



การวัดประสิทธิภาพ ของแบตเตอรี่ สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

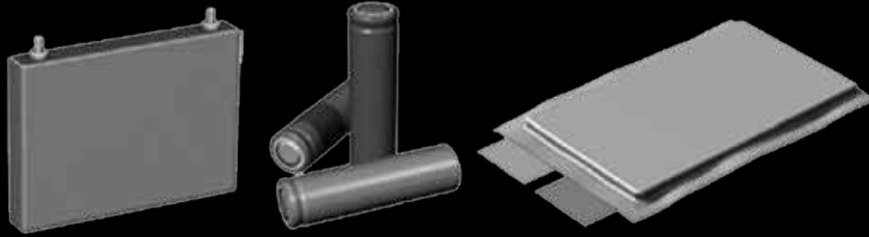
โดย...ผศ.ดร.ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์
อุปนายกฝ่ายวิชาการ
สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย



แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium Ion Battery: LIBs) เป็นแบตเตอรี่ชนิดประจุซ้ำได้ที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นอันดับต้นๆ ถูกนำมาใช้เป็นหลักในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในท้องตลาด เช่น ยานยนต์ไฟฟ้า และโทรศัพท์มือถือ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ผู้ผลิตแบตเตอรี่ได้ทำงานร่วมกับผู้ผลิตในอุตสาหกรรมรถยนต์และอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของ LIBs ที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า และรถยนต์ไฮบริดที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก เพื่อให้มีประสิทธิภาพและเป็นการยกระดับเทคโนโลยีให้สูงขึ้น และอายุการใช้งานที่ยาวนานเพิ่มขึ้น โดยที่ผ่านมามีการพัฒนาทั้งด้านการวิจัยการผลิต และการควบคุมคุณภาพของแบตเตอรี่ประเภทนี้เพิ่มมากขึ้น บทความนี้เป็น การนำเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยใช้เทคนิคการวัดความต้านทานภายในแบตเตอรี่แบบกระแสสลับหรือค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นเทคนิคใหม่ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



รูปแบบของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน



รูปที่ 1 รูปแบบ
ของแบตเตอรี่
ลิเธียมไอออน

เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (รูปที่ 1) มีใช้ในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย รวมถึงการใช้งานกับยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งต้องมีระดับประสิทธิภาพและคุณภาพสูงสุด การวัดความต้านทานภายในเป็นวิธีการหนึ่งในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานและคุณภาพของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ความต้านทานภายในเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในแต่ละเซลล์ ซึ่งในอดีตเราสามารถวัดได้โดยใช้วิธีการที่เรียกว่าการวัด DC-IR วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่อัดประจุไว้ก่อนล่วงหน้า แล้วปล่อยประจุโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าปริมาณมากสู่โหลด อย่างไรก็ตาม ต้องใช้เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ไว้ก่อนและกระบวนการวัดความต้านทานภายในตัวเองนั้นต้องใช้ระยะเวลาตั้งแต่หลายนาที่จนถึงประมาณหนึ่งชั่วโมงจึงจะเสร็จสมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องแก้ปัญหาในการวัดที่ใช้เวลานานเกินไปโดยเลือกใช้เครื่องมือที่ช่วยลดเวลาในการวัดผลด้วยวิธีการวัดความต้านทานภายในที่ความถี่ต่ำ (การวัด AC ความถี่ต่ำ AC-IR) วิธีการทดสอบแบบนี้ช่วยลดเวลาทดสอบให้สั้นลงเหลือเพียงแค่ 10 วินาที

การวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

คุณลักษณะของแบตเตอรี่มีความแตกต่างกันอย่างมาก ขึ้นอยู่กับความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ยิ่งความต้านทานภายในสูงขึ้นเท่าใดการสูญเสียพลังงานก็จะยิ่งสูงขึ้นและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ก็จะต่ำลงเท่านั้น นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดจากแบตเตอรี่ในระหว่างการใช้งานที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่การเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร โดยทั่วไปแบตเตอรี่ที่มีความต้านทานภายในต่ำกว่าจะเป็นแบตเตอรี่ที่มีคุณภาพดีกว่า ความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณลักษณะของแบตเตอรี่



วิธีการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

โดยทั่วไป การวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มี 2 ประเภท ได้แก่ วิธีกระแสตรง (DC) และวิธีกระแสสลับ (AC)

วิธีกระแสตรงเป็นวิธีการที่แบตเตอรี่จะคายประจุด้วยกระแสคงที่และความต้านทานภายในจะถูกคำนวณจากค่าปัจจุบันของการคายประจุและแรงดันที่ลดลงภายในเวลาที่กำหนด ส่วนใหญ่จะใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะการตอบสนองโหลดขนาดใหญ่

ในการวัดความต้านทานภายในโดยใช้วิธีกระแสสลับสัญญาณ AC ขนาดเล็กจะถูกนำไปใช้ในการทดสอบแบตเตอรี่ เพื่อหาส่วนประกอบความต้านทาน (Resistance) และความต้านทานปฏิกิริยา (Reactive Resistance) ของแบตเตอรี่จะถูกแยกและวัดเพื่อประเมินหาประสิทธิภาพและคุณภาพของแบตเตอรี่ การวัดความต้านทานภายในด้วยวิธีกระแสสลับสามารถใช้งานได้เนื่องจากสามารถวัดได้ง่าย และมีการวัดซ้ำ (Repeatability) อุปกรณ์ขนาดเล็กและใช้เวลาทดสอบน้อย จึงเป็นวิธีที่เริ่มนิยมมากขึ้น

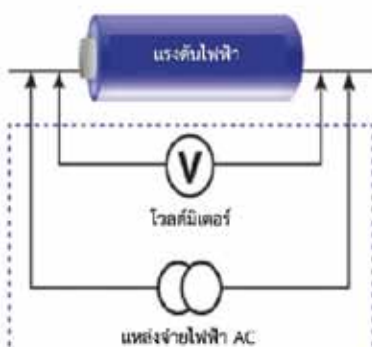
โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานที่วัดได้ด้วยวิธี DC จะเรียกว่า DC-IR และค่าความต้านทานที่วัดด้วยวิธี AC นั้นเรียกว่า AC-IR โดยที่ IR คือ ความต้านทานภายใน (Internal Resistance) นอกจากนี้การวัดความต้านทานภายในด้วยวิธี AC มักเรียกง่าย ๆ ว่า “การวัดอิมพีแดนซ์” หรือความต้านทานต่อไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดต่อไป

ข้อสังเกต เราไม่สามารถวัดแบตเตอรี่ด้วยโอห์มมิเตอร์ปกติที่ใช้สำหรับการวัดความต้านทานและเครื่องวัดความต้านทาน (LCR meter) โดยในรูปที่ 2 แสดงถึงเครื่องวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ซึ่งมีความแตกต่างจากเครื่องวัดความต้านทานทั่วไป โดยที่ผู้ทดสอบแบตเตอรี่มักจะสามารวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้นอกจากความต้านทาน

โดยปกติแล้วในการวัดอิมพีแดนซ์จะใช้ความถี่เฉพาะ (ปกติ 1 kHz) สำหรับการตรวจสอบ พิจารณารวมทั้งองค์ประกอบความต้านทาน (Resistance) และองค์ประกอบปฏิกิริยาความต้านทาน (Reactive resistance) เป็นการวัดอิมพีแดนซ์ (Impedance) ที่แสดงเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ เนื่องจากสามารถตรวจสอบได้ในเวลาอันสั้น จึงเหมาะสำหรับการตรวจสอบการผลิตจำนวนมากและการตรวจสอบการยอมรับ



การวัดความต้านทานภายในด้วยมิเตอร์แบบ DC ☹️
การวัดความต้านทานภายในด้วยมิเตอร์แบบ AC 😊



Battery Tester = มิเตอร์วัดความต้านทานแบบ AC

รูปที่ 2 การวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ด้วยเครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (เครื่องวัดความต้านทาน AC)



สำหรับการวัดความต้านทานที่ 1 kHz เป็นไปตามมาตรฐาน JIS C 8711: 2013 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมสำหรับอุปกรณ์พกพา ในหัวข้อ “วิธีการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ AC” นอกจากนี้ยังมีมาตรฐาน IEC61960-3 : 2017 ซึ่งมีข้อกำหนดเช่นเดียวกันกับเนื้อหา นี้ ตัวอย่างการคำนวณตามมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

ตัวอย่าง สัญญาณไฟฟ้า AC ความถี่ 1.0 ± 0.1 kHz ทำให้เกิดกระแส I_a เป็นระยะเวลา 1 - 5 วินาที โดยวัดแรงดันไฟฟ้า U_a โดยรวมจะทำการวัดที่ขั้วของแบตเตอรี่ ที่ต่อไว้สำหรับการวัดความต้านทานภายใน R_a ของแบตเตอรี่ที่ประกอบขึ้น คำนวณได้จากสมการ $R_a = U_a / I_a$

โดยที่ R_a คือ ความต้านทาน AC ภายในของแบตเตอรี่ [Ω]

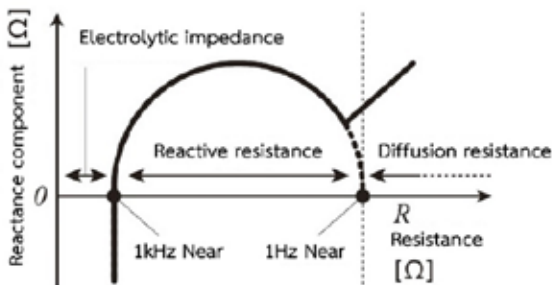
U_a คือ แรงดันไฟฟ้า AC ตกคร่อมแบตเตอรี่ [V]

I_a คือ กระแสไฟฟ้า AC ที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ [A]

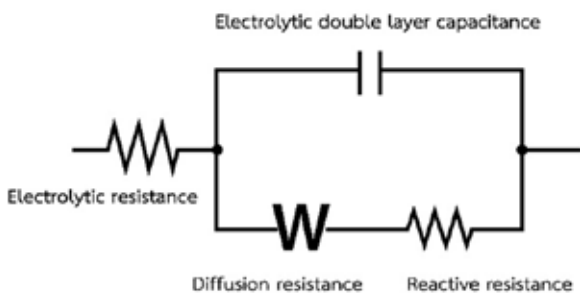
หมายเหตุ 1 ในการวัดกระแสไฟฟ้าสลับ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Peak Voltage) ของการเปลี่ยนแปลงขนาด 20 mV

หมายเหตุ 2 วิธีนี้กำหนดความถี่และเพื่อหาอิมพีแดนซ์หรือการวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ทั่วไป

นอกจากนี้ ยังมีการวัดความต้านทานโดยการกวาดความถี่แทนที่จะทดสอบโดยใช้ความถี่เดียว โดยทั่วไปแล้วผลการวัดจะแสดงในกราฟที่เรียกว่าพล็อต Cole - Cole ดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพแสดงถึงความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคลื่นความถี่ในช่วงต่างๆ เช่น ส่วนประกอบของการถ่ายโอนประจุของไอออนในอิเล็กโทรไลต์ที่ความถี่สูง (~ 1 kHz) (Electrolytic resistance component), ส่วนประกอบของการแพร่ของไอออนภายในอิเล็กโทรดที่ความถี่ต่ำ (<1 Hz) (diffusion component) และปฏิกิริยาการถ่ายโอนประจุของไอออนที่ความถี่กลาง (1 Hz - หลายร้อย Hz) (reactive component) ทั้งสามส่วนใหญ่นี้ก่อให้เกิดความต้านทาน กล่าวอีกนัยหนึ่งในการอธิบายแต่ละปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของแบตเตอรี่ด้วยการวิเคราะห์พล็อต Cole-Cole อย่างละเอียด ที่แสดงเป็นวงจรสมมูลสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองวงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 4 แสดงถึงความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ในทุกปรากฏการณ์ที่



รูปที่ 3 กราฟ Cole-Cole Plot ของแบตเตอรี่

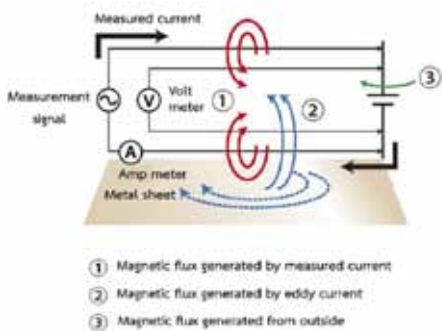


รูปที่ 4 วงจรสมมูลของแบตเตอรี่

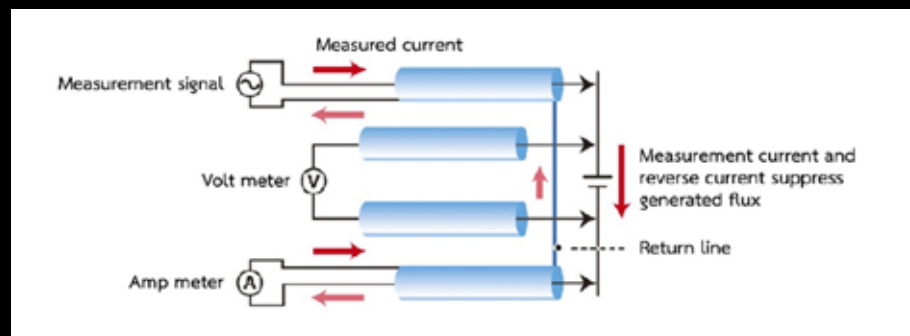


เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่ที่แสดงโดยแบบจำลองด้วยองค์ประกอบวงจรเทียบเท่าที่แตกต่างกัน ค่าของแต่ละองค์ประกอบที่ได้รับจากการวิเคราะห์สามารถพิจารณาเป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะของปรากฏการณ์ทางกายภาพที่องค์ประกอบนั้นเป็นตัวแทน

เครื่องมือวัดค่าอิมพีแดนซ์ของแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพจะสามารถทดสอบทั้งแรงดันแบตเตอรี่และช่วงความถี่การวัดในช่วงที่กว้าง ในที่นี้เราจะแนะนำจุดสำหรับกำหนดเครื่องมือวัดและวิธีการวัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่มีความจุขนาดใหญ่มีความต้านทานภายในต่ำมากเพียง 1 m Ω หรือน้อยกว่า ทำให้การตรวจวัดมีความแม่นยำ เราควรให้ความใส่ใจอย่างระมัดระวังกับการเลือกอุปกรณ์การวัดและวิธีการวัด โดยอาจใช้วิธีการทดสอบแบบ 4 สาย (4 - wire) การวัดแบบ 4 สาย เป็นการวัดที่แม่นยำและเสถียรโดยไม่ได้รับผลกระทบจากความต้านทานจากการเดินสายไฟหรือความต้านทานสัมผัสของโพรบวัด เพื่อลดอิทธิพลของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ทำให้กระแสไหลวน (eddy current) ในโลหะโดยรอบและสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ (magnetic induction) ถูกสร้างขึ้น ต้องใช้ความระมัดระวัง เนื่องจากสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำนี้ส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัด หากสัญญาณรบกวนเข้าสู่วงลูปที่สร้างขึ้นโดยสายการวัดแรงดันไฟฟ้า (รูปที่ 5) ปรากฏการณ์นี้ไม่ได้เกิดขึ้นกับไฟฟ้ากระแสตรง แต่เป็นค่าเฉพาะของการวัดไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวอย่างเช่นในกรณีของแบตเตอรี่ขนาดใหญ่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจะมากขึ้นเนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่ เป็นผลให้พื้นที่ลูปที่สร้างขึ้นโดยสายการวัดแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อวัดแบตเตอรี่ดังกล่าวสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเนื่องจากกระแสการวัดนั้นสร้างขึ้นจากชิ้นส่วนโลหะของแบตเตอรี่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัด



รูปที่ 5 วิธีการวัดแบบ 4 เทอร์มินอล



รูปที่ 6 วิธีการจับคู่การวัดแบบ 4 เทอร์มินอลร่วมกับสายชีลด์



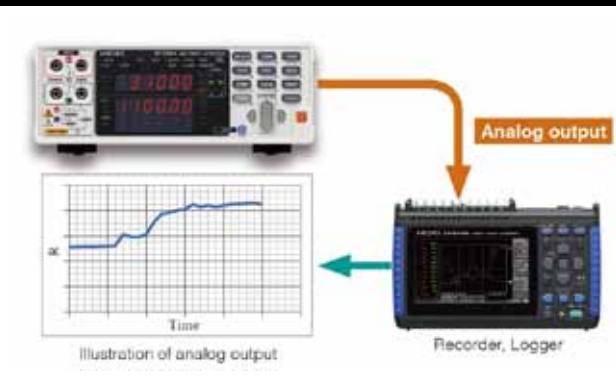
รูปที่ 7 การทดสอบแบบสถิตย์

การประยุกต์ใช้งาน

ในการใช้งานจริงกับการทดสอบกับยานยนต์ไฟฟ้าสามารถทดสอบได้สองแบบ คือการทดสอบแบบสถิตย์ (Static Test) และการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) การทดสอบแบบสถิตย์มักจะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อเก็บข้อมูลความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ สามารถนำไปใช้ในการทำวิจัย และการตรวจสอบคุณภาพของแบตเตอรี่ โดยใช้เวลาไม่นานในการเก็บค่าความต้านทานของแบตเตอรี่สำหรับการวัดแต่ละครั้งดังรูปที่ 7 แต่การทดสอบแบบพลวัตมักจะทำการทดสอบร่วมกับการเก็บข้อมูลด้านเวลาร่วมกับการใช้ data logger ในการเก็บข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลและหาประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่ทั้งในห้องปฏิบัติการหรือการใช้งานจริง ดังรูปที่ 8

สรุป

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนขนาดใหญ่ได้ถูกนำไปใช้งานจริงและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มขึ้นทุกปี แบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูงจำเป็นจะต้องมีข้อพิจารณาอื่นๆ เช่น ต้องมีความปลอดภัยสูง ผลผลิตสูง และอายุการใช้งานที่ยาวนาน จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมคุณภาพที่ดี การควบคุมคุณภาพมีบทบาทสำคัญในการผลิตแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างแน่นอน การวัดความต้านทานภายในของแบตเตอรี่หรือการวัดอิมพีแดนซ์ของแบตเตอรี่เป็นเทคนิคในการวัดคุณภาพของแบตเตอรี่ที่สะดวกและแม่นยำ แต่จำเป็นต้องเลือกเครื่องมือวัดที่เหมาะสม และต้องเข้าใจในเทคนิคและข้อจำกัดในการวัด และเลือกอุปกรณ์การวัดที่มีคุณภาพและความแม่นยำสำหรับกระบวนการผลิตและการผลิตของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน



รูปที่ 8 การทดสอบและบันทึกข้อมูลตามระยะเวลาการใช้งาน

อ้างอิง

[1] Ahiko Narusawa, Battery Impedance Meter, HIOKI Technical Note Vol.1 2015 No.1

[2] User Guide HIOKI, Electrical Measurements of Lithium Ion Batteries: Fundamentals and Applications (A_UG_BT0001J01), 2019 HIOKI E.E. CORPORATION

[3] Measuring Instruments for the Battery Industry, August 2018

เว็บไซต์

https://www.hioki.com/en/products/detail/?product_key=6463 (เข้าถึง 27 พ.ย. 2562)