(ร่าง) มาตรฐานการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับรถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่

สารบัญ

		หน้า
1.	บทนำ	1
	1.1 ขอบข่าย	1
2.	มาตรฐานอ้างถึง	1
3.	นิยาม	2
4.	รายการเครื่องมือและอุปกรณ์	5
5.	เตรียมความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์	6
6.	การเปรียบเทียบความถูกต้อง และ การตั้งค่าการตรวจวัดของเครื่องมือทดสอบ	6
	6.1 เปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือวัด	6
	6.2 ตั้งค่าการตรวจวัดของเครื่องมือวัด	6
	6.3 ตั้งค่าการชักตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจวัด	6
7.	คุณสมบัติการทดสอบ	7
	7.1 ประเภทของการทดสอบ	7
	7.2 การทดสอบทางไฟฟ้า (electrical tests)	13
	7.3 การทดสอบทางกล (mechanical tests)	24
	7.4 การทดสอบความปลอดภัย (safety tests)	25
8.	การตรวจผลการวัดคุณสมบัติ	30
9.	การคำนวณผลการตรวจวัด	30
10.	การจัดทำรายงานผล และสรุปผล	30
	10.1 การรายงานค่าที่ได้จากการทดสอบ	30
	10.2 การสรุปผล	36
	10.3 เกณฑ์การยอมรับ	36
11.	เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก ก ตัวอย่างโครงแบบของระบบแบตเตอรี่		ก - 1
ภาคผนวก ข ตัวอย่างของขอบเขตตัวแปรเพิ่มเติมสำหรับรอบการทดสอบในการใช้งานด้วยกำลังไฟฟ้าสูง		ข - 1

1. บทนำ

รถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่ (Battery Electric Train) เป็นรถขนส่งทางรางที่ไม่ต้องใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกในการจ่ายไฟเข้าสู่ตัวรถ หรือรถขนส่งทางรางที่สามารถใช้พลังงานจากระบบจ่ายไฟฟ้าภายนอกร่วมกับแบตเตอรี่ที่ติดตั้งบนตัวรถ เหมาะสำหรับเส้นทางเดินรถที่ไม่สามารถติดตั้งระบบจ่ายไฟฟ้าได้ ระบบขับเคลื่อนของรถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่สำหรับการลากจูงต้องติดตั้งแบตเตอรี่ที่มีพิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการและสามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง การเลือกใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม มีความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือ จะช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนรถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพ และช่วยลดปัญหาที่อาจจะเกิดจากความล้มเหลวของระบบ ด้วยเหตุนี้ จึงได้จัดทำมาตรฐานการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับระบบขับเคลื่อนรถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่ขึ้น ซึ่งได้อ้างอิงจากมาตรฐานสากล โดยคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ในประเทศไทย รวมถึงมาตรฐานของประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง เพื่อรองรับการผลิตและติดตั้งแบตเตอรี่ รวมทั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้มีความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือ การตรวจสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จัดทำเพื่อรับประกันคุณภาพการใช้งานและเพื่อป้องกันความล้มเหลวของแบตเตอรี่ซึ่งอาจนำไปสู่การหยุดทำงานและความเสี่ยงด้านความปลอดภัยรวมทั้งความน่าเชื่อถือของระบบรถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่

1.1 ขอบข่าย

1.1.1 มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับเป็นแนวทางการปฏิบัติของวิธีการทดสอบแบตเตอรี่สำหรับรถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่สำหรับประเทศไทย

1.1.2 การปฏิบัติตามมาตรฐานนี้ไม่ได้เป็นการรับรองความปลอดภัย ความปลอดภัยจากการใช้มาตรฐานนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้มาตรฐาน

2. มาตรฐานอ้างถึง

2.1 มอก. 62619 เซลล์และแบตเตอรี่ทุติยภูมิบรรจุอิเล็กโทรไลต์ แอลคาไลน์หรืออิเล็กโทรไลต์อื่นที่ไม่เป็นกรด - ข้อกำหนดความปลอดภัยสำหรับเซลล์และแบตเตอรี่ลิเทียมทุติยภูมิ สำหรับการใช้ในงานอุตสาหกรรม

2.2 มอก. 62620 เซลล์และแบตเตอรี่ทุติยภูมิบรรจุอิเล็กโทรไลต์แอลคาไลน์หรืออิเล็กโทรไลต์อื่นที่ไม่เป็นกรด - เซลล์และแบตเตอรี่ลิเทียมทุติยภูมิ สำหรับการใช้ในงานอุตสาหกรรม

2.3 IEC 62498-1 Railway applications - Environmental conditions for equipment - Part 1: Equipment on board rolling stock

2.4 IEC 62864-1 Railway applications - Rolling stock - Power supply with onboard energy storage system - Part 1: Series hybrid system

2.5 IEC 60077-1 Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 1: General service conditions and general rules

2.6 IEC 62497-1 Railway application – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements – Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment

2.7 IEC 61373 Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests

2.8 IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

2.9 IEC 60077-5 Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 5: Electrotechnical components – Rules for HV fuses

2.10 IEC 62236-3-2 Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus

2.11 IEC 62278 Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)

มาตรฐานอ้างถึงในมาตรฐานฉบับนี้ให้ใช้ฉบับล่าสุด แต่ทั้งนี้ต้องไม่ขัดแย้งกับมาตรฐานฉบับนี้

3. นิยาม

“การสอบเทียบ” (calibration) หมายถึง การปฏิบัติการเปรียบเทียบผลการวัดของเครื่องมือวัดที่ไม่รู้ค่าความถูกต้องกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์มาตรฐาน ที่รู้ค่าความถูกต้องเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกันและรายงานผล รวมทั้งปรับแต่งเครื่องมือวัด ในกรณีที่ผลการตรวจวัดผิดไปจากเกณฑ์ที่กำหนด มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดแต่ละรายการกระทำโดยเจ้าหน้าที่ภายในหรือภายนอกของห้องปฏิบัติการ ที่มีความรู้ ประสบการณ์ และผ่านการอบรมที่เกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดแต่ละรายการ

“การปรับเทียบ” (adjusting calibration) หมายถึง การใช้มาตรฐานการวัดเพื่อกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่แสดงจากเครื่องมือวัดและค่าจริง สามารถรับประกันความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดได้จากการปรับเทียบตามมาตรฐานการวัด

“การเก็บรักษาประจุ” (charge retention) และ “การเก็บรักษาความจุ” (capacity retention) หมายถึง ความสามารถของระบบแบตเตอรี่ในการรักษาความจุขณะเปิดวงจรภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

“การคายประจุด้วยตัวเอง” (self-discharge) หมายถึง ปรากฏการณ์ที่เซลล์หรือระบบแบตเตอรี่สูญเสียพลังงานในลักษณะอื่นนอกเหนือจากการปล่อยสู่วงจรภายนอก

“การใช้งานตามจุดมุ่งหมาย” (intended use) หมายถึง ใช้ตามข้อมูลที่ให้มาพร้อมกับผลิตภัณฑ์หรือระบบ หรือในกรณีที่ไม่มีข้อมูลดังกล่าวก็ใช้ตามรูปแบบการใช้งานที่เข้าใจกันโดยทั่วไป

“การรั่วไหล” (leakage) หมายถึง การมองเห็นได้ของอิเล็กโทรไลต์เหลวที่หลุดออกมา

“การระบาย” (venting) หมายถึง การปล่อยความดันภายในที่มากเกินไปจากเซลล์ โมดูล แบตเตอรี่แพ็ก หรือระบบแบตเตอรี่ในลักษณะที่ได้รับการออกแบบเพื่อป้องกันการแตกหรือการระเบิด

“การแตกร้าว” (rupture) หมายถึง ความล้มเหลวทางกลของภาชนะบรรจุเซลล์หรือกล่องแบตเตอรี่ที่เกิดจากสาเหตุภายในหรือภายนอก ส่งผลให้เกิดการเปิดออกหรือการรั่วไหล แต่ไม่ใช่การดีดวัสดุออก

“การระเบิด” (explosion) หมายถึง ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นเมื่อภาชนะบรรจุเซลล์หรือกล่องแบตเตอรี่เปิดอย่างรุนแรงและส่วนประกอบที่เป็นของแข็งถูกบังคับให้ออก

“กระแสไฟฟ้าอัดประจุสูงสุด” (maximum charging current) หมายถึง กระแสไฟฟ้าสูงสุดสำหรับการอัดประจุในพื้นที่การทำงานของเซลล์จากจุดที่ปลอดภัยซึ่งระบุโดยผู้ผลิตเซลล์

“กระแสไฟฟ้าคายประจุสูงสุด” (maximum discharging current) หมายถึง กระแสไฟฟ้าสูงสุดสำหรับการคายประจุในพื้นที่การทำงานของเซลล์จากจุดที่ปลอดภัยซึ่งระบุโดยผู้ผลิตเซลล์

“ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าอัดประจุสูงสุดของเซลล์” (upper limit charging voltage of cell) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าอัดประจุสูงสุดในพื้นที่การทำงานของเซลล์จากจุดที่ปลอดภัยซึ่งระบุโดยผู้ผลิตเซลล์

“ขีดจำกัดแรงดันไฟฟ้าคายประจุต่ำสุดของเซลล์” (lower limit discharging voltage of cell) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าคายประจุต่ำสุดในพื้นที่การทำงานของเซลล์จากจุดที่ปลอดภัยซึ่งระบุโดยผู้ผลิตเซลล์

“ข้อมูลโหลด” (load profile) หมายถึง กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาที่เกิดขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของโหลดในช่วงเวลาที่กำหนด

“ความสามารถในการสอบย้อนกลับได้” (traceability) หมายถึง สมบัติของผลการวัดที่สามารถโยงไปกับมาตรฐานแห่งชาติที่เป็นที่ยอมรับโดยการเปรียบเทียบกันอย่างไม่ขาดช่วงเป็นลูกโซ่ และจะต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้ด้วย

“ความปลอดภัย” (safety) หมายถึง ปราศจากความเสี่ยงที่ไม่อาจทนได้

“จุดสิ้นสุดของอายุการใช้งาน” (end of life: EOL) หมายถึง จุดที่ระบบแบตเตอรี่ไม่สามารถตอบสนองการทำงานหรือรูปแบบการทำงานที่ต้องการตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ใช้งาน/ผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

“จุดเริ่มต้นของการใช้งาน” (beginning of life: BOL) หมายถึง จุดที่ระบบแบตเตอรี่มีพิกัดความจุหรือพลังงานที่มีอยู่อย่างเต็มที่ตามประสิทธิภาพขั้นต่ำในการส่งมอบของผู้ผลิต

“เซลล์” (cell) และ “เซลล์ลิเทียมทุติยภูมิ” (secondary lithium cell) หมายถึง เซลล์ทุติยภูมิ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าได้มาจากปฏิกิริยาการแทรก/การสกัดของลิเทียมไอออน หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน/รีดักชันของลิเทียมระหว่างขั้วลบและขั้วบวก

“บล็อกเซลล์” (cell block) หมายถึง กลุ่มเซลล์ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันในรูปแบบขนานโดยมีหรือไม่มีอุปกรณ์ป้องกัน (เช่น ฟิวส์หรือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเชิงบวก (positive temperature coefficient: PTC) และวงจรตรวจสอบ

“แบตเตอรี่แพ็ก/โมดูล” (battery pack/module) หมายถึง อุปกรณ์กักเก็บพลังงานซึ่งประกอบด้วยเซลล์ตั้งแต่หนึ่งเซลล์ขึ้นไปที่เชื่อมต่อด้วยไฟฟ้า

“ผู้ใช้งาน” (user) หมายถึง องค์กรที่ดำเนินการระบบขับเคลื่อนรวมถึงระบบกักเก็บพลังงาน

“ผู้รวมระบบ” (integrator) หมายถึง องค์กรที่มีความรับผิดชอบด้านเทคนิคของระบบขับเคลื่อนที่สมบูรณ์รวมถึงระบบกักเก็บพลังงาน

“ผู้ผลิต” (manufacturer) หมายถึง องค์กรที่มีความรับผิดชอบด้านเทคนิคสำหรับขอบเขตการจัดหา

“พิกัดความจุ” (rated capacity) หมายถึง ค่าความจุของเซลล์หรือระบบแบตเตอรี่ที่กำหนดภายใต้เงื่อนไขที่ระบุและประกาศโดยผู้ผลิต

“ไฟ” (fire) หมายถึง การปล่อยเปลวไฟจากเซลล์ แบตเตอรี่แพ็ก/โมดูล หรือระบบแบตเตอรี่

“ยานพาหนะไฮบริด” (hybrid vehicle) หมายถึง ยานพาหนะที่สามารถกักเก็บพลังงานไว้ในออนบอร์ดของระบบกักเก็บพลังงาน (energy storage system: ESS) และขับเคลื่อนโดยการใช้พลังงานที่เก็บไว้รวมทั้งพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือสายไฟฟ้าเหนือศีรษะ

“แรงดันไฟฟ้าสุดท้าย” (final voltage) และ “แรงดันไฟฟ้าสิ้นสุดการคายประจุ” (end-of-discharge voltage) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าขณะปิดวงจรที่การคายประจุของเซลล์หรือระบบแบตเตอรี่สิ้นสุดลง

“แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของระบบแบตเตอรี่” (minimum voltage of battery system) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของระบบแบตเตอรี่ซึ่งแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของแต่ละเซลล์สูงกว่าขีดจำกัดแรงดันอัดประจุต่ำสุดของเซลล์ตามที่กำหนด และส่วนประกอบใด ๆ ทำงานในช่วงการทำงานที่ระบุ/อนุญาตภายใต้เงื่อนไขการทำงานทั้งหมด

“แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด” (nominal voltage) หมายถึง ค่าประมาณที่เหมาะสมของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กำหนดหรือระบุแรงดันไฟฟ้าของเซลล์หรือระบบแบตเตอรี่

“แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบแบตเตอรี่” (maximum voltage of the battery system) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบแบตเตอรี่ซึ่งแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเซลล์ต่ำกว่าขีดจำกัดแรงดันอัดประจุสูงสุดของเซลล์ตามที่กำหนด และส่วนประกอบใด ๆ ทำงานในช่วงการทำงานที่ระบุ/อนุญาตภายใต้เงื่อนไขการทำงานทั้งหมด

“ระบบกักเก็บพลังงาน” (energy storage system: ESS) หมายถึง ระบบทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยหน่วยกักเก็บพลังงาน (energy storage unit: ESU) ตั้งแต่หนึ่งหน่วยขึ้นไปและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นในการเชื่อมต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสตรง เช่น คอนเวอร์เตอร์ ระบบควบคุมและตรวจสอบ ตัวเหนี่ยวนำ อุปกรณ์ป้องกัน ระบบทำความเย็น เป็นต้น

“ระบบแบตเตอรี่” (battery system) หมายถึง ระบบที่รวมเอาหนึ่งเซลล์หรือตั้งแต่หนึ่งเซลล์ขึ้นไป โมดูล หรือแบตเตอรี่แพ็กรวมถึงระบบการจัดการแบตเตอรี่และระบบการจัดการความร้อนตลอดจนการตัดการเชื่อมต่อและ/หรืออุปกรณ์แยกออก เช่น คอนแทกเตอร์ ตัวตัดการเชื่อมต่อ ฟิวส์ ฯลฯ

“ระบบจัดการแบตเตอรี่” (battery management system: BMS) หมายถึง ระบบที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่แพ็กซึ่งตรวจสอบและ/หรือจัดการสถานะของแบตเตอรี่ ตัดการเชื่อมต่อหรือแยกแบตเตอรี่แพ็ก คำนวณข้อมูลทุติยภูมิ สื่อสารข้อมูลภายนอกระบบแบตเตอรี่ และ/หรือควบคุมสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และ/หรืออายุการใช้งาน

“ระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่” (battery thermal management system: BTMS) หมายถึง ระบบที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่แพ็กซึ่งตรวจสอบและ/หรือจัดการพฤติกรรมทางความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิของชุดแบตเตอรี่ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้สำหรับข้อมูลโหลดที่ตกลงกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

“รูปแบบการดำเนินงาน” (operational pattern) หมายถึง นิยามโดยผู้ใช้งานและ/หรือผู้ผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของการดำเนินงานรวมถึงส่วนช่วย เช่น รอบการทำงาน (duty cycle) โหลดเสริม อัตราความปลอดภัยของปริมาณพลังงาน โหมดลดระดับ ฯลฯ

“รถขนส่งทางรางที่ใช้พลังงานขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่” (battery electric train) หมายถึง รถขนส่งทางรางที่ไม่ต้องใช้ระบบจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกในการจ่ายไฟเข้าสู่ตัวรถ หรือรถขนส่งทางรางที่สามารถใช้พลังงานจากระบบจ่ายไฟฟ้าภายนอกร่วมกับแบตเตอรี่ที่ติดตั้งบนตัวรถ

“เวลาหยุดทำงานของระบบแบตเตอรี่” (down time of battery system) หมายถึง ช่วงเวลาที่ระบบแบตเตอรี่ไม่ได้ทำงานแบบขับเคลื่อน

“สถานะการประจุ” (state of charge: SOC) หมายถึง ความจุที่เหลือที่จะคายประจุ โดยปกติจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุเต็มโดยเลือกคำนิยามตามที่กำหนดไว้ในภาคผนวก A ของ IEC 62864-1

“สาขาของแบตเตอรี่” (battery branch) หมายถึง กลุ่มของแบตเตอรี่แพ็กหรือโมดูลที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมและ/หรือแบบขนาน ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่และเป็นระบบย่อยที่แยกไฟฟ้าได้เล็กที่สุด

“สถานะพลังงาน” (state of energy: SOE) หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่เทียบกับพลังงานสูงสุดที่มีอยู่ทั้งหมด

“หน่วยกักเก็บพลังงาน” (energy storage unit: ESU) หมายถึง อุปกรณ์ทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีกักเก็บพลังงาน โดยเฉพาะระบบแบตเตอรี่ขับเคลื่อนด้วยลิเทียมไอออนในบริบทของเอกสารนี้

“อันตราย” (hazard) หมายถึง แหล่งที่มาของความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

4. รายการเครื่องมือและอุปกรณ์

(1) เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (battery tester) ทั้งระดับเซลล์ โมดูล และแพ็ก

(2) เครื่องทดสอบการสั่นสะเทือน (vibration tester)

(3) เครื่องทดสอบความแข็งแรงของเปลือกหุ้มแบตเตอรี่ (crush machine)

(4) ห้องควบคุมอุณหภูมิพร้อมระบบดับเพลิง (climate chamber with CO_2 fire suppression)

(5) ห้องทดสอบวัฏจักรอุณหภูมิ (temperature cycling test chamber)

(6) เครื่องทดสอบการสัมผัสไฟภายนอก (external fire exposure test machine)

(7) เครื่องทดสอบการลัดวงจรภายนอก (external short circuit tester)

(8) เครื่องทดสอบการเปลี่ยนแปลงอัตราเร่งฉับพลัน (mechanical shock tester)

5. เตรียมความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ต้องถูกเตรียมให้พร้อมก่อนเริ่มการทดสอบ โดยให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือทดสอบและอุปกรณ์อย่างเคร่งครัด รวมถึงเครื่องมือวัดที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องทดสอบจะต้องมีการสอบเทียบอยู่เสมอ

6. การเปรียบเทียบความถูกต้อง และ การตั้งค่าการตรวจวัดของเครื่องมือทดสอบ

6.1 เปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือวัด

ความแม่นยำโดยรวมของเครื่องมือวัดสำหรับมาตรฐานการทดสอบแบตเตอรี่จะต้องอยู่ภายในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตามที่ระบุไว้ใน มอก. 62620 ข้อ 4 ดังต่อไปนี้

6.1.1 ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.5 % สำหรับแรงดันไฟฟ้า (voltage)

6.1.2 ค่าความคลาดเคลื่อน ± 1 % สำหรับกระแสไฟฟ้า (current)

6.1.3 ค่าความคลาดเคลื่อน ± 2 °C สำหรับอุณหภูมิ (temperature)

6.1.4 ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 % สำหรับเวลา (time)

6.1.5 ค่าความคลาดเคลื่อน ± 1 % สำหรับขนาด (dimensions)

6.2 ตั้งค่าการตรวจวัดของเครื่องมือวัด

การปรับตั้งช่วงการใช้งานของเครื่องมือวัดให้ทำการปรับตั้งอย่างเหมาะสมกับการทดสอบดังภาคผนวก ก โดยสามารถใช้ข้อมูลเพิ่มเติมจากเอกสารของผู้ผลิตเครื่องมือวัด การตั้งค่าเครื่องมือวัดต้องครอบคลุมเรื่องการเชื่อมต่อเครื่องมือวัดเข้ากับแบตเตอรี่อย่างถูกต้องเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องและเชื่อถือได้

6.3 ตั้งค่าการชักตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจวัด

(1) การปรับตั้งค่าการชักตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับแต่ละการทดสอบต้องสามารถแสดงให้เห็นถึงผลการทดสอบที่เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับ

(2) ห้องปฏิบัติการทดสอบต้องมีแผนการชักตัวอย่างและขั้นตอนการชักตัวอย่างเมื่อทำการชักตัวอย่างของตัวอย่างที่ทดสอบหรือสอบเทียบ แผนการชักตัวอย่างต้องยึดตามวิธีการทางสถิติที่เหมาะสม

(3) กระบวนการชักตัวอย่างจะต้องระบุปัจจัยที่ต้องควบคุมเพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดสอบและการสอบเทียบมีความถูกต้อง

(4) ในกรณีที่ผู้ว่าจ้างต้องการเพิ่มเติมหรือยกเว้นจากขั้นตอนการชักตัวอย่างที่เป็นเอกสารต้องบันทึกรายละเอียดเหล่านี้พร้อมข้อมูลการชักตัวอย่างที่เหมาะสม โดยต้องรวมอยู่ในเอกสารทั้งหมดที่มีผลการทดสอบและ/หรือผลการสอบเทียบ และต้องแจ้งให้บุคลากรที่เกี่ยวข้องทราบ

(5) ห้องปฏิบัติการทดสอบต้องมีขั้นตอนการบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องและการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการชักตัวอย่างซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบหรือการสอบเทียบ ข้อมูลที่ถูกบันทึกเหล่านี้ต้องรวมขั้นตอนการชักตัวอย่างที่ใช้ การระบุตัวอย่างที่ทดสอบ สภาพแวดล้อม และแผนผังแสดงสถานที่ ทั้งนี้การปรับตั้งค่าการชักตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับแต่ละการทดสอบโดยให้สามารถแสดงให้เห็นถึงผลการทดสอบที่เป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับ โดยกำหนดให้ผู้ผลิตหรือผู้ว่าจ้างเป็นผู้ชักตัวอย่างและนำตัวอย่างที่ได้มาคำนวณ

7. คุณสมบัติการทดสอบ

7.1 ประเภทของการทดสอบ

(1) เงื่อนไขของการทดสอบเฉพาะแบบ (type test) ต้องมีการตกลงกันระหว่างผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่กับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เพื่อตรวจสอบการออกแบบและสมรรถนะของระบบแบตเตอรี่ โดยจะต้องปฏิบัติให้ถูกต้องตามตารางที่ 1

(2) การทดสอบแบบประจำ (routine test) ดำเนินการเพื่อตรวจสอบว่าแต่ละระบบถูกประกอบขึ้นอย่างถูกต้องและส่วนประกอบกับระบบทั้งหมดสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย โดยจะต้องปฏิบัติให้ถูกต้องตามตารางที่ 1

(3) การทดสอบแบบประจำสำหรับเซลล์แบตเตอรี่ทุกก้อนหรือแบตเตอรี่ทุกชุดได้ทำการทดสอบเสร็จแล้ว ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบซ้ำในระดับที่ต่างกัน ยกเว้นหากมีข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่กับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่และ/หรือผู้รวมระบบ ทั้งนี้การทดสอบเฉพาะแบบที่ระบุในตารางที่ 1 ไม่ได้ถือเป็นที่สุด ข้อมูลการทดสอบในแบบต่าง ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงได้หากมีความจำเป็นภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่กับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่และ/หรือผู้รวมระบบ

(4) ผลการทดสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่มีการอ้างอิงมาตรฐาน มอก.62620 สามารถนำมาใช้ได้ ผลการจำลองที่อ้างอิงจากแบบจำลองที่สามารถเชื่อถือได้ (ได้ผ่านการตรวจสอบกับการตรวจวัดครั้งก่อน) สามารถนำมาใช้แทนการทดสอบด้วยของจริงได้ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

(5) ระบบแบตเตอรี่ที่สามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยที่เล็กกว่าได้ โดยอาจนำส่วนย่อยนั้นมาใช้ในการทดสอบหากส่วนย่อยสามารถแสดงลักษณะพฤติกรรมของระบบแบตเตอรี่โดยรวมได้ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ส่วนย่อยถูกนำมาทำการทดสอบ การทดสอบจะต้องนำฟังก์ชันทั้งหมดในระบบแบตเตอรี่มาใช้ด้วย โดย

การทดสอบนี้จะต้องทดสอบภายใต้เงื่อนไขการอัดประจุและคายประจุที่เทียบเท่ากับแบตเตอรี่ทั้งระบบ ซึ่งผลการทดสอบจะต้องมีการระบุให้ชัดเจนเกี่ยวกับระบบแบตเตอรี่ที่นำมาทดสอบนั้นว่าเป็นทั้งระบบหรือเป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบ

(6) คุณลักษณะของโมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่สามารถคำนวณและสาธิตได้โดยผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ โดยอ้างอิงจากผลการทดสอบทางไฟฟ้าสำหรับเซลล์แบตเตอรี่ เมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบโมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่ การทดสอบจะต้องอยู่ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ ผลการทดสอบจะต้องมีการจัดทำรายงานพร้อมตัวแปรที่จำเป็นต่าง ๆ โดยเนื้อหาสำหรับรายงานนั้นจะต้องเป็นการตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

ตารางที่ 1 รายการทดสอบ

(ข้อ 7.1)

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	ประเภทของการทดสอบ (test object)		หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003
		เฉพาะแบบ (type test)	แบบประจำ (routine test)	
1	**การทดสอบทางไฟฟ้า (electrical tests)**			
1.1	การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า (electrical characteristics tests)			7.2.1
	a) สมรรถนะในการคายประจุที่อุณหภูมิ 25 °C (discharge performance at 25 °C)	C และ B	C หรือ B (a)	7.2.1.1
	b) สมรรถนะในการคายประจุที่อุณหภูมิต่ำ (discharge performance at low temperature)	C	-	7.2.1.2
	c) อัตราของกระแสไฟฟ้าสูงที่สามารถไหลผ่าน (high rate permissible current)	C	-	7.2.1.3
	d) การเก็บและคายประจุไฟฟ้า (charge retention and recovery)	C	-	7.2.1.4

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	ประเภทของการทดสอบ (test object)		หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003
		เฉพาะแบบ (type test)	แบบประจำ (routine test)	
	e) ค่าความต้านทานภายในทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (internal ac resistance)	C	-	7.2.1.5
	f) ค่าความต้านทานภายในทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (internal dc resistance)	C และ B	B	7.2.1.6
	g) ความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งาน (endurance in cycles)	C	-	7.2.1.7
1.2	การทดสอบระบบจัดการแบตเตอรี่ (battery management system tests)	B	-	7.2.2
	a) การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเกิน (overcharge control of voltage)	B	-	7.2.2.1
	b) การควบคุมกระแสไฟฟ้าเกิน (overcharge control of current)	B	-	7.2.2.1
	c) การควบคุมความร้อนสูงเกิน (overheating control)	B	-	7.2.2.1
	d) การทดสอบการแยกและการตัดการเชื่อมต่อ (isolation and disconnection test)	B	-	7.2.2.2
	e) การทดสอบการสื่อสาร (communication test)	B	-	7.2.2.3
	f) การคำนวณสถานะการประจุ (calculation of the state of charge: SOC)	B	-	7.2.2.4
1.3	การทดสอบสมรรถนะ (performance test)	B	-	7.2.3

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	ประเภทของการทดสอบ (test object)		หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003
		เฉพาะแบบ (type test)	แบบประจำ (routine test)	
1.4	ความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งาน (endurance in cycles)	C	-	7.2.4
	a) การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าทั่วไป (endurance in cycles test for general)	C	-	7.2.4.1
	b) การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าสูง (endurance in cycles test for high power)	C (b)	-	7.2.4.2
1.5	การทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริค (dielectric test)	B	B	7.2.5
1.6	การทดสอบคายประจุด้วยตัวเอง (self-discharge test)	B	-	7.2.6
1.7	การทดสอบกระบวนการในการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ (operational balancing test)	B	-	7.2.7
2	**การทดสอบทางกล (mechanical tests)**			
2.1	ลักษณะทางกายภาพ (physical appearance)	B (c)	B (c)	7.3.1
2.2	การวัดน้ำหนัก (mass measurement)	B	-	7.3.2
2.3	การทดสอบการกระแทกและการสั่นสะเทือน (shock and vibration test)	B	-	7.3.3
2.4	การทดสอบระดับการป้องกัน (test of the degree of protection)	B	-	7.3.4
3	**การทดสอบความปลอดภัย (safety tests)**			

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	ประเภทของการทดสอบ (test object)		หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003
		เฉพาะแบบ (type test)	แบบประจำ (routine test)	
3.1	การทดสอบความปลอดภัยอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 62619 (safety test according to IEC 62619)			7.4.1
	การทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (product safety tests)			7.4.1.1
	a) การทดสอบการลัดวงจรจากภายนอก (external short circuit test)	C	-	7.4.1.1 (1)
	b) การทดสอบการรับแรงกระแทก (impact test)	C	-	7.4.1.1 (2)
	c) การทดสอบการตก (drop test)	C และ B	-	7.4.1.1 (3)
	d) การทดสอบความผิดพลาดทางความร้อน (thermal abuse test)	C	-	7.4.1.1 (4)
	e) การทดสอบการอัดประจุเกิน (overcharge test)	C	-	7.4.1.1 (5)
	f) การทดสอบการบังคับคายประจุ (forced discharge test)	C	-	7.4.1.1 (6)
	g) การทดสอบโดยคำนึงถึงการลัดวงจรภายใน (consideration for internal short circuit)		-	7.4.1.1 (7)
	– การทดสอบการลัดวงจรภายใน (internal short circuit test)	C	-	7.4.1.1 (7)
	– การทดสอบการแพร่กระจาย (propagation test)	B	-	7.4.1.1 (7)
	การทดสอบความปลอดภัยของฟังก์ชันการทำงาน (functional safety tests)			7.4.1.2
	a) การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเกิน (overcharge control of voltage)	B	-	7.4.1.2 (1)
	b) การควบคุมกระแสไฟฟ้าเกิน (overcharge control of current)	B	-	7.4.1.2 (2)

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	ประเภทของการทดสอบ (test object)		หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003
		เฉพาะแบบ (type test)	แบบประจำ (routine test)	
	c) การควบคุมความร้อนสูงเกิน (overheating control)	B	-	7.4.1.2 (3)
3.2	การทดสอบพิเศษสำหรับใช้ในยานพาหนะ (special tests for rolling stock)			7.4.2
	a) ป้ายความปลอดภัย (safety signs)	B	-	7.4.2.2
	b) การทดสอบการลัดวงจรจากภายนอก (external short circuit test)			7.4.2.3
	c) การทดสอบผสมผสาน (combined test)	B	-	7.4.2.3 (1)
	d) การทดสอบแยกส่วน (component test)	B หรือ C	-	7.4.2.3 (2)
	e) ระบบการแยกออกจากกัน (isolation system)	B	-	7.4.2.4
	f) การป้องกันไฟ (fire protection)	B	-	7.4.2.5
	g) การทดสอบสภาพความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (test of electromagnetic compatibility)	B	-	7.4.2.6
	หมายเหตุ 1 อักษรย่อของตำแหน่งการทดสอบในคอลัมน์ของประเภทของการทดสอบมีดังนี้: C หมายถึง การทดสอบเซลล์แบตเตอรี่ ณ สถานที่ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ B หมายถึง ระบบแบตเตอรี่ หมายเหตุ 2 การทดสอบเซลล์แบตเตอรี่ดำเนินการตาม มอก. 62620			
	(a) วัตถุประสงค์ในการทดสอบแบบประจำสำหรับสมรรถนะการคายประจุที่อุณหภูมิ 25 °C ถูกทำขึ้นภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่กับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่และ/หรือผู้รวมระบบ (b) การทดสอบเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการใช้งานที่ต้องการสมรรถนะการประจุและการคายประจุที่กำลังไฟฟ้าสูง (c) การวัดขนาดส่วนประกอบของระบบแบตเตอรี่ เช่น แพ็กแบตเตอรี่/โมดูล กล่องแบตเตอรี่ ต้องดำเนินการตามหน่วยที่ให้มา			

7.2 การทดสอบทางไฟฟ้า (electrical tests)

7.2.1 การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า (electrical characteristics tests)

การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าสำหรับเซลล์และระบบแบตเตอรี่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน มอก.62620 โดยรายการทดสอบจะประกอบไปด้วยการทดสอบดังต่อไปนี้

7.2.1.1 ประสิทธิภาพในการคายประจุที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อตรวจสอบพิกัดความจุของแบตเตอรี่

7.2.1.2 ประสิทธิภาพในการคายประจุที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อตรวจสอบความจุของแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิต่ำ

7.2.1.3 อัตราของกระแสไฟฟ้าสูงที่สามารถไหลผ่าน

7.2.1.4 การเก็บรักษาและเรียกคืนประจุไฟฟ้า

7.2.1.5 ค่าความต้านทานภายในทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ

7.2.1.6 ค่าความต้านทานภายในทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง

7.2.1.7 ความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งาน

การทดสอบค่าความต้านทานภายในทางด้านไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทดสอบด้วยกระแสไฟฟ้าและ/หรือระยะเวลาที่แตกต่างไปจากมาตรฐานของ มอก.62620 ซึ่งเงื่อนไขการทดสอบจะต้องมีการตกลงกันระหว่างผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่กับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่และ/หรือผู้รวมระบบ

7.2.2 การทดสอบระบบจัดการแบตเตอรี่ (battery management system: BMS)

ระบบควบคุมการจัดการแบตเตอรี่เป็นระบบย่อยเพื่อที่จะปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัยและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแบตเตอรี่ ซึ่งฟังก์ชันต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของอุปกรณ์และระบบ โดยอุปกรณ์ที่ทดสอบจะต้องผ่านการคัดเลือก ฟังก์ชันเหล่านี้จะสามารถทำงานร่วมกับระบบย่อยต่าง ๆ ได้ เช่น ระบบระบายความร้อน ระบบควบคุม เป็นต้น โดยอ้างอิงจากการจัดเรียงหมวดหมู่ในการทดสอบ ระบบควบคุมการจัดการแบตเตอรี่มีฟังก์ชันดังต่อไปนี้

- การตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าสำหรับทุก ๆ เซลล์แบตเตอรี่ หรือทุก ๆ บล็อกแบตเตอรี่
- การตรวจวัดกระแสไฟฟ้าสำหรับทุก ๆ เซลล์แบตเตอรี่ หรือทุก ๆ สาขาของแบตเตอรี่
- การตรวจวัดอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่
- การตัดการเชื่อมต่อหรือแยกแบตเตอรี่แพ็กหรือโมดูลของแบตเตอรี่ในขณะที่ตรวจพบค่าตัวแปรมีความผิดปกติ
- การคำนวณสถานะการอัดประจุหรืออื่น ๆ จากข้อมูลที่ได้รับมาจากฟังก์ชันการตรวจสอบ
- การสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ได้รับมาออกไปสู่ภายนอกระบบแบตเตอรี่

- การจัดการเซลล์แบตเตอรี่ โมดูล หรือแพ็กแบตเตอรี่ให้เกิดการสมดุลกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าหรือสถานะการอัดประจุ
- ทางเลือกในการควบคุมเงื่อนไขทางด้านสภาพอากาศโดยรอบด้านในของระบบแบตเตอรี่ เช่น การปรับอากาศทางด้านอุณหภูมิและ/หรือความชื้น เป็นต้น โดยอาจจะรวมไปถึงระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่ (battery thermal management system: BTMS)

ฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่สามารถติดตั้งอยู่ในระบบอื่น ๆ ได้ เช่น ตัวแปลงของระบบขับเคลื่อน (traction converter) หน่วยควบคุมยานพาหนะ (vehicle control unit: VCU) ชุดปรับสมดุลโมดูลแบตเตอรี่แบบพาสซีฟ (passive balancing) และอื่น ๆ

7.2.2.1 การควบคุมการอัดประจุเกิน (overcharge) และความร้อนเกิน (overheating)

การควบคุมการอัดประจุเกินของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า และการควบคุมความร้อนเกินถูกระบุในมาตรฐาน มอก.62619 โดยการทดสอบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619

7.2.2.2 การทดสอบการแยกออกจากกัน (isolation) และการตัดการเชื่อมต่อ (disconnection)

ในระบบมีฟังก์ชันในการแยกออกจากกันหรือตัดการเชื่อมต่อ ระบบดังกล่าวจะต้องมีการทดสอบ โดยมีการจำลองสถานการณ์ที่ไม่ปกติ ซึ่งระบบที่ใช้ในการแยกออกจากกันหรือตัดการเชื่อมต่อจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

7.2.2.3 การทดสอบการติดต่อสื่อสาร (communication)

ระบบที่มีการส่งข้อมูลติดต่อสื่อสารกับภายนอกระบบแบตเตอรี่ ระบบสำหรับการติดต่อสื่อสารจะต้องมีการตรวจสอบ เมื่อมีขั้นตอนใดในการทดสอบที่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือหน่วยควบคุมที่อยู่ด้านนอกของระบบแบตเตอรี่ที่แตกต่างไปจากระบบที่ได้มีการผลิตขึ้นมา ซึ่งจำเป็นที่จะต้องระบุอุปกรณ์เพิ่มเติมภายนอกให้ครบและตำแหน่งการทดสอบให้เหมือนกันตามข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ โดยจะต้องมีการยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่มีการส่งผ่านกันระหว่างระบบจัดการแบตเตอรี่กับอุปกรณ์ด้านนอกของระบบแบตเตอรี่

7.2.2.4 การคำนวณสถานะการอัดประจุ (state of charge: SOC)

อุณหภูมิโดยรอบก่อนทำการทดสอบถูกกำหนดไว้ที่ 25 ± 5 °C และอยู่ในเงื่อนไขโหมดการทำงานแบบปกติ การทดสอบจะเริ่มทดสอบในขณะที่แบตเตอรี่อยู่ในสภาพที่มีการอัดประจุจนเต็ม ระบบแบตเตอรี่จะเริ่มทำการคายประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ รายละเอียดเกี่ยวกับเงื่อนไขต่าง ๆ จะต้องถูกต้องตามข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่จะต้องมีการตรวจวัดตลอดเวลา สถานะการอัดประจุที่คำนวณได้จากระบบจัดการแบตเตอรี่และสถานะการอัดประจุที่คำนวณได้จากแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่มีการตรวจวัดตลอดเวลา

ต้องผ่านการตรวจสอบค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดซึ่งจะต้องอยู่ในขอบเขตเฉพาะที่ตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

7.2.3 การทดสอบสมรรถนะ (performance tests)

7.2.3.1 เงื่อนไขในการทดสอบ

อุณหภูมิโดยรอบหรืออุณหภูมิของอากาศภายนอกของยานพาหนะถูกกำหนดให้อยู่ระหว่างตั้งแต่ -25 ± 2 °C ถึง +40 ± 2 °C ตามมาตรฐาน IEC 62498-1 ซึ่งถูกนำมาปรับใช้ เว้นเสียแต่มีการระบุอย่างอื่น อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่าช่วงของอุณหภูมิสำหรับการทำงานที่ได้ระบุไว้ด้านบนจะต้องถูกระบุโดยผู้ใช้งาน/ผู้รวมระบบ ซึ่งอุณหภูมิของอากาศจะเริ่มที่ค่ามากกว่าเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของตู้ควบคุมอุณหภูมิจะต้องอยู่ในขอบเขต ± 5 °C การทดสอบสมรรถนะจะต้องมีการอ้างอิงมาจากข้อมูลโหลดกำลังไฟฟ้าต่อเวลา เพื่อที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับข้อมูลโหลด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องอยู่ในขอบเขตสำหรับการอัดประจุกับคายประจุของข้อมูลโหลด

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerances) สำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการทดสอบ ± 3 % โดยคำนึงถึงเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดค่าของอุปกรณ์ เช่น ตัวแปลงของระบบขับเคลื่อน สำหรับการทำการทดสอบร่วมกัน ซึ่งจะต้องอยู่ภายใต้ข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เมื่อมีข้อบังคับอันเนื่องมาจากโครงสร้างของการทดสอบ วิธีการในการทดสอบจะต้องถูกกำหนดให้อยู่ภายใต้ข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

<u>หมายเหตุ</u> เมื่อไม่ใช้ตัวแปลงกำลังไฟฟ้า (power converter) ไม่ต้องพิจารณากระแสไฟฟ้ากระเพื่อม

7.2.3.2 การเตรียมพร้อมสำหรับการทดสอบ

ระบบแบตเตอรี่ต้องถูกเตรียมพร้อมสำหรับการใช้งานก่อนที่จะมีการกระตุ้นแบตเตอรี่

(1) แบตเตอรี่ถูกอัดประจุไฟฟ้าให้เต็มที่ตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.2

(2) การใช้ปัจจัยการลดค่า (derating factor) และการปรับค่าสถานะการอัดประจุเริ่มต้น (initial SOC)

ปัจจัยการลดค่า คือ อัตราที่คำนึงถึงค่าความจุสูงสุดที่สูญเสียไปเทียบกับความจุเริ่มต้นใช้งาน (beginning of life: BOL) โดยที่ตัวแปรเสื่อมถอยและสถานะการอัดประจุเริ่มต้นสามารถคำนวณและตกลงกันได้ในขณะที่ออกแบบโดยใช้การจำลองและทดสอบในขั้นตอนนี้ เพื่อตรวจสอบสมรรถนะของระบบแบตเตอรี่ตามสภาพอายุการใช้งาน การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานภายในไม่สามารถจำลองได้ด้วยตัวแปรเสื่อมถอยแต่เป็นการพิจารณาเพื่อจะทราบถึงขอบเขตที่แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของระบบแบตเตอรี่ ระบบแบตเตอรี่ต้องถูกติดตั้งไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับเงื่อนไขที่เหมาะสำหรับการทดสอบหรือที่ได้ทำการตกลงกันไว้จนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ หากระบบระบายความร้อนถูกติดตั้งแยกไว้ในระบบย่อยส่วนอื่นและไม่สามารถนำมาทดสอบร่วมกันได้ สามารถใช้ระบบระบายความร้อนแบบอื่นหรือจำลองขึ้นมาได้

7.2.3.3 การทดสอบ

มาตรฐาน IEC 62864-1 มีการระบุระดับกำลังไฟฟ้าค่าบวก (positive power) ของระบบแบตเตอรี่ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราเร่งของยานพาหนะ เช่น การนำพลังงานจากระบบแบตเตอรี่มาเร่งอัตราเร่งหรือจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์เสริม ในขณะที่ระดับกำลังไฟฟ้าค่าลบ (negative power) ของระบบแบตเตอรี่จะสัมพันธ์กับการชะลอตัวของยานพาหนะและการคืนพลังงานกลับเข้าไปสู่ระบบแบตเตอรี่ โดยระดับกำลังไฟฟ้าดังกล่าวจะมีไว้สำหรับการระบุข้อมูลโหลด ซึ่งจะต้องสามารถควบคุมการทำงานได้เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการใช้งาน การใช้ค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมและตัวแปรต่าง ๆ เช่น เวลา แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ เป็นต้น จะต้องมีการบันทึกค่าไว้

7.2.3.4 เกณฑ์ในการยอมรับ

แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่สามารถวัดค่าได้จะต้องมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดรวมกับค่าขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ถูกระบุไว้ในหัวข้อ 7.2.3.2 ตลอดการทดสอบข้อมูลโหลดที่ถูกทดสอบ

7.2.4 ความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งาน

จุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานแบตเตอรี่ (end of life: EOL) เป็นจุดที่ระบบแบตเตอรี่ไม่สามารถเติมเต็มความต้องการในการทำงานหรือการปฏิบัติงานได้ตามที่ได้ตกลงไว้ในตอนแรกระหว่างผู้ใช้งานหรือผู้รวมระบบกับผู้ผลิต โดยขึ้นอยู่กับข้อมูลโหลดที่นำมาใช้ ซึ่งจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ต้องคำนวณจากผลการทดสอบอายุการใช้งานทั่วไป (general life time) ข้อมูลอื่น ๆ และ/หรือประสบการณ์ต่าง ๆ การประมาณจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานต้องมีการตกลงกันระหว่างผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่กับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุและคายประจุสำหรับการทดสอบขึ้นอยู่กับค่าพิกัดความจุ (C_n Ah) โดยกระแสไฟฟ้าจะถูกระบุด้วย I_t A เมื่อ I_t A = C_n Ah/1 h เมื่อ C_n คือ ค่าพิกัดความจุที่ถูกระบุโดยผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ในหน่วยแอมแปร์ชั่วโมง (Ah) และ n คือเวลาในหน่วยชั่วโมง (h) สำหรับค่าพิกัดความจุ

<u>หมายเหตุ</u> ค่าความต้านทานภายในหรือความจุสามารถนำมาใช้เป็นตัวแปรในการสื่อถึงจุดสิ้นสุดของอายุการใช้งานแบตเตอรี่ได้

7.2.4.1 การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าทั่วไป

การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าทั่วไปเป็นการตรวจสอบค่าความจุของเซลล์แบตเตอรี่หลังจากที่ใช้งานแล้ว 500 รอบ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 62620 ข้อ 6.6.1 โดยสามารถวัดค่าได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) การวัดค่า

ขั้นตอนที่ 1 เซลล์แบตเตอรี่ถูกคายประจุที่ 25 ± 5 °C ที่กระแสไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 1/n I_t A จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย โดยแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายจะต้องมีค่าเท่ากับที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.2

ขั้นที่ตอน 2 เซลล์แบตเตอรี่ถูกอัดประจุที่อุณหภูมิโดยรอบอยู่ที่ 25 ± 5 °C ซึ่งใช้วิธีในการอัดประจุดังที่ทางผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้ระบุไว้

ขั้นตอนที่ 3 เซลล์แบตเตอรี่ถูกคายประจุที่อุณหภูมิโดยรอบอยู่ที่ 25 ± 5 °C ที่กระแสไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 1/n I_t A จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย โดยแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายจะต้องมีค่าเท่ากับที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.2

หมายเหตุ เมื่อทางผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ต้องการที่จะย่อระยะเวลาในการดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 กำหนดให้คายประจุที่กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.5 I_t A สำหรับเซลล์หรือแบตเตอรี่ประเภท E และ 1.0 I_t A สำหรับเซลล์หรือแบตเตอรี่ประเภท M และ H

ขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 และ 3 จำนวน 500 รอบ

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อครบจำนวน 500 รอบ ให้ทำการวัดพลังงานและความจุในการคายประจุที่ 1/n I_t A โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.3.1

ขั้นตอนที่ 6 อัตราการเก็บรักษาความจุ (capacity retention rate) จะถูกคำนวณจากพิกัดความจุและความจุที่วัดได้ในขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 7 อัตราการเก็บรักษาพลังงาน (energy retention rate) จะถูกคำนวณจากพิกัดพลังงานและพลังงานที่วัดได้ในขั้นตอนที่ 5

หมายเหตุ n มีค่าเท่ากับ 5 สำหรับเซลล์หรือแบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุประเภท E ประเภท M และประเภท H

หมายเหตุ E เป็นแบตเตอรี่ประเภทที่มีอัตราการคายประจุระดับต่ำและใช้ระยะเวลานาน

M เป็นแบตเตอรี่ประเภทที่มีอัตราการคายประจุระดับกลาง

H เป็นแบตเตอรี่ประเภทที่มีอัตราการคายประจุระดับสูง

ดูข้อมูลเพิ่มเติมในมาตรฐาน มอก.62620

หมายเหตุ นิยามสำหรับการเก็บรักษาพลังงาน (energy retention) ดูข้อมูลเพิ่มเติมในมาตรฐาน IEC 62864-1 ข้อ A.2.3

2) เกณฑ์ในการยอมรับ

การเก็บรักษาความจุของเซลล์แบตเตอรี่ต้องไม่น้อยกว่า 80% ของพิกัดความจุ หลังจากมีอายุการใช้งาน 500 รอบ และจะต้องมีการจัดทำรายงานผลสำหรับการเก็บรักษาพลังงาน

7.2.4.2 การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าสูง

สำหรับการใช้งานที่ต้องการประสิทธิภาพในการอัดประจุและคายประจุด้วยกำลังไฟฟ้าสูงไม่อยู่ในช่วงของสถานะการอัดประจุที่มีการอัดประจุไฟฟ้าจนเต็มและการคายประจุไฟฟ้าจนหมด แต่อยู่ในช่วงที่น้อยกว่าของสถานะการอัดประจุ เช่น 20% ของพิกัดความจุ การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าสูงเป็นการตรวจสอบค่าความจุของเซลล์แบตเตอรี่หลังจากถูกใช้งาน

เป็นระยะเวลา 6,000 รอบ ด้วยการอัดประจุและคายประจุที่กำลังไฟฟ้าสูง โดยช่วงของสถานะการอัดประจุมีค่าเท่ากับ 20% ของพิกัดค่าความจุที่พื้นผิวของเซลล์แบตเตอรี่ ณ อุณหภูมิหนึ่ง และการทดสอบนี้ยังแสดงให้ถึงความจุคงเหลือของเซลล์แบตเตอรี่หลังจากการคายประจุไฟฟ้าเป็นจำนวน 6,000 รอบอีกด้วย ตัวแปรที่ระบุไว้ในหัวข้อ 1) เป็นเพียงค่าตัวอย่าง การทดสอบเพิ่มเติมอาจจะเกิดขึ้นได้ภายใต้การตกลงระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ โดยที่ตัวแปรตัวอย่างจะถูกระบุไว้ในภาคผนวก ข

1) การวัดค่า

ขั้นตอนที่ 1 เซลล์แบตเตอรี่ถูกคายประจุที่ 25 ± 5 °C ที่กระแสไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 1/n I_t A จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสุดท้าย โดยแรงดันไฟฟ้าสุดท้ายจะต้องมีค่าเท่ากับที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.2

ขั้นตอนที่ 2 เซลล์แบตเตอรี่ถูกอัดประจุที่อุณหภูมิโดยรอบอยู่ที่ 25 ± 5 °C จนกระทั่งสถานะการอัดประจุมีค่าเท่ากับ 100% ซึ่งใช้วิธีในการอัดประจุดังที่ทางผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้ระบุไว้

ขั้นตอนที่ 3 เซลล์แบตเตอรี่ถูกคายประจุจนกระทั่งสถานะการอัดประจุลดลงมาเท่ากับ 80% โดยที่กระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4.0 I_t A เป็นระยะเวลา 3 นาที

ขั้นตอนที่ 4 พักแบตเตอรี่เป็นเวลา 1 นาที

ขั้นตอนที่ 5 เซลล์แบตเตอรี่ถูกคายประจุที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวของเซลล์แบตเตอรี่ในทุกวันมีค่าเท่ากับ 30 ± 3 °C และคายประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 4.0 I_t A เป็นระยะเวลา 3 นาที โดยสามารถใช้อุปกรณ์จำพวกแผ่นระบายความร้อน (heat sink) ในการช่วยทำให้อุณหภูมิของเซลล์ทั้งหมดเท่ากันได้

ขั้นตอนที่ 6 พักแบตเตอรี่เป็นเวลา 1 นาที

ขั้นตอนที่ 7 เซลล์แบตเตอรี่ถูกอัดประจุที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวของเซลล์แบตเตอรี่ในทุกวันที่มีค่าเท่ากับ 30 ± 3 °C และคายประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 4.0 I_t A เป็นระยะเวลา 3 นาที โดยสามารถใช้อุปกรณ์จำพวกแผ่นระบายความร้อนในการช่วยทำให้อุณหภูมิของเซลล์ทั้งหมดเท่ากันได้

ขั้นตอนที่ 8 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 7 เป็นจำนวน 150 รอบ โดยมีระยะเวลาที่แบตเตอรี่พักในแต่ละวัน (daily rest time) เท่ากับ 4 ชั่วโมง และมีอุณหภูมิโดยรอบอยู่ที่ 25 ± 5 °C

<u>หมายเหตุ</u> “daily rest time” คิดโดยใช้อายุตามปฏิทิน (calendar ageing)

สำหรับขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 7 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวของเซลล์แบตเตอรี่ในการทดสอบในแต่ละวันหลังจากที่สภาพความร้อน (thermal condition) ไปถึงจุดสมดุล (equilibrium) จะต้องถูกควบคุมให้อยู่ที่ 30 ± 3 °C โดยสามารถใช้อุปกรณ์จำพวกแผ่นระบายความร้อน เพื่อช่วยให้ชิ้นงานอยู่ในสถานะสมดุลทางความร้อน (thermal equilibrium) ได้ ในกรณีที่มีอุณหภูมิพุ่งสูงกว่า

ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของอุณหภูมิ (temperature tolerance) ค่าอุณหภูมิสูงสุดและค่าอุณหภูมิต่ำสุดจะต้องมีการรายงานด้วย

หมายเหตุ กระแสไฟฟ้าการอัดประจุจะต้องลดลง เมื่อแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าที่ถูกจำกัดไว้สูงสุดของแรงดันไฟฟ้าอัดประจุสำหรับเซลล์แบตเตอรี่ในการทดสอบ อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการอัดประจุจะยังคงเป็น 3 นาที ถึงแม้ว่าความจุในการอัดประจุ (Ah) จะถูกลดต่ำลงเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง

สำหรับวิธีการชดเชยความคลาดเคลื่อนของสถานะการอัดประจุระหว่างการทดสอบในแต่ละรอบ การอัดประจุและ/หรือการคายประจุสามารถทำได้หากมีความจำเป็น

(1) เซลล์แบตเตอรี่ถูกพักเป็นเวลา 5 นาที

(2) การเลือกใช้วิธีการชดเชยสำหรับการอัดประจุและ/หรือการคายประจุ เช่น

(2.1) การใช้แรงดันไฟฟ้าในการอัดหรือคายประจุแบบคงที่ด้วยกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 1.0 I_t A โดยที่แรงดันไฟฟ้าจะต้องมีค่าเท่ากับ 80% SOC

(2.2) การอัดประจุจนเต็มและทำการคายประจุให้สถานะการอัดประจุลดลงเหลือ 80% SOC โดยที่เงื่อนต่าง ๆ ในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 เหมือนเดิม

(2.3) การใช้กระแสไฟฟ้าในการอัดประจุหรือคายประจุคงที่ โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลาถูกคำนวณด้วยวิธีการที่เหมาะสม

(3) เซลล์แบตเตอรี่ถูกพักเป็นระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาที่เหลืออยู่ในแต่ละวัน (remaining daily rest time)

เวลาทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการทดสอบและชดเชยจะเท่ากับ 4 ชั่วโมง โดยกระแสไฟฟ้าจะต้องถูกเก็บเป็นแอมแปร์ชั่วโมง (Ah) แรงดันไฟฟ้าจะต้องถูกบันทึกค่าและจัดทำรายงานพฤติกรรมของแรงดันไฟฟ้าหลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบในแต่ละรอบต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 เพื่อที่จะเป็นการชดเชยที่ถูกต้องเหมาะสมส่งผลให้ไม่มีการอัดประจุเกิน

หมายเหตุ ความคลาดเคลื่อนของสถานะการอัดประจุสำหรับการใช้งานเซลล์แบตเตอรี่ที่กำลังไฟฟ้าสูงสามารถเกิดขึ้นได้จากประสิทธิภาพ การออกแบบ วัสดุของขั้วไฟฟ้า หรือความแม่นยำของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ เป็นต้น

ห้ามทำกระบวนการชดเชยหากยังไม่ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพอ้างอิงก่อน

ขั้นตอนที่ 9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพอ้างอิงในข้อ 2) จะถูกจัดทำขึ้นหลังจากการทดสอบรอบที่ 150 และทุก ๆ 3,000 รอบหรือน้อยกว่านั้น โดยการทดสอบประสิทธิภาพจะต้องถูกกระทำทันทีเมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 5

<u>หมายเหตุ</u> จำนวน 150 รอบ เทียบเท่ากับระยะเวลา 20 ชั่วโมง

กระทำขั้นตอนที่ 8 ซ้ำเป็นจำนวนขั้นต่ำ 40 รอบ

2) การทดสอบประสิทธิภาพอ้างอิง

การทดสอบประสิทธิภาพอ้างอิงแสดงให้เห็นถึงความจุและประสิทธิภาพเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

ขั้นตอนที่ 1 หลังจากทำขั้นตอนที่ 5 ในหัวข้อ 1) เสร็จแล้ว ค่าความจุคงเหลือและค่าพลังงานคงเหลือจะถูกวัดในขณะที่คายประจุเท่ากับ 1/n I_t A โดยค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวของเซลล์แบตเตอรี่ในทุกวันต้องมีค่าเท่ากับ 30 ± 3 °C

ขั้นตอนที่ 2 อัตราค่าความจุคงเหลือหลังจากการคายประจุครั้งล่าสุดจะถูกคำนวณจากพิกัดความจุและความจุที่วัดได้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 อัตราค่าพลังงานคงเหลือหลังจากการคายประจุครั้งล่าสุดจะถูกคำนวณจากพิกัดพลังงานและพลังงานที่วัดได้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 ทำให้เซลล์แบตเตอรี่มีอุณหภูมิเท่ากับ 25 ± 5 °C อย่างทั่วถึงเป็นเวลามากกว่า 10 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบความจุ โดยการทดสอบความจุนั้นจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.2 และข้อ 6.3.1

ขั้นตอนที่ 6 อัตราการเก็บรักษาความจุจะถูกคำนวณจากพิกัดความจุและค่าความจุที่วัดได้ในขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 7 อัตราการเก็บรักษาพลังงานจะถูกคำนวณจากพิกัดพลังงานและพลังงานที่วัดได้ในขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 8 การทดสอบพลังงานสูงสุด

(1) การอัดประจุเซลล์แบตเตอรี่ให้มีแรงดันไฟฟ้าตามที่ผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ตั้งไว้ อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.2

(2) การคายประจุเซลล์แบตเตอรี่ลงเหลือ 50% ของสถานะการอัดประจุที่ 4.0 I_t A เป็นเวลา 7.5 นาที

(3) การพักเซลล์แบตเตอรี่เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงทำการวัดแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร

(4) การคายประจุเซลล์แบตเตอรี่ที่กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 8.0 I_t A เป็นเวลา 30 s

(5) การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่ในขณะพัลส์หลังจากผ่านไป 5 s 10 s หรือ 30 s และคำนวณค่าความต้านทานภายใน

(6) การพักเซลล์แบตเตอรี่เป็นเวลา 30 s

(7) การคายประจุเซลล์แบตเตอรี่ที่กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 4.0 I_t A โดยให้แรงดันไฟฟ้าลดลงจนกระทั่งเท่ากับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ผู้ผลิตเซลล์แบตเตอรี่ได้ระบุไว้

ขั้นตอนที่ 9 เริ่มกระบวนการใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ในหัวข้อ 1)

หมายเหตุ n มีค่าเท่ากับ 5 สำหรับเซลล์หรือแบตเตอรี่ที่มีอัตราการคายประจุประเภท E ประเภท M และประเภท H

3) เกณฑ์ในการยอมรับ

แรงดันไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่มีค่าลดลงเท่ากับค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าสำหรับคายประจุในขณะคายประจุในขั้นตอนที่ 5 ในหัวข้อ 1) การทดสอบรอบนี้ถือว่า**ไม่ผ่าน**และถือว่าเซลล์แบตเตอรี่ล้มเหลว (cell fails) ในรอบการทดสอบนี้ เนื่องจากเซลล์แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายไฟที่ 20% ของค่าพิกัดความจุในระหว่างการทดสอบและอัตราความจุคงเหลือในขั้นตอนที่ 2 ในหัวข้อ 2) จะต้องมีค่ามากกว่า 0%

7.2.5 การทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริค

การทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริคจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60077-1 และ IEC 62497-1 เมื่อระบบแบตเตอรี่นั้นประกอบไปด้วยส่วนประกอบย่อยหลายส่วน ชุดกล่อง และส่วนอื่น ๆ จะต้องทดสอบแยกทีละส่วนประกอบย่อยหรือทีละชุดกล่อง

7.2.6 การทดสอบคายประจุด้วยตัวเอง

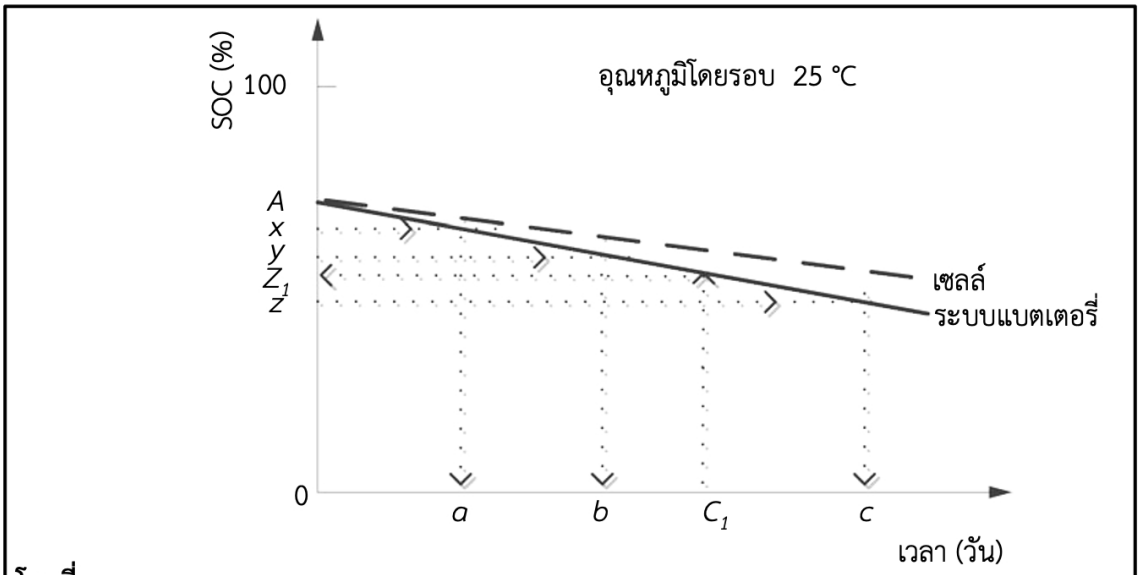
ระบบแบตเตอรี่จะต้องสามารถใช้งานสำหรับการทดลองเดินเครื่องหรือทำงานได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานในระบบราง การเก็บรักษาประจุไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่นั้นจะลดลงด้วยการคายประจุด้วยตัวเอง ดังที่ระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.4 อุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น ฟังก์ชันการสมดุลของระบบจัดการแบตเตอรี่จะเพิ่มอัตราการคายประจุด้วยตัวเองของระบบแบตเตอรี่ คู่มือสำหรับระบบแบตเตอรี่จะต้องระบุโดยผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่เพื่อสร้างความมั่นใจสำหรับการขนส่งอย่างปลอดภัยและยังสามารถทำงานได้ตามปกติหลังจากการขนส่งและ/หรือการจัดเก็บเป็นระยะเวลานานก่อนการติดตั้งบนยานพาหนะและการทดลองเดินเครื่อง ซึ่งระยะเวลาหลังจากการทดลองเดินเครื่องและการจัดส่งยานพาหนะไปยังสถานที่ของผู้ใช้งานจนกระทั่งการทำงานเริ่มต้นขึ้นจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานและต้องคำนึงถึงการออกแบบระบบแบตเตอรี่ โดยผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่จะต้องระบุอุปกรณ์ ซอฟแวร์ ขั้นตอนการทำงาน และอื่น ๆ ที่ใช้ในการบำรุงรักษาสำหรับการจัดเก็บเป็นระยะเวลานาน

หมายเหตุ คู่มือโดยละเอียดสามารถหาได้จาก UN 38.3

7.2.6.1 การทดสอบ

ระบบแบตเตอรี่ถูกติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เมื่อแบตเตอรี่ชุดที่นำมาทดสอบเป็นตัวแทนของแบตเตอรี่ทั้งระบบจะต้องมีการตกลงกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เงื่อนไขการทดสอบ คือ 1) ค่า SOC เริ่มต้นสำหรับการขนส่งหรือจัดเก็บจะถูกระบุไว้โดยผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ 2) อุณหภูมิโดยรอบเท่ากับ 25 ± 2 °C และ 3) ระบบการจัดการแบตเตอรี่อยู่ในโหมดการทำงานสำหรับการขนส่ง เช่น ไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก เป็นต้น เว้นเสียแต่ว่ามีระบุเพิ่มเติมนอกจากนี้

SOC ต้องถูกตรวจสอบโดยมีการกำหนดระยะเวลาในการตรวจสอบล่วงหน้า การทดสอบจะต้องดำเนินการต่อไปจนกระทั่งถึงจุดเสร็จสิ้นตามที่ได้ตกลงกันไว้หรือตามเกณฑ์การทดสอบของ SOC และ/หรือระยะเวลาในการกักเก็บ ผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่จะต้องส่งรายงานเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของการคายประจุด้วยตัวเองของระบบแบตเตอรี่ SOC สามารถคำนวณได้จากแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ควบคู่กับกราฟลักษณะเฉพาะระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับ SOC ระยะเวลาในการทดสอบจะต้องไม่นานไปกว่าระยะเวลาที่มีการตรวจสอบของ SOC สำหรับการกักเก็บและขนส่งดังที่ระบุไว้โดยผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่หรือผู้ผลิตชุดแบตเตอรี่ซึ่งขึ้นอยู่กับชุดที่นำมาเข้ารับการทดสอบการคายประจุด้วยตัวเองแสดงดังรูปที่ 1



โดยที่

A	SOC เริ่มต้น
x, y	SOC ของช่วงเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้า
z	SOC ของการสิ้นสุดการทดสอบ
a, b	เวลาที่ทำการวัด (วัน)
c	เวลาที่ทำการวัด (วัน) เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ
C_1	เวลา (วัน) เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ
Z_1	วัดค่า SOC เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ

รูปที่ 1 การคายประจุด้วยตัวเอง

(ข้อ 7.2.6.1)

7.2.6.2 เกณฑ์การยอมรับ

ค่าดังต่อไปนี้จะต้องผ่านเกณฑ์

1) SOC มีค่าสูงกว่าค่าที่ระบุไว้หลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลาที่ระบุไว้ หรือ

2) ระยะเวลามีค่ามากกว่าที่ระบุไว้ที่ SOC ลดลงตามที่ระบุไว้ หรือ

3) อัตราการคายประจุด้วยตัวเองที่ระบุไว้ในสมการด้านล่างมีค่าน้อยกว่าค่าที่ระบุไว้

$$r = \frac{x-y}{b-a}$$

โดยที่ r คือ อัตราการคายประจุด้วยตัวเองในหน่วยเปอร์เซ็นต่อวัน (%/d)

x, y คือ ค่า SOC ที่วัดได้ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%)

a, b คือ ค่าเวลาที่ SOC มีค่าเท่ากับ x และที่ SOC มีค่าเท่ากับ y ในหน่วยวัน (d)

7.2.7 การทดสอบกระบวนการในการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ (operation balancing)

ระบบการจัดการแบตเตอรี่มีฟังก์ชันการทำงานดังที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 6.2.2 โดยขอบเขตที่ยอมรับได้ของความไม่สมดุลซึ่งวัดมาจากค่าความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้าและ/หรือสถานะการอัดประจุของเซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมดภายในหน่วยเก็บพลังงานจะต้องได้รับการตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ ระบบจัดการแบตเตอรี่จะต้องรักษาความสมดุลของเซลล์แบตเตอรี่ให้อยู่ในขอบเขตของหน่วยเก็บพลังงานในขณะที่ทำงานปกติ เช่น ระหว่างชั่วโมงการทำงาน ขณะหยุดหรือหลังจากการทำงานของระบบแบตเตอรี่ โดยระยะเวลาสูงสุดของการหยุดทำงานจะต้องอยู่ภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ การทดสอบกระบวนการในการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ถูกจัดเป็นการทดสอบที่ไม่บังคับและสามารถแทนได้ด้วยการวิเคราะห์ด้วยการจำลองที่เหมาะสม

7.2.7.1 การทดสอบ

ระบบแบตเตอรี่ถูกติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เมื่อแบตเตอรี่ชุดที่นำมาทดสอบเป็นตัวแทนของแบตเตอรี่ทั้งระบบจะต้องมีการตกลงกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เงื่อนไขการทดสอบ คือ 1) ค่า SOC เริ่มต้นอ้างอิงจากข้อมูลโหลด เช่น ค่าเฉลี่ย ดังที่ระบุไว้โดยผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ 2) อุณหภูมิโดยรอบเท่ากับ 25 ± 2 °C และระบบการจัดการแบตเตอรี่อยู่ในโหมดการทำงานปกติ เว้นเสียแต่ว่ามีระบุเพิ่มเติมนอกจากนี้

สถานะตัวแปรและข้อความของระบบจัดการแบตเตอรี่ เช่น คำเตือน ค่า SOC เป็นต้น ต้องมีการตรวจสอบโดยกำหนดระยะเวลาในการตรวจสอบล่วงหน้า การทดสอบจะต้องดำเนินการต่อไปจนกระทั่งถึงระยะเวลาสูงสุดของการหยุดการทำงานตามที่ได้ตกลงกันไว้ หลังจากระยะเวลาในการทดสอบ ระบบแบตเตอรี่สามารถทำงานตามข้อมูลโหลดได้โดยไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาเพิ่มเติม ใน

ส่วนการอัดประจุเบื้องต้นก่อนการทำงานตามข้อมูลโหลดสามารถดำเนินการได้ ผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่จะต้องทำรายงานเกี่ยวกับผลการทดสอบ

7.2.7.2 เกณฑ์การยอมรับ

แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ที่สมดุลจะเป็นดังนี้

1) ค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ และ

2) ฟังก์ชันในการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่จะต้องทำงานเพื่อจะสร้างความสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ในขณะใช้งานด้วยข้อมูลโหลด โดยระบบจัดการแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในโหมดการทำงานปกติเผื่อในกรณีที่มีเซลล์แบตเตอรี่ก้อนใดก้อนหนึ่งมีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

7.3 การทดสอบทางกล (mechanical tests)

7.3.1 ลักษณะทางกายภาพ

การตรวจสอบด้วยสายตาจะต้องดำเนินการกับตัวอย่างที่ส่งมาทดสอบ ซึ่งต้องไม่ปรากฏรอยแตกร้าว ความเสียหาย หรือการกัดกร่อน การเสียรูปใด ๆ จะต้องอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาดที่ระบุไว้ในแบบของผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ ขนาดของโครงร่าง (outline) และส่วนเชื่อมต่อ (Interface) เช่น ขั้วต่อและจุดยึด จะต้องถูกวัดและอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ดังที่ระบุไว้ในแบบของผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

7.3.2 การวัดน้ำหนัก

ระบบแบตเตอรี่จะต้องได้รับการชั่งน้ำหนักพร้อมกับอุปกรณ์เสริมทั้งหมดที่รวมอยู่ในขอบเขตการจัดหา เมื่อไม่สามารถวัดแบบรวมได้ให้วัดแต่ละส่วนแยกกัน

7.3.3 การทดสอบการกระแทกและการสั่นสะเทือน

การทดสอบจะต้องดำเนินการตามมาตรฐาน IEC 61373 ซึ่งต้องทำการทดสอบกับอุปกรณ์หรือกล่องที่ติดตั้งบนตัวรถ เมื่อหน่วยทางกายภาพของระบบแบตเตอรี่ถูกติดตั้งไว้ภายในส่วนหุ้มอื่น เช่น ส่วนหุ้มสำหรับตัวแปลงของระบบขับเคลื่อน ต้องมีการทดสอบการกระแทกและการสั่นสะเทือนภายในส่วนหุ้มด้วย การทดสอบอาจดำเนินการโดยใช้กล่องแยกตามที่อธิบายไว้ในภาคผนวก ก ซึ่งแบ่งออกมาเป็นหลาย ๆ กล่องตามส่วนหุ้มทางกลหลายชิ้น ซึ่งระบบแบตเตอรี่ถูกแยกออกเป็นหลายกล่อง หากน้ำหนักของกล่องแยกมีค่ามากกว่า 500 kg อาจทดสอบเฉพาะกล่องที่เล็กกว่าแทนได้ หากน้ำหนักของกล่องที่เล็กเกินกว่า 500 kg การทดสอบแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนอาจตกลงกันระหว่างผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่สำหรับการทดสอบเฉพาะแบบทางเลือก เมื่อการทดสอบการกระแทกและการสั่นสะเทือนไม่ดำเนินการตามข้อตกลงระหว่างผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ ผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่จะต้องคำนวณเสถียรภาพด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method: FEM)

7.3.4 การทดสอบระดับการป้องกัน

การดำเนินการทดสอบขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ใช้งาน เมื่อการทดสอบระดับการป้องกันถูกระบุไว้ในคุณลักษณะเฉพาะ การทดสอบนั้นจะต้องปฏิบัติตาม IEC 60529

7.4 การทดสอบความปลอดภัย (safety tests)

7.4.1 การทดสอบความปลอดภัยอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 62619

การทดสอบความปลอดภัยจะต้องดำเนินการตามมาตรฐาน มอก. 62619 ซึ่งการทดสอบจะประกอบไปด้วย 2 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

7.4.1.1 การทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

การทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ คือ การทดสอบความปลอดภัยของเซลล์และระบบแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบการลัดวงจรจากภายนอกเซลล์แบตเตอรี่ โดยให้ดัดแปลงค่าความต้านทานภายนอกเท่ากับ 5 mΩ หรือน้อยกว่า

(2) การทดสอบการรับแรงกระแทกของเซลล์แบตเตอรี่

(3) การทดสอบการตกของเซลล์แบตเตอรี่และระบบแบตเตอรี่

(4) การทดสอบความผิดพลาดทางความร้อนของเซลล์แบตเตอรี่

(5) การทดสอบการอัดประจุเกินของเซลล์แบตเตอรี่

(6) การทดสอบการบังคับคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่

(7) การทดสอบโดยคำนึงถึงการลัดวงจรภายในของเซลล์แบตเตอรี่ การทดสอบการลัดวงจรภายในเซลล์แบตเตอรี่ และการทดสอบการแพร่กระจายของระบบแบตเตอรี่

<u>หมายเหตุ</u> การทดสอบการลัดวงจรภายในเซลล์แบตเตอรี่และการทดสอบการแพร่กระจายของระบบแบตเตอรี่จะต้องถูกระบุโดยผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

อาจมีการทดสอบเพิ่มเติมตามการตกลงกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

7.4.1.2 การทดสอบความปลอดภัยของฟังก์ชันการทำงาน

การทดสอบความปลอดภัยของฟังก์ชันการทำงาน คือ การทดสอบความปลอดภัยของระบบแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบดังต่อไปนี้ โดยการทดสอบเหล่านี้จำเป็นต้องทดสอบในหัวข้อ 7.2.2 ด้วย

(1) การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่ในกรณีที่มีการอัดประจุเกิน

(2) การควบคุมกระแสไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่ในกรณีที่มีการอัดประจุเกิน

(3) การควบคุมความร้อนเกินของระบบแบตเตอรี่

7.4.2 การทดสอบพิเศษสำหรับใช้ในยานพาหนะ

7.4.2.1 ข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัย

การวัดค่าสำหรับความปลอดภัยจะต้องได้รับการตรวจสอบด้วย

(1) การคำนึงถึงความปลอดภัยทั่วไป

ผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่จะต้องมีการให้คำแนะนำสำหรับการใช้งานอย่างปลอดภัยของโมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่ โดยด้านที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงจะต้องเป็นขั้วต่อของแบตเตอรี่เสมอ

ข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัยสำหรับเซลล์แบตเตอรี่ โมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่ และระบบแบตเตอรี่ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน มอก.62619 โดยข้อกำหนดและการตรวจสอบสำหรับข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัยจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62278 และการป้องกันการโดนไฟฟ้าช็อกจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61991 โดยอันตรายสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างน้อยประกอบด้วย

(1.1) ไฟ

(1.2) การระเบิด

(1.3) การรั่วไหลของเซลล์อิเล็กโตรไลท์

(1.4) การรั่วไหลอย่างต่อเนื่องของแก๊สที่สามารถติดไฟได้หรือเป็นพิษ

(1.5) การฉีกขาดของวัสดุหุ้มแบตเตอรี่ ทำให้มีการเปิดเผยส่วนประกอบด้านใน

(2) ป้ายความปลอดภัย

(2.1) บริเวณด้านนอกของกล่องแบตเตอรี่

ป้ายความปลอดภัยขั้นต่ำที่จะต้องติดตั้งตามมาตรฐาน ISO 7010 บริเวณด้านนอกของกล่องแบตเตอรี่ ซึ่งมีรายละเอียดเฉพาะโดยเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ใช้งานหรือผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

(2.1.1) ป้ายเตือนประกอบด้วยการเตือนไฟฟ้า และการเตือนการอัดประจุของแบตเตอรี่

(2.1.2) ป้ายห้ามประกอบด้วยการห้ามมีเปลวไฟ ห้ามไม่ให้มีไฟ แหล่งกำเนิดประกายไฟ และการรมควัน

ป้ายเพิ่มเติมต้องอยู่ภายใต้ข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้ใช้งานหรือผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เช่น “ห้ามเหยียบ” เมื่อระบบแบตเตอรี่มีการติดตั้งอยู่บนหลังคา

(2.2) บริเวณด้านในของกล่องแบตเตอรี่

ป้ายความปลอดภัยต้องติดตั้งตามมาตรฐาน ISO 7010 บริเวณด้านในของกล่องแบตเตอรี่ โดยรายละเอียดเฉพาะจะเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ใช้งานหรือผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เมื่อป้ายความปลอดภัยติดตั้งในอยู่บริเวณถาดหรือภาชนะประเภทลัง ป้ายนี้จะต้องเป็นสีขาวดำหรือเป็นสีก็ได้

(2.2.1) ป้ายเตือนประกอบด้วยการเตือนไฟฟ้า การเตือนการอัดประจุของแบตเตอรี่ และการเตือนวัตถุระเบิด

(2.2.2) ป้ายห้ามประกอบด้วยการห้ามมีเปลวไฟ ห้ามไม่ให้มีไฟ แหล่งกำเนิดประกายไฟ และการรมควัน

(2.2.3) ป้ายบังคับประกอบด้วยการกล่าวถึงหนังสือแสดงวิธีการใช้งาน/คู่มือ ต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันดวงตา ต้องสวมถุงมือป้องกัน และการต้องสวมชุดป้องกัน

(3) การแยกสำหรับการซ่อมบำรุงหรือให้บริการ

การแยกระบบแบตเตอรี่สำหรับการซ่อมบำรุงหรือให้บริการจะต้องเป็นไปตามที่ได้ตกลงร่วมกันระหว่างผู้ใช้งานหรือผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

(4) การป้องกันไฟ

แบตเตอรี่ลิเที่ยมไอออน (Lithium-ion) ถือว่ามีพลังงานสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งมีหลายกรณีที่วัสดุอิเล็กโทรไลต์สามารถติดไฟได้ ดังนั้นจะต้องมีการคำนึงเกี่ยวกับความปลอดภัยทางด้านไฟด้วย การวัดการหน่วงไฟจะต้องจัดขึ้นโดยอ้างอิงถึงการปฏิบัติตามหลักสากล กฎหมายสากลสำหรับการป้องกันไฟถูกระบุไว้ในมาตรฐาน IEC 62864-1 โดยตัวอย่างในการลดการเกิดบางส่วน เช่น หุ้มระบบแบตเตอรี่ด้วยโครงที่เป็นโลหะ ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันและ/หรืออุปกรณ์ตรวจจับไฟ ติดตั้งอุปกรณ์ระบายควันและอื่น ๆ เป็นต้น

7.4.2.2 ป้ายความปลอดภัย

ป้ายความปลอดภัยจะต้องสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ไม่ว่าจะอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่ตกลงกันไว้แล้วหรือไม่

7.4.2.3 การทดสอบการลัดวงจรจากภายนอก

การทดสอบต้องดำเนินการโดยเลือกใช้การทดสอบผสมผสาน (combined test) ในหัวข้อ 7.4.2.3 (1) หรือการทดสอบแยกส่วน (components test) ในหัวข้อ 7.4.2.3 (2) อย่างใดอย่างหนึ่ง ผลการจำลองที่อ้างอิงจากผลการทดสอบในงานที่มีความใกล้เคียงกันที่สามารถเชื่อถือได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้แทนการทดสอบจริงซึ่งอยู่ภายใต้ข้อตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

(1) การทดสอบผสมผสาน

การทดสอบระดับของระบบ (system level) จะถูกดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่ส่วนประกอบของหน่วยเก็บพลังงานทั้งหมดมีส่วนเกี่ยวข้องด้วย เช่น คอนแท็กเตอร์ หรือฟิวส์ ที่ได้มีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน เมื่อฟังก์ชันการทำงานดังกล่าวได้รับการทดสอบจะสามารถใช้เพียงส่วนหนึ่งของระบบแบตเตอรี่มาใช้ในการทดสอบได้แต่อย่างน้อยจะต้องมีส่วนใดส่วนหนึ่งของแบตเตอรี่ที่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบ

(1.1) เงื่อนไขในการทดสอบ

เงื่อนไขดังต่อไปนี้จะถูกปรับใช้กับการทดสอบ

(1.1.1) อุณหภูมิโดยรอบจะต้องอยู่ที่ 25 ± 5 °C เมื่ออุณหภูมิโดยรอบอยู่นอกขอบเขตดังกล่าวจะต้องมีการตกลง

ร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

(1.1.2) หน่วยเก็บพลังงานต้องถูกอัดประจุไฟฟ้าให้เต็มตามมาตรฐาน มอก.62620 ข้อ 6.2

(1.1.3) อุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดจะต้องมีความเกี่ยวข้องกับการทดสอบที่กำลังดำเนินการอยู่

(1.2) การลัดวงจร

วงจรจำพวกคอนแท็กเตอร์จะต้องอยู่ในสภาพปิดวงจรในโหมดการทำงานปกติ และระบบแบตเตอรี่จะต้องลัดวงจรด้วยการนำขั้วบวกและขั้วลบที่หน่วยเก็บพลังงานมาเชื่อมต่อกัน

(1.2.1) การทดสอบการตอบสนองของฟิวส์สามารถดำเนินการโดยลัดวงจรด้วยค่าความต้านทานขั้นต่ำที่ได้ตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ ซึ่งการดำเนินการแบบนี้ถือว่าเป็นการลัดวงจรอย่างรุนแรง (hard short circuit)

(1.2.2) การทดสอบการตอบสนองของคอนแท็กเตอร์หรือเบรกเกอร์สามารถดำเนินการโดยลัดวงจรด้วยค่าอินพีแดนซ์ที่ทราบค่าจากการลัดวงจรภายนอกบริเวณระบบกักเก็บพลังงาน (energy storage system: ESS) เช่น ในระหว่างที่มีความผิดพร่องซึ่งเกิดจากวงจรแปลงผัน (converter) ดังที่ได้ตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ ซึ่งการดำเนินการแบบนี้ถือว่าเป็นการลัดวงจรตามการทำงานทั่วไป (operational short circuit)

การทดสอบจะถือว่าผ่านหากอุปกรณ์ป้องกันหรือฟังก์ชันในการป้องกัน เช่น คอนแท็กเตอร์ต้องสามารถทำงานได้ตามที่ระบบจัดการแบตเตอรี่ต้องการ หรือฟิวส์ต้องสามารถหยุดการนำกระแสไฟฟ้าและเปิดวงจรได้

<u>หมายเหตุ</u> ในกรณีชิ้นส่วนบางชิ้นสำหรับฟังก์ชันต่าง ๆ ของระบบจัดการแบตเตอรี่นั้นอาจถูกติดตั้งไปในระบบอื่น ๆ เช่น ตัวแปลงของระบบขับเคลื่อน

(1.3) เกณฑ์การยอมรับ

อุปกรณ์ป้องกันหรือฟังก์ชันในการป้องกัน เช่น ฟิวส์ คอนแท็กเตอร์ เบรกเกอร์ และอื่น ๆ สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องเพื่อที่จะขัดขวางและยับยั้งกระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยไม่มีการติดไฟหรือการระเบิดเกิดขึ้น และไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับหน่วยเก็บพลังงาน ยกเว้นฟิวส์ที่จะ

ได้รับการตรวจสอบพร้อมกับเปลี่ยนตัวใหม่ไปแทน ดังนั้นหน่วยเก็บพลังงานจะสามารถทำงานได้อย่างปกติ การเสื่อมของอายุการใช้งานอาจจะเกิดขึ้นได้แต่ไม่จำเป็นต้องนำมาคิดเป็นเกณฑ์การยอมรับสำหรับการทดสอบชุดนี้

(2) การทดสอบแยกส่วน

การทดสอบผสมผสานไม่ได้ถูกดำเนินการ สามารถทำการทดสอบพฤติกรรมของเซลล์แบตเตอรี่และการกระบวนการทำงานของฟังก์ชันการรักษาความปลอดภัยโดยดำเนินการทดสอบแยกกันได้ การทดสอบพฤติกรรมของเซลล์แบตเตอรี่ระบุไว้ในหัวข้อ 7.4.2.3 (2.1) และการทดสอบกระบวนการทำงานของฟังก์ชันรักษาความปลอดภัยระบุไว้ในหัวข้อ 7.4.2.3 (2.2)

(2.1) การทดสอบเซลล์แบตเตอรี่

เซลล์แบตเตอรี่จะถูกทำให้ลัดวงจรด้วยค่าอิมพีแดนซ์ขณะลัดวงจรที่เทียบเท่ากับค่าที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อ 7.4.2.3 (1) เป็นระยะเวลาหนึ่ง จนกระทั่งฟังก์ชันการรักษาความปลอดภัยจำพวกเบรกเกอร์หรือฟิวส์จะทำการเปิดวงจร

(2.2) การทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบ

การตรวจสอบเชิงระบบ (systematic check) สามารถดำเนินการได้ด้วยการตรวจสอบเอกสาร (documents check) ฟังก์ชันการรักษาความปลอดภัยหรืออุปกรณ์รักษาความปลอดภัย เช่น คอนแทคเตอร์ หรือเบรกเกอร์ จะต้องได้รับการทดสอบในแต่ละชิ้นโดยผู้ผลิตอุปกรณ์นั้น ๆ การตรวจพบสัญญาณในการลัดวงจรจะถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณขาเข้าให้กับฟังก์ชันการรักษาความปลอดภัยแทนการใช้การลัดวงจรจริง ฟิวส์ที่นำมาทดสอบจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60077-5 โดยการทำงานของฟิวส์นั้นจะต้องมีการตรวจสอบตามลักษณะเฉพาะของฟิวส์และกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่คาดไว้

(2.3) เกณฑ์การยอมรับ

ฟังก์ชันการรักษาความปลอดภัยหรืออุปกรณ์รักษาความปลอดภัยสามารถทำงานได้ถูกต้องตามการออกแบบ

7.4.2.4 ระบบการแยกออกจากกัน (isolation system)

เมื่อมีการใช้ระบบการแยกออกจากกันดังที่ระบุไว้ในหัวข้อ 7.4.2.1 (3) และหัวข้อ 7.2.2.2 ฟังก์ชันการทำงานนั้นจะต้องมีการตรวจสอบ เมื่อระบบการแยกออกจากกันกำลังทำงานแรงดันไฟฟ้าจะต้องไม่คงเหลืออยู่ในส่วนที่คาดหวังไว้ (intended section) โดยการแยกระบบแบตเตอรี่เพื่อการบำรุงรักษาหรือการบริการจะต้องตกลงกันระหว่างผู้ใช้/ผู้ติดตั้งและผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่

7.4.2.5 การป้องกันไฟ

การทดสอบการป้องกันไฟเป็นการตรวจสอบค่าที่ได้จากการตรวจวัดในหัวข้อ 7.4.2.1 (4) ให้สามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง กรณีใช้ส่วนหุ้มที่มีคุณสมบัติในการป้องกันไฟต้องมีการสาธิตคุณสมบัติดังกล่าวด้วยการทนไฟเป็นระยะเวลาตามที่ได้ตกลงกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่ เช่น 10 นาที หรือ 15 นาที เป็นต้น

7.4.2.6 การทดสอบสภาพความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic compatibility: EMC)

การทดสอบสภาพความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่จะถูกระบุไว้ในมาตรฐาน IEC 62236-3-2 และจะต้องผ่านการทดสอบด้วยระดับการบูรณาการสูงสุด (highest integration) เช่น กล่องแบตเตอรี่หรือกล่องตัวแปลงของระบบขับเคลื่อน รวมไปถึงส่วนหนึ่งของระบบแบตเตอรี่ (รายละเอียดตาม ภาคผนวก ก)

8. การตรวจผลการวัดคุณสมบัติ

การตรวจวัดคุณสมบัติของแบตเตอรี่ว่ามีคุณสมบัติและประสิทธิภาพตามการทดสอบในหัวข้อที่ 7 หรือไม่ ซึ่งผลการตรวจวัดเป็นไปตามตารางที่ 2

9. การคำนวณผลการตรวจวัด

การคำนวณผลการตรวจวัดเพื่อประเมินผลการทดสอบ ให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดการทดสอบที่เกี่ยวข้องในแต่ละหัวข้อของการทดสอบนั้น ๆ

10. การจัดทำรายงานผล และสรุปผล

10.1 การรายงานค่าที่ได้จากการทดสอบ

การรายงานค่าที่ได้จากการทดสอบให้อ้างอิงรายการทดสอบตามตารางที่ 2 ซึ่งมีตัวอย่างการรายงานค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการรายงานค่าที่ได้จากการทดสอบ

(ข้อ 8, 10.1, 10.2)

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003	เกณฑ์การยอมรับ (criteria)	ค่า (value)	ผลการทดสอบ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) (test results)
1	**การทดสอบทางไฟฟ้า (electrical tests)**				
1.1	การทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า (electrical characteristics tests)	7.2.1	-		
	a) สมรรถนะในการคายประจุที่อุณหภูมิ 25 °C (discharge performance at 25 °C)	7.2.1.1	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620		

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003	เกณฑ์การยอมรับ (criteria)	ค่า (value)	ผลการทดสอบ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) (test results)
	b) สมรรถนะในการคายประจุที่อุณหภูมิต่ำ (discharge performance at low temperature)	7.2.1.2	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620		
	c) อัตราของกระแสไฟฟ้าสูงที่สามารถไหลผ่าน (high rate permissible current)	7.2.1.3	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620		
	d) การเก็บและคายประจุไฟฟ้า (charge retention and recovery)	7.2.1.4	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620		
	e) ค่าความต้านทานภายในทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (internal ac resistance)	7.2.1.5	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620		
	f) ค่าความต้านทานภายในทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (internal dc resistance)	7.2.1.6	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620		
	g) ความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งาน (endurance in cycles)	7.2.1.7	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62620		
1.2	การทดสอบระบบจัดการแบตเตอรี่ (battery management system tests)	7.2.2	-		
	a) การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเกิน (overcharge control of voltage)	7.2.2.1	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62619		
	b) การควบคุมกระแสไฟฟ้าเกิน (overcharge control of current)	7.2.2.1	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62619		
	c) การควบคุมความร้อนสูงเกิน (Overheating Control)	7.2.2.1	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.62619		
	d) การทดสอบการแยกและการตัดการเชื่อมต่อ (isolation and disconnection test)	7.2.2.2	ระบบที่ใช้ในการแยกออกจากกันหรือตัดการเชื่อมต่อจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง		

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003	เกณฑ์การยอมรับ (criteria)	ค่า (value)	ผลการทดสอบ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) (test results)
	e) การทดสอบการสื่อสาร (communication test)	7.2.2.3	ความถูกต้องของข้อมูลที่มีการส่งผ่านกันระหว่างระบบจัดการแบตเตอรี่กับอุปกรณ์ด้านนอกของระบบแบตเตอรี่		
	f) การคำนวณสถานะการประจุ (calculation of the state of charge: SOC)	7.2.2.4	ตกลงร่วมกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่		
1.3	การทดสอบสมรรถนะ (performance test)	7.2.3	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดรวมกับค่าขอบเขตแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ระบุไว้ในหัวข้อ 7.2.3.2		
1.4	ความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งาน (endurance in cycles)	7.2.4	-		
	a) การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าทั่วไป (endurance in cycles test for general)	7.2.4.1	การเก็บรักษาความจุของเซลล์แบตเตอรี่ต้องไม่น้อยกว่า 80% ของพิกัดความจุ หลังจากมีอายุการใช้งาน 500 รอบ		
	b) การทดสอบความคงทนต่อจำนวนรอบการใช้งานสำหรับกำลังไฟฟ้าสูง (endurance in cycles test for high power)	7.2.4.2	เซลล์แบตเตอรี่สามารถจ่ายไฟที่ 20% ของค่าพิกัดความจุและอัตราความจุคงเหลือในหัวข้อ 2) ขั้นตอนที่ 2 มีค่ามากกว่า 0%		
1.5	การทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริค (dielectric test)	7.2.5	เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60077-1 และ IEC 62497-1		

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003	เกณฑ์การยอมรับ (criteria)	ค่า (value)	ผลการทดสอบ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) (test results)
1.6	การทดสอบคายประจุด้วยตัวเอง (self-discharge test)	7.2.6	1) SOC มีค่าสูงกว่าค่าที่ระบุไว้หลังจากการทดสอบด้วยระยะเวลาที่ระบุไว้ หรือ 2) ระยะเวลามีค่ามากกว่าที่ระบุไว้ที่ SOC ลดลงตามที่ระบุไว้ หรือ 3) อัตราการคายประจุด้วยตัวเองที่ระบุไว้ในสมการมีค่าน้อยกว่าค่าที่ระบุไว้		
1.7	การทดสอบกระบวนการในการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ (operational balancing test)	7.2.7	ค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้และฟังก์ชันในการสมดุลเซลล์แบตเตอรี่ต้องทำงานในขณะใช้งานด้วยข้อมูลโหลด		
2	**การทดสอบทางกล (mechanical tests)**				
2.1	ลักษณะทางกายภาพ (physical appearance)	7.3.1	อยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขนาดที่ระบุไว้ในแบบของผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่		
2.2	การวัดน้ำหนัก (mass measurement)	7.3.2	เป็นไปตามค่าที่ระบุไว้ของผู้ผลิต		
2.3	การทดสอบการกระแทกและการสั่นสะเทือน (shock and vibration test)	7.3.3	เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61373		
2.4	การทดสอบระดับการป้องกัน (test of the degree of protection)	7.3.4	เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60529		
3	**การทดสอบความปลอดภัย (safety tests)**				
3.1	การทดสอบความปลอดภัยอ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 62619 (safety test according to IEC 62619)	7.4.1	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003	เกณฑ์การยอมรับ (criteria)	ค่า (value)	ผลการทดสอบ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) (test results)
	การทดสอบความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (product safety tests)	7.4.1.1	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	a) การทดสอบการลัดวงจรจากภายนอก (external short circuit test)	7.4.1.1 (1)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	b) การทดสอบการรับแรงกระแทก (impact test)	7.4.1.1 (2)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	c) การทดสอบการตก (drop test)	7.4.1.1 (3)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	d) การทดสอบความผิดพลาดทางความร้อน (thermal abuse test)	7.4.1.1 (4)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	e) การทดสอบการอัดประจุเกิน (overcharge test)	7.4.1.1 (5)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	f) การทดสอบการบังคับคายประจุ (forced discharge test)	7.4.1.1 (6)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	g) การทดสอบโดยคำนึงถึงการลัดวงจรภายใน (consideration for internal short circuit)	7.4.1.1 (7)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	– การทดสอบการลัดวงจรภายใน (internal short circuit test)	7.4.1.1 (7)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	– การทดสอบการแพร่กระจาย (propagation test)	7.4.1.1 (7)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	การทดสอบความปลอดภัยของฟังก์ชันการทำงาน (functional safety tests)	7.4.1.2	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	a) การควบคุมแรงดันไฟฟ้าเกิน (overcharge control of voltage)	7.4.1.2 (1)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
	b) การควบคุมกระแสไฟฟ้าเกิน (overcharge control of current)	7.4.1.2 (2)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		

เลขที่ (No.)	รายการทดสอบ (test item)	หัวข้อการทดสอบตาม สทร. EC-6003	เกณฑ์การยอมรับ (criteria)	ค่า (value)	ผลการทดสอบ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) (test results)
	c) การควบคุมความร้อนสูงเกิน (overheating control)	7.4.1.2 (3)	เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 62619		
3.2	การทดสอบพิเศษสำหรับใช้ในยานพาหนะ (special tests for rolling stock)	7.4.2	-		
	a) ป้ายความปลอดภัย (safety signs)	7.4.2.2	สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน ไม่ว่าจะอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตามที่ตกลงกันไว้แล้วหรือไม่		
	b) การทดสอบการลัดวงจรจากภายนอก (external short circuit test)	7.4.2.3	-		
	c) การทดสอบผสมผสาน (combined test)	7.4.2.3 (1)	อุปกรณ์หรือฟังก์ชันป้องกัน สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง		
	d) การทดสอบแยกส่วน (component test)	7.4.2.3 (2)	ฟังก์ชันหรืออุปกรณ์รักษาความปลอดภัยสามารถทำงานได้ถูกต้อง		
	e) ระบบการแยกออกจากกัน (isolation system)	7.4.2.4	แรงดันไฟฟ้าจะต้องไม่คงเหลืออยู่ในส่วนที่คาดหวังไว้		
	f) การป้องกันไฟ (fire protection)	7.4.2.5	ค่าที่ได้จากการตรวจวัดในหัวข้อ 7.4.2.1 (4) ถูกต้องหรือเป็นไปตามการตกลงกันระหว่างผู้รวมระบบกับผู้ผลิตระบบแบตเตอรี่		
	g) การทดสอบสภาพความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (test of electromagnetic compatibility)	7.4.2.6	ผ่านการทดสอบด้วยระดับการบูรณาการสูงสุด		

10.2 การสรุปผล

การสรุปผลจากการตรวจวัดคุณสมบัติของแบตเตอรี่จะทำการสรุปผลจากผลการทดสอบตามตารางที่ 2

10.3 เกณฑ์การยอมรับ

เกณฑ์การยอมรับสำหรับผลการกำหนดตรวจวัดคุณสมบัติของแบตเตอรี่ในหัวข้อต่าง ๆ ให้ใช้ตามเกณฑ์การยอมรับของหัวข้อการทดสอบนั้น ๆ

11. เอกสารอ้างอิง

11.1 International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 62928 Railway applications. Rolling stock - Onboard lithium-ion traction batteries.

11.2 International Electrotechnical Commission. (2012). IEC 60571 Railway applications - Rolling stock - Electronic equipment.

11.3 International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 62236-1 Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 1: General requirement.

11.4 International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 62236-2 Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world.

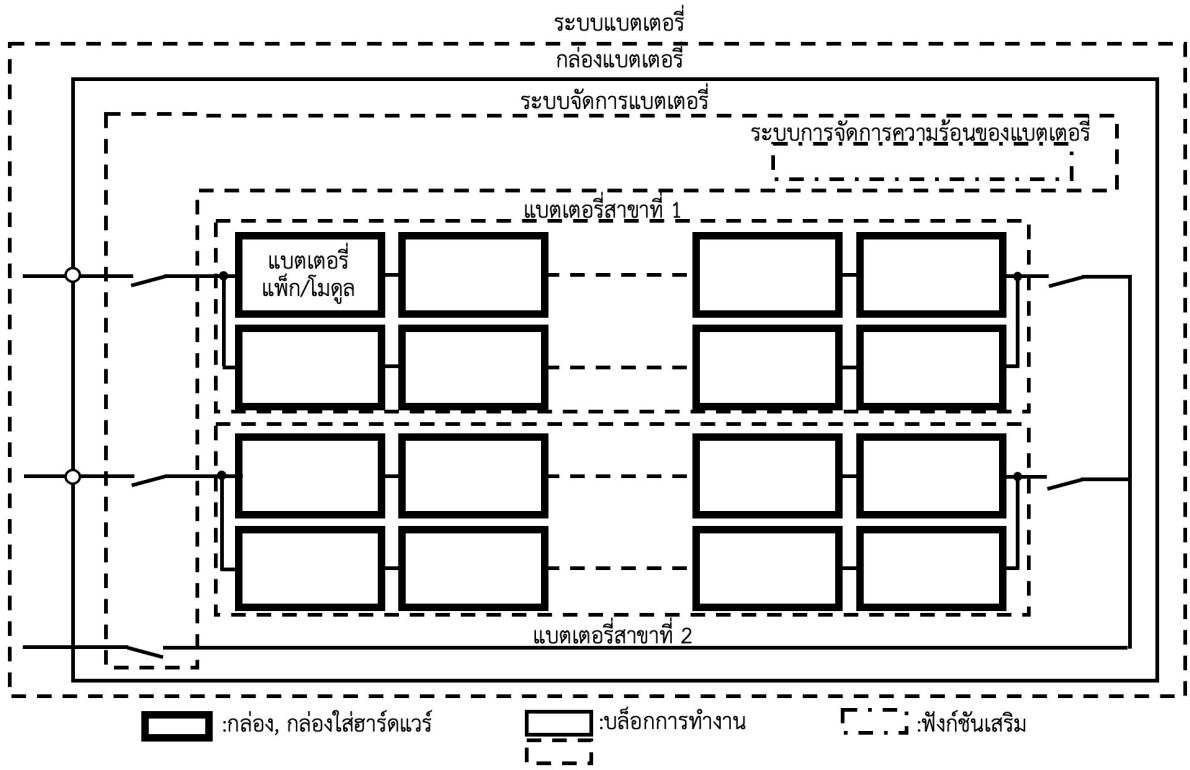
11.5 International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 62236-3-1 Railway applications -Electromagnetic compatibility - Part 3-1: Rolling stock - Train and complete vehicle.

11.6 International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 62236-4 Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 4: Emission and immunity of the signaling and telecommunications apparatus.

11.7 International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 62236-5 Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 5: Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus.

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างโครงแบบของระบบแบตเตอรี่

รูปที่ ก.1 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างตัวโครงแบบของระบบแบตเตอรี่สำหรับคอนแทกเตอร์ภายในกล่องแบตเตอรี่ โดยที่ระบบย่อยที่จำเป็นทั้งหมดจะถูกติดตั้งไว้ด้านในของกล่องแบตเตอรี่ หลักการทำงานจะเป็นไปตามฮาร์ดแวร์และ/หรือซอฟแวร์ สามารถดูตัวอย่างได้ที่รูปที่ ก.2 ถึงรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.1 ตัวอย่างโครงแบบสำหรับคอนแทกเตอร์ภายในกล่องแบตเตอรี่

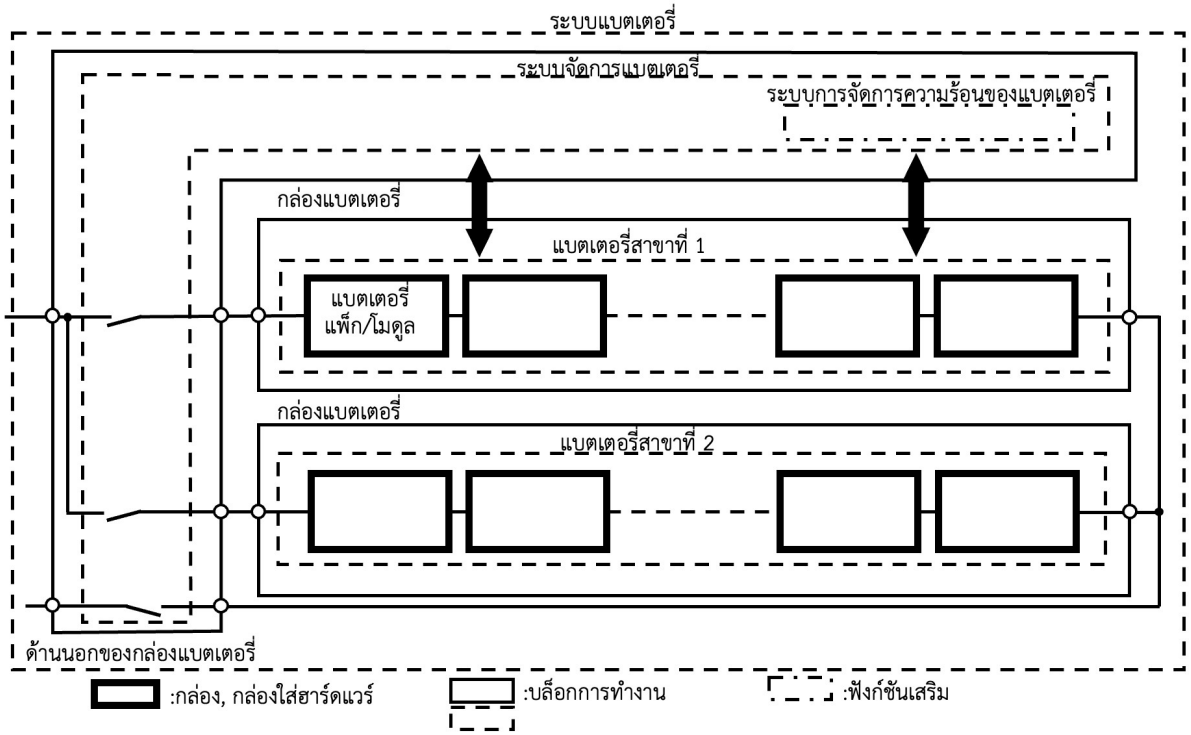
(ที่มา: ดัดแปลงจาก IEC 62928)

รูปที่ ก.2 แสดงถึงตัวอย่างโครงแบบของกล่องแบตเตอรี่ที่มีคอนแทคเตอร์อยู่ภายนอกของกล่องแบตเตอรี่

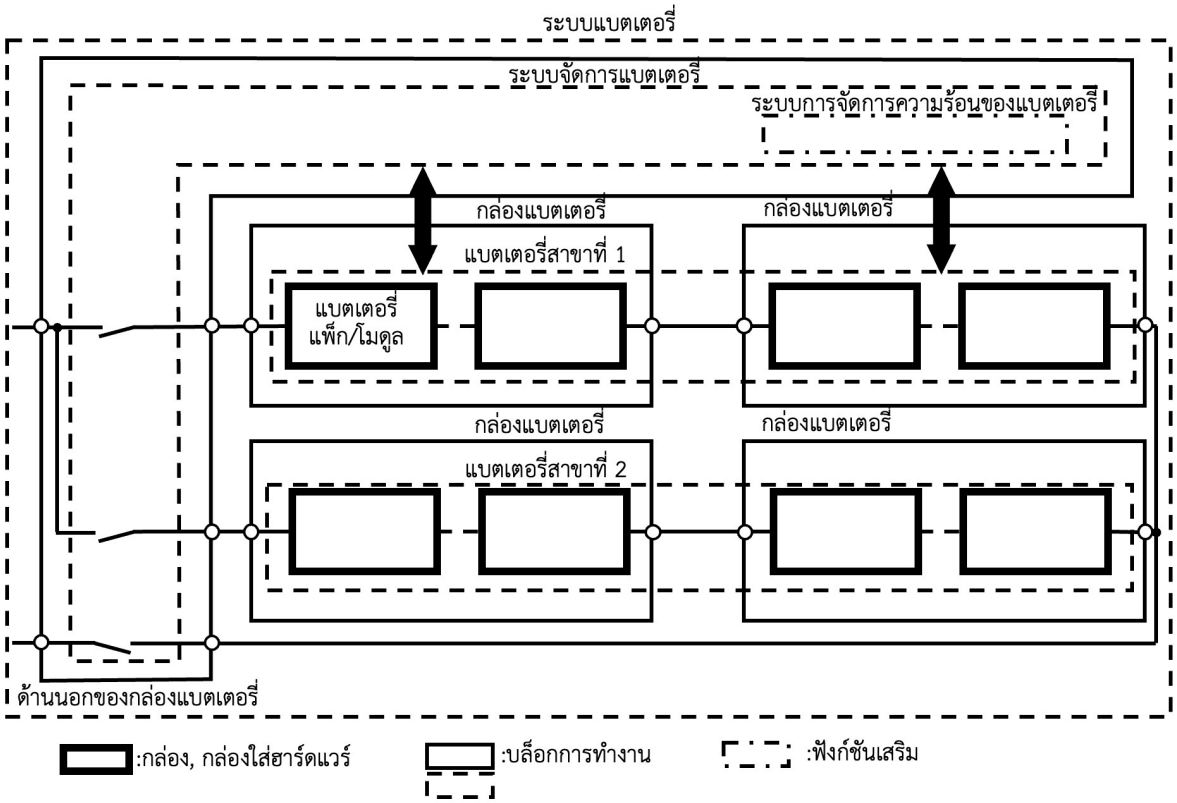
ก) โมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมถูกติดตั้งแยกกันคนละกล่อง

ข) โมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมที่สาขาของแบตเตอรี่ถูกติดตั้งภายในกล่องเดียว

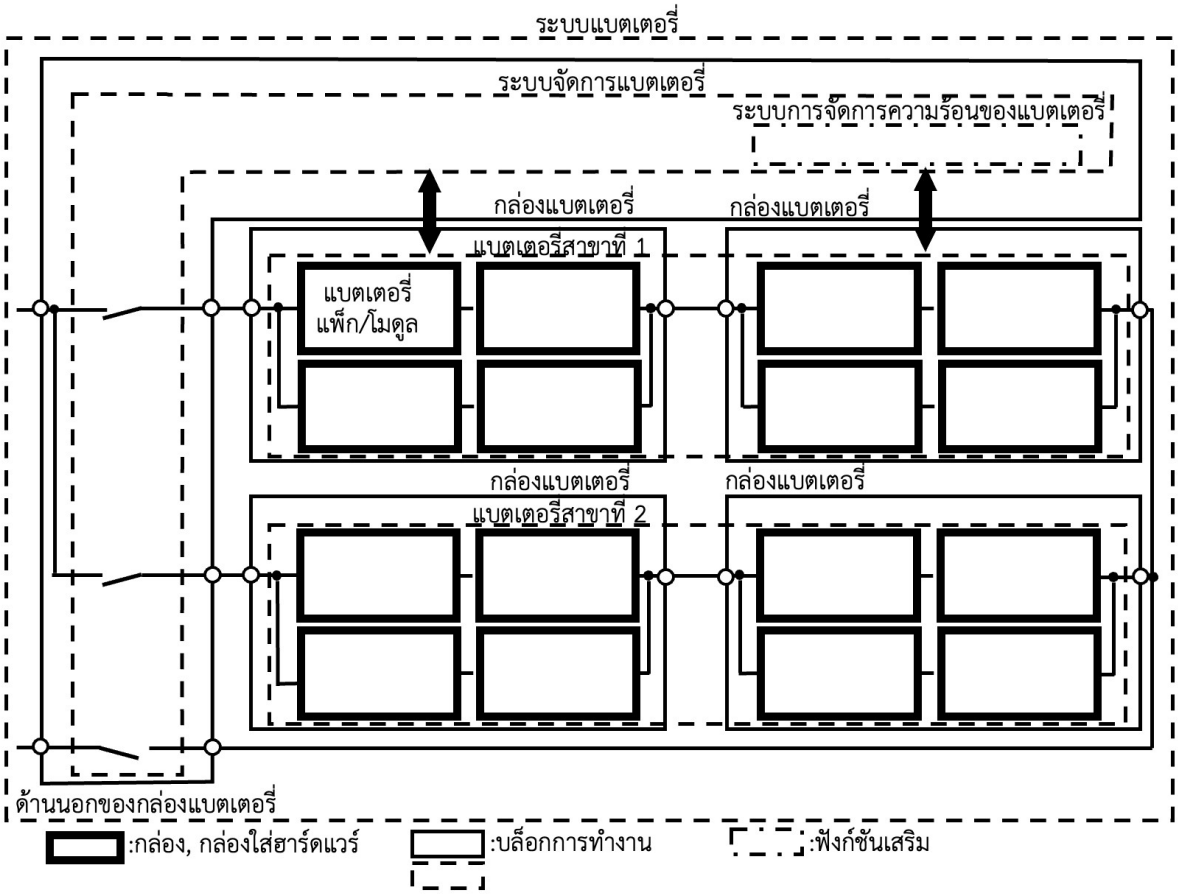
ค) โมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันแบบขนานกันที่สาขาของแบตเตอรี่ถูกติดตั้งแยกกันคนละกล่อง



ก) โมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมถูกติดตั้งแยกกันคนละกล่อง



ข) โมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันแบบอนุกรมที่สาขาของแบตเตอรี่ถูกติดตั้งภายในกล่องเดียว



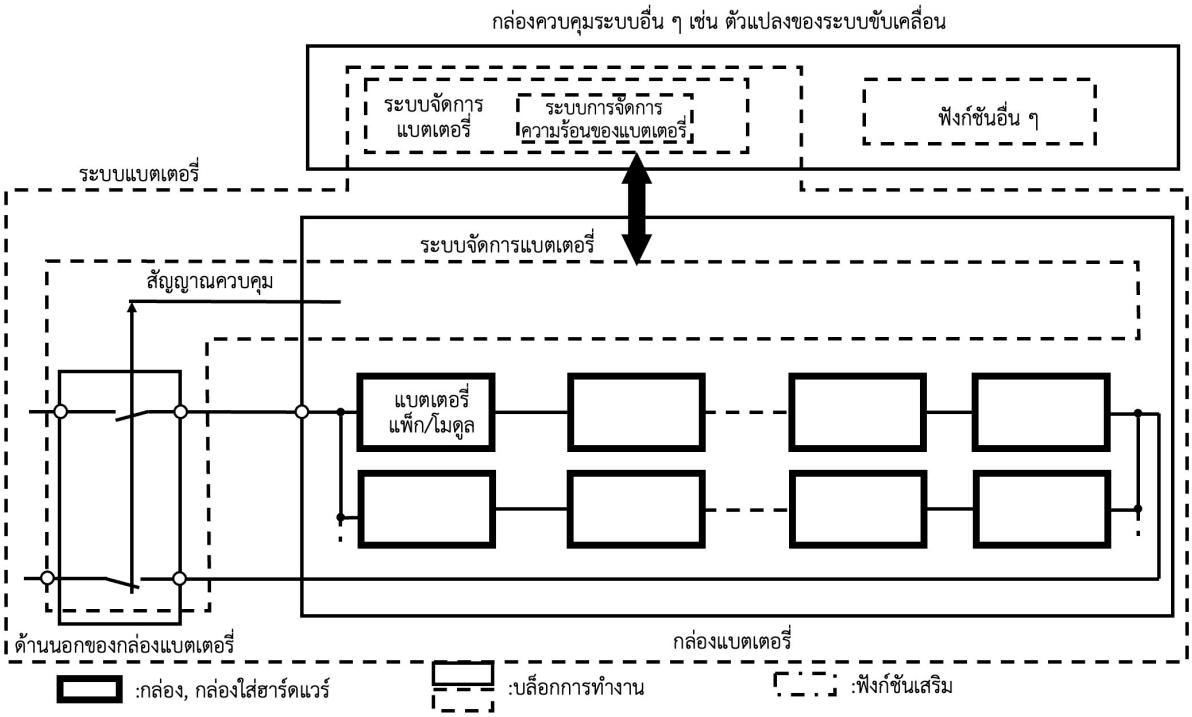
ค) โมดูลหรือแพ็กแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันแบบขนานกันที่สาขาของแบตเตอรี่ถูกติดตั้งแยกกันคนละกล่อง

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างโครงแบบของกล่องแบตเตอรี่ที่มีคอนแทกเตอร์อยู่ภายนอกของกล่องแบตเตอรี่

(ที่มา: ดัดแปลงจาก IEC 62928)

รูปที่ ก.3 แสดงตัวอย่างโครงแบบของกล่องแบตเตอรี่ที่มีระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่อยู่ภายนอกของกล่องแบตเตอรี่

<u>หมายเหตุ</u> ในกรณีที่การพาแบบธรรมชาติ (natural convection) นั้นเพียงพอไม่จำเป็นต้องมีระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่รวมอยู่ในระบบอื่นภายนอกของกล่องแบตเตอรี่

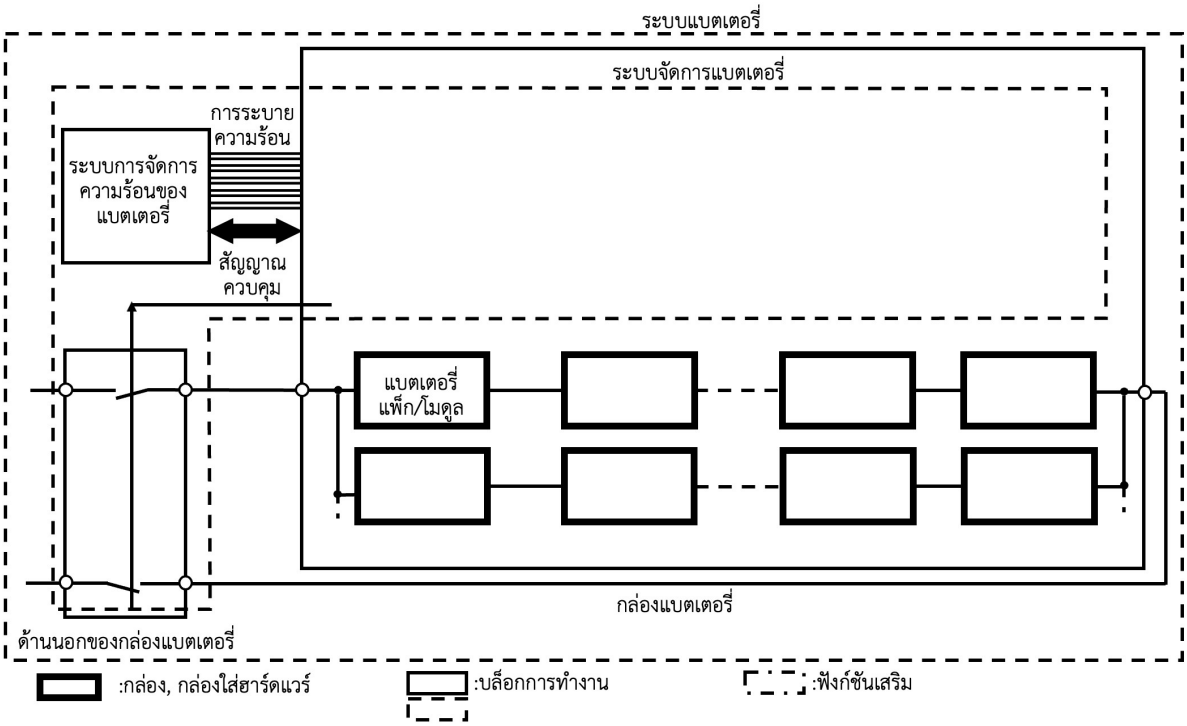


รูปที่ ก.3 ตัวอย่างโครงแบบของกล่องแบตเตอรี่ที่มีระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่อยู่ภายนอกกล่องแบตเตอรี่

(ที่มา: ดัดแปลงจาก IEC 62928)

รูปที่ ก.4 แสดงตัวอย่างโครงแบบของกล่องแบตเตอรี่ที่มีระบบจัดการแบตเตอรี่และระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่รวมอยู่ในระบบอื่นภายนอกของกล่องแบตเตอรี่

ในกรณีที่ชิ้นส่วนบางส่วนที่ใช้ในการทำงานของระบบจัดการแบตเตอรี่ถูกติดตั้งอยู่ในระบบอื่น เช่น ตัวแปลงของระบบขับเคลื่อน



รูปที่ ก.4 ตัวอย่างโครงแบบของกล่องแบตเตอรี่ที่มีระบบการจัดการแบตเตอรี่และระบบการจัดการความร้อนของแบตเตอรี่รวมอยู่ในระบบอื่นภายนอกของกล่องแบตเตอรี่

(ที่มา: ดัดแปลงจาก IEC 62928)

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างของขอบเขตตัวแปรเพิ่มเติมสำหรับรอบการทดสอบในการใช้งานด้วยกำลังไฟฟ้าสูง

ตัวอย่างของขอบเขตตัวแปรแสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างของขอบเขตตัวแปรเพิ่มเติมสำหรับรอบการทดสอบในการใช้งานด้วยกำลังไฟฟ้าสูง

รายการ	ขอบเขตตัวแปร
กระแสไฟฟ้าคายประจุ	2.0 I_t A ถึง 10.0 I_t A (เทียบเท่ากับ I_d)
เวลาที่ใช้ในการคายประจุ	delta SOC / I_d
กระแสไฟฟ้าอัดประจุ	2.0 I_t A ถึง 10.0 I_t A (เทียบเท่ากับ I_d)
เวลาที่ใช้ในการอัดประจุ	delta SOC / I_d
delta SOC	20 % ถึง 80 %
สถานะการอัดประจุ ณ จุดเริ่มต้น	50 % ถึง 95 %
จำนวนรอบ	2,000 ถึง 10,000
ระยะเวลาในการพัก (rest time)	20 s ถึง 60 s
ระยะเวลาในการพักในแต่ละวัน (daily rest time)	2 ชั่วโมง ถึง 8 ชั่วโมง
หมายเหตุ 1: delta SOE (state of energy) สามารถคำนวณได้โดยใช้ delta SOC และแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ สำหรับนิยามของคำว่าพลังงาน (energy) อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 62864-1, A.2.3 **หมายเหตุ** 2: “daily rest time” คิดโดยใช้อายุตามปฏิทิน (calendar ageing)	