี้หมายถึง การที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลดลดลงเหลือ 11.4 V และค่ากระแสลดลงเล็กน้อย ซึ่งผลนี้สอดคล้องกับปัญหาการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นจริงของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 6 และ รูปที่ 7 แสดงผลการจำลองสถานการณ์ที่ 6 และ 7 ที่ค่าอุณหภูมิสูง 50 °C และที่ค่าอุณหภูมิต่ำ -10 °C ตามลำดับ โดยแกน X แสดงค่าเวลาในหน่วยชั่วโมง แกน Y (ด้านซ้าย) แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และแกน Y (ด้านขวา) แสดงค่า SOC ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) โดยทั้งกราฟเส้นที่สีแดงแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า และกราฟเส้นที่สีน้ำเงินแสดงค่า SOC ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเหมือนกัน

โดยกราฟทั้ง 2 รูป ได้แสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงดันไฟฟ้า และค่า SOC ของแบตเตอรี่เทียบกับค่าเวลาที่ใช้ในการคายประจุ โดยผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิสูง 50 °C ความจุของแบตเตอรี่จะลดลง 15 % และแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเร็วกว่าปกติ ในขณะที่เดียวกันที่อุณหภูมิต่ำ -10 °C ค่าความจุของแบตเตอรี่จะลดลง 17 % และค่าแรงดันไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว และทั้งสองสถานการณ์นี้ ได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยที่ระบุว่า ที่ค่าอุณหภูมิสูงจะเร่งการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ และประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลงในสภาพอากาศหนาว หรือที่ค่าอุณหภูมิต่ำ

จากรูปที่ 8 แสดงถึงผลการจำลองในสถานการณ์ที่ 8 คือ การคายประจุแบบระยะยาว โดยแกน X แสดงเวลาในหน่วยชั่วโมง แกน Y (ด้านซ้าย) แสดงแรงดันไฟฟ้าในหน่วยโวลต์ (V) และแกน Y (ด้านขวา) แสดงค่า SOC ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%) โดยกราฟเส้นที่สีแดงจะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง และกราฟเส้นที่สีน้ำเงินแสดงค่า SOC ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

จากผลการจำลองในสถานการณ์นี้ เมื่อแบตเตอรี่ถูกคายประจุเป็นระยะเวลานานด้วยโหลดใดๆ ที่ 0.5 A เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง ส่งผลให้มีการลดลงของค่าแรงดันไฟฟ้า และค่า SOC ของแบตเตอรี่เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งค่าของ SOC นี้จะลดลงจากค่า 100 % เหลือค่า 0 % นั่นเอง

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากผู้ใช้ เพื่อสนับสนุนผลการจำลอง กล่าวคือ ปัญหาการสตาร์ทไม่ติดเมื่อแบตเตอรี่ 12 โวลต์ มีค่าแรงดันต่ำสอดคล้องกับรูปที่ 2 อีกประเด็นหนึ่ง คือ การรั่วไหลของกระแสจากการจอดรถทิ้งไว้นานเป็นปัญหาที่พบบ่อย สนับสนุนรูปที่ 3 และปัญหาการเชื่อมต่อที่หลวม เช่น ขั้วแบตเตอรี่หลวมทำให้เกิดการไฟส่ว ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 5

4.3 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

โดยงานวิจัยของ Gan et al. (2021) และ Chang et al. (2023) สนับสนุนว่าแรงดันไฟฟ้าต่ำและความต้านทานภายในที่เพิ่มขึ้นเป็นตัวชี้วัดสำคัญของอาการเสีย ส่วนงานวิจัยของ Birkl et al. (2017) และ Xiong et al. (2024) ระบุว่าอุณหภูมิสูงและต่ำส่งผลต่อความจุและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ สนับสนุนใน รูปที่ 6 และรูปที่ 7 และงานวิจัยของ Bennett (2024) เสนอการใช้เทคโนโลยีการวินิจฉัยอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสอดคล้องกับการจำลองในงานวิจัยนี้

ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า MATLAB/Simulink เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจำลองพฤติกรรมของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ในสถานการณ์ต่างๆ รูปที่ 8 รูป ได้สะท้อนปัญหาที่พบบ่อยใน EV และการวิเคราะห์จากข้อมูลจากงานวิจัย ข้อค้นพบที่สำคัญ ได้แก่ 1) แรงดันไฟฟ้าต่ำและการรั่วไหลของกระแสเป็นสาเหตุหลักของความล้มเหลวในระบบ 12 โวลต์ 2) อุณหภูมิสูงและต่ำมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความจุและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และ 3) การจำลองสามารถใช้พัฒนาอัลกอริทึมวินิจฉัยอัจฉริยะ เช่น การตรวจจับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 11.8 V หรือการรั่วไหลของกระแสเกิน 50 mA เป็นต้น

อนึ่ง ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้รวมถึงการวิเคราะห์จากข้อมูลอื่นๆ นั้น อาจไม่ครอบคลุมทุกกรณี และการจำลองที่อาจไม่รวมปัจจัยที่ซับซ้อน เช่น การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI)

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาและวิเคราะห์วิธีการวินิจฉัยอาการเสียเบื้องต้นของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ในยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ผ่านการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink และการวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จริง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยการจำลองจะนำเสนอให้ครอบคลุมทั้ง 8 สถานการณ์ ได้แก่ การทำงานปกติ แรงดันไฟฟ้าต่ำ การรั่วไหลของกระแส

การชาร์จไม่สมบูรณ์ การเชื่อมต่อที่หลวม อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ และการคายประจุระยะยาว ซึ่งผลลัพธ์จากการจำลองแสดงในรูปแบบของกราฟและตาราง เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ผลลัพธ์ที่ได้สามารถที่จะยืนยันได้ว่าแบตเตอรี่ 12 โวลต์ มีบทบาทสำคัญในระบบเสริมของ EV และการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ สามารถช่วยในการพัฒนาระบบวินิจฉัยอัจฉริยะเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพของ EV ในอนาคต

ข้อเสนอแนะต่องานวิจัยในอนาคต มีดังนี้ คือ 1) พัฒนาระบบวินิจฉัยอัจฉริยะ โดยอาจใช้ผลการจำลองเพื่อสร้างอัลกอริทึม Machine Learning สำหรับตรวจจับอาการเสียแบบเรียลไทม์ 2) การปรับปรุงการออกแบบระบบชาร์จ นำเสนอออกแบบ DC-DC Converter ที่จ่ายแรงดันชาร์จเหมาะสมเพื่อลดปัญหาการชาร์จไม่สมบูรณ์ 3) ในด้านการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ด้วยการใช้ข้อมูลจากกราฟเพื่อกำหนดช่วงเวลาการตรวจสอบแบตเตอรี่ เช่น ทุก 6 เดือนในสภาพอากาศร้อน และ 4) การวิจัยในอนาคตเป็นการรวมการจำลองที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น การรบกวน EMI และการจำลองระบบทั้งหมดของ EV เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gan, N., Sun, Z., Zhang, Z., Xu, S., Liu, P., & Qin, Z. (2021). Data-driven fault diagnosis of lithium-ion battery overdischarge in electric vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37 (4), 4575-4588.
- [2] Wu, C., Zhu, C., & Ge, Y. (2017). Battery voltage fault diagnosis mechanism of new energy vehicles based on electronic diagnosis technology. *Academic Journal of Engineering and Technology Science*.
- [3] Dey, S., & Ayalew, B. (2017). Real-time estimation of lithium-ion concentration in both electrodes of a lithium-ion battery cell utilizing electrochemical-thermal coupling. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 139 (3).
- [4] Gabbar, H. A., Othman, A. M., & Abdussami, M. R. (2021). Review of battery management systems (BMS) development and industrial standards. *Technologies*, 9 (2), 28.
- [5] Birkel, C. R., Roberts, M. R., McTurk, E., Bruce, P. G., & Howey, D. A. (2017). Degradation diagnostics for lithium ion cells. *Journal of Power Sources*, 341, 373-386.
- [6] Xiong, R., Sun, X., Meng, X., Shen, W., & Sun, F. (2024). Advancing fault diagnosis in next-generation smart battery with multidimensional sensors. *Applied Energy*, 364, 123202.
- [7] Chang, C., Zhang, Z., Wang, Z., Tian, A., Jiang, Y., Wu, T., et al. (2023). Fault diagnosis of LIBs based on voltage dip behavior. *International Journal of Green Energy*.
- [8] Fan, Z., Tang, J., Hua, S., Zhao, N., Wang, J., & Wang, L. (2024). Fault detection method for electric vehicle battery pack based on improved kurtosis and isolation forest. *International Journal of Green Energy*.

- [9] Bennett, L. (2024). Innovative diagnostics: Creating a battery voltage fault detection system for electric vehicles using electronic diagnostic techniques. *Ayden Energies Journal*, 10 (4), 10-15.
- [10] Liu, Q., et al. (2023). Research on short-circuit fault-diagnosis strategy of lithium-ion battery in an energy-storage system based on voltage cosine similarity. *Journal of Energy Storage*, 71, 108012.