



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน

ที่ ๔๘๗๐/๒๕๖๙

วันที่ ๒๙ กันยายน ๒๕๖๙

เรื่อง รายงานผลการจัดทำแบบบันทึกข้อตกลงในการพัฒนางาน (Performance Agreement : PA)

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน

ตามที่ วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน มีการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการประเมินตำแหน่งและวิทยฐานะข้าราชการครูและบุคลากรทางการศึกษา ตำแหน่งครู ตามหนังสือสำนักงาน ก.ค.ศ. ที่ ศธ 0206.3/ว 9 ลงวันที่ 20 พฤษภาคม 2564 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2564 เป็นต้นไป ซึ่งหลักเกณฑ์ดังกล่าว กำหนดให้ข้าราชการครูและบุคลากรทางการศึกษาจัดทำข้อตกลงในการพัฒนางานกับผู้บังคับบัญชาเป็นประจำทุกปีงบประมาณ ใช้เป็นกรอบในการพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ของผู้เรียน และใช้ประกอบการติดตามตรวจสอบ และประเมินผลการพัฒนางานตามข้อตกลงให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนด ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2569 ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม 2568 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2569 นั้น

ในการนี้ ข้าพเจ้า นายบุรินทร์ พุทธทอง ตำแหน่งพนักงานราชการ (ครู) แผนกวิชาช่างไฟฟ้า กำลัง วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน ได้ดำเนินการจัดทำข้อตกลงในการพัฒนางาน (Performance Agreement : PA) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2569 ส่วนที่ 2 ข้อตกลงในการพัฒนางานที่เป็นประเด็นท้าทายในการพัฒนาผลลัพธ์การเรียนรู้ของผู้เรียน จึงขอรายงานผลการดำเนินงานและความก้าวหน้า โดยนำเสนอหัวข้อการพัฒนา เรื่อง การออกแบบและการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และระบบพลังงานหมุนเวียน เพื่อใช้เป็นสื่อและเครื่องมือประกอบการจัดการเรียนรู้ด้านการตรวจสอบวิเคราะห์ และประเมินสมรรถนะของแบตเตอรี่ โดยมุ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรู้ ความเข้าใจ และทักษะในการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ วิเคราะห์ผลการทดสอบ และประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้องและเป็นขั้นตอน รายละเอียดดังเอกสารแนบ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

เรียน ผอ.วท.บางสะพาน

1. เพื่อโปรดทราบ

2. เห็นชอบ

-ขอความเห็นชอบจากอธิการบดี


๔๘๗๐/๒๕๖๙

ลงชื่อ.....

(นายบุรินทร์ พุทธทอง)

ตำแหน่ง พนักงานราชการ (ครู)

๑. กคทท/๒๐๒๗


(นายนิมิตร ศรียาภย์)

ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน



ข้อตกลงในการพัฒนางานตามข้อตกลงในการพัฒนางาน (PA)

เรื่องการออกแบบและการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สภาวะแบตเตอรี่แบบ
เอนกประสงค์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียน

นายบุรินทร์ พุฒทอง

วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน

อาชีวศึกษาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

สถาบันอาชีวศึกษาภาคกลาง ๕

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษาภายใต้นโยบายการพัฒนากำลังคนของประเทศมุ่งเน้นการผลิตผู้เรียนให้มีสมรรถนะเชิงวิชาชีพที่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยให้ความสำคัญกับการเรียนรู้เชิงปฏิบัติและการบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม เพื่อเสริมสร้างความสามารถในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมของผู้เรียน (Office of the Vocational Education Commission [OVEC], 2019) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียนได้รับการกำหนดให้เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้การจัดการเรียนการสอนด้านไฟฟ้าและพลังงานจำเป็นต้องปรับตัวให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีดังกล่าว โดยเฉพาะองค์ความรู้เกี่ยวกับระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของระบบพลังงานสมัยใหม่และเป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับกำลังคนด้านไฟฟ้าและวิศวกรรมในอนาคต (International Energy Agency [IEA], 2023)

แบตเตอรี่เป็นองค์ประกอบหลักของยานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียน ทำหน้าที่กักเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบโพลต์ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้งานในปัจจุบันมีความหลากหลายทั้งในด้านชนิดทางเคมี โครงสร้าง และระดับแรงดันไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแรงดันเซลล์เดี่ยว 3.7 โวลต์ แบตเตอรี่แพ็คเกจแรงดัน 12, 24, 48 และ 72 โวลต์ รวมถึงแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและแบตเตอรี่ลิเทียมเฟอร์รอฟอสเฟต สุขภาพของแบตเตอรี่จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และอายุการใช้งานของระบบโดยรวม (Linden & Reddy, 2011) การประเมินสุขภาพแบตเตอรี่จำเป็นต้องอาศัยการวัดและวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุพลังงาน พลังงานไฟฟ้า และความต้านทานภายใน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสภาพการเสื่อมของแบตเตอรี่ได้อย่างมีนัยสำคัญ (Waag, Käbitz, & Sauer, 2014) อย่างไรก็ตาม เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่เชิงพาณิชย์ที่มีความสามารถสูงมักมีต้นทุนสูง มีโครงสร้างซับซ้อน และออกแบบมาเพื่อการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก ส่งผลให้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในบริบทของการเรียนการสอนและการวิจัยในสถานศึกษา

ในบริบทของวิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน ซึ่งจัดการเรียนการสอนด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ตั้งแต่ระดับอาชีวศึกษาจนถึงระดับปริญญาตรี สาขาวิชาไฟฟ้า การเรียนรู้เกี่ยวกับระบบแบตเตอรี่และการวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ยังคงมีข้อจำกัดด้านเครื่องมือที่สามารถรองรับการทดลองและการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมได้อย่างครบถ้วน การเรียนการสอนส่วนใหญ่ยังคงอาศัยการ

อธิบายเชิงทฤษฎีหรือการใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน ซึ่งไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมการทำงานจริงของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียนได้อย่างเพียงพอ ส่งผลให้ผู้เรียนขาดโอกาสในการเรียนรู้กระบวนการออกแบบ การวัด การวิเคราะห์ และการประเมินสมรรถนะของแบตเตอรี่ในเชิงระบบ (Ehsani, Gao, Gay, & Emadi, 2018) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์ที่สามารถรองรับแบตเตอรี่หลายชนิดและหลายระดับแรงดัน มีต้นทุนต่ำ โครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถวัดและวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าที่สำคัญได้อย่างครบถ้วน เพื่อประยุกต์ใช้เป็นทั้งเครื่องมือวิจัยและสื่อการเรียนการสอนเชิงปฏิบัติสำหรับนักเรียนอาชีวศึกษาและนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคบางสะพาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์ที่สามารถรองรับแบตเตอรี่หลายชนิดและหลายระดับแรงดันไฟฟ้า สำหรับการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียน

1.2.2 พัฒนาและทดสอบวิธีการวัดค่าทางไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุพลังงาน และความต้านทานภายใน เพื่อใช้ในการประเมินสุขภาพแบตเตอรี่

1.2.3 ประเมินสมรรถนะของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้นจากผลการทดลองกับแบตเตอรี่จริงในบริบทการเรียนการสอนด้านไฟฟ้า

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์ที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงแรงดัน 3.7–72 โวลต์ได้ด้วยความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานด้านการเรียนการสอนและการวิจัย

1.3.2 การวัดความจุพลังงาน (Ah, Wh) และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ด้วยเครื่องที่พัฒนาขึ้นสามารถสะท้อนสภาพสุขภาพของแบตเตอรี่ได้อย่างสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้งานจริง

1.3.3 เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานเป็นสื่อการเรียนการสอนเชิงปฏิบัติด้านไฟฟ้าในระดับอาชีวศึกษาและระดับปริญญาตรีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

กรอบแนวคิดในการวิจัยนี้มุ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการออกแบบและพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์กับผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยเริ่มจากการกำหนด ตัวแปรต้น ได้แก่ ชนิดของแบตเตอรี่ ระดับแรงดันไฟฟ้า และ

รูปแบบการทดสอบแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ผู้วิจัยสามารถกำหนดและควบคุมได้ในกระบวนการทดลอง จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวเข้าสู่กระบวนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยระบบวัดแรงดันไฟฟ้า ระบบวัดกระแสไฟฟ้า ระบบโหลดทดสอบ และระบบประมวลผลข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ผลลัพธ์จากกระบวนการวัดและประมวลผลดังกล่าวแสดงออกในรูปของ ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ความจุพลังงาน พลังงานไฟฟ้า และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินสุขภาพแบตเตอรี่และสมรรถนะของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้น กรอบแนวคิดนี้ช่วยอธิบายให้เห็นถึงความเชื่อมโยงเชิงระบบระหว่างปัจจัยนำเข้า กระบวนการ และผลลัพธ์ของการวิจัย โดยมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้จริง มีความเหมาะสมกับบริบทการเรียนการสอนด้านไฟฟ้าในระดับอาชีวศึกษาและระดับปริญญาตรี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์เพื่อการใช้งานด้านการเรียนการสอนและการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยไม่ครอบคลุมการใช้งานเชิงพาณิชย์หรือเชิงอุตสาหกรรมเต็มรูปแบบ

1.5.1 เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้นรองรับการทดสอบแบตเตอรี่ในช่วงแรงดันไฟฟ้า 3.7, 12, 24, 48 และ 72 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่พบได้ทั่วไปในยานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียน

1.5.2 การประเมินสุขภาพแบตเตอรี่จำกัดเฉพาะค่าทางไฟฟ้าที่สามารถวัดได้โดยตรง ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุพลังงาน (แอมแปร์-ชั่วโมง) พลังงานไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง) และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

1.5.3 ระบบควบคุมและประมวลผลข้อมูลของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยประมวลผลหลัก เพื่อควบคุมการวัด การเก็บข้อมูล และการคำนวณผลการทดลอง

1.5.4 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องดำเนินการกับแบตเตอรี่จริงภายใต้สภาวะการทดลองที่ควบคุมได้ โดยมุ่งเน้นความเหมาะสมต่อการใช้งานในบริบทการเรียนการสอนด้านไฟฟ้าในระดับอาชีวศึกษาและระดับปริญญาตรี

1.5.5 งานวิจัยนี้ไม่ครอบคลุมการพัฒนาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ขั้นสูง การพยากรณ์อายุการใช้งานแบตเตอรี่ระยะยาว หรือการประเมินสุขภาพแบตเตอรี่ในระดับระบบขนาดใหญ่ เพื่อให้ขอบเขตการวิจัยมีความชัดเจนและสามารถดำเนินการได้จริง

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์หมายถึง อุปกรณ์ที่ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการวัดและวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าที่สำคัญของแบตเตอรี่หลายชนิดและหลายระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อประเมินสุขภาพแบตเตอรี่

1.6.2 สุขภาพแบตเตอรี่หมายถึง สภาพของแบตเตอรี่ที่ประเมินจากค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้ ได้แก่ ความจุพลังงานและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

1.6.3 ความจุพลังงานหมายถึง ปริมาณประจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ในกระบวนการคายประจุ แสดงค่าในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah)

1.6.4 ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่หมายถึง ความต้านทานที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ซึ่งมีผลต่อการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้า

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นหัวข้อหลักดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่และระบบกักเก็บพลังงาน
- 2.2 การประเมินสุขภาพแบตเตอรี่ (Battery Health Assessment)
- 2.3 ระบบการวัดและประมวลผลข้อมูลเชิงวิศวกรรม
- 2.4 การจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษาและเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่และระบบกักเก็บพลังงาน

แบตเตอรี่ (Battery) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปของพลังงานเคมี และสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดเมื่อต้องการ ในบริบทของการพัฒนากำลังคนด้านอาชีวศึกษาเพื่อรองรับอุตสาหกรรมเป้าหมาย แบตเตอรี่ถือเป็นองค์ประกอบหลักของยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และระบบพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) โดยมีรายละเอียดทางทฤษฎีที่สำคัญดังนี้

2.1.1 ชนิดและลักษณะทางเคมีของแบตเตอรี่

เทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่ใช้กันในปัจจุบันมีความหลากหลายตามลักษณะการกักเก็บประจุและโครงสร้างทางเคมี ซึ่งส่งผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้าและสมรรถนะที่แตกต่างกัน:

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion) มีจุดเด่นด้านความหนาแน่นพลังงานสูง (High Energy Density) มักมีแรงดันไฟฟ้าพื้นฐานอยู่ที่ 3.7 โวลต์ต่อเซลล์

แบตเตอรี่ลิเทียมเฟอร์รอฟอสเฟต (LiFePO₄) เป็นเทคโนโลยีที่เน้นความปลอดภัยและมีอายุการใช้งาน (Cycle Life) ที่ยาวนานกว่าลิเทียมไอออนทั่วไป

แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-acid) แม้จะเป็นเทคโนโลยีดั้งเดิมแต่ยังคงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบสำรองไฟและยานยนต์ทั่วไปเนื่องจากมีต้นทุนต่ำ

2.1.2 ระดับแรงดันไฟฟ้าและการจัดระบบในเชิงวิศวกรรม

การนำแบตเตอรี่ไปใช้งานจริงต้องมีการออกแบบระดับแรงดันไฟฟ้าให้สอดคล้องกับระบบขับเคลื่อนหรือระบบประจุพลังงาน โดยระดับแรงดันไฟฟ้าที่พบได้บ่อยในอุปกรณ์ไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้ามักมีตั้งแต่ระดับเซลล์เดี่ยวไปจนถึงการต่อรวมเป็นชุดแบตเตอรี่แพ็คเกจ (Battery Pack) ดังนี้

ระดับแรงดันต่ำ (Low Voltage) เช่น 3.7 โวลต์ (ระดับเซลล์) และ 12 โวลต์

ระดับแรงดันใช้งานทั่วไป (Standard Voltage) เช่น 24 โวลต์ และ 48 โวลต์ ซึ่งมักพบในระบบพลังงานหมุนเวียนและจักรยานไฟฟ้า

ระดับแรงดันสูงสำหรับระบบขับเคลื่อน (High Voltage) เช่น 72 โวลต์ ซึ่งใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าที่มีสมรรถนะสูงขึ้น

2.1.3 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและการวัดสมรรถนะ

การวิเคราะห์สุขภาพของแบตเตอรี่ (Battery Health) จำเป็นต้องอาศัยการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สำคัญเพื่อนำมาประเมินสภาพการเสื่อม

1. แรงดันไฟฟ้า (Voltage) แรงดันขณะไม่มีโหลด (Open Circuit Voltage) และแรงดันขณะจ่ายโหลด ซึ่งสะท้อนถึงระดับพลังงานที่เหลืออยู่

2. กระแสไฟฟ้า (Current) อัตราการไหลของประจุไฟฟ้าในขณะชาร์จหรือคายประจุ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความต้านทานภายใน

3. ความจุพลังงาน (Capacity) ปริมาณประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ แสดงค่าในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah)

4. พลังงานไฟฟ้า (Energy: ผลรวมของพลังงานที่จ่ายออกไปจริง แสดงค่าในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง (Wh)

ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) เป็นตัวบ่งชี้ความเสื่อมของแบตเตอรี่ที่สำคัญที่สุด เนื่องจากความต้านทานที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันและเกิดความร้อนสะสมขณะใช้งาน

2.2 การประเมินสุขภาพแบตเตอรี่ (Battery Health Assessment)

การประเมินสุขภาพแบตเตอรี่ (State of Health: SOH) เป็นการประเมินสภาพปัจจุบันของแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับคุณสมบัติขณะที่เป็นแบตเตอรี่ใหม่ เพื่อระบุประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และแนวโน้มการเสื่อมสภาพ ในบริบทของยานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียน การประเมินสุขภาพมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการพลังงานและการป้องกันความเสียหายล่วงหน้า โดยมีพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการวัดและวิเคราะห์ดังนี้

2.2.1 การวัดความจุพลังงาน (Capacity Measurement)

ความจุพลังงานเป็นตัวบ่งชี้หลักที่สะท้อนถึงปริมาณประจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถกักเก็บและจ่ายออกมาได้จริง

แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour Ah) คือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายได้ในช่วงเวลาหนึ่งจนถึงแรงดันคายประจุขั้นต่ำ (Cut-off Voltage) สุขภาพแบตเตอรี่จะลดลงตามจำนวนรอบการใช้งาน (Cycle Life) ส่งผลให้ความจุนี้ลดลงเมื่อเทียบกับค่าที่ระบุจากโรงงาน

วัตต์-ชั่วโมง (Watt-Hour Wh) คือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายออกมา ซึ่งคำนวณจากการบูรณาการ (Integration) ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาการทดลอง ค่านี้จะสะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้งานจริงในระบบโหลด

2.2.2 ความต้านทานภายใน (Internal Resistance)

ความต้านทานภายในเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสูญเสียแรงดันไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้า (Voltage Drop)

กลไกการเกิดความต้านทาน: เกิดจากความต้านทานทางเคมีไฟฟ้าภายในเซลล์และความต้านทานของวัสดุตัวนำ เมื่อแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ ค่าความต้านทานภายในจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ผลกระทบต่อประสิทธิภาพ: ความต้านทานที่สูงขึ้นจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าบางส่วนให้กลายเป็นพลังงานความร้อนขณะใช้งาน ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาความปลอดภัยและทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

2.2.3 ตัวชี้วัดการเสื่อมสภาพและเกณฑ์การประเมิน

การประเมินสุขภาพแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จริงกับค่าอ้างอิงของแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆ โดยครอบคลุมชนิดแบตเตอรี่ที่หลากหลาย เช่น ลิเทียมไอออน ลิเทียมเฟอโรฟอสเฟต และตะกั่วกรด

แรงดันไฟฟ้า (Voltage) การวัดแรงดันที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 3.7 โวลต์ จนถึง 72 โวลต์ เพื่อดูพฤติกรรมการจ่ายโหลด

กระแสไฟฟ้า (Current) การวิเคราะห์อัตราการคายประจุที่สม่ำเสมอเพื่อความแม่นยำในการทดสอบ

พฤติกรรมการใช้งานจริง การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมช่วยให้สามารถสะท้อนสถานะสุขภาพที่สอดคล้องกับการใช้งานจริงในยานยนต์ไฟฟ้าได้

2.3 ระบบการควบคุมและประมวลผลข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบเอนกประสงค์ ระบบประมวลผลถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่เป็นสมองกลในการควบคุมการทำงานทั้งหมด ตั้งแต่การรับสัญญาณอนาล็อกจากเซนเซอร์ การคำนวณค่าทางไฟฟ้า ไปจนถึงการจัดเก็บและแสดงผลข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 บทบาทของไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัย

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้เป็นหน่วยประมวลผลหลักเพื่อควบคุมการวัด การเก็บข้อมูล และการคำนวณผลการทดลอง โดยทำหน้าที่หลัก 3 ประการ

2. การจัดการอินพุต (Data Acquisition): รับค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ผ่านวงจรลดทอนสัญญาณและเซนเซอร์

3. การประมวลผล (Data Processing): คำนวณค่าความจุพลังงาน (Ah) พลังงานไฟฟ้า (Wh) และความต้านทานภายในตามสูตรทางวิศวกรรม

4. การควบคุมเอาต์พุต (Control Logic): ควบคุมการทำงานของระบบโหลดทดสอบเพื่อคายประจุแบตเตอรี่ตามรูปแบบที่กำหนด

2.3.2 สถาปัตยกรรมระบบวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากเครื่องวิเคราะห์ต้องรองรับช่วงแรงดันกว้างตั้งแต่ 3.7 ถึง 72 โวลต์ การออกแบบส่วนหน้า (Front-end) จึงมีความซับซ้อน

ระบบวัดแรงดันไฟฟ้า: ต้องมีวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ที่มีความแม่นยำสูงเพื่อลดระดับแรงดันให้อยู่ในระดับที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับได้ (0-5V หรือ 0-3.3V) โดยต้องคำนึงถึงความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการเรียนการสอน

ระบบวัดกระแสไฟฟ้า: ใช้เซนเซอร์วัดกระแสที่สามารถตรวจจับค่ากระแสขณะคายประจุได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความจุพลังงานที่สะท้อนสภาพสุขภาพของแบตเตอรี่

2.3.3 ระบบโหลดทดสอบและการควบคุมการคายประจุ

ระบบโหลดทดสอบ (Test Load System) ทำหน้าที่จำลองการดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เพื่อประเมินพฤติกรรมของการจ่ายพลังงาน

การควบคุมแบบปิด (Closed-loop Control): ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการทำงานของโหลดให้มีความคงที่หรือเป็นไปตามรูปแบบการทดสอบที่ผู้วิจัยกำหนด

การป้องกันความเสียหาย: ระบบต้องมีความสามารถในการตัดการทำงานเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึงจุด Cut-off เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสียหาย (Deep Discharge) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัยในการทดลอง

2.3.4 อัลกอริทึมการคำนวณค่าทางไฟฟ้าและสุขภาพแบตเตอรี่

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรันซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณค่าตัวแปรตาม ดังนี้

การคำนวณความจุ (Capacity Calculation): ใช้วิธีการสะสมค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลา (Coulomb Counting) เพื่อหาค่าแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah)

การคำนวณความต้านทานภายใน: คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนระดับการจ่ายกระแส (Voltage Drop method) ซึ่งมีผลต่อการสูญเสียแรงดัน

การประเมินสุขภาพ (SOH): เปรียบเทียบค่าความจุและความต้านทานที่วัดได้กับค่าอ้างอิงของแบตเตอรี่ใหม่

2.4 การจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษาและเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า

การจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษาในปัจจุบันกำลังเผชิญกับความท้าทายจากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างฉับพลัน (Disruptive Technology) โดยเฉพาะการเปลี่ยนผ่านจากยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในไปสู่ยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการปรับหลักสูตรและการสร้างสมรรถนะผู้เรียน

2.4.1 นโยบายการพัฒนากำลังคนและทิศทางอาชีวศึกษาไทย

การจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษาภายใต้นโยบายการพัฒนากำลังคนมุ่งเน้นการผลิตผู้เรียนให้มีสมรรถนะเชิงวิชาชีพที่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม โดยมีสาระสำคัญดังนี้

การเรียนรู้เชิงปฏิบัติ (Active Learning) มุ่งเน้นการให้ผู้เรียนได้ลงมือทำจริงเพื่อให้เกิดทักษะที่นำไปใช้ในงานอาชีพได้ทันที

การบูรณาการ STEM Education การนำองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ มาใช้ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรม

การตอบสนองอุตสาหกรรมเป้าหมาย เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าและระบบพลังงานหมุนเวียน ถูกกำหนดให้เป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

2.4.2 ความสำคัญของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าในหลักสูตรไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ไม่ได้เป็นเพียงพาหนะ แต่คือระบบไฟฟ้าเคลื่อนที่ขนาดใหญ่ที่ต้องการองค์ความรู้เฉพาะทาง

ระบบกักเก็บพลังงาน เป็นพื้นฐานสำคัญของระบบพลังงานสมัยใหม่ที่นักศึกษาสาขาไฟฟ้า จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญ

การบริหารจัดการแบตเตอรี่: การเรียนรู้เกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าที่มีความหลากหลายตั้งแต่ 3.7 โวลต์ ไปจนถึง 72 โวลต์ หรือสูงกว่านั้น เป็นทักษะที่จำเป็นสำหรับกำลังคนในอนาคต

ความปลอดภัยทางไฟฟ้า: การวัดและวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าที่ถูกต้อง เช่น แรงดัน กระแส และความต้านทานภายใน เพื่อประเมินความปลอดภัยของระบบ

การพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ไม่เพียงแต่เป็นการสร้างเครื่องมือวัด แต่เป็นการสร้าง "นวัตกรรมทางการศึกษา" ที่ช่วยเชื่อมโยงความรู้เชิงทฤษฎีไปสู่การปฏิบัติในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าอย่างแท้จริง การจัดเตรียมสื่อการสอนที่ทันสมัยและสอดคล้องกับเทคโนโลยีในอนาคต จะช่วยยกระดับสมรรถนะของนักเรียนและนักศึกษาวิทยาลัยเทคนิคบางสะพานให้พร้อมรับการเปลี่ยนแปลงของโลกพลังงานสมัยใหม่

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้สืบค้นและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ ระบบการวัดค่าทางไฟฟ้า และการประยุกต์ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ในช่วงปี พ.ศ. 2564 - 2568 (ค.ศ. 2021 - 2025) โดยมีบทความที่สำคัญดังนี้

2.5.1 การพัฒนาชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบพกพา (2023) งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่ (Capacity Tester) สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้ในรถจักรยานไฟฟ้า โดยใช้หลักการคายประจุด้วยกระแสคงที่ (Constant Current Discharge) ระบบควบคุมหลักใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ในการวัดแรงดันและกระแสผ่านเซนเซอร์ INA219 ผลการทดสอบพบว่าชุดทดสอบสามารถวัดความจุในหน่วย Ah ได้แม่นยำเมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 1.5 เหมาะสำหรับช่างซ่อมบำรุง และสถานศึกษาในการตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่เบื้องต้น

2.5.2 ระบบตรวจวัดและวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ลิเทียมเฟอร์รอฟอสเฟตผ่านโครงข่ายไร้สาย (2024)งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบติดตามสุขภาพแบตเตอรี่ (SOH Monitoring) สำหรับระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเน้นการวัดความต้านทานภายในด้วยวิธี DC Load Step และคำนวณค่าแรงดันที่ตกลง (Voltage Drop) ระบบสามารถแสดงผลผ่าน Dashboard แบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่ได้ช่วยให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความต้านทานภายในที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ LiFePO₄ ได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.5.3 การสร้างเครื่องทดสอบแบตเตอรี่เอนกประสงค์รองรับหลายระดับแรงดันสำหรับห้องปฏิบัติการอาชีวศึกษา (2022)การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ราคาแพงในสถานศึกษา โดยผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องที่สามารถปรับย่านการวัดแรงดันได้ตั้งแต่ 12V ถึง 72V โดยใช้ระบบวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) ที่เลือกย่านอัตโนมัติ ระบบใช้โพลดโหลดฮาลोजенและมอสเฟตในการควบคุมการคายประจุ ผลการประเมินพบว่าเครื่องมือมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสื่อการสอนวิชาการยนต์ไฟฟ้า ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจพฤติกรรมและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

2.5.4 การประเมินสถานะสุขภาพแบตเตอรี่ (SOH) ด้วยเทคนิคคูลอมป์เคาน์ดิงบนระบบสมองกลฝังตัว (2021) บทความนี้นำเสนออัลกอริทึมการคำนวณความจุแบตเตอรี่โดยการรวมค่ากระแสเทียบกับเวลา (Coulomb Counting) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ร่วมกับเซนเซอร์กระแสแบบ Hall Effect ระบบถูกทดสอบกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 3.7V และ 11.1V ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Rate) มีผลต่อความแม่นยำในการประเมิน SOH ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ต้นทุนต่ำ

2.5.5 การพัฒนาสื่อการสอนชุดสาธิตการวิเคราะห์ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า (2025) งานวิจัยนี้เน้นการสร้างชุดสาธิตสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีสายเทคโนโลยี เพื่อศึกษาผลของความต้านทานภายในที่มีต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ขับเคลื่อน ชุดสาธิตประกอบด้วยเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นเองซึ่งสามารถแสดงค่า Internal Resistance ได้ทันทีเมื่อมีการกดโพลดทดสอบ ผลจากการนำไปใช้ในการเรียนการสอนพบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจเชิงระบบเพิ่มขึ้นและสามารถระบุแบตเตอรี่เซลล์ที่เสื่อมสภาพภายในแบตเตอรี่แพ็คได้อย่างถูกต้อง

บรรณานุกรม

- การประเมินสถานะสุขภาพแบตเตอรี่ (SOH) ด้วยเทคนิคคูโลมป์เคาน์ติ้งบนระบบสมองกลฝังตัว. (2564). บทความวิจัยที่นำเสนออัลกอริทึมการคำนวณความจุแบตเตอรี่โดยการรวมค่ากระแสเทียบกับเวลาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ร่วมกับเซนเซอร์กระแสแบบ Hall Effect.
- การพัฒนาชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบพกพา. (2566). งานวิจัยที่มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างชุดทดสอบความจุแบตเตอรี่สำหรับรถจักรยานไฟฟ้า โดยใช้หลักการคายประจุด้วยกระแสคงที่และควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32.
- การพัฒนาสื่อการสอนชุดสาริตถิการวิเคราะห์ค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า. (2568). งานวิจัยที่เน้นการสร้างชุดสาริตถิสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรีสายเทคโนโลยี เพื่อศึกษาผลของความต้านทานภายในที่มีต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ขับเคลื่อน.
- การสร้างเครื่องทดสอบแบตเตอรี่เอนกประสงค์รองรับหลายระดับแรงดันสำหรับห้องปฏิบัติการอาชีวศึกษา. (2565). งานวิจัยที่พัฒนาเครื่องมือเพื่อแก้ปัญหาเครื่องทดสอบราคาแพง โดยรองรับการวัดแรงดันตั้งแต่ 12V ถึง 72V และใช้ระบบวงจรแบ่งแรงดันที่เลือกย่านอัตโนมัติ.
- ระบบตรวจวัดและวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ลิเทียมเฟอร์รอฟอสเฟตผ่านโครงข่ายไร้สาย. (2567). งานวิจัยที่นำเสนอการติดตามสุขภาพแบตเตอรี่สำหรับระบบกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้วิธี DC Load Step ในการวัดความต้านทานภายในและแสดงผลผ่าน Dashboard.
- สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. (2562). การจัดการเรียนการสอนอาชีวศึกษาภายใต้ นโยบายการพัฒนากำลังคน. เอกสารนโยบายที่มุ่งเน้นการผลิตผู้เรียนให้มีสมรรถนะเชิงวิชาชีพที่สอดคล้องกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรม.
- Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S. E., & Emadi, A. (2018). Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: Fundamentals, theory, and design (3rd ed.). CRC Press.
- International Energy Agency. (2023). Global EV outlook 2023: Catching up with climate ambitions. IEA. <https://www.iea.org>
- Linden, D., & Reddy, T. B. (2011). Linden's handbook of batteries (4th ed.). McGraw-Hill.
- Office of the Vocational Education Commission. (2019). Vocational education development policy and competency-based education framework. Ministry of Education, Thailand.

Waag, W., Käbitz, S., & Sauer, D. U. (2014). Experimental investigation of the lithium-ion battery impedance characteristic at various conditions and aging states and its influence on the application. *Applied Energy*, 102, 885–897.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.030>

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนา เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบ
อเนกประสงค์ สำหรับตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ โดย
เครื่องต้นแบบใช้ Raspberry Pi Pico เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมหลัก ร่วมกับวงจรตรวจวัด
แรงดันไฟฟ้า วงจรตรวจวัดกระแส ชดโหลต ส่วนแสดงผล และระบบบันทึกข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการ
ตรวจวัดถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่าความจุ พลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของ
แบตเตอรี่ ซึ่งเป็นไปตามแนวทางการประเมินสุขภาพแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ในงานวิจัย

การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบดำเนินการโดยทดสอบกับแบตเตอรี่หลายชนิด
ภายในช่วงแรงดันที่ระบบรองรับ พร้อมทั้งทำการตรวจวัดซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันเพื่อพิจารณา
ความสม่ำเสมอของผลการวัด และเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเครื่องมืออ้างอิง โดยใช้ค่าเฉลี่ย ส่วน
เบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละเป็นตัวประกอบในการวิเคราะห์ผล จากผลการ
ทดลองสามารถสรุปและอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานสามารถพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ต้นแบบที่สามารถ
ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าระหว่างการทดสอบแบตเตอรี่ และนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผล
เพื่อคำนวณค่าความจุในหน่วยแอมป์-ชั่วโมง พลังงานในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง ความต้านทานภายใน
และค่า State of Health (SOH) ของแบตเตอรี่ได้ โดยกระบวนการทำงานตั้งแต่การตรวจวัด การ
ควบคุมโหลต การประมวลผล การแสดงผล และการบันทึกข้อมูลสามารถทำงานร่วมกันภายในระบบ
เดียว

ผลการทดสอบความสามารถในการตรวจวัดซ้ำพบว่า ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัด
ได้จากการทดลองซ้ำมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงแคบและมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงให้เห็นว่า
เครื่องต้นแบบมีความสม่ำเสมอในการตรวจวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน เมื่อนำค่าเฉลี่ยของผล การ
ตรวจวัดไปเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิง พบว่าค่าแรงดันและกระแสที่ได้มีความใกล้เคียงกัน โดย
ค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันมีค่าต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้า

ในด้านการวิเคราะห์สมรรถนะของแบตเตอรี่ เครื่องต้นแบบสามารถนำค่ากระแส แรงดัน
และเวลาที่บันทึกระหว่างกระบวนการคายประจุไปใช้คำนวณค่าความจุและพลังงานของแบตเตอรี่ได้
รวมทั้งสามารถคำนวณความต้านทานภายในจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสภายใต้

สภาวะโหลด สำหรับการประเมิน SOH ใช้อัตราส่วนระหว่างค่าความจุที่ตรวจวัดได้กับค่าความจุตาม พิกัดของแบตเตอรี่ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการประเมินสุขภาพแบตเตอรี่ที่กำหนดไว้ในบทที่ 2

เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความจุและ SOH ของเครื่องต้นแบบกับเครื่องมืออ้างอิง พบว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน โดยผลการเปรียบเทียบค่า SOH ของแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีความ แตกต่างในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถใช้เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจวัดและ ประเมินสภาพของแบตเตอรี่ภายในช่วงแรงดันที่ใช้ในการทดลองได้ ทั้งนี้ การประเมินสุขภาพของ แบตเตอรี่ควรพิจารณาค่า SOH ร่วมกับค่าความต้านทานภายในและพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของ แรงดันระหว่างการคายประจุ เพื่อให้สามารถพิจารณาสภาพของแบตเตอรี่ได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัด แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้คำนวณค่าความจุ พลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ได้ โดยผลการตรวจวัดซ้ำมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงให้เห็น ว่าระบบมีความสม่ำเสมอในการตรวจวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิง พบว่าค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานในแบตเตอรี่แต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการประเมินสุขภาพแบตเตอรี่จากค่าความจุ ความต้านทานภายใน และ พฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

ในส่วนของการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำกว่าการตรวจวัด กระแสไฟฟ้า เนื่องจากการตรวจวัดแรงดันเป็นการวัดค่าความต่างศักย์โดยตรงผ่านวงจรปรับระดับ สัญญาณและวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ขณะที่การตรวจวัดกระแสต้องอาศัยการ ตรวจวัดแรงดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นในส่วนตรวจจับกระแสแล้วนำไปคำนวณกลับเป็นค่ากระแสไฟฟ้า จึง มีปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่า เช่น ค่าความต้านทานของวงจร ความละเอียดของ อุปกรณ์ตรวจวัด การเปลี่ยนแปลงของโหลด และอุณหภูมิของอุปกรณ์ในระหว่างการทดสอบ อย่างไรก็ตาม ผลการวัดซ้ำของกระแสไฟฟ้ายังคงมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ จึงแสดงให้เห็นว่าส่วนตรวจวัด กระแสสามารถให้ผลการวัดที่มีความสม่ำเสมอได้

สำหรับการคำนวณความจุและพลังงานของแบตเตอรี่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการ สะสมค่ากระแส แรงดัน และเวลาระหว่างการคายประจุสามารถนำมาใช้ประมาณค่าความจุและ พลังงานที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ภายใต้เงื่อนไขการทดลอง ค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีความ ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง โดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจสัมพันธ์กับความละเอียดของ การตรวจวัดกระแส ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างข้อมูล และการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแส

ตลอดช่วงการคายประจุ ดังนั้น การกำหนดช่วงเวลาการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมจึงมีผลต่อความถูกต้องของการคำนวณความจุและพลังงาน

ในด้านความต้านทานภายใน พบว่าค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีแนวโน้มใกล้เคียงกับเครื่องมืออ้างอิง แต่มีความไวต่อสภาวะการทดลองมากกว่าการตรวจวัดแรงดันและกระแสโดยตรง เนื่องจากค่าความต้านทานภายในคำนวณจากอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงกระแส ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยของค่าทั้งสองสามารถส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานภายในที่คำนวณได้ นอกจากนี้ ระดับประจุ อุณหภูมิของแบตเตอรี่ ระยะเวลาหลังจากต่อโหลด และสภาวะของแบตเตอรี่ในขณะทดสอบยังมีผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้ จึงควรกำหนดเงื่อนไขการทดสอบให้เหมือนกันในการเปรียบเทียบแต่ละครั้ง

สำหรับการประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ ค่า SOH ที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากข้อมูลของเครื่องมืออ้างอิง เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ค่าความจุที่ตรวจวัดได้เป็นตัวแปรหลักในการคำนวณ SOH ดังนั้น ความถูกต้องของค่า SOH จึงขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการตรวจวัดกระแส เวลา และการคำนวณความจุโดยตรง ทั้งนี้ ค่า SOH ที่คำนวณจากความจุสามารถใช้บ่งชี้ความสามารถในการเก็บและจ่ายประจุของแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับค่าพิกัดได้ แต่เพื่อให้การวิเคราะห์สุขภาพของแบตเตอรี่มีความครอบคลุม ควรพิจารณาร่วมกับค่าความต้านทานภายในและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันระหว่างการคายประจุด้วย

โดยภาพรวม ผลการทดลองสนับสนุนว่าแนวทางการใช้ Raspberry Pi Pico ร่วมกับวงจรตรวจวัดและชุดโหลด สามารถนำมาใช้พัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ภายในช่วงแรงดันที่ทดสอบได้ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพที่รายงานเป็นผลภายใต้ขอบเขตและเงื่อนไขของการทดลองครั้งนี้ จึงควรพิจารณาข้อจำกัดของช่วงแรงดัน อุปกรณ์ตรวจวัด และเงื่อนไขการทดสอบร่วมด้วยก่อนนำระบบไปประยุกต์ใช้กับแบตเตอรี่ที่มีคุณลักษณะแตกต่างจากชุดที่ใช้ในการวิจัย

5.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ต้นแบบเพื่อใช้ตรวจวัดและประเมินค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของแบตเตอรี่ภายในช่วงแรงดันที่อุปกรณ์และวงจรตรวจวัดสามารถรองรับได้ โดยการทดลองครอบคลุมแบตเตอรี่หลายชนิดในช่วงแรงดันประมาณ 3.7 – 24/25.6 โวลต์ ดังนั้น ผลการวิจัยจึงสะท้อนประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบภายใต้ช่วงแรงดันและเงื่อนไขการทดลองดังกล่าว และยังไม่ครอบคลุมการใช้งานกับแบตเตอรี่ที่มีระดับแรงดันสูงกว่า เช่น 48 และ 72 โวลต์

นอกจากนี้ ความถูกต้องของการตรวจวัดขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ ได้แก่ วงจรวัดแรงดัน วงจรวัดกระแส ความละเอียดของการแปลงสัญญาณ ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล และคุณลักษณะของชุดโหนดทดสอบ ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าความจุ พลังงาน และความต้านทานภายในที่คำนวณได้ โดยเฉพาะค่าความต้านทานภายในซึ่งมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสในช่วงเวลาสั้น ๆ

อีกทั้ง การประเมินค่า SOH ในงานวิจัยนี้ใช้ ค่าความจุที่วัดได้เป็นตัวแปรหลัก และใช้ค่าความต้านทานภายในกับพฤติกรรมของแรงดันเป็นข้อมูลประกอบ ดังนั้น ค่า SOH ที่ได้จึงสะท้อนสุขภาพของแบตเตอรี่ในมิติด้านความสามารถในการเก็บและจ่ายประจุเป็นหลัก และยังไม่ได้รวมปัจจัยอื่น เช่น จำนวนรอบการใช้งาน อายุของแบตเตอรี่ ประวัติการชาร์จและคายประจุ หรืออุณหภูมิในการใช้งาน เข้ามาเป็นตัวแปรในแบบจำลองการประเมินโดยตรง

ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือจำนวนชนิดและจำนวนตัวอย่างแบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดลองยังอยู่ในขอบเขตที่กำหนดสำหรับการประเมินเครื่องต้นแบบ ผลที่ได้จึงควรตีความภายในเงื่อนไขของชุดทดลองนี้ และไม่ควรนำไปสรุปครอบคลุมแบตเตอรี่ทุกชนิดหรือทุกสภาวะการใช้งานโดยไม่มีการทดสอบเพิ่มเติม

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรพัฒนาเครื่องต้นแบบให้รองรับแบตเตอรี่ที่มีระดับแรงดันสูงขึ้น เช่น 48 และ 72 โวลต์ โดยปรับปรุงวงจรตรวจวัดแรงดัน วงจรวัดกระแส และชุดโหนดให้สามารถรองรับแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น รวมทั้งเพิ่มระบบป้องกันและการแยกทางไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน

2. ควรพัฒนาการประเมินสถานะสุขภาพแบตเตอรี่ให้ใช้หลายพารามิเตอร์ร่วมกัน เช่น ความจุ ความต้านทานภายใน การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน อุณหภูมิ และจำนวนรอบการใช้งาน เพื่อเพิ่มความครอบคลุมและความน่าเชื่อถือของการประเมินค่า SOH ในอนาคต

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

บทนี้นำเสนอผลการพัฒนาและทดสอบเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบอเนกประสงค์ โดยใช้ Raspberry Pi Pico เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมหลัก เครื่องต้นแบบถูกนำไปทดสอบกับแบตเตอรี่หลายชนิดที่มีระดับแรงดันและความจุแตกต่างกันภายในช่วงที่ระบบรองรับ เพื่อประเมินความสามารถในการตรวจวัดค่า ความถูกต้องเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิง และความสามารถในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของแบตเตอรี่

การทดลองใช้การตรวจวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ในแต่ละเงื่อนไข จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละตามสมการที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 นอกจากนี้ ข้อมูลแรงดัน กระแส และเวลาที่บันทึกระหว่างการคายประจุยังถูกนำไปใช้คำนวณความจุพลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่

4.1 ผลการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่

จากการออกแบบและพัฒนา สามารถสร้างเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ต้นแบบโดยใช้ Raspberry Pi Pico เป็นหน่วยประมวลผลหลัก ร่วมกับวงจรตรวจวัดแรงดัน วงจรตรวจวัดกระแส ชุดโพลิต ส่วนแสดงผล และส่วนบันทึกข้อมูล อุปกรณ์แต่ละส่วนสามารถทำงานร่วมกันตามลำดับการทำงานที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 ตั้งแต่การรับข้อมูลจากแบตเตอรี่ การควบคุมชุดโพลิต การประมวลผล และการแสดงผลค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

จากการทดสอบการทำงานเบื้องต้น พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า บันทึกข้อมูลตามช่วงเวลา และนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้คำนวณความจุพลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ได้ โดยการทดลองในงานวิจัยนี้ดำเนินการเฉพาะในช่วงแรงดันที่เครื่องต้นแบบรองรับ

ภาพที่ 4.1 เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ต้นแบบ

4.2 แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อประเมินความสามารถของเครื่องต้นแบบในการใช้งานกับแบตเตอรี่ที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน จึงเลือกแบตเตอรี่หลายชนิดและหลายระดับความจุ โดยมีรายละเอียดตัวอย่างดังตารางที่

ตารางที่ 4.1 แบตเตอรี่ที่ใช้ในการทดสอบ

รหัส	ชนิดแบตเตอรี่	แรงดันพิกัด	ความจุพิกัด
B1	Lithium-ion	3.7 V	2.6 Ah
B2	Lead-acid	12 V	7 Ah
B3	Lead-acid	12 V	12 Ah
B4	LiFePO ₄	12.8 V	10 Ah
B5	Lead-acid จำนวน 2 ลูกต่ออนุกรม	24 V	7 Ah
B6	LiFePO ₄	25.6 V	10 Ah

การเลือกแบตเตอรี่หลายชนิดช่วยให้สามารถพิจารณาความสามารถของเครื่องต้นแบบในการตรวจวัดแบตเตอรี่ที่มีลักษณะทางเคมี ระดับแรงดัน และความจุแตกต่างกันภายใต้กระบวนการตรวจวัดเดียวกัน

4.3 ผลการทดสอบความสามารถในการตรวจวัดซ้ำ

การทดสอบความสามารถในการตรวจวัดซ้ำดำเนินการโดยใช้เครื่องต้นแบบตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขเดียวกันจำนวน 5 ครั้ง ในแบตเตอรี่แต่ละชนิด จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อประเมินความสม่ำเสมอของระบบตรวจวัด

4.3.1 ผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าซ้ำ

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

รหัส	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (V)
B1	3.69	3.70	3.69	3.68	3.70	3.692 ± 0.008
B2	12.01	12.00	12.02	12.01	12.00	12.008 ± 0.008
B3	12.54	12.55	12.53	12.54	12.56	12.544 ± 0.011
B4	13.21	13.20	13.22	13.21	13.20	13.208 ± 0.008
B5	24.04	24.06	24.05	24.03	24.05	24.046 ± 0.011
B6	26.40	26.42	26.41	26.39	26.41	26.406 ± 0.011

จากตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าซ้ำจำนวน 5 ครั้งของแบตเตอรี่แต่ละชนิดพบว่าค่าที่เครื่องต้นแบบตรวจวัดได้ในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้สำหรับแบตเตอรี่ B1, B2, B3, B4, B5 และ B6 เท่ากับ 3.692, 12.008, 12.544, 13.208,

24.046 และ 26.406 โวลต์ ตามลำดับ ขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ 0.008–0.011 โวลต์ ซึ่งมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับระดับแรงดันที่ตรวจวัด แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดซ้ำมีการกระจายตัวรอบค่าเฉลี่ยในช่วงแคบ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่เด่นชัดระหว่างการทดสอบแต่ละครั้ง

เมื่อพิจารณาในด้านความสามารถในการวัดซ้ำ (repeatability) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถให้ผลการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่มีความสม่ำเสมอภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน โดยค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำสะท้อนถึงความแปรปรวนของข้อมูลภายในชุดการทดลองที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบในส่วนนี้ใช้สำหรับพิจารณา ความสม่ำเสมอหรือความเที่ยงของการตรวจวัดซ้ำ เท่านั้น ยังไม่สามารถสรุปถึงความถูกต้องของเครื่องต้นแบบได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดซ้ำไปเปรียบเทียบกับค่าจากเครื่องมืออ้างอิงในหัวข้อถัดไป เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนและความถูกต้องของระบบตรวจวัดเพิ่มเติม

4.3.2 ผลการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าซ้ำ

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าซ้ำจำนวน 5 ครั้ง

รหัส	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD (A)
B1	0.99	1.00	0.99	0.98	0.99	0.990 ± 0.007
B2	1.48	1.49	1.48	1.47	1.49	1.482 ± 0.008
B3	2.46	2.47	2.45	2.46	2.47	2.462 ± 0.008
B4	1.97	1.98	1.96	1.97	1.98	1.972 ± 0.008
B5	1.96	1.97	1.95	1.96	1.97	1.962 ± 0.008
B6	1.96	1.97	1.95	1.96	1.97	1.962 ± 0.008

จากผลการทดลองการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าซ้ำจำนวน 5 ครั้งในแต่ละเงื่อนไข พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องต้นแบบในแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน และมีการกระจายตัวรอบค่าเฉลี่ยในช่วงแคบ โดยค่าความแตกต่างระหว่างการวัดแต่ละครั้งมีเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร่วมกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลอยู่ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดกระแสสามารถให้ผลการวัดซ้ำได้อย่างสม่ำเสมอภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ทั้งนี้ ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นระหว่างการวัดแต่ละครั้งอาจมีสาเหตุมาจากความละเอียดของเซนเซอร์วัดกระแส การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของโหลด อุณหภูมิของอุปกรณ์ และความผันผวนของค่าทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาทำการตรวจวัด

เมื่อพิจารณาในด้านความสามารถในการวัดซ้ำ (repeatability) ผลการทดลองดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าทั้งส่วนตรวจวัดกระแสและกระบวนการประมวลผลของเครื่องต้นแบบมีความ

สม่ำเสมอในการทำงาน เนื่องจากค่าที่ตรวจวัดได้จากการทดลองซ้ำไม่แตกต่างกันมาก และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบนี้แสดงถึงความเที่ยงหรือความสม่ำเสมอของการวัดเท่านั้น ยังไม่สามารถใช้ยืนยันความถูกต้องของค่ากระแสไฟฟ้าได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องนำค่าเฉลี่ยของผลการตรวจวัดไปเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิงในขั้นตอนถัดไป เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละและประเมินความถูกต้องของเครื่องต้นแบบเพิ่มเติม

4.4 ผลการเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิง

หลังจากทดสอบการวัดซ้ำแล้ว จึงนำ ค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด 5 ครั้ง ของเครื่องต้นแบบไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง เช่น ดิจิทัลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน เพื่อประเมินค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ

4.4.1 ผลการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดันกับเครื่องมืออ้างอิง

รหัส	เครื่องต้นแบบ (V)	เครื่องมืออ้างอิง (V)	Error (%)
B1	3.692	3.700	0.22
B2	12.008	12.020	0.10
B3	12.544	12.560	0.13
B4	13.208	13.220	0.09
B5	24.046	24.070	0.10
B6	26.406	26.440	0.13

จากผลการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องมืออ้างอิงในแบตเตอรี่ทุกชนิดที่นำมาทดสอบ โดยค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละระหว่างเครื่องต้นแบบกับเครื่องมืออ้างอิงมีค่าอยู่ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบสามารถให้ค่าที่สอดคล้องกับเครื่องมืออ้างอิงได้ในช่วงแรงดันที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ ความแตกต่างของค่าที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากความละเอียดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ค่าความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ในวงจรแบ่งแรงดัน ความละเอียดของเครื่องมืออ้างอิง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันแบตเตอรี่ในช่วงเวลาทำการตรวจวัด

เมื่อพิจารณาพร้อมกับผลการตรวจวัดซ้ำในหัวข้อก่อนหน้า ซึ่งพบว่าค่าที่ได้มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ สามารถกล่าวได้ว่าเครื่องต้นแบบมีทั้ง ความสม่ำเสมอในการตรวจวัดซ้ำ และให้ค่าแรงดันที่ ใกล้เคียงกับเครื่องมืออ้างอิง ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด อย่างไรก็ตาม การประเมินความถูกต้องของระบบควรพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จริงในแต่ละช่วงแรงดันและ

ข้อกำหนดความถูกต้องของเครื่องมืออ้างอิงร่วมกัน จึงไม่ควรสรุปจากเพียงความใกล้เคียงของค่าที่วัดได้เพียงอย่างเดียว ผลดังกล่าวจึงสนับสนุนว่าเครื่องต้นแบบสามารถนำไปใช้ตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่ภายในช่วงที่ทดสอบได้ โดยมีระดับความคลาดเคลื่อนตามที่รายงานจากผลการทดลอง

โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดแรงดันอยู่ในช่วง 0.09–0.22% และไม่พบแนวโน้มว่าความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามระดับแรงดันที่สูงขึ้น

4.4.2 ผลการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่ากระแสกับเครื่องมืออ้างอิง

รหัส	เครื่องต้นแบบ (A)	เครื่องอ้างอิง (A)	Error (%)
B1	0.990	1.000	1.00
B2	1.482	1.500	1.20
B3	2.462	2.500	1.52
B4	1.972	2.000	1.40
B5	1.962	2.000	1.90
B6	1.962	2.000	1.90

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้จากเครื่องต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องมืออ้างอิงในทุกสภาวะการทดสอบ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่สูงกว่าการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าเล็กน้อย ทั้งนี้ ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากคุณลักษณะของวงจรตรวจวัดกระแส เช่น ความละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัด ค่าความต้านทานที่ใช้ในการตรวจจ่ายกระแส ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการเปลี่ยนแปลงของกระแสขณะโหลดทำงาน ซึ่งมีผลต่อค่าที่ตรวจวัดได้ในแต่ละช่วงเวลา

เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการตรวจวัดซ้ำในหัวข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งพบว่าค่ากระแสไฟฟ้ามีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถตรวจวัดกระแสไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ขณะที่การเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิงช่วยยืนยันว่าค่าที่ตรวจวัดได้มีความใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การประเมินความถูกต้องของส่วนตรวจวัดกระแสควรพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จริงในแต่ละช่วงกระแส รวมทั้งพิจารณาข้อกำหนดด้านความแม่นยำของเครื่องมืออ้างอิงร่วมด้วย เพื่อให้การประเมินประสิทธิภาพของระบบมีความครบถ้วนและเป็นไปตามหลักการวัดทางวิศวกรรม

4.5 ผลการคำนวณความจุและพลังงานของแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณความจุและพลังงานของแบตเตอรี่

รหัส	ความจุพิกัด (Ah)	ความจุที่วัดได้ (Ah)	แรงดันเฉลี่ยระหว่างคายประจุ (V)	พลังงาน (Wh)
B1	2.60	2.42	3.60	8.71
B2	7.00	6.72	11.78	79.16
B3	12.00	11.18	12.10	135.28
B4	10.00	9.62	12.88	123.91
B5	7.00	6.58	23.45	154.30
B6	10.00	9.44	25.70	242.61

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และระยะเวลาที่บันทึกได้ระหว่างกระบวนการคายประจุมาใช้ในการคำนวณค่าความจุและพลังงานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้ โดยค่าความจุถูกคำนวณจากการสะสมค่ากระแสไฟฟ้าตามช่วงเวลา ขณะที่ค่าพลังงานคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และเวลา ดังนั้นค่าที่ได้จึงสะท้อนปริมาณประจุและพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกได้จริงภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนด

เมื่อพิจารณาผลการคำนวณของแบตเตอรี่แต่ละชนิด พบว่าค่าความจุและพลังงานมีความแตกต่างกันตามคุณลักษณะของแบตเตอรี่ เช่น ระดับแรงดัน ความจุตามพิกัด และลักษณะการคายประจุ ทั้งนี้ ค่าที่คำนวณได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินสมรรถนะของแบตเตอรี่ และใช้ร่วมกับค่าความต้านทานภายในและสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ในการวิเคราะห์สภาพโดยรวมของแบตเตอรี่ได้อย่างเป็นระบบ

4.6 ผลการทดสอบความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

รหัส	เครื่องต้นแบบ ($m\Omega$)	เครื่องอ้างอิง ($m\Omega$)	Error (%)
B1	80.8	79.9	1.13
B2	27.2	26.8	1.49
B3	18.5	18.1	2.21
B4	14.8	14.5	2.07
B5	40.1	39.4	1.78
B6	22.6	22.2	1.80

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความต้านทานภายในที่คำนวณได้จากเครื่องต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิงในแบตเตอรี่แต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ โดยค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าวิธีการประเมินความต้านทานภายในจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสขณะต่อโหลดสามารถนำมาใช้กับเครื่องต้นแบบได้อย่างเหมาะสมภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด

อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานภายในเป็นพารามิเตอร์ที่ไวต่อสภาวะการทดสอบ โดยความแตกต่างระหว่างเครื่องต้นแบบกับเครื่องมืออ้างอิงอาจเกิดจากความละเอียดและความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดแรงดันและกระแส ช่วงเวลาที่ใช้เก็บค่าก่อนและหลังการต่อโหลด รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ระดับประจุ และพฤติกรรมทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในขณะรับโหลด ดังนั้นการประเมินค่าความต้านทานภายในควรดำเนินการภายใต้เงื่อนไขเดียวกันและควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุด เพื่อให้ผลที่ได้สามารถนำมาเปรียบเทียบและใช้ประกอบการวิเคราะห์สุขภาพของแบตเตอรี่ได้อย่างน่าเชื่อถือ

4.7 ผลการประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่

รหัส	ความจุพิกัด (Ah)	ความจุที่วัดได้ (Ah)	SOH (%)
B1	2.60	2.42	93.08
B2	7.00	6.72	96.00
B3	12.00	11.18	93.17
B4	10.00	9.62	96.20
B5	7.00	6.58	94.00
B6	10.00	9.44	94.40

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องต้นแบบสามารถนำค่าความจุที่ได้จากกระบวนการคายประจุของแบตเตอรี่แต่ละชนิดมาใช้ในการคำนวณสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ หรือ State of Health (SOH) ได้ โดยค่า SOH ที่คำนวณได้แสดงถึงสัดส่วนของความจุที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับความจุตามพิกัดของแบตเตอรี่ ค่า SOH ที่มีค่าสูงแสดงว่าแบตเตอรี่ยังคงรักษาความสามารถในการเก็บและจ่ายประจุได้ใกล้เคียงกับค่าพิกัด ขณะที่ค่า SOH ที่ลดลงสะท้อนถึงการลดลงของความสามารถในการกักเก็บประจุของแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนด

อย่างไรก็ตาม การใช้ค่าความจุเพียงค่าเดียวอาจยังไม่เพียงพอสำหรับอธิบายสภาพของแบตเตอรี่ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่อาจส่งผลต่อพารามิเตอร์อื่นร่วมด้วย ดังนั้น การวิเคราะห์สุขภาพของแบตเตอรี่จึงควรพิจารณาค่า SOH ร่วมกับค่าความต้านทาน

ภายในและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระหว่างการคายประจุ โดยค่าความต้านทานภายในที่เพิ่มขึ้นและการลดลงของแรงดันภายในได้โหลดสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการพิจารณาการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ได้ ทั้งนี้ การพิจารณาหลายพารามิเตอร์ร่วมกันช่วยให้การประเมินสภาพของแบตเตอรี่มีความครอบคลุมมากกว่าการใช้ค่าความจุหรือค่า SOH เพียงค่าเดียว

4.8 ผลการเปรียบเทียบค่าความจุและ SOH กับเครื่องมืออ้างอิง

ตารางที่ 4.9 ผลการเปรียบเทียบค่าความจุกับเครื่องมืออ้างอิง

รหัส	เครื่องต้นแบบ (Ah)	เครื่องมืออ้างอิง (Ah)	Error (%)
B1	2.42	2.45	1.22
B2	6.72	6.78	0.88
B3	11.18	11.25	0.62
B4	9.62	9.70	0.82
B5	6.58	6.64	0.90
B6	9.44	9.52	0.84

จากผลการเปรียบเทียบค่าความจุของแบตเตอรี่ พบว่าค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงประมาณ 0.62–1.22% แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถนำข้อมูลจากกระบวนการคายประจุมาใช้อำนาจคำนวณค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ในระดับที่สอดคล้องกับเครื่องมืออ้างอิงภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด ทั้งนี้ ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจมีสาเหตุมาจากความละเอียดของการตรวจวัดกระแสและแรงดัน ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในระหว่างการคายประจุ

เนื่องจากการประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าความจุเป็นตัวแปรหลักในการคำนวณค่า SOH จึงได้นำค่าความจุที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิงมาคำนวณค่า SOH ภายใต้สมการเดียวกับที่ใช้ในเครื่องต้นแบบ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการประเมินสุขภาพของแบตเตอรี่ได้ภายใต้หลักเกณฑ์เดียวกัน ผลการเปรียบเทียบค่า SOH ระหว่างเครื่องต้นแบบกับค่าที่คำนวณจาก

เครื่องมืออ้างอิงแสดงดัง ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการเปรียบเทียบค่า SOH

รหัส	SOH เครื่องต้นแบบ (%)	SOH อ้างอิง (%)	ความแตกต่าง (percentage points)
B1	93.08	94.23	1.15
B2	96.00	96.86	0.86
B3	93.17	93.75	0.58
B4	96.20	97.00	0.80
B5	94.00	94.86	0.86
B6	94.40	95.20	0.80

จากผลการเปรียบเทียบค่า SOH พบว่าค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากข้อมูลของเครื่องมืออ้างอิงในแบตเตอรี่ทุกชนิดที่นำมาทดสอบ โดยความแตกต่างของค่า SOH อยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่ากระบวนการตรวจวัดกระแส การสะสมค่าความจุระหว่างการคายประจุ และการคำนวณสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ในเครื่องต้นแบบสามารถให้ผลที่สอดคล้องกับวิธีอ้างอิงได้ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด ทั้งนี้ เนื่องจากค่า SOH ในงานวิจัยนี้คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างความจุที่ตรวจวัดได้กับความจุตามพิกัด ความคลาดเคลื่อนของค่า SOH จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดและคำนวณค่าความจุของแบตเตอรี่

เมื่อพิจารณาผลร่วมกับค่าความต้านทานภายในและพฤติกรรมของแรงดันระหว่างการคายประจุ พบว่าข้อมูลที่ได้จากเครื่องต้นแบบสามารถใช้ประกอบการวิเคราะห์สภาพของแบตเตอรี่ได้ในหลายมิติ โดยค่า SOH แสดงถึงความสามารถด้านความจุที่เหลืออยู่เมื่อเทียบกับค่าพิกัด ขณะที่ค่าความต้านทานภายในและการเปลี่ยนแปลงของแรงดันภายใต้โหลดช่วยให้เห็นพฤติกรรมทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพิ่มเติม ดังนั้น ผลการทดลองจึงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องต้นแบบสำหรับประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่หลายชนิดภายในช่วงแรงดันที่กำหนด อย่างไรก็ตาม การสรุปประสิทธิภาพของระบบควรพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดลองจริง ข้อจำกัดของเครื่องมืออ้างอิง และสถานะของแบตเตอรี่ในขณะทดสอบร่วมกัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบและพัฒนา เครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบ
อเนกประสงค์ สำหรับตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยรองรับ
แบตเตอรี่ที่มีระดับแรงดัน 3.7, 12, 24, 48 และ 72 โวลต์ ตามขอบเขตของงานวิจัย การดำเนินการ
วิจัยประกอบด้วย การออกแบบระบบ การสร้างเครื่องต้นแบบ การประมวลผลค่าพารามิเตอร์ของ
แบตเตอรี่ และการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่พัฒนาขึ้น

3.1 การออกแบบระบบเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่

การออกแบบระบบเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่แบบอเนกประสงค์ กำหนดให้สามารถ
ตรวจวัดและวิเคราะห์แบตเตอรี่ที่มีระดับแรงดัน 3.7, 12, 24, 48 และ 72 โวลต์ โดยพิจารณา
พารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้า และความ
ต้านทานภายใน เพื่อนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปใช้ในการประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ ทั้งนี้
ระบบได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับแบตเตอรี่หลายระดับแรงดันภายในเครื่องเดียวตาม
ขอบเขตของงานวิจัย

การทำงานของระบบเริ่มจากแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบเชื่อมต่อเข้าสู่ ส่วนตรวจวัด
แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า พร้อมกับชุดโหนดที่ใช้ควบคุมการคายประจุ จากนั้นค่าที่ตรวจวัดได้จะ
ถูกส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผล เพื่อคำนวณค่าความจุ พลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะ
สุขภาพของแบตเตอรี่ ก่อนส่งผลการวิเคราะห์ไปยังส่วนแสดงผล ดังนั้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์
ระหว่างองค์ประกอบและลำดับการทำงานของระบบอย่างชัดเจน จึงสามารถสรุปโครงสร้างของเครื่อง
วิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ได้ดัง ภาพที่ 3.1



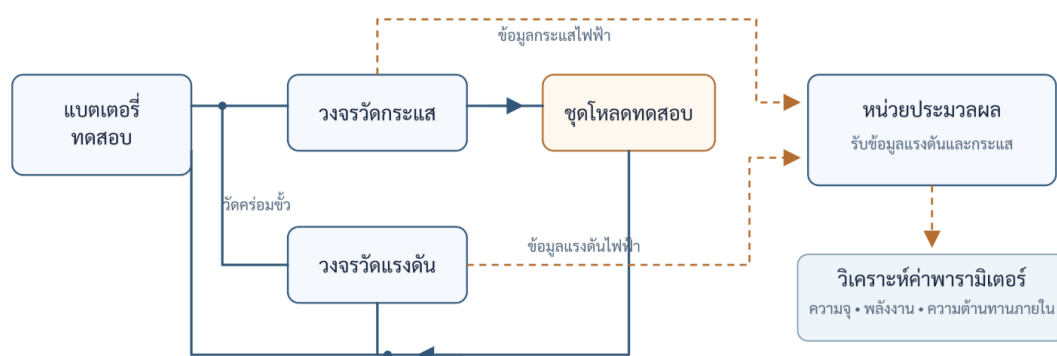
ภาพที่ 3.1 แผนภาพบล็อกการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่

จากภาพที่ 3.1 แสดงโครงสร้างการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ โดยข้อมูลจากส่วนตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผล เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์และประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ ก่อนแสดงผลให้ผู้ใช้งานทราบ

3.2 การออกแบบส่วนตรวจวัดและชุดโหนดทดสอบ

ส่วนตรวจวัดของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ออกแบบให้สามารถรับค่าทางไฟฟ้าจากแบตเตอรี่และส่งข้อมูลเข้าสู่หน่วยประมวลผล โดยประกอบด้วย วงจรวัดแรงดันไฟฟ้าและวงจรวัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดค่าระหว่างการทดสอบแบตเตอรี่ในแต่ละระดับแรงดัน ค่าที่ตรวจวัดได้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณความจุ พลังงาน และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของแบตเตอรี่ ทั้งนี้ การออกแบบส่วนตรวจวัดต้องให้ค่าที่อยู่ในช่วงที่หน่วยประมวลผลสามารถรับและประมวลผลได้อย่างเหมาะสม

ชุดโหนดทดสอบทำหน้าที่สร้างภาระทางไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เพื่อให้เกิดการคายประจุภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ระหว่างการทดสอบระบบจะตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง และส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความจุ พลังงาน และความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างวงจรวัด ชุดโหนดทดสอบ และหน่วยประมวลผลสามารถแสดงได้ดัง



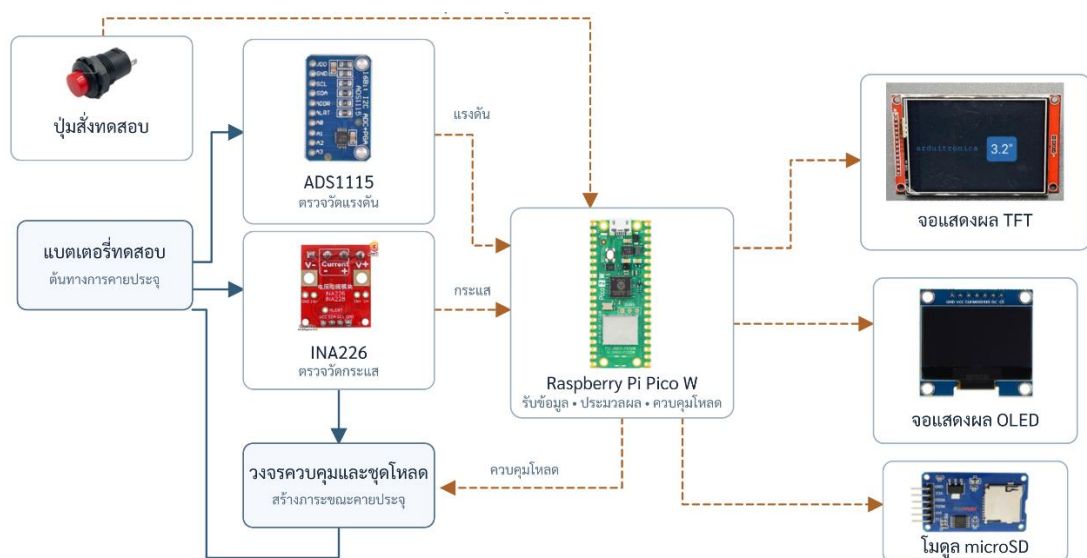
ภาพที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของส่วนตรวจวัดและชุดโหนดทดสอบ

จากภาพที่ 3.2 แสดงการเชื่อมโยงระหว่างแบตเตอรี่ วงจรวัดแรงดัน วงจรวัดกระแส และชุดโหนดทดสอบ โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกส่งเข้าสู่หน่วยประมวลผลเพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ก่อนนำไปประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่

3.2.1 การออกแบบหน่วยประมวลผลและควบคุมด้วย Raspberry Pi

Raspberry Pi ถูกนำมาใช้เป็นหน่วยประมวลผลหลักของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ ทำหน้าที่รับข้อมูลจากวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ควบคุมการทำงานของชุดโหนดทดสอบ ประมวลผลค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ และส่งผลลัพธ์ไปยังส่วนแสดงผล การเลือกใช้ Raspberry Pi เนื่องจากสามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต และสามารถพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและคำนวณค่าต่าง ๆ ของระบบได้ภายในอุปกรณ์เดียว

การเชื่อมต่อของระบบประกอบด้วย Raspberry Pi เชื่อมต่อกับส่วนตรวจวัดแรงดันและกระแสเพื่อรับข้อมูลจากแบตเตอรี่ และเชื่อมต่อกับวงจรควบคุมชุดโหนดเพื่อกำหนดสถานะการคายประจุ ข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะถูกนำเข้าสู่วิธีการประมวลผลเพื่อคำนวณค่าความจุพลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ จากนั้นจึงแสดงผลค่าที่ได้ให้ผู้ใช้งานทราบ โดยลักษณะการเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi กับอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ของระบบสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การเชื่อมต่อ Raspberry Pi กับอุปกรณ์ของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่

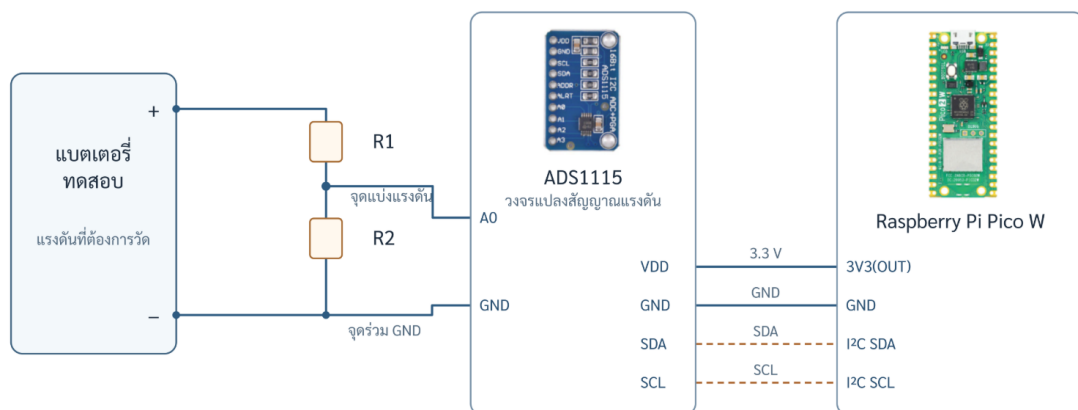
จากภาพที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ โดยใช้ Raspberry Pi Pico W เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ แบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับส่วนตรวจวัดแรงดันและกระแส ซึ่งประกอบด้วยโมดูล ADS1115 สำหรับตรวจวัดแรงดัน และ INA226 สำหรับตรวจวัดกระแส จากนั้นข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะถูกส่งเข้าสู่ Raspberry Pi Pico W เพื่อประมวลผลค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบแบตเตอรี่ ขณะเดียวกันปั๊มสังทดสอบทำหน้าที่เป็นอินพุตสำหรับเริ่มกระบวนการทดสอบตามลำดับที่กำหนด

ในส่วนของการควบคุมและแสดงผล Raspberry Pi Pico W จะส่งสัญญาณควบคุมไปยัง วงจรควบคุมและชุดโหนดเพื่อกำหนดสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ และนำข้อมูลที่ได้จากการ ประมวลผลไปแสดงผ่าน จอแสดงผล TFT หรือ จอแสดงผล OLED รวมทั้งบันทึกข้อมูลลงใน โมดูล microSD สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลภายหลัง การจัดโครงสร้างดังกล่าวช่วยให้ระบบสามารถ รับข้อมูล ตรวจสอบ ประมวลผล ควบคุมโหนด แสดงผล และบันทึกข้อมูลได้ภายในระบบ

3.2.2 การออกแบบวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่ในแต่ละ ระดับที่ใช้ในการทดสอบ และส่งค่าที่ตรวจวัดได้เข้าสู่หน่วยประมวลผล Raspberry Pi Pico W โดยใช้โมดูล ADS1115 เป็นวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อเพิ่มความละเอียดในการ ตรวจวัดแรงดันก่อนนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการประมวลผล ทั้งนี้ เนื่องจากระดับแรงดันของแบตเตอรี่ ที่ใช้ในการวิจัยมีหลายช่วง จึงต้องออกแบบวงจรปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับช่วงอินพุตของวงจร ตรวจวัด เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันเกินค่าที่อุปกรณ์สามารถรับได้

หลักการทำงานเริ่มจากแรงดันของแบตเตอรี่ถูกส่งเข้าสู่วงจรปรับระดับแรงดัน จากนั้น ADS1115 จะทำหน้าที่แปลงค่าความต่างศักย์ที่ตรวจวัดได้ให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิทัล และส่งข้อมูล ดังกล่าวไปยัง Raspberry Pi Pico W เพื่าคำนวณย้อนกลับเป็นค่าแรงดันจริงของแบตเตอรี่ ค่าที่ได้ จะถูกนำไปใช้ร่วมกับค่ากระแสไฟฟ้าในการคำนวณพลังงาน ความจุ และการวิเคราะห์พฤติกรรมของ แบตเตอรี่ระหว่างการทดสอบ โดยลักษณะการเชื่อมต่อของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าสามารถแสดง ได้ดัง ภาพที่ 3.4



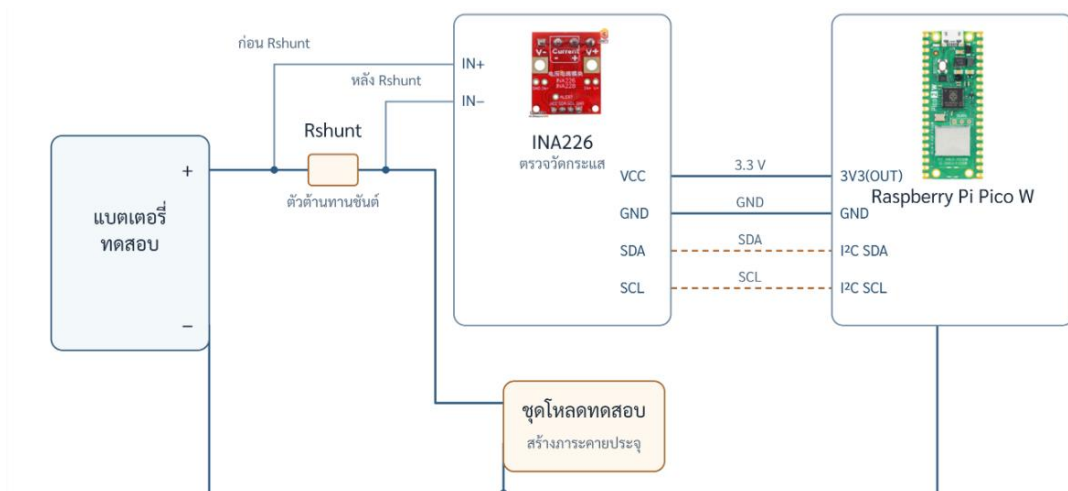
ภาพที่ 3.4 การเชื่อมต่อวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากับ Raspberry Pi Pico

3.2.3 การออกแบบวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ตรวจวัดกระแสที่ไหลจากแบตเตอรี่ใน ระหว่างการทดสอบ โดยใช้โมดูล INA226 เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสและแรงดันในวงจร ข้อมูลที่

ตรวจวัดได้จะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi Pico W เพื่อใช้ในการประมวลผลและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า ตลอดช่วงเวลาการคายประจุของแบตเตอรี่ การตรวจวัดค่ากระแสอย่างต่อเนื่องมีความสำคัญต่อการ คำนวณค่าความจุของแบตเตอรี่ในหน่วยแอมป์-ชั่วโมง และใช้ร่วมกับค่าแรงดันไฟฟ้าในการคำนวณ พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้

หลักการทำงานของวงจรเริ่มจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแบตเตอรี่ผ่านส่วนตรวจวัดของ INA226 จากนั้นโมดูลจะตรวจวัดและแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัลก่อนส่งเข้าสู่ Raspberry Pi Pico เพื่อประมวลผลร่วมกับข้อมูลแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณความจุ พลังงาน และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแบตเตอรี่ภายใต้สภาวะโหลด โดยลักษณะการเชื่อมต่อ ของวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากับหน่วยประมวลผลสามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 3.5



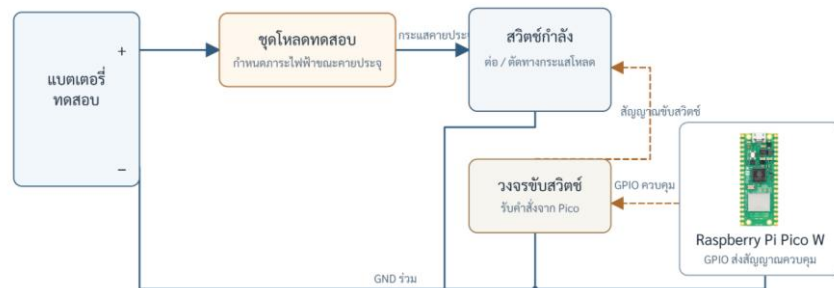
ภาพที่ 3.5 การเชื่อมต่อวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าด้วย INA226 กับ Raspberry Pi Pico

3.2.4 การออกแบบวงจรควบคุมและชุดโหลดทดสอบ

วงจรควบคุมและชุดโหลดทดสอบถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ควบคุมการคายประจุของ แบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยรับคำสั่งควบคุมจาก Raspberry Pi Pico W เพื่อสั่งเปิดหรือ ปิดชุดโหลดตามลำดับการทดสอบ ชุดโหลดทำหน้าที่สร้างภาระทางไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เพื่อให้ ระบบสามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสขณะจ่ายโหลดได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ การออกแบบวงจรควบคุมต้องสามารถแยกส่วนสัญญาณควบคุมออกจากส่วนกำลัง และรองรับ ค่ากระแสกับกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบได้อย่างเหมาะสม

หลักการทำงานเริ่มจาก Raspberry Pi Pico W ส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุมเพื่อสั่งให้ชุด โหลดทำงาน จากนั้นแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสผ่านชุดโหลดในสภาวะที่กำหนด ขณะเดียวกันวงจร ตรวจวัดแรงดันและกระแสจะบันทึกค่าที่เกิดขึ้นและส่งข้อมูลกลับเข้าสู่หน่วยประมวลผล เพื่อนำไปใช้

ในการคำนวณค่าความจุ พลังงาน ความต้านทานภายใน และการเปลี่ยนแปลงของแรงดันระหว่างการคายประจุ โดยลักษณะการเชื่อมต่อของวงจรควบคุมและชุดโหนดทดสอบสามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 3.6

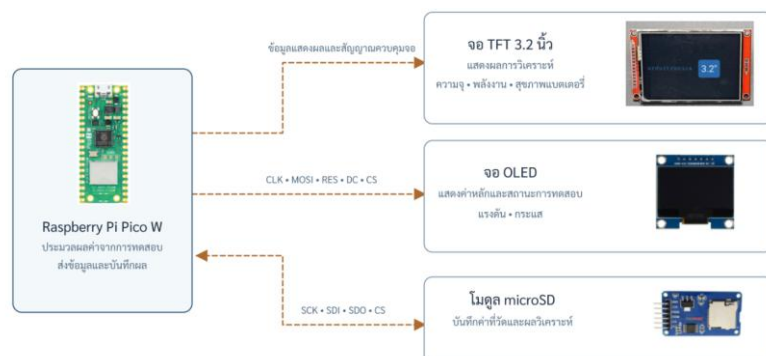


ภาพที่ 3.6 การเชื่อมต่อวงจรควบคุมและชุดโหนดทดสอบกับ Raspberry Pi Pico

3.2.5 การออกแบบส่วนแสดงผลและบันทึกข้อมูล

ส่วนแสดงผลและบันทึกข้อมูลถูกออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ได้ในระหว่างการทดสอบ และสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ภายหลัง โดยระบบใช้จอแสดงผล TFT และจอแสดงผล OLED สำหรับแสดงค่าที่สำคัญ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุ พลังงาน และสถานะการทำงานของระบบ ข้อมูลที่แสดงผลจะถูกส่งมาจาก Raspberry Pi Pico W หลังจากผ่านกระบวนการตรวจวัดและประมวลผลแล้ว เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ได้อย่างต่อเนื่อง

นอกจากนี้ ระบบยังติดตั้ง โมดูล microSD สำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เช่น ค่าแรงดัน กระแส เวลา ความจุ และพลังงานในแต่ละช่วงของการทดสอบ โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผล เปรียบเทียบสมรรถนะของแบตเตอรี่ และประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ในภายหลัง การเชื่อมต่อของส่วนแสดงผลและบันทึกข้อมูลกับ Raspberry Pi Pico W สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 3.7

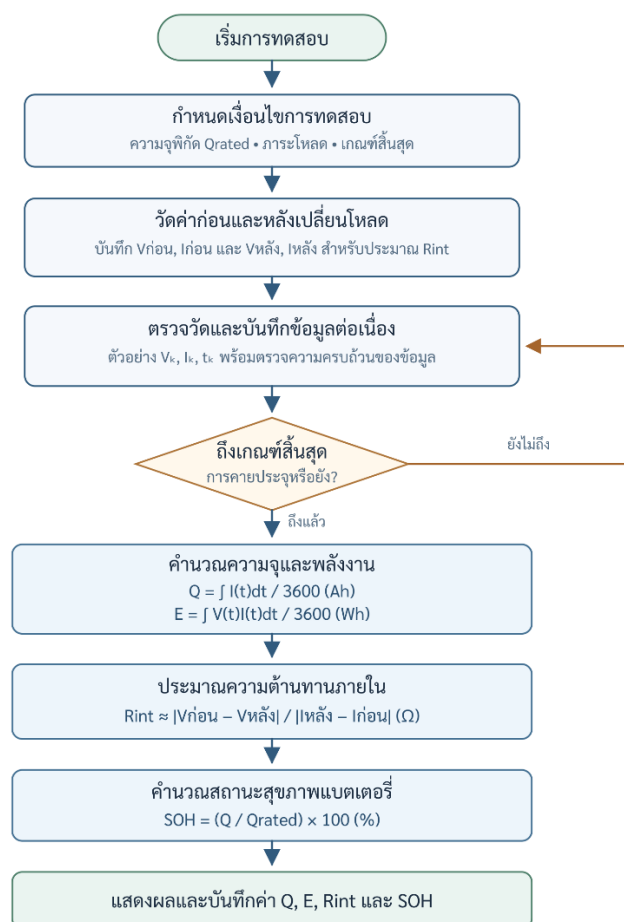


ภาพที่ 3.7 การเชื่อมต่อส่วนแสดงผลและบันทึกข้อมูลกับ Raspberry Pi Pico

3.3 การประมวลผลและคำนวณค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

การประมวลผลข้อมูลของเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ใช้ข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และระยะเวลาที่ได้จากวงจรตรวจวัดระหว่างการทดสอบ โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งเข้าสู่ Raspberry Pi Pico W เพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของแบตเตอรี่ ได้แก่ ความจุไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ ทั้งนี้ การคำนวณจะดำเนินการอย่างต่อเนื่องตามช่วงเวลาการเก็บข้อมูล เพื่อให้ได้ค่าที่สะท้อนพฤติกรรมของแบตเตอรี่ตลอดกระบวนการคายประจุ

ค่าความจุของแบตเตอรี่คำนวณจากกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกตามช่วงเวลา ส่วนพลังงานไฟฟ้าคำนวณจากผลคูณของแรงดัน กระแส และเวลา ขณะที่ความต้านทานภายในประเมินจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกระแสเมื่อมีการต่อชุดโหลด จากนั้นจึงนำค่าความจุที่ตรวจวัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความจุตามพิกัดเพื่อประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ โดยลำดับการประมวลผลและคำนวณค่าพารามิเตอร์สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แผนภาพลำดับการประมวลผลและคำนวณค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

3.3.1 การคำนวณความจุของแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่คำนวณจากค่ากระแสไฟฟ้าที่คายประจุในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้หลักการ Coulomb Counting ดังสมการ

$$C_{Ah} = \sum_{i=1}^n I_i \frac{\Delta t}{3600}$$

เมื่อ

C_{Ah} คือ ความจุของแบตเตอรี่ หน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง

I_i คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลา หน่วยแอมแปร์

Δt คือ ช่วงเวลาระหว่างการเก็บข้อมูล หน่วยวินาที

สมการดังกล่าวใช้สะสมค่ากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายออกตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการทดสอบ เพื่อหาความจุจริงที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนด

3.3.2 การคำนวณพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่

พลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ในระหว่างการทดสอบคำนวณจากค่าของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และระยะเวลา โดยระบบจะนำค่าที่ตรวจวัดได้ในแต่ละช่วงเวลามาคำนวณและสะสมตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการคายประจุ เพื่อหาพลังงานรวมที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนด ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{wh} = \sum_{i=1}^n V_i I_i \frac{\Delta t}{3600}$$

เมื่อ

E_{wh} คือ ความจุของแบตเตอรี่ หน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง

V_i คือ ความจุของแบตเตอรี่ หน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง

I_i คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลา หน่วยแอมแปร์

Δt คือ ช่วงเวลาระหว่างการเก็บข้อมูล หน่วยวินาที

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จะถูกนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์ความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ และใช้เปรียบเทียบกับค่าพิกัดหรือค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง เพื่อประเมิน

สมรรถนะของแบตเตอรี่ในแต่ละระดับแรงดัน โดยหลักการดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดการวิเคราะห์ความจุและพลังงานที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.3.3 การคำนวณความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ใช้เป็นหนึ่งในการพารามิเตอร์สำคัญสำหรับวิเคราะห์สภาพการทำงานของแบตเตอรี่ โดยคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าระหว่างสภาวะก่อนและหลังการต่อโหลดทดสอบ เมื่อมีการจ่ายโหลด แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลงตามค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถนำค่าที่ตรวจวัดได้มาคำนวณตามสมการ

$$R_{\text{int}} = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

เมื่อ

R_{int} คือ ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ หน่วยโอห์ม

ΔV คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า หน่วยโวลต์

ΔI คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า หน่วยแอมแปร์

ในการทดสอบ ระบบจะบันทึกค่าแรงดันและกระแสในช่วงก่อนและหลังการต่อโหลด จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ โดยค่าดังกล่าวจะใช้เป็นข้อมูลประกอบในการประเมินสภาพของแบตเตอรี่ร่วมกับค่าความจุและพลังงานไฟฟ้า ทั้งนี้ หลักการดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดการใช้การเปลี่ยนแปลงของแรงดันภายใต้โหลดเพื่อประเมินความต้านทานภายในที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.3.4 การประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่

สถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ หรือ State of Health (SOH) เป็นค่าที่ใช้แสดงความสามารถของแบตเตอรี่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความจุตามปกติ โดยในการวิจัยนี้ใช้ค่าความจุที่ได้จากการทดสอบเป็นตัวแปรหลักในการประเมินสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ ทั้งนี้ ค่าความต้านทานภายในและพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันระหว่างการคายประจุจะใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวิเคราะห์สภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการที่กำหนดไว้ในบทที่ 2

ค่าร้อยละของสถานะสุขภาพแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความจุที่ตรวจวัดได้กับความจุตามปกติของแบตเตอรี่ ดังสมการ

$$SOH(\%) = \frac{C_{\text{measured}}}{C_{\text{rated}}} \times 100$$

เมื่อ

SOH (%) คือ ถิ่นะสุขภพของแบตเตอรีย หน่วยร้อยละ

$C_{measured}$ คือ ความจุที่ตรวจวัดได้จากการทดลอง หน่วยแอมแปร์-ช่วโมง

C_{rated} คือ ความจุตามพิกัดของแบตเตอรีย หน่วยแอมแปร์-ช่วโมง

ค่าที่ได้จากการคำนวณจะใช้ในการพิจารณาระดับการเสื่อมสภาพของแบตเตอรีย โดยค่า SOH ที่ลดลงแสดงถึงความสามารถในการเก็บและจ่ายพลังงานที่ลดลงเมื่อเทียบกับค่าพิกัดเดิมของ แบตเตอรีย

3.4 การสร้างและประกอบเครื่องต้นแบบ

หลังจากดำเนินการออกแบบวงจรตรวจวัด วงจรควบคุม ชุตโหลด และส่วนประมวลผลแล้ว จึงนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบเป็นเครื่องต้นแบบของระบบวิเคราะห์สุขภพแบตเตอรีย โดยจัดวาง อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงและสะดวกต่อการตรวจสอบการทำงานของแต่ละส่วน อุปกรณ์หลักประกอบด้วย Raspberry Pi Pico W, โมดูล ADS1115, โมดูล INA226, วงจรควบคุมชุตโหลด, จอแสดงผล TFT หรือ OLED และโมดูล microSD ซึ่งเชื่อมต่องร่วมกันตามโครงสร้างของระบบที่ได้ ออกแบบไว้

ภายหลังการประกอบ ดำเนินการตรวจสอบการเชื่อมต่อของวงจร แหล่งจ่ายไฟ สัญญาณ อินพุตและเอาต์พุต รวมถึงการรับส่งข้อมูลระหว่าง Raspberry Pi Pico W กับอุปกรณ์แต่ละส่วน จากนั้นทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบ ได้แก่ การอ่านค่าแรงดัน การอ่านค่ากระแส การ ควบคุมชุตโหลด การแสดงผล และการบันทึกข้อมูล เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ ครบตามหน้าที่ก่อนนำไปใช้ในการทดลองกับแบตเตอรียจริง

ภาพที่ 3.9 เครื่องต้นแบบเครื่องวิเคราะห์สุขภพแบตเตอรียแบบอนกประสงค

จากภาพที่ 3.9 แสดงเครื่องต้นแบบที่ประกอบขึ้นจากวงจรและอุปกรณ์ตามที่ออกแบบ โดยมี Raspberry Pi Pico W เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ พร้อมส่วนตรวจวัด ชุตโหลด ส่วนแสดงผล และส่วนบันทึกข้อมูลที่ทำงานร่วมกันภายในเครื่องเดียว

3.5 การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบดำเนินการโดยนำเครื่องวิเคราะห์สุขภพ แบตเตอรียไปทดสอบกับแบตเตอรียที่มีระดับแรงดันตามขอบเขตของงานวิจัย ได้แก่ 3.7, 12, 24, 48 และ 72 โวลต์ โดยตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุแบตเตอรีย พลังงานไฟฟ้า ความ

ด้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ เพื่อประเมินความสามารถของเครื่องในการทำงานกับแบตเตอรี่หลายระดับแรงดันตามที่ออกแบบไว้

ในการตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่วัดได้ จะนำผลจากเครื่องต้นแบบไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่เหมาะสมกับแต่ละพารามิเตอร์ ตัวอย่างเช่น ใช้ ดิจิทัลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน เช่น Fluke สำหรับตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง และใช้ เครื่องทดสอบหรือเครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่เชิงพาณิชย์ สำหรับเปรียบเทียบค่าความจุ ความต้านทานภายใน หรือค่าที่เกี่ยวข้องกับสภาพของแบตเตอรี่ ทั้งนี้ การเปรียบเทียบจะดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน เพื่อให้สามารถประเมินค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องต้นแบบได้อย่างเหมาะสม

ค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละคำนวณได้จาก

$$Error(\%) = \frac{X_{test} - X_{ref}}{X_{ref}} \times 100$$

เมื่อ

X_{test} คือ ค่าที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบ

X_{ref} คือ ค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง

3.5.1 เครื่องมืออ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบ

ในการประเมินความถูกต้องของเครื่องต้นแบบ ใช้เครื่องมือวัดอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ โดยเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับค่าที่ต้องการตรวจสอบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมืออ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ

พารามิเตอร์ที่ตรวจสอบ	เครื่องมืออ้างอิง
แรงดันไฟฟ้า	ดิจิทัลมัลติมิเตอร์มาตรฐาน เช่น Fluke
กระแสไฟฟ้า	ดิจิทัลมัลติมิเตอร์หรือแคลมป์มิเตอร์
ความจุแบตเตอรี่	เครื่องทดสอบความจุแบตเตอรี่
ความต้านทานภายใน	เครื่องวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่
สถานะสุขภาพแบตเตอรี่	เครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่

3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบดำเนินการโดยเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องต้นแบบและเครื่องมืออ้างอิงภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน จากนั้นตรวจวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุ พลังงาน ความต้านทาน

ภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ โดยบันทึกค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบและเครื่องมืออ้างอิง เพื่อนำมาเปรียบเทียบและคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ

การทดสอบจะดำเนินการกับแบตเตอรี่ตามระดับแรงดันที่กำหนด ได้แก่ 3.7, 12, 24, 48 และ 72 โวลต์ และทำการทดสอบซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ความถูกต้องและความสม่ำเสมอของเครื่องต้นแบบได้อย่างเหมาะสม

3.6 สรุปขั้นตอนการทดสอบระบบ

การทดสอบเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่ดำเนินการตามลำดับตั้งแต่การตรวจสอบสภาพและค่าพิกัดของแบตเตอรี่ การเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องต้นแบบ การตรวจวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า การควบคุมชุดโพลต์ให้แบตเตอรี่คายประจุ และการบันทึกข้อมูลระหว่างการทดสอบ จากนั้น Raspberry Pi Pico W จะประมวลผลข้อมูลที่ได้เพื่อคำนวณค่าความจุ พลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ ก่อนนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิง เพื่อประเมินความถูกต้องของระบบ



ภาพที่ 3.10 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทดสอบเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่

จากภาพที่ 3.10 แสดงลำดับขั้นตอนการทดสอบตั้งแต่การเตรียมแบตเตอรี่จนถึงการประเมินผล โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกประมวลผลและเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิง เพื่อใช้ประเมินความถูกต้องและประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบก่อนนำผลไปวิเคราะห์ในบทที่ 4

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเครื่องวิเคราะห์สุขภาพแบตเตอรี่จะนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เพื่อประเมินค่ากลาง ความสม่ำเสมอ และความคลาดเคลื่อนของผลการตรวจวัด โดยทำการทดลองซ้ำในแต่ละเงื่อนไขและนำค่าที่ได้มาคำนวณ ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความจุพลังงาน ความต้านทานภายใน และสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ เพื่อให้สามารถพิจารณาทั้งค่ากลางและการกระจายของข้อมูลจากการทดลองได้อย่างเหมาะสม

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

เมื่อ

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง

x_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ i

n คือ จำนวนครั้งของการทดลอง

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคำนวณได้จาก

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

เมื่อ

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลอง

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง

x_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองครั้งที่ i

n คือ จำนวนครั้งของการทดลอง

บรรณานุกรม

- จักรพันธ์ พงษาชัย. (๒๕๖๖). มาตรการทางกฎหมายในการจัดการซากแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion battery) [วิทยานิพนธ์นิติศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. คลังวิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. วิทยานิพนธ์ออนไลน์
- นพรุจ ฤทธานนท์, กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, บุญยัง ปลั่งกลาง, และวารุณี อริยวิริยะนันท์. (๒๕๕๓). การวิเคราะห์วงจรสมมูลของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดสำหรับประยุกต์ใช้ในงานพลังงานทดแทน. ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๓. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. Repository RMUTT
- นิวัติ คลังสีดา, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, และวัชร วงศ์ปัญญา. (๒๕๖๖). แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. Thai-Journal Online
- พีรตนย์ รากแก่น. (๒๕๖๘). การประมาณสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ลิเทียม [SOH estimation for Li-ion battery]. KMITL Innovation Project, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. KMITL Innovation Project
- ภูมิวิริสส์ วงษ์ถาวร. (๒๕๖๗). การศึกษาคุณลักษณะด้านการออกแบบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทรงกระบอกชนิด ๑๘๖๕๐ ที่มีอัตราส่วนกำลังต่อพลังงานต่างกัน [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations. <https://doi.org/10.๕๘๘๓๗/CHULA.THE.๒๐๒๔.๙๗๔>