



เทคโนโลยีแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า และการประยุกต์ใช้

EV Battery Technology and Applications

คำนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่ใช้ในหลากหลายงาน เช่น ในการขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า การจัดเก็บพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน หรือในอุปกรณ์พกพาที่ต้องการพลังงานสูงสุดในช่วงเวลาที่ยาวนาน การเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีแบตเตอรี่และการประยุกต์ใช้ได้เป็นสิ่งสำคัญที่จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมในอนาคต หนังสือเทคโนโลยีแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้เล่มนี้เป็นผลงานที่สร้างขึ้นจากการรวบรวมข้อมูลจากนักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญในวงการเทคโนโลยี โดยเน้นไปที่การสร้างความเข้าใจในพื้นฐานของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงการอธิบายกระบวนการทำงานและโครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน เช่น แบตเตอรี่ไอออนลิเทียม แบตเตอรี่โพลีเมอร์ลิเทียม และอื่น ๆ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะสามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิงที่เป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษา นักวิจัย ครู อาจารย์ผู้สอน ตลอดจนผู้ที่สนใจในเทคโนโลยีแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

ประกาศ พวงขึ้น

ธันวาคม 2566

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 การกำเนิดของยานยนต์ไฟฟ้า	1
1.1 ยานยนต์ไฟฟ้าคืออะไร	1
1.2 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า	5
1.3 การเปรียบเทียบยานยนต์ไฟฟ้ากับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน	12
1.4 โครงสร้างและส่วนประกอบรถยนต์ไฟฟ้า	14
บทสรุป	19
บทที่ 2 การพัฒนาแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	20
2.1 การพัฒนาแบตเตอรี่ไฟฟ้า	20
2.2 การพัฒนาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	31
2.3 การพัฒนาแบตเตอรี่ Metal-air	34
2.4 การพัฒนาแบตเตอรี่ Molten Salt	36
2.5 ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	38
บทสรุป	42
บทที่ 3 โครงสร้างและเทคโนโลยีแบตเตอรี่	44
3.1 เคมีพื้นฐานของแบตเตอรี่	44
3.2 แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	46
3.3 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	64
3.4 ขนาดพิกัดของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	73
บทสรุป	82
บทที่ 4 ระบบจัดการแบตเตอรี่	84
4.1 หน้าที่ของระบบจัดการแบตเตอรี่	85
4.2 การใช้ CAN-bus สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	92
4.3 การปรับสมดุลของเซลล์	103
4.4 ระบบควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่	107
บทสรุป	115
บทที่ 5 เทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่	117
5.1 การประมาณสถานะแบตเตอรี่	118
5.2 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่	124

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 เทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่ (ต่อ)	
5.3 การควบคุมการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	130
5.4 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	140
5.5 ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	150
5.6 การอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงชนิดเต็มเร็ว	162
บทสรุป	169
บรรณานุกรม	170
ภาคผนวก	

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	Thomas Parker กัปรถยนต์ไฟฟ้าของเขาทดลองใช้รถไฟฟ้าช่วง ค.ศ. 1830-1880 (a) และลักษณะของรถไฟฟ้าช่วงต้นศตวรรษที่ 20 (b)	2
1.2	ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าภาคพื้นดิน (Ground EV)	5
1.3	ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าระบบราง (Rail borne EV)	5
1.4	ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าอากาศยาน (Air borne EV)	6
1.5	ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าภาคพื้นน้ำ หรือทะเล (Sea borne EV)	6
1.6	การจำแนกประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า	7
1.7	การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าแบบ Micro Hybrid ขณะลดความเร็ว (Accelerator OFF) และขณะเร่งความเร็ว (Accelerator ON)	8
1.8	ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้า Mild Hybrid (MHEV)	9
1.9	ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้า Full Hybrid (FHEV)	9
1.10	ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)	10
1.11	ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV)	10
1.12	ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV)	11
1.13	แสดงหลักวิธีการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า	14
1.14	ส่วนประกอบหลักของยานยนต์ไฟฟ้าประเภท BEV	15
1.15	แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าชนิด HEV (a) และ BEV (b)	15
1.16	ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า	16
1.17	อินเวอร์เตอร์ (Inverter) สำหรับควบคุมกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้า	16
1.18	คอนโทรลเลอร์ (Controller) ยานยนต์ไฟฟ้าที่รวมอยู่กับชุดออนบอร์ดชาร์จ (OBC)	17
1.19	พอร์ทชาร์จสำหรับประจุอัดไฟแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า รองรับการประจุไฟแบบช้า (AC Charge) และการประจุแบบเร็ว (DC Charge)	18
1.20	ถังบรรจุน้ำมันเบรกและระบบเบรกกำลัง (Power Brake) ของยานยนต์ไฟฟ้า	19

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.1	ลักษณะรูปร่างแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน	21
2.2	โครงสร้างส่วนประกอบของอุลตราแบตเตอรี่	26
2.3	ลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดอุลตราเซลล์ชนิดไม่ต้องการบำรุงรักษาเติมน้ำ กลับ	26
2.4	ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	28
2.5	เปรียบเทียบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่าง	30
2.6	การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างแบตเตอรี่ที่ใช้ Zn-anode และ แบตเตอรี่ Zn-air	35
2.7	การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ	36
2.8	ปฏิกิริยาเคมีและโครงสร้างของแบตเตอรี่ ZEBRA	37
2.9	การพัฒนาแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ากับระยะทางที่เพิ่มขึ้น	40
3.1	แสดงปฏิกิริยาเคมีการไหลของอิเล็กตรอนขณะ Charge และ Discharge	44
3.2	แบตเตอรี่ที่ติดตั้งในยานยนต์ไฟฟ้า	46
3.3	กราฟอัตรา C การคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด	54
3.4	เปรียบเทียบความหนาแน่นพลังงาน (Energy Density) ของขนาดและ น้ำหนัก	56
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสการอัดประจุและอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่	60
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของเซลล์และอุณหภูมิของเซลล์	61
3.7	ความสัมพันธ์ด้านราคาสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมที่ปริมาณความจุเดียวกัน	63
3.8	แสดงตัวเลขที่กำกับอยู่ด้านหลัง IP	65
3.9	ช่องระบายน้ำออกที่ Socket	72
3.10	รูปทรงต่าง ๆ ของเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	73
3.11	แบตเตอรี่ลิเทียมแบบโมดูล	74
3.12	เซลล์โมดูลและแพ็คแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า	75
3.13	ระยะทางที่เดินทางตามพิกัดของแบตเตอรี่	76
3.14	ตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า Nissan LEAF	77
3.15	กราฟการคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่ Lithium-ion	77
3.16	นิสสัน LEAF Lithium-Ion Battery Pack	78
3.17	โมดูลตามพิกัดขนาดของแบตเตอรี่	78
3.18	ลักษณะเซลล์และโมดูลสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ใน Mitsubishi - MiEV	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.19	ตำแหน่งติดตั้งแพ็คแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า Mitsubishi	79
3.20	แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า MG ZS EV	80
3.21	ตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า MG ZS EV	80
3.22	แบตเตอรี่ Tesla Model S	81
3.23	ตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่ในตัวรถ Tesla Model S	81
4.1	ผังระบบจัดการแบตเตอรี่	85
4.2	อุปกรณ์ BMS ที่ติดตั้งกับแพ็คแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า BYD	87
4.3	การตรวจสอบการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่จากแพ็คแบตเตอรี่	88
4.4	ระบบควบคุมการทำงาน Distributed BMS	89
4.5	ตัวอย่าง Board ที่ใช้งานของ Distributed BMS	90
4.6	ระบบควบคุมการทำงาน Centralized BMS	90
4.7	ระบบควบคุมการทำงาน Semi- distributed	91
4.8	สถาปัตยกรรมของระบบการจัดการแบตเตอรี่	92
4.9	สถาปัตยกรรม Parallel Independent CAN Modules	93
4.10	สถาปัตยกรรม Parallel Modules with CAN gateway	94
4.11	สถาปัตยกรรม Single Monitoring Module with CAN Gateway	94
4.12	สถาปัตยกรรม Series Modules with CAN Gateway	95
4.13	การเชื่อมต่อของแพ็คแบตเตอรี่ 4 โมดูลเข้าด้วยกัน	95
4.14	โครงสร้างของระบบจัดการแบตเตอรี่แบบ Two individual CAN-bus	96
4.15	วงจรการเก็บข้อมูลขอแรงดันไฟฟ้า	98
4.16	แสดงวงจรเชื่อมต่อ DS18B20 กับ MCU	98
4.17	การประมาณค่าสถานะประจุโดยใช้วิธี Kalman filtering	100
4.18	หนึ่งในระบบจัดการแบตเตอรี่ของเทคโนโลยี AVID	101
4.19	วิธีการในการกำหนด SOC ของแบตเตอรี่ HEV	101
4.20	หน้าจอ Service Screen แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมด BMS	102
4.21	หน้าจอ Service Screen แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่อัดประจุไฟฟ้า ชนิดเติมเร็วจาก 16% ถึง 20%	102
4.22	การปรับสมดุลของเซลล์	103
4.23	โครงสร้างของวิธีการปรับสมดุลของเซลล์แบบต่าง ๆ	104

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.24	โครงสร้างทั่วไปของการปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟ	105
4.25	โครงสร้างแบบใหม่ของการปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟ	106
4.26	การเปรียบเทียบวิธีการปรับสมดุลของเซลล์	106
4.27	แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน	107
4.28	ระบบ TMS ของ Tesla ที่ใช้แผ่นเจลทำหน้าที่ระบายความร้อนหรือเพิ่มความร้อน	109
4.29	แผนภูมิระบบ TMS ของยานยนต์ไฟฟ้า	109
4.30	การติดตั้งโมดูลเซลล์ในแพ็คแบตเตอรี่ของ MG ZS EV	110
4.31	TMS (Thermal Management System) หรือระบบควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ของ MG ZS EV แสดงช่องทางของสารหล่อเย็นและวิธีการระบายความร้อน	110
4.32	แสดงระบบช่องทางสารทำความเย็นระบายความร้อน และ Thermal Plate เพิ่มอุณหภูมิแบตเตอรี่	111
4.33	การขุดท่อน้ำหล่อเย็นไปตามส่วนต่าง ๆ ของแบตเตอรี่เพื่อระบายความร้อน	112
4.34	PTC Heater เพิ่มอุณหภูมิแบตเตอรี่ ของ BYD Qin EV	113
4.35	ปั๊มไฟฟ้าน้ำยาทำความเย็นระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่	113
4.36	ท่อสารทำความเย็นระบบปรับอากาศต่อเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่ลดอุณหภูมิน้ำหรือสารทำความเย็นก่อนไหลเวียนไปที่แบตเตอรี่	114
4.37	วาล์วควบคุม 4 ทาง ควบคุมทิศทางการไหลเวียนของสารทำความเย็นจากระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมหรือลดอุณหภูมิน้ำหรือสารหล่อเย็นที่ไหลเวียนไปยังแบตเตอรี่	115
5.1	หลักการทำงานของการอัดประจุแบตเตอรี่แบบออนบอร์ด (On-board charger) และแบบกระแสตรงชนิดเติมเร็ว (DC fast charger)	118
5.2	แสดงการทำงานของการอัดประจุแบตเตอรี่และการคายประจุของแบตเตอรี่	119
5.3	แบบจำลองเทวินินของแบตเตอรี่	122
5.4	แสดงกระแสแบตเตอรี่และแรงดันไฟฟ้าของวิธีการอัดประจุแบบกระแส	128
5.5	กระแสและแรงดันไฟฟ้าของวิธีอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับ	129

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.6	การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดพิกัดกระแสไฟฟ้าคงที่ 1C	131
5.7	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสถานะประจุของการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C	132
5.8	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C	133
5.9	การอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่	133
5.10	การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนพิกัดกระแสไฟฟ้าคงที่ 1C	134
5.11	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่า SOC ของการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C	135
5.12	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C	135
5.13	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้า คงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C	136
5.14	การอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่	137
5.15	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่า SOC ของการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ กระแสไฟฟ้าคงที่	138
5.16	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่า SOC ของการคายประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่	139
5.17	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่	139
5.18	ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาการคายประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่	140
5.19	การอัดประจุไฟฟ้า Mode 1	142
5.20	การอัดประจุไฟฟ้า Mode 2	143
5.21	การอัดประจุไฟฟ้า Mode 3	144
5.22	การอัดประจุไฟฟ้า Mode 4	145

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
5.23	การเชื่อมต่อเต้าเสียบและเต้ารับยานยนต์ไฟฟ้าแบ่งตาม Case A, Case B, Case C	146
5.24	ลักษณะเต้าเสียบ Type 1	147
5.25	ลักษณะเต้าเสียบ Type 2	147
5.26	ลักษณะเต้าเสียบ Type 3	148
5.27	CHAdEMO แบบ Combo Type 1 และ Type 2	149
5.28	ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	151
5.29	วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)	152
5.30	วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งเฟส (1 Phase DC-DC Converter)	153
5.31	วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส (3 Phase DC-DC Converter)	153
5.32	ประเภทของวงจร AC-DC คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในการทำงานของระบบการอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	154
5.33	วงจรซีทูซีคอนเวอร์เตอร์	155
5.34	ประเภทของวงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทำงานของระบบการอัดประจุ สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	155
5.35	โครงสร้างของระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	156
5.36	วงจรฟูลบริดจ์ LLC คอนเวอร์เตอร์ (a) ระบบอัดประจุ EV / PHEV แบบทั่วไป (b)วงจร LLC DC-DC คอนเวอร์เตอร์สำหรับการอัดประจุ EV/PHEV	157
5.37	การอัดประจุของแพ็คแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 410V	158
5.38	วงจรเครื่องอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า	159
5.39	การอัดประจุของแพ็คแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน	159
5.40	ลักษณะออนบอร์ดชาร์จเจอร์ (OBCM) ที่รวมวงจรทำงาน DC-DC และ AC-DC อยู่ด้วยกัน	160
5.41	วงจรการอัดประจุแบตเตอรี่แบบออนบอร์ด	161
5.42	ผังการทำงานของการทำงานการอัดประจุแบบกระแสตรงชนิดเต็มเร็ว	163
5.43	บล็อกไดอะแกรมทั่วไปของสถานีอัดประจุแบบกระแสตรง	164
5.44	วงจรคอนเวอร์เตอร์ DC / DC แบบโมดูล	165
5.45	โครงสร้างของอัดประจุแบบกระแสตรงชนิดเต็มเร็ว 60 kW	165

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.46	กราฟของแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุของแบตเตอรี่ 320V 60Ah LiFePO4	166
5.47	Tesla รุ่น S85 (a) การอัดประจุ (b) SOC ของแบตเตอรี่และพลังงานใน การอัดประจุ	167

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบขับเคลื่อนของยานยนต์แต่ละประเภท	13
2.1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดและแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในรถยนต์ไฮบริดประเภทต่าง ๆ	23
2.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบ่งตามประเภทวัสดุที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด	29
2.3 คุณสมบัติเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ	39
3.1 อัตรา C เวลาการใช้งานเมื่ออัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ 1Ah (1,000mAh)	53
3.2 ข้อมูลจำเพาะของแบตเตอรี่ตามชนิดของเคมี	57
3.3 การเปรียบเทียบความหนาแน่นพลังงานสำหรับเซลล์ลิเธียมไอออนทั้ง 4 ประเภท	58
3.4 อุณหภูมิสำหรับการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อขาดประจุและเมื่อทำการอัดประจุ	59
3.5 ช่วงกระแสการทำงานสำหรับการคายประจุของแบตเตอรี่	62
3.6 การเปรียบเทียบจำนวนรอบการทำงานที่เป็นไปได้ก่อนที่ความจุมูลค่าลดลงถึง 80% ของความจุสูงสุดสำหรับเซลล์ LTO ,LFP ,NMC และ NCA	63
3.7 แสดงถึงความหมายของรหัส IP	65
3.8 รหัสตัวแรกแสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ (ของแข็ง) เล็ดรอดเข้าไปภายใน	66
3.9 รหัสตัวแรกแสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ(ของแข็ง)เล็ดเข้าไปภายใน	67
3.10 การป้องกันอื่นๆ	70
5.1 ประสิทธิภาพของการอัดประจุสำหรับแต่ละชนิดของแบตเตอรี่	125
5.2 การเปรียบเทียบวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า	130
5.3 มาตรฐานระบบประจุไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย	150
5.4 ข้อกำหนดที่สำคัญสำหรับการออกแบบวงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์	158
5.5 การอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าของ MG ZS EV	161
5.6 การอัดประจุทุกแบบของ MG ZS EV	162
5.7 พารามิเตอร์การออกแบบคอนเวอร์เตอร์สำหรับโมดูล 10 kW	166
5.8 ข้อกำหนดทางเทคนิคของอุปกรณ์อัดประจุแบบเร็วที่มีวางจำหน่ายทั่วไป	167

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
5.9	การอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าของ MG ZS EV แบบเร็ว	168
5.10	รายละเอียดทั้งหมดสำหรับการอัดประจุ MG ZS EV อย่างรวดเร็ว	168

บทที่ 1

การกำเนิดของยานยนต์ไฟฟ้า

1.1 ยานยนต์ไฟฟ้าคืออะไร

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) คือ ยานพาหนะที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าตั้งแต่หนึ่งตัวขึ้นไปในการขับเคลื่อน สามารถขับเคลื่อนโดยระบบสะสมพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกยานพาหนะ หรือสามารถขับเคลื่อนอัตโนมัติด้วยแบตเตอรี่ (บางครั้งชาร์จด้วยแผงโซลาร์เซลล์ หรือโดยการแปลงเชื้อเพลิงเป็นไฟฟ้า โดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ยานยนต์ไฟฟ้าตามความหมายระบุเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน หมายความว่า พาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า หรืออาศัยเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในมาใช้ร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้า ทั้งในส่วนของ การขับเคลื่อนและผลิตพลังงานไฟฟ้า เก็บสะสมในแบตเตอรี่ หรือเทคโนโลยีการใช้ก๊าซไฮโดรเจนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อมาเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน

ยานยนต์ไฟฟ้าไม่ได้จำกัดเพียงยานพาหนะบนถนนและรถไฟ และในวงกว้างยังสามารถรวมถึงเรือไฟฟ้า และเรือใต้น้ำ (เรือดำน้ำ และในทางเทคนิคแล้วยังมีเรือดำน้ำดีเซลและเทอร์โบไฟฟ้า) เครื่องบินไฟฟ้า และยานอวกาศไฟฟ้า ยานพาหนะบนท้องถนนที่ใช้ไฟฟ้า ได้แก่ รถยนต์นั่งไฟฟ้า รถโดยสารไฟฟ้า รถบรรทุกไฟฟ้า และพาหนะขนส่งส่วนบุคคล เช่น รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า รถสามล้อไฟฟ้า รถจักรยานไฟฟ้า รถจักรยานยนต์ไฟฟ้า รถสกูตเตอร์ไฟฟ้า หลายคนอาจเข้าใจว่ายานยนต์ไฟฟ้าเป็นรูปแบบพลังงานใหม่ที่เพิ่งถูกคิดค้นขึ้นมา เพราะกำลังจะกลายเป็นนวัตกรรมที่บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ทั่วโลกมีแผนการที่จะปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่กับรถยนต์เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยคาดการณ์ว่าจะเข้ามาแทนที่รถยนต์ที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงน้ำมันในเวลาอีกไม่กี่ปีนี้ แต่ทราบหรือไม่ว่าความจริงแล้วยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ถูกคิดค้นขึ้นมาในเวลาใกล้เคียงกับรถยนต์คันแรกของโลกเลยทีเดียว

ยานพาหนะไฟฟ้าในยุคแรกเกิดขึ้นครั้งแรกในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นช่วงที่การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่สองให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างกว้างขวาง การใช้ไฟฟ้าเป็นหนึ่งในวิธีการที่นิยมใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ เนื่องจากให้ระดับของความเงียบ ความสะดวกสบาย และความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินในสมัยนั้นไม่สามารถทำได้ แต่ก็ทำให้เกิดความวิตกกังวลเนื่องจากการจัดเก็บพลังงานที่มีข้อจำกัด เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ขณะนั้นขัดขวางการนำยานพาหนะไฟฟ้าส่วนตัวมาใช้อย่างที่แพร่หลาย ตลอดศตวรรษที่ 20 เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล) เป็นกลไกการขับเคลื่อนที่โดดเด่นสำหรับรถยนต์และรถบรรทุกมาประมาณ 100 ปี แต่การเคลื่อนที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ายังคงเป็นเรื่องธรรมดาในยานพาหนะประเภทอื่น เช่น ยานพาหนะขนส่งมวลชนที่ขับเคลื่อนด้วยสายไฟเหนือศีรษะ เช่น รถไฟฟ้า รถราง โมโนเรล และรถราง รวมถึงยานพาหนะส่วนบุคคลขนาดเล็กที่ความเร็วต่ำและใช้พลังงานแบตเตอรี่ระยะสั้น รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนเสริมสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เริ่มแพร่หลายมากขึ้นในช่วงปลายทศวรรษ 1990 รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดแบบเสียบปลั๊ก ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหลักแทนที่จะเป็นตัวเสริม แต่ยังไม่มีการผลิตขึ้นเป็นจำนวนมาก จนกระทั่งช่วงปี ค.ศ. 2000 รถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ก็ได้กลายเป็นตัวเลือกที่ได้รับความนิยมสำหรับตลาดผู้บริโภคจนกระทั่งปัจจุบัน



(a)



(b)

รูปที่ 1.1 Thomas Parker กับรถยนต์ไฟฟ้าของเขาทดลองใช้รถไฟฟ้าช่วง ค.ศ. 1830-1880 (a) และลักษณะของรถไฟฟ้าช่วงต้นศตวรรษที่ 20 (b)

รถยนต์ไฟฟ้าที่ผลิตจำนวนมากคันแรกปรากฏในอเมริกาในช่วงต้นทศวรรษ 1900 ในปี 1902 บริษัท Studebaker Automobile Company เข้าสู่ธุรกิจยานยนต์ด้วยรถยนต์ไฟฟ้า แม้ว่าจะเข้าสู่ตลาดรถยนต์ที่ใช้น้ำมันในปี 1904 ด้วยก็ตาม อย่างไรก็ตาม ด้วยการถือกำเนิดของรถยนต์สายการผลิตราคาถูกลงโดยบริษัท Ford Motor ความนิยมของรถยนต์ไฟฟ้าจึงลดลงอย่างมาก เนื่องจากขาดโครงข่ายไฟฟ้าและข้อจำกัดของการจัดเก็บแบตเตอรี่ในขณะนั้น รถยนต์ไฟฟ้าจึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก อย่างไรก็ตาม รถไฟฟ้าได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากความประหยัดและความเร็วที่ทำได้ เมื่อถึงศตวรรษที่ 20 การขนส่งทางรถไฟด้วยไฟฟ้ากลายเป็นเรื่องปกติเนื่องจากความก้าวหน้าในการพัฒนาตู้รถไฟไฟฟ้า เมื่อเวลาผ่านไปการใช้งานเชิงพาณิชย์ทั่วไปก็ลดบทบาทเป็นผู้เชี่ยวชาญ เช่น รถบรรทุก แพลตฟอรม์ รถยก รถพยาบาล รถลากจูง และยานพาหนะขนส่งในเมือง เช่น รถแท็กซี่ในโตเกียวของอังกฤษ ตลอดศตวรรษที่ 20 สหราชอาณาจักรเป็นผู้ขายยานพาหนะไฟฟ้าสำหรับใช้บนถนนรายใหญ่ที่สุดของโลก รถไฟที่ใช้ไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในการขนส่งถ่านหิน เนื่องจากมอเตอร์ไม่ได้ใช้ออกซิเจนอันมีค่าในเหมือง การขาดแคลนทรัพยากรฟอสซิลตามธรรมชาติของสวีตเซอร์แลนด์ ส่งผลให้เครือข่ายรถไฟของประเทศต้องใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว แบตเตอรี่แบบชาร์จได้ที่เก่าแก่ที่สุดชนิดหนึ่ง ได้แก่ แบตเตอรี่นิกเกิล-เหล็ก ได้รับความนิยมจาก Edison สำหรับการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้า EV เป็นหนึ่งในรถยนต์รุ่นแรกๆ และก่อนที่จะมีความโดดเด่นของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) ที่มีน้ำหนักเบาและทรงพลัง รถยนต์ไฟฟ้าได้บันทึกความเร็วและระยะทางของยานพาหนะจำนวนมากในช่วงต้นทศวรรษ 1900 ผลิตโดย Baker Electric, Columbia Electric, Detroit Electric และอื่นๆ และถึงจุดหนึ่งในประวัติศาสตร์มียอดขายมากกว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน ในปี 1900 รถยนต์ 28 เพอร์เซ็นต์บนท้องถนนในสหรัฐอเมริกาเป็นรถยนต์ไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้าได้รับความนิยมมากขนาดกระทั่งประธานาธิบดีวูดโรว์ วิลสันและสายลับของเขายังไปเที่ยววอชิงตัน ดี.ซี. ด้วยรถมิลเบิร์ต อิเล็กทริกส์ ซึ่งครอบคลุมระยะทาง 60–70 ไมล์ (100–110 กม.) ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง สถานีชาร์จในซีแอตเทิลแสดง AMC Gremlin ซึ่งได้รับการดัดแปลงให้ใช้พลังงานไฟฟ้า มีระยะประมาณ 50 ไมล์ (80 กม.) ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง ในปี 1973

ผู้ผลิตรถยนต์นั่งส่วนบุคคลส่วนใหญ่เลือกใช้รถยนต์ที่ใช้น้ำมันในช่วงทศวรรษแรกของศตวรรษที่ 20 แต่รถบรรทุกไฟฟ้าถือเป็นตลาดเฉพาะกลุ่มที่ได้รับการยอมรับในทศวรรษปี ค.ศ. 1920 การพัฒนาหลายประการส่งผลให้ความนิยมของรถยนต์ไฟฟ้าลดลง โครงสร้างพื้นฐานของถนนที่ได้รับการปรับปรุงจำเป็นต้องมีระยะทางที่ไกลกว่ารถยนต์ไฟฟ้า และการค้นพบปริมาณปิโตรเลียมสำรองขนาดใหญ่ในเท็กซัส โอคลาโฮมา และแคลิฟอร์เนีย ส่งผลให้มีน้ำมันเบนซินน้ำมันราคาไม่แพงในวงกว้าง ทำให้รถยนต์ที่

ใช้พลังงานสันดาปภายในมีราคาถูกลงในการใช้งาน รถยนต์ไฟฟ้าไม่ค่อยมีการวางตลาดเป็นรถยนต์
 หจก.สำหรับผู้หญิง ซึ่งอาจเป็นที่รังเกียจในหมู่ผู้บริโภคชาย นอกจากนี้ รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยการเผา
 ไหม้ภายในยังใช้งานง่ายขึ้นกว่าเดิมเนื่องจากการประดิษฐ์สตาร์ทไฟฟ้าโดยชาร์ลส เคตเตอร์ริงในปี พ.ศ.
 2455 ซึ่งขจัดความจำเป็นในการใช้มือหมุนในการสตาร์ทเครื่องยนต์เบนซิน และเสียงที่ปล่อยออกมา
 จากรถยนต์ ICE ทนทานมากขึ้นด้วยการใช้ท่อไอเสียซึ่ง Hiram Percy Maxim ได้ประดิษฐ์ขึ้นในปี
 1897 เนื่องจากมีการปรับปรุงถนนนอกเขตเมือง ระยะของรถยนต์ไฟฟ้าจึงไม่สามารถแข่งขันกับ ICE ได้
 ท้ายที่สุด การริเริ่มการผลิตรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินจำนวนมากโดยเฮนรี ฟอร์ดในปี พ.ศ. 2456 ช่วยลด
 ต้นทุนของรถยนต์น้ำมันลงได้อย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ไฟฟ้า ในช่วงทศวรรษที่ 1930
 National City Lines ซึ่งเป็นหุ้นส่วนของ General Motors, Firestone และ Standard Oil of
 California ได้ซื้อเครือข่ายรถรางไฟฟ้าจำนวนมากทั่วประเทศเพื่อรีโอและแทนที่ด้วยรถโดยสาร GM ห้าง
 หุ้นส่วนดังกล่าวถูกตัดสินว่ามีความผิดในข้อหาสมคบคิดที่จะผูกขาดการขายอุปกรณ์และวัสดุสิ้นเปลือง
 ให้กับบริษัทในเครือ แต่พ้นผิดจากการสมคบคิดที่จะผูกขาดการให้บริการขนส่ง การประชุมสุดยอด
 โคเปนเฮเกนซึ่งจัดขึ้นท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรุนแรงที่สังเกตได้ซึ่งเกิดจากการ
 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มนุษย์สร้างขึ้น จัดขึ้นในปี 2552 ในระหว่างการประชุมสุดยอด ประเทศต่างๆ
 มากกว่า 70 ประเทศได้พัฒนาแผนงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายสุทธิเป็นศูนย์ในที่สุด สำหรับหลายๆ
 ประเทศ การนำรถยนต์ไฟฟ้ามาใช้มากขึ้นจะช่วยลดการใช้น้ำมันเบนซินได้

สต็อกทั่วโลกของรถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) และรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV)
 เติบโตอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี 2010 ยอดขายรถยนต์ไฟฟ้าโดยสาร (EV) บ่งชี้ถึงแนวโน้มที่เลิกใช้
 รถยนต์ที่ใช้แก๊สในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 และต้นศตวรรษที่ 21 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของ
 โครงสร้างพื้นฐานการขนส่งที่ใช้ปิโตรเลียม ร่วมกับความกลัวว่าน้ำมันจะถึงจุดสูงสุด ได้นำไปสู่ความ
 สนใจในโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งด้วยไฟฟ้าอีกครั้ง EV แตกต่างจากรถยนต์ที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิง
 ฟอสซิลตรงที่ไฟฟ้าที่ใช้สามารถผลิตได้จากแหล่งต่างๆ มากมาย รวมถึงเชื้อเพลิงฟอสซิล พลังงาน
 นิวเคลียร์ และพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์

1.2 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้ามีหลายลักษณะรูปแบบขึ้นอยู่กับว่าจะผสมผสานการทำงานของชุดขับเคลื่อน หรือแหล่งเก็บกักพลังงานอื่น ๆ ด้วยหรือไม่ ซึ่งแหล่งกักเก็บพลังงานโดยทั่วไปก็คือแบตเตอรี่ หรือสามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์เก็บกักพลังงานชนิดอื่น อย่างเช่นซูเปอร์คาปาซิเตอร์ (Supercapacitor) โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนล้อเพียงอย่างเดียว แต่ยานยนต์ไฟฟ้าก็สามารถผสมผสานแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์และกำลังงานจากเครื่องยนต์ได้ด้วย

ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าแบ่งตามรูปแบบลักษณะเฉพาะได้ 4 ประเภทดังนี้

- 1.2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าภาคพื้นดิน (Ground EV)
- 1.2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าระบบราง (Rail borne EV)
- 1.2.3 ยานยนต์ไฟฟ้าอากาศยาน (Air borne EV)
- 1.2.4 ยานยนต์ไฟฟ้าภาคพื้นน้ำหรือทะเล (Sea borne EV)



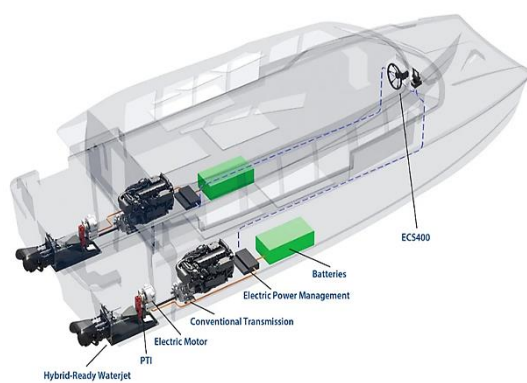
รูปที่ 1.2 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าภาคพื้นดิน (Ground EV)



รูปที่ 1.3 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าระบบราง (Rail borne EV)



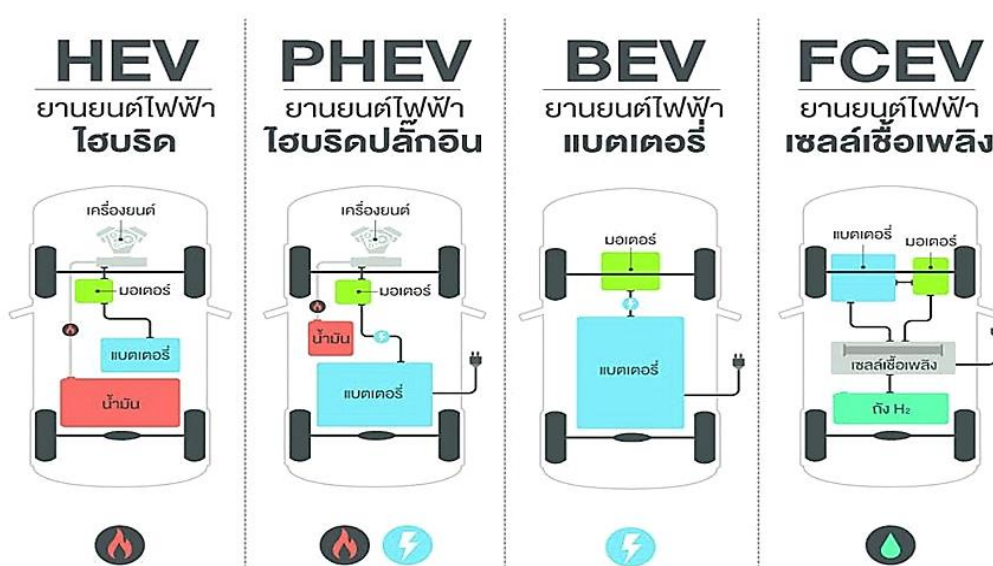
รูปที่ 1.4 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าอากาศยาน (Air borne EV)



รูปที่ 1.5 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าภาคพื้นน้ำ หรือทะเล (Sea borne EV)

สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าประเภท Ground EVs สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

- 1) ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสม หรือไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV)
- 2) ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)
- 3) ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV)
- 4) ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV)



รูปที่ 1.6 การจำแนกประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า

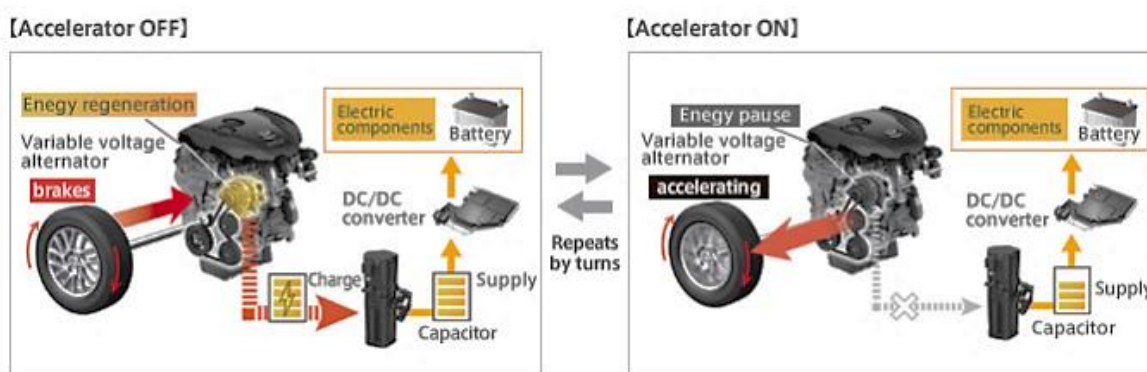
1.2.1 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสมหรือไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV)

ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์สันดาปภายในร่วมกับมอเตอร์ ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริดสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) Micro Hybrid (Start & Stop)

ลักษณะของยานยนต์ไฟฟ้าแบบ Micro Hybrid คือระบบหยุดการทำงานของเครื่องยนต์ชั่วคราวอัตโนมัติ หรือบางครั้งจะเรียกทับศัพท์ว่า Start- Stop System ระบบหยุดการทำงานของเครื่องยนต์ชั่วคราวถูกผสมผสานการทำงานแนวคิดของรถยนต์ไฮบริดบางส่วน เช่น การดับ

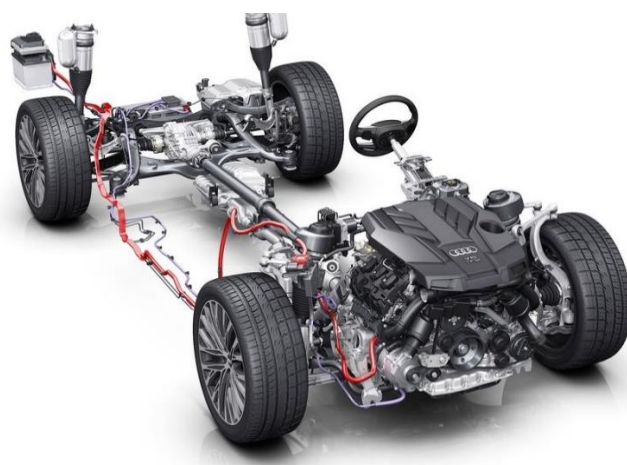
เครื่องยนต์ หรือสตาร์ทเครื่องยนต์อัตโนมัติ การเบรกแล้วชาร์จไฟกลับแบตเตอรี่ที่ผลิตขึ้นมาเป็นพิเศษ ยานยนต์แบบนี้ไม่ได้ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน ตัวอย่างรถยนต์ที่ใช้ระบบนี้ เช่น Mazda 2, Nissan Almera เป็นต้น



รูปที่ 1.7 การทำงานยานยนต์ไฟฟ้าแบบ Micro Hybrid ขณะลดความเร็ว (Accelerator OFF) และขณะเร่งความเร็ว (Accelerator ON)

2) Mild Hybrid (MHEV)

จะมีมอเตอร์และแบตเตอรี่มาช่วยการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ตัวมอเตอร์จะมีขนาดเล็ก และขนาดของแบตเตอรี่ประจุไฟฟ้าไม่ได้มาก มอเตอร์ไฟฟ้าจะทำหน้าที่ในการช่วยออกตัวและเสริมอัตราเร่งเป็นหลัก ดังนั้นเครื่องยนต์จะไม่ดับ ต้องทำงานอยู่ตลอดเวลา ระบบมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถช่วยลดการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงออกตัวและทำอัตราเร่งได้ระดับหนึ่งทำให้ช่วยลดการใช้น้ำมันได้บ้าง รถยนต์ที่ใช้ระบบนี้ เช่น Audi A8, Audi A6 เป็นต้น



รูปที่ 1.8 ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้า Mild Hybrid (MHEV)

3) Full Hybrid (FHEV)

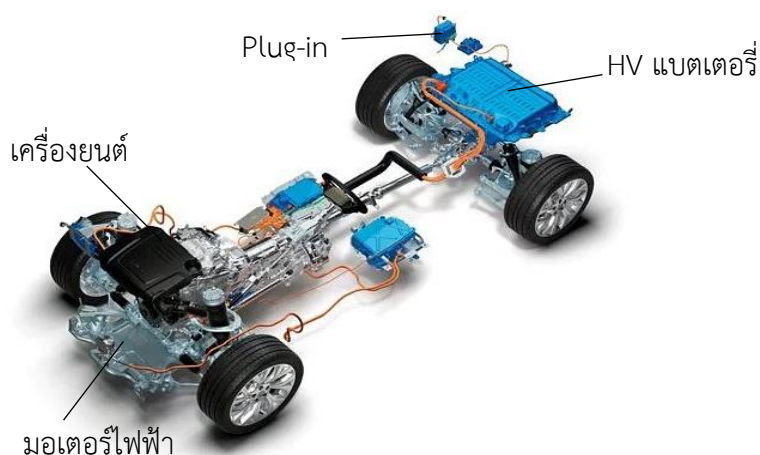
ยานยนต์ไฟฟ้า Full Hybrid ใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อนแต่จะมีมอเตอร์และแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่กว่าระบบ Mild Hybrid ซึ่งมอเตอร์จะทำหน้าที่ช่วยออกตัวด้วยระบบไฟฟ้าล้วน ก่อนที่เครื่องยนต์จะติดเพื่อทำหน้าที่ต่อ การขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าล้วนในช่วงความเร็วต่าง ๆ ช่วยทำงานพร้อมเครื่องยนต์ที่เราต้องการอัตราเร่งสูงขึ้น ทำให้ได้อัตราเร่งที่ดีมากขึ้น ยังช่วยลดการใช้น้ำมันในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้พอสมควร ขณะที่รถติด จอดหยุดนิ่ง ถ้ามีแบตเตอรี่มากพอเครื่องยนต์จะดับแล้วดึงไฟจากแบตเตอรี่มาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในรถ เช่น ระบบปรับอากาศ ไฟส่องสว่าง หรือระบบอำนวยความสะดวกอื่น ๆ จึงสามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ รถยนต์ที่ใช้ระบบนี้ เช่น Toyota Camry, Honda Accord เป็นต้น



รูปที่ 1.9 ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้า Full Hybrid (FHEV)

1.2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)

ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) เป็นยานยนต์ที่มีลักษณะชิ้นส่วนและการทำงานคล้ายกับยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด แต่มีการติดตั้งระบบการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เพิ่มเติม จึงทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริดสามารถขับขี่โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนได้ระยะทางมากกว่ายานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด แต่ก็มีราคาสูงกว่ายานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดเนื่องจากการเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่ที่ใหญ่ขึ้น



รูปที่ 1.10 ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV)

1.2.3 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV)

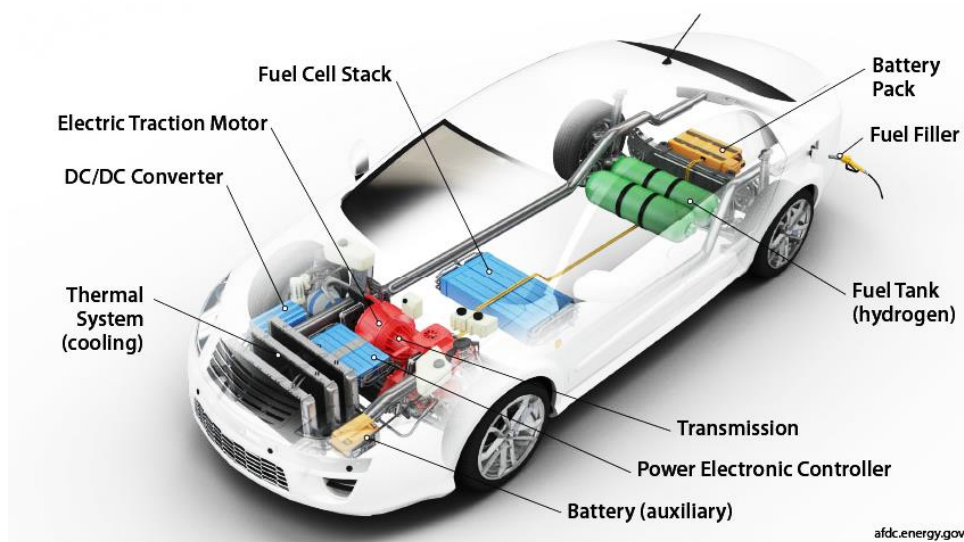
ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) เป็นยานยนต์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนแต่เพียงอย่างเดียว จึงทำให้ยานยนต์ชนิดนี้มีขนาดของแบตเตอรี่ที่ใหญ่กว่ายานยนต์ไฟฟ้าประเภทอื่น ซึ่งบางครั้งผู้ผลิตรายานยนต์ไฟฟ้าชนิดนี้บางรุ่นติดตั้งเครื่องยนต์ขนาดเล็กเพิ่มเติม เพื่อทำหน้าที่กำเนิดไฟฟ้าทำการประจุแบตเตอรี่ให้ระยะทางขับเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น (Extend Rang) เท่านั้นไม่ได้ใช้เพื่อส่งกำลังเสริมให้มอเตอร์



รูปที่ 1.11 ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV)

1.2.4 ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV)

ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์เป็นกำลังหลักในการขับเคลื่อนเหมือนกับยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ เพียงแต่แหล่งที่มาพลังงานไฟฟ้านั้นต่างกับชนิด HEV ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้า FCEV เก็บกักพลังงานให้อยู่ในรูปก๊าซไฮโดรเจนเมื่อยานยนต์ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนที่เซลล์เชื้อเพลิง ยานยนต์ไฟฟ้าชนิดนี้จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากระบบการทำงานจะปล่อยน้ำออกมาสู่บรรยากาศเท่านั้น



รูปที่ 1.12 ลักษณะโครงสร้างยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV)

1.3 การเปรียบเทียบยานยนต์ไฟฟ้ากับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างรถยนต์ไฟฟ้า (EV - Electric Vehicles) และรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงสันดาปภายใน (ICE - Internal Combustion Engine) มีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณา เนื่องจากทั้งสองระบบมีความแตกต่างในโครงสร้างและการทำงานของพลังงาน ต่อไปนี้คือการเปรียบเทียบยานยนต์ไฟฟ้ากับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน

1.3.1 ประสิทธิภาพพลังงาน

EV มักมีประสิทธิภาพสูงกว่าในการแปลงพลังงานจากแหล่งพลังงานหลัก เนื่องจากไม่มีขบวนการเผาไหม้และสูญเสียพลังงานในระบบ

ICE มีการสูญเสียพลังงานจากขบวนการเผาไหม้และการทำงานของระบบทางกลในเครื่องยนต์

1.3.2 ประสิทธิภาพที่เพิ่มต้นทุน

EV มักมีต้นทุนการดำเนินงานต่ำกว่าในระยะยาวเนื่องจาก EV มีชิ้นส่วนน้อยลงทำให้มีการบำรุงรักษาที่น้อยกว่า

ICE มีต้นทุนการดำเนินงานสูงขึ้นเนื่องจากการบำรุงรักษาและการซ่อมบำรุงส่วนประกอบเครื่องยนต์ที่ซับซ้อน

1.3.3 ประสิทธิภาพขณะใช้งาน

EV มักมีประสิทธิภาพที่ดีในการเร่งและให้แรงบิดจากมอเตอร์ได้รวดเร็ว เนื่องจากมีการส่งพลังงานได้เร็วทันใจ

ICE มีความสามารถในการให้แรงบิดสูง แต่ประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังที่ความซับซ้อนในการออกแบบติดตั้ง

1.3.4 ระยะทางที่เดินทางได้

EV มักมีระยะทางที่เดินทางได้ต่อการชาร์จที่พัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่ยังคงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

ICE มักมีระยะทางที่เดินทางได้ต่อการเติมน้ำมันที่มากกว่า EV

1.3.5 องค์ประกอบและน้ำหนัก

EV มักมีน้ำหนักที่น้อยกว่าเนื่องจากใช้โครงสร้างที่เบาและไม่ต้องการระบบทางกลที่ซับซ้อน รวมถึงระบบส่งกำลังก็มีส่วนประกอบที่ลดลง

ICE มักมีน้ำหนักที่สูงขึ้นเนื่องจากมีส่วนประกอบทางกลที่ซับซ้อน

1.3.6 ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

EV มีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ เนื่องจากการใช้งานไฟฟ้าที่สะอาด โดยเฉพาะมลภาวะทางอากาศและมลภาวะทางเสียง

ICE มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศในขณะที่เผาไหม้เชื้อเพลิง

การเปรียบเทียบระหว่าง EV กับ ICE ขึ้นอยู่กับความต้องการและลักษณะการใช้งานของผู้ใช้รถต่างกันในแต่ละสถานการณ์ และความสะดวกรวดสบายที่คนทุกคนต้องการจะเลือกใช้ ประสิทธิภาพการทำงานของ ICE มีประสิทธิภาพการแปรผันพลังงานที่ต่ำ โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินมีประสิทธิภาพประมาณ 30-37% และเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีประสิทธิภาพประมาณ 40% ในขณะที่มอเตอร์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงประมาณ 90% แบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ก็มีประสิทธิภาพที่สูงเช่นกันคืออยู่ที่ระดับ 90% ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของระบบจากแบตเตอรี่จนถึงเพลลาของมอเตอร์จะอยู่ที่ประมาณ 70% ซึ่งสูงกว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ ICE ยานยนต์ไฟฟ้า EV ต้องการอุปกรณ์สะสมพลังงานที่สามารถจ่ายกำลัง (power) และพลังงาน (energy) ที่สูงในขณะที่ต้องมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา นั่นคือ มีค่ากำลังและพลังงานต่อน้ำหนักหรือค่ากำลังจำเพาะและ พลังงานจำเพาะที่สูง (specific power and specific energy) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และต้องมีค่าความหนาแน่นของกำลังและพลังงานต่อปริมาตร (power density and energy density) ที่สูงด้วยเพื่อให้มีขนาดที่กะทัดรัดมีพื้นที่ห้องโดยสาร และพื้นที่เก็บสัมภาระมากขึ้น

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบขับเคลื่อนของยานยนต์แต่ละประเภท

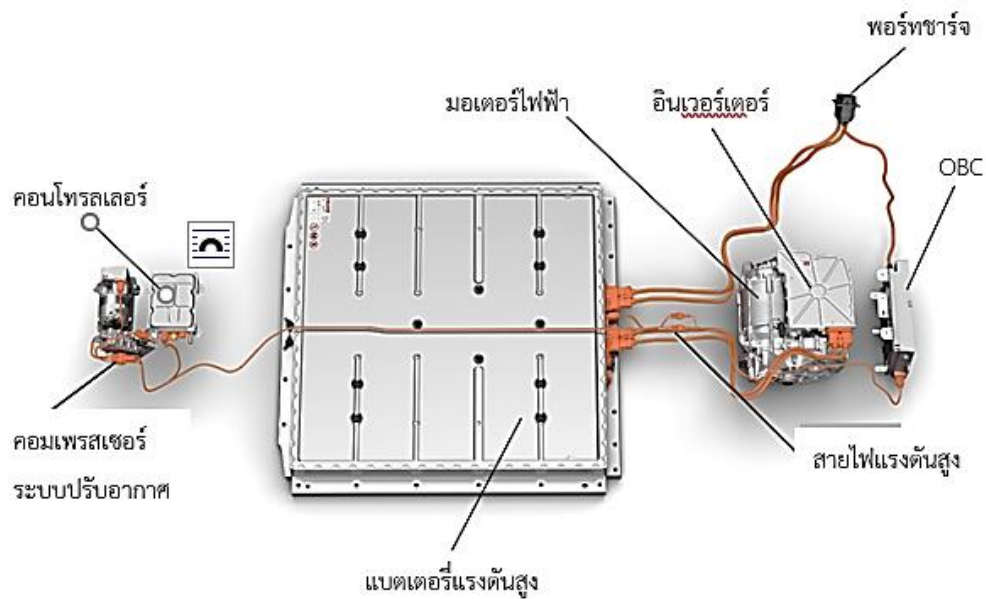
Fuel	Powertrain Efficiency (%)	Wheel-to-Wheel Efficiency (%)
Gasoline SI	17	14
Diesel CI	20	17
BEV	70	27
Gasoline Series HEV	25	21
Gasoline Parallel HEV	28	24
Hydrogen FCHEV	45	27

1.4 โครงสร้างและส่วนประกอบรถยนต์ไฟฟ้า

EV คือ รถยนต์ที่ใช้พลังงานจากไฟฟ้า 100% ภาษาอังกฤษเรียกว่า Electric Vehicle หรือเรียกสั้น ๆ ว่า EV เป็นรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเก็บอยู่ในแบตเตอรี่ และมีจุดเด่นในเรื่องการตอบสนองต่อการเร่งมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนของรถยนต์ EV สร้างแรงบิดได้ทันที ทำให้รถมีอัตราเร่งที่ดีเหนือกว่าเครื่องยนต์ แรงบิดของมอเตอร์นี้ เรียกว่า Instant torque หรือ แรงบิดฉับพลัน หมายถึง ลักษณะการตอบสนองของมอเตอร์ไฟฟ้า ที่สามารถสร้างแรงบิดสูงสุดได้ในทันทีที่เร่งการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า เริ่มต้นจากแบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งเก็บพลังงาน (ไฟฟ้ากระแสตรง) จ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยัง อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ ไฟฟ้าจะถูกแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และจ่ายต่อไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการขับเคลื่อน แรงบิดจากมอเตอร์จะส่งผ่านชุดรีดเกียร์เพลาขับและไปยังล้อ แสดงดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.13 แสดงหลักวิธีการทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า



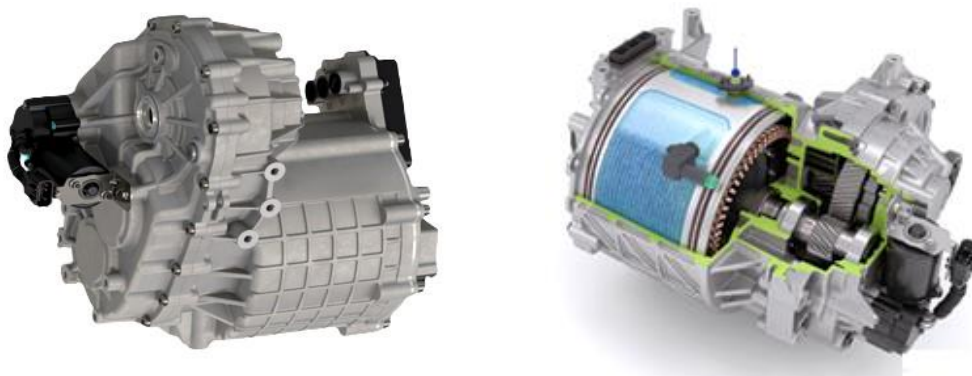
รูปที่ 1.14 ส่วนประกอบหลักของยานยนต์ไฟฟ้าประเภท BEV

1) แบตเตอรี่ (Battery) เป็นแหล่งจ่ายพลังงานที่สำคัญสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ใช้เก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้รถยนต์ทำงานได้ รวมถึงการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ



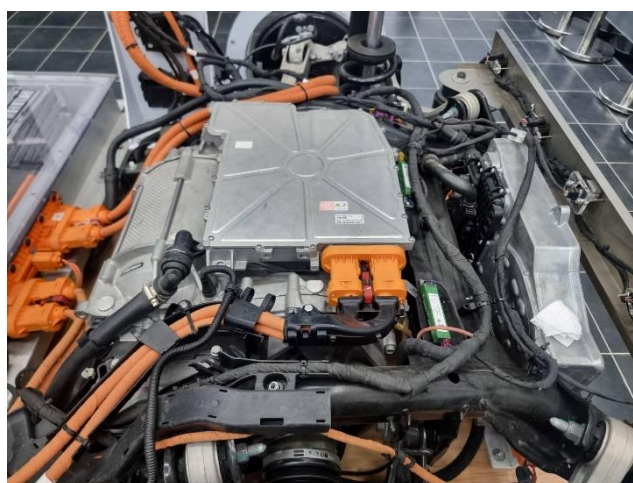
รูปที่ 1.15 แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าชนิด HEV (a) และ BEV (b)

2) **มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)** มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างพลังงานที่จำเป็นในการขับเคลื่อนล้อของรถ มอเตอร์ไฟฟ้าสร้างการหมุนของล้อด้วยพลังงานที่ได้จากแบตเตอรี่



รูปที่ 1.16 ลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า

3) **อินเวอร์เตอร์ (Inverter)** อินเวอร์เตอร์มีหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าแบบกระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่เป็นกระแสไฟฟ้าที่เป็นแบบกระแสสลับ (AC) ที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ตำแหน่งการติดตั้งของอินเวอร์เตอร์อาจแตกต่างกันไป



รูปที่ 1.17 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) สำหรับควบคุมกระแสไฟฟ้าขับเคลื่อนมอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้า

4) **คอนโทรลเลอร์ (Controller)** คอนโทรลเลอร์เป็นระบบควบคุมที่ใช้สั่งการ แบตเตอรี่และมอเตอร์ไฟฟ้า รวมถึงการควบคุมความเร็วและการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่



รูปที่ 1.18 คอนโทรลเลอร์ (Controller) ยานยนต์ไฟฟ้าที่รวมอยู่กับชุดออนบอร์ดชาร์จ (OBC)

5) **พอร์ทชาร์จของรถ (Port Charger)** คือ ช่องเสียบหัวชาร์จสำหรับชาร์จไฟฟ้าที่ ติดตั้งอยู่กับตัวรถ ใช้ในการประจุอัดไฟฟ้าแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อเติมพลังงานที่ถูกใช้ไป ในการขับเคลื่อนและระบบอื่น ๆ พอร์ทชาร์จที่ตัวรถจะมีทั้งสำหรับการการประจุไฟแบบช้า (AC Charge) และการประจุแบบเร็ว (DC Charge) พอร์ทชาร์จของรถอาจมีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน ตามมาตรฐานหัวเสียบชาร์จที่บริษัทผู้ผลิตรถเลือกใช้



รูปที่ 1.19 พอร์ทชาร์จสำหรับประจุอัดไฟแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า รองรับการประจุไฟแบบช้า (AC Charge) และการประจุแบบเร็ว (DC Charge)

6) ระบบเบรก (Braking System) รถยนต์ไฟฟ้ามักใช้ระบบเบรกที่เรียกว่าระบบเบรกรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Braking System) ซึ่งช่วยในการกักเก็บพลังงานที่เสียจากระบบเบรก และนำพลังงานที่รีเจนเนอเรทีฟนั้นมาเก็บไว้ในแบตเตอรี่แรงดันสูง



รูปที่ 1.20 ถังบรรจุน้ำมันเบรกและระบบเบรกกำลัง (Power Brake) ของยานยนต์ไฟฟ้า

7) โครงสร้างรถยนต์ (Fame and Body) รูปแบบของโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้ามักจะแตกต่างกันจากรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง เนื่องจากการต้องให้พื้นที่ในการติดตั้งแบตเตอรี่และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับระบบไฟฟ้าในรถ

8) ระบบควบคุมและเทคโนโลยีอื่น ๆ รถยนต์ไฟฟ้ายังมีระบบควบคุมและเทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น ระบบนำทาง (Navigation), การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Internet connectivity), ระบบความปลอดภัย (Safety systems) และคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าของรถ

บทสรุป

การพัฒนาขานยนต์ไฟฟ้าเกิดขึ้นในเวลาใกล้เคียงกับรถยนต์คันแรกของโลก แต่ขานยนต์ไฟฟ้ายังไม่ได้รับความนิยมในยุคแรก ๆ เนื่องจากข้อจำกัดในการกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ต่อมาการพัฒนาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ การประจูดไฟ รวมทั้งเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาอย่างต่อเนื่องทำให้ขานยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ และความยืดหยุ่นด้านการผลิตและใช้พลังงานที่ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม ด้านการใช้งาน ได้มีการเพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการขับขี่ นอกจากนี้ขานยนต์ไฟฟ้ายังมีจุดเด่นกว่าขานยนต์ชนิดที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังการขับเคลื่อน (Powertrain Efficiency) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และมีมลพิษต่ำ ชนิดของขานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ 4 ชนิด คือ 1) ขานยนต์ไฟฟ้าพลังงานผสมหรือไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV) 2) ขานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) 3) ขานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) 4) ขานยนต์ไฟฟ้าพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle: FCEV) ส่วนประกอบสำคัญของขานยนต์ไฟฟ้าที่ต้องมีเหมือนกัน ได้แก่ มอเตอร์ (Motor) แบตเตอรี่ (Battery) และคอนโทรลเลอร์ (Controller) การกำเนิดของขานยนต์ไฟฟ้าไม่เพียงแต่เป็นการเปลี่ยนแปลงในวิวัฒนาการของขานพาหนะเท่านั้น แต่ยังเป็นส่วนหนึ่งของพลวัตทั้งทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม การตอบสนองต่อความต้องการทางสิ่งแวดล้อมและความสะดวกสบายของผู้บริโภค

บทที่ 2

การพัฒนาแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

2.1 การพัฒนาแบตเตอรี่ไฟฟ้า

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ใช้หลักการทางเคมีในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า สำหรับจ่ายให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการใช้พลังงาน สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานจากแบตเตอรี่ก็คือมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ส่วนประกอบสำคัญของแบตเตอรี่ประกอบด้วยขั้วแบตเตอรี่ ซึ่งมีขั้วบวก (Cathode) และขั้วลบ (Anode) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ขณะใช้งานกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะไหลจากขั้วบวกผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นโหลด (Electric load) ไปสู่ขั้วลบ ลักษณะของแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าอาจแบ่งตามรูปร่างออกเป็นแบบทรงกระบอกและรูปร่างสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.1



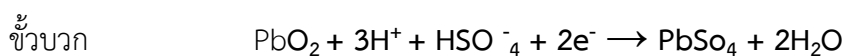
รูปที่ 2.1 ลักษณะรูปร่างแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

การพัฒนาแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนในปัจจุบันมาจากการพัฒนาแบตเตอรี่ 2 ประเภทหลักได้แก่แบตเตอรี่ตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีองค์ประกอบของตะกั่วที่มีพิษแต่มีราคาและ Self discharge rate (การประจุแบตเตอรี่จนเต็มและปล่อยไว้โดยไม่มีการต่อไปใช้งานจะมีการคายประจุในตัวเอง) ต่ำกว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ การพัฒนา

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดยังเป็นที่น่าสนใจ ส่วนแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีข้อดีที่สำคัญคือ ค่าความจุพลังงานจำเพาะสูง ทำให้แบตเตอรี่มีน้ำหนักเบา แต่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบทั่วไปที่ใช้สารอิเล็กโทรไลต์เหลวมีข้อเสียที่ต้นทุนยังสูงและยังอาจมีปัญหาเกี่ยวกับการระเบิดเมื่อมีอุณหภูมิสูง และเกิดการรั่วของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นจึงมีการออกแบบแบตเตอรี่ลิเทียมพอลิเมอร์ (Li-polymer battery) ที่ใช้พอลิเมอร์เป็นอิเล็กโทรไลต์แบบแข็ง (Solid electrolyte) แบตเตอรี่ประเภทนี้จะมีค่าพลังงานจำเพาะและกำลังจำเพาะเทียบเคียงกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเพราะใช้วัสดุอิเล็กโทรดประเภทเดียวกัน แต่มีข้อดีคือไม่เกิดการรั่วของอิเล็กโทรไลต์ทำให้โอกาสในการระเบิดต่ำกว่าและสามารถขึ้นรูปได้หลายรูปแบบรวมถึงในรูปทรงที่บางและมีน้ำหนักเบาเพราะไม่ใช่โลหะเป็นวัสดุหุ้มอิเล็กโทรด ข้อเสียของแบตเตอรี่ประเภทนี้คือมีต้นทุนที่สูงกว่า ความทนทานต่อการชาร์จประจุไฟเกินต่ำ และสามารถเสีรูปอันเนื่องมาจากความร้อนและความดันได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ยังมีจำนวนรอบการชาร์จต่ำกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบเดิม อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและแบตเตอรี่ลิเทียมพอลิเมอร์ใช้วัสดุอิเล็กโทรดแบบเดียวกัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าแบตเตอรี่ลิเทียมพอลิเมอร์เป็นประเภทหนึ่งของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน จึงจะเรียกรวมแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภทเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และเนื่องจากค่าพลังงานจำเพาะและกำลังจำเพาะของแบตเตอรี่ขึ้นกับวัสดุอิเล็กโทรด การพัฒนาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (รวมถึงแบตเตอรี่ลิเทียมพอลิเมอร์) เพื่อใช้งานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าจึงเน้นที่การพัฒนาวัสดุอิเล็กโทรดทั้งแคโทดและแอโนดซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

2.1.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีประวัติศาสตร์ยาวนาน เริ่มต้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1859 โดย Gaston Plante และได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 ในระหว่างนั้นวัสดุที่ใช้เป็นขั้วลบของแบตเตอรี่ประเภทนี้คือตะกั่วบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO) โดยใช้สารละลายกรดซัลฟูริกเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ในกระบวนการจ่ายประจุ มีปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นบนขั้วทั้งสองของแบตเตอรี่ ขั้วบวกจะเปลี่ยนตะกั่วบริสุทธิ์เป็นตะกั่วออกไซด์ (PbO) ในขณะที่ขั้วลบจะเปลี่ยนตะกั่วบริสุทธิ์เป็นตะกั่วลบ (Pb) กระบวนการนี้ทำให้เกิดการจ่ายประจุ



แบตเตอรี่ตะกั่วกรดได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากมีความเสถียรทางเทคนิคและราคาที่ถูก อย่างไรก็ตามมีการพัฒนาและค้นคว้าในด้านแบตเตอรี่ที่ยังดำเนินอยู่เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและลดปริมาณสารพิษที่ใช้ในแบตเตอรี่เพื่อสร้างรถยนต์ที่มีการใช้พลังงานที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในการผลิตขั้วอิเล็กโทรด วัสดุที่ใช้ไม่ได้เป็นเพียงตะกั่วหรือตะกั่วออกไซด์เท่านั้น แต่ได้มีการเพิ่มวัสดุอื่นเข้าไปเพื่อเพิ่มสมบัติทางกล การนำไฟฟ้าและการต้านทานการกัดกร่อน ตัวอย่างของวัสดุที่ใส่เข้าไปได้แก่ expander ที่ประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิกนิน และคาร์บอนแบล็ค วัสดุทั้งหมด (รวมตะกั่ว) อยู่ในรูปเนื้อเพส (paste) และถูกห่อหุ้มอยู่บนโครงกริด (electrode grids) ในกระบวนการขึ้นรูปโครงกริด โครงกริดจะถูกขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อ เนื่องจากตะกั่วเป็นวัสดุที่อ่อน จึงต้องผสมธาตุอื่นเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เช่น พลวง (antimony) แคลเซียม และดีบุก หน้าที่หลักของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดคือทำหน้าที่สตาร์ทรถ ให้แสงสว่างและจุดระเบิดเครื่องยนต์สำหรับยานยนต์ และเป็นแหล่งกำลังสำหรับรถโฟล์คคลิฟท์ รถกอล์ฟ รถไฟฟ้าขนาดเล็ก และเป็นแบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงาน ข้อได้เปรียบของแบตเตอรี่ประเภทนี้คือราคาถูกซึ่งยังไม่มีเทคโนโลยีใดจะมาแข่งขันด้านนี้ได้ ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนของยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดประเภทต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าการใช้แบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรดจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นอย่างมาก จากข้อได้เปรียบนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับการพยากรณ์ของ Frost & Sullivan ซึ่งพยากรณ์ว่าปริมาณการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องของยานยนต์ประเภท Micro Hybrid (stop-start technology) และ Mild Hybrid (เครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบสันดาปภายใน (internal combustion engine) เป็นหลักและใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวเสริม ทั้งนี้กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 10–20 kW จะมีปริมาณมากกว่ายานยนต์ Full Hybrid และ Plug-in Hybrid โดยในปี ค.ศ. 2015 สัดส่วนของยานยนต์ Micro Hybrid และ Mild Hybrid เมื่อเทียบกับจำนวนยานไฟฟ้าทั้งหมดจะอยู่ที่ 78 และ 6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนของ Full Hybrid และ PHEV อยู่ที่ 15 และ 1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งยานยนต์แบบ Micro Hybrid และ Mild Hybrid จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่น้อยกว่าประเภท Full Hybrid และ PHEV ดังนั้นในช่วงดังกล่าวจึงไม่มีความจำเป็นมากนักในการใช้แบตเตอรี่ที่มีค่าพลังงานจำเพาะสูง เช่น แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดและแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนใน
เครื่องยนต์ไฮบริดประเภทต่าง ๆ

Type	Fuel Savings	Basic ICE Vehicle Cost	HEV Premium Using Advanced Lead-acid Batteries	HEV Premium Using Li-ion Batteries
Micro-Hybrid	10%	\$18,000	\$750	\$1,167
Mild-Hybrid	20%	\$18,000	\$1,500	\$2,333
Full-Hybrid	40%	\$18,000	\$2,250	\$3,500
PHEV-10	55%	\$18,000	\$2,000	\$6,165
PHEV-40	100%	\$18,000	\$2,500	\$15,828

จากข้อดีที่กล่าวถึงข้างต้นการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดไปในยุคเริ่มแรกได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มสมรรถนะตั้งแต่การพัฒนาวัสดุในแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ เพิ่มพลวงเข้าไปในแผ่นธาตุบวก เพื่อเพิ่มจำนวนรอบในการเก็บและคายประจุจนถึงการพัฒนาโลหะผสมตะกั่ว-แคลเซียม ซึ่งช่วยลดปัญหาการออกซิเดชันที่ขั้วบวก ต่อมาได้มีการพัฒนาโลหะผสมตะกั่ว-พลวง-ซีเลเนียม (selenium) เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการเก็บและคายประจุไฟฟ้า และลดปัญหาการบำรุงรักษาด้วยการพัฒนาแบบ VRLA (Valve Regulated Lead Acid) ที่ลดการบำรุงรักษาโดยไม่ต้องเติมน้ำ แต่ก็ยังมีความจำเป็นต้องพัฒนา separator เพื่อป้องกันไม่ให้อิเล็กโตรไลต์เคลื่อนที่จากแผ่นธาตุหนึ่งไปยังอีกแผ่นธาตุหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาขึ้นมาเป็น Absorbed Glass Mat (AGM) หรือ Gel Type VLRA แบตเตอรี่เพื่อลดปัญหา PSOC (Partial State of Charge) หรือในภาษาไทยคือ "สถานะบางส่วนของปริมาณประจุ" นั่นคือเมื่อแบตเตอรี่ไม่ได้ถูกประจุเต็ม (full charge) หรือไม่ได้ใช้งานจนถึงระดับที่ต่ำที่สุด (full discharge) อย่างไรก็ตามปัญหา PSOC ก็ยังหลงเหลืออยู่ใน AGM- VRLA แต่การพัฒนายังไม่สมบูรณ์แบบที่สามารถให้พลังงานที่มากพอสมควรสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ทำให้ยังมีความจำเป็นต้องพัฒนาต่อเนื่องเพื่อให้แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเข้ามาใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าประเภท Micro Hybrid และ Mild Hybrid ที่ไม่ต้องการความจุพลังงานสูง แต่ต้องการพลังงานจากแบตเตอรี่ช่วยในการเดินระบบปรับอากาศขณะรถหยุดนิ่งและช่วยเสริมการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

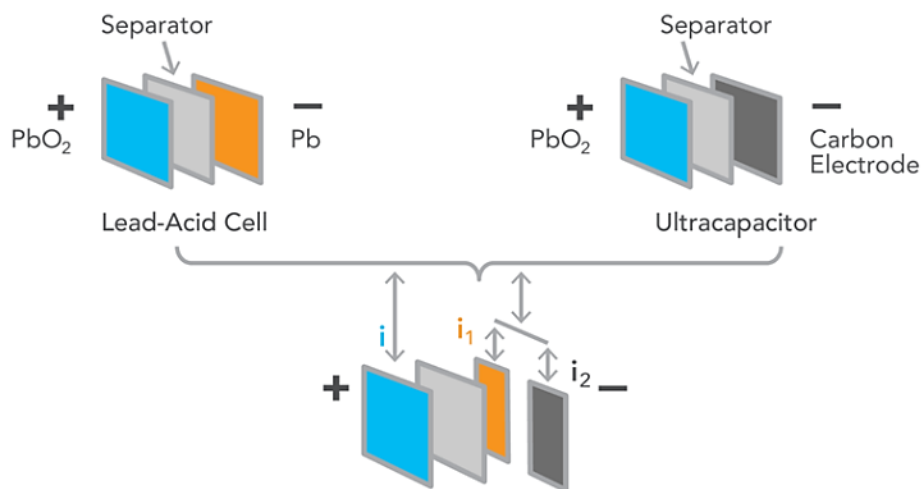
การพัฒนาแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ตะกั่วกรด Carbon Foam Technology เทคโนโลยีถูกวิจัยและพัฒนาโดยบริษัท Caterpillars ซึ่งเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์เครื่องจักรหนักรายใหญ่ของโลก บริษัท Caterpillar พบปัญหาในการใช้เครื่องจักรที่ต้องใช้ได้หลากหลายสิ่งแวดล้อมทั้งหนาวจัดถึงเย็นจัดรวมถึงสภาพที่มีแรงสั่นสะเทือนสูง ดังนั้นแบตเตอรี่ที่จะใช้กับเครื่องจักรจะต้องทนสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ นอกจากนี้แบตเตอรี่จะต้องเก็บประจุไว้ได้นานเมื่อไม่ใช้ บริษัท Caterpillar จึงเริ่มพัฒนาเทคโนโลยี Carbon foam ภายใต้โครงการ Firefly Technology การพัฒนาภายใต้โครงการนี้ในยุคเริ่มต้นใช้ carbon foam ซึ่งเป็นวัสดุผสมคาร์บอน-กราฟไฟต์ที่มีรูพรุนทำเป็นโครงกริดแทนโครงกริดตะกั่วแบบเดิมในแผ่นธาตุลบของ AGM-VRLA ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดซึ่งเป็นการเพิ่มผิวสัมผัส (interface) ระหว่าง active material กับอิเล็กโทรด ส่งผลให้ค่ากำลังจำเพาะสูงขึ้น (ค่ากำลังจำเพาะของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดทั่วไปอยู่ที่ 30–50 Wh/kg ซึ่งในทางทฤษฎีค่ากำลังจำเพาะเมื่อใช้ carbon foam อยู่ที่ 170 Wh/kg) นอกจากนี้คาร์บอนไม่เกิดการกัดกร่อนหรือปฏิกิริยาเคมีในระหว่างการใช้งาน (ต่างจากตะกั่วที่จะเกิดตะกั่วซัลเฟตบนชั้นอิเล็กโทรด) ส่งผลให้จำนวนรอบในการใช้งานสูงขึ้น ทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่โดยรวมนานขึ้น เทคโนโลยี carbon foam ยังทำให้แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่อุณหภูมิต่ำสูงขึ้น จากผลการทดสอบแบตเตอรี่พบว่ากำลังของแบตเตอรี่ที่ใช้เทคโนโลยี carbon Foam ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสมีค่า 67 เปอร์เซ็นต์ของกำลังที่อุณหภูมิปกติ (ambient temperature) ในขณะที่แบตเตอรี่ตะกั่วกรดทั่วไปกำลังจะลดลงเหลือเพียง 40 เปอร์เซ็นต์การพัฒนาแบตเตอรี่ต่อมาใช้วัสดุ carbon foam ทดแทนทั้งในแผ่นธาตุลบและแผ่นธาตุบวกทำให้ปริมาณตะกั่วที่ใช้ลดลงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้เพิ่มจำนวนรอบใช้งาน (จาก 200 รอบของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเดิมเป็น 800 รอบที่ค่าความจุ 80 เปอร์เซ็นต์ของความจุเริ่มต้น) เนื่องจากการกัดกร่อนและการเกิดตะกั่วซัลเฟตลดลง

นอกจากนี้ยังเพิ่มพลังงานจำเพาะ (สูงขึ้น 40–50 เปอร์เซ็นต์) และกำลังจำเพาะทำให้ขนาดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดลดลง ทั้งนี้ค่าพลังงานจำเพาะ กำลังงานจำเพาะ และจำนวนรอบใช้งานของแบตเตอรี่ที่ใช้เทคโนโลยีนี้มีค่าใกล้เคียงกับแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรายด์ และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แต่ยังมีราคาถูกใกล้เคียงแบตเตอรี่ตะกั่วกรดทั่วไป

2.1.2 อุลตราแบตเตอรี่ (Ultra battery)

อุลตราแบตเตอรี่ (Ultra Battery) เป็นนามแฝงที่ใช้เรียกแบตเตอรี่ที่ผสมกันระหว่างแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead Acid Battery) และแบตเตอรี่ไฟฟ้าไฮบริด (Electric Double-layer Capacitor - EDLC) หรือที่เรียกกันว่า “ซูเปอร์แคป” (Supercapacitor) เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดปัญหาบางประการของแบตเตอรี่ทั้งสองประเภท โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่ตะกั่วกรดมีข้อดีในเรื่องความจุพลังงานและความเหมาะสมกับการใช้ในรถยนต์ ส่วนแบตเตอรี่ไฟฟ้าไฮบริดหรือซูเปอร์แคปมีข้อดีในการรับ-ส่งพลังงานที่เร็วและการทนทานต่อการทดลองไฟฟ้า อุลตราแบตเตอรี่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อรวมคุณสมบัติทั้งสองแบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งในเรื่องของความจุพลังงาน การทนทานต่อการทดลองไฟฟ้าและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ อุลตราแบตเตอรี่มักถูกนำมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าหรือระบบพลังงานทดลองที่ต้องการการรับ-ส่งพลังงานที่รวดเร็ว และมีความยืดหยุ่นในการใช้งาน การใช้งานอุลตราแบตเตอรี่สามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด เช่น ปัญหาการกัดกร่อนช่วยในการดูดซับพลังงานที่เกิดจากการเบรคครด (regenerative braking) และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้มากขึ้น

แนวคิดของอุลตราแบตเตอรี่ หรือ Battery-supercapacitor hybrid เริ่มตั้งแต่เป็นแบตเตอรี่ที่ผสมผสานข้อเด่นของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและตัวเก็บประจุแบบยิ่งยวด (supercapacitor) เข้าด้วยกัน โดยแบตเตอรี่จะมีค่าพลังงานจำเพาะสูง ส่วนตัวเก็บประจุยิ่งยวดจะมีกำลังจำเพาะสูง โครงสร้างของอุลตราแบตเตอรี่ แสดงในรูปที่ 2.2 โดยแผ่นธาตุบวกเป็นตะกั่วออกไซด์ส่วนแผ่นธาตุลบเป็นตะกั่วและอิเล็กโทรดคาร์บอนตัวเก็บประจุจะเพิ่มกำลังและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เนื่องจากตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เป็น buffer ระหว่างการประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าสามารถทำให้อัตราการเก็บและคายประจุของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นได้อย่างมาก ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของอุลตราแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดพบว่าค่าความจุเพิ่มขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และอายุการใช้งานสูงกว่าถึง 3 เท่า และต้นทุนของอุลตราแบตเตอรี่จะประมาณ 20 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนและแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้อุลตราแบตเตอรี่สามารถสร้างเป็นแบบชนิดเปียกต้องเติมน้ำกลั่น VRLA (Valve Regulated Lead Acid) และแบบที่ไม่จำเป็นต้องเติมน้ำกลั่นจากภายนอก AMG (Absorbent Glass Material) ซึ่งทำให้ไม่ต้องบำรุงรักษาก็ได้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างส่วนประกอบของอุลตราแบตเตอรี่



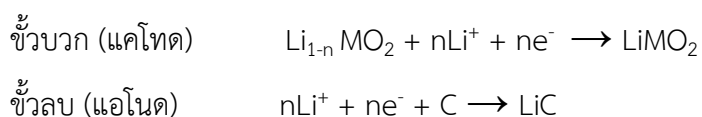
รูปที่ 2.3 ลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดอุลตราเซลล์ชนิดไม่ต้องการบำรุงรักษาเติมน้ำกลั่น

อุลตราแบตเตอรี่ได้ถูกนำมาทดสอบในเครื่องยนต์จริงโดยหลายบริษัทและองค์กร จากรายงานของ Furukawa Battery Co.,Ltd ซึ่งทำการทดสอบอุลตราแบตเตอรี่เปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ VRLA พบว่าศักยภาพไฟฟ้าของ อุลตราแบตเตอรี่สูงกว่าแบตเตอรี่ VRLA ถึง 12 เท่า (ประมาณ 145 โวลต์ และ 12.5 โวลต์ ตามลำดับ) และเมื่อทดสอบไปถึง 1,400,000 รอบ ค่าศักยภาพไฟฟาลดลงไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปทดสอบจริงกับรถยนต์ Honda Insight HEV ก็ สามารถขับได้ถึง 100,000 ไมล์ (160,000 กิโลเมตร) โดยที่ไม่ต้องประจุไฟฟ้าเพิ่ม สำหรับแบบ Flood Ultra battery เมื่อทดสอบกับเครื่องยนต์ EUCAR พบว่าจำนวนรอบสูงกว่าการใช้ Idling-stop vehicle เกือบ 2 เท่า Advanced Lead Acid Battery Consortium (ALABC) ได้ทดสอบ

เปรียบเทียบสมรรถนะของอุลตราแบตเตอรี่และแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรอกไซด์ ทดสอบในสภาวะขับขี่จริงโดยใช้รถยนต์ Honda insight พบว่าอัตราการบริโภคน้ำมันและอัตราการปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ประเภทไม่แตกต่างกัน แต่ยานยนต์ที่ใช้อุลตราแบตเตอรี่สามารถขับได้ถึง 100,000 ไมล์ (160,000 กิโลเมตร) ซึ่งมากกว่าเมื่อใช้แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮดรอกไซด์ ทิศทางและการพัฒนาแบตเตอรี่ตะกั่วกรดสามารถเข้าไปศึกษาข้อมูลและความก้าวหน้าเพิ่มเติมได้ที่เว็บไซต์ของ ALABC ที่ <http://www.alabc.org/> และ The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) ซึ่งเป็นหน่วยงานวิจัยของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีข้อมูลการพัฒนาอุลตราแบตเตอรี่เก็บรวบรวมไว้ที่ <http://www.csiro.au/>

2.1.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion battery) เป็นแบตเตอรี่ที่มีค่าพลังงานจำเพาะสูง โดยที่ลิเทียมมีน้ำหนักที่เบาซึ่งมีผลทำให้มีประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสมรรถนะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำขั้วแบตเตอรี่และกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประกอบด้วยขั้วบวกที่ทำจากลิเทียมเมทัลออกไซด์ (LiMO₂) และขั้วลบที่เป็นคาร์บอน รวมถึงสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็น LiPF₃ หรือสารละลายนอกจากนี้ยังมีสารละลายอื่นๆ ที่เป็นส่วนผสมของสารละลายที่มีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการคายประจุเป็นดังนี้



แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ที่มีจุดเด่นในเรื่องของความสามารถในการเก็บพลังงานได้มากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น อีกทั้งยังมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาทำให้สะดวกเวลาที่จะใช้งาน ซึ่งส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนหลัก ๆ แล้วจะมีอยู่ 4 ส่วนด้วยกัน คือ

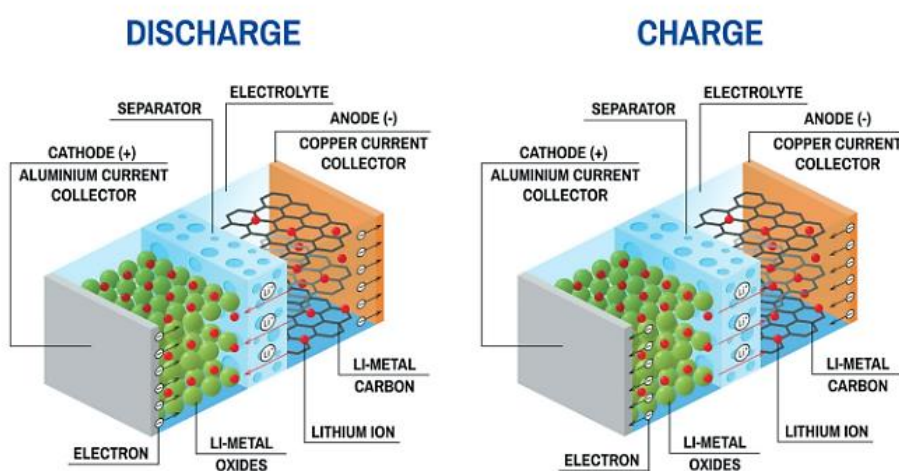
1) ขั้วไฟฟ้า จะประกอบไปด้วยขั้วแคโทด (Cathode) เป็นส่วนที่ไว้กักเก็บพลังงานขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ทำ และอีกส่วน คือ ขั้วแอโนด (Anode) ส่วนมากจะทำมาจากวัสดุประเภทคาร์บอน เช่น แกรไฟท์

2) แผ่นกั้น (Separator) เป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้ขั้วแคโทดสัมผัสกับขั้วแอโนด เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรได้

3) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นสารละลายเกลือของลิเทียมซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ยอมให้อิออนไหลผ่านแต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนไหลผ่านจึงเป็นตัวนำไอออนิกที่ดีแต่เป็นตัวนำอิเล็กตรอนิกส์ที่ไม่ดี

4) Current collector เป็นส่วนโลหะตัวนำที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนไหลผ่านออกสู่วงจรภายนอกและเกิดการนำพลังงานไฟฟ้าจนสามารถนำไปใช้ได้

LITHIUM-ION BATTERY



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

จากส่วนประกอบหลักนี้รวมถึงหลักการไฟฟ้าเคมีจะทำให้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทำงานโดยการไหลผ่านของอิเล็กตรอนไปสู่โลหะจนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในที่สุด หากแบตเตอรี่หมดต้องทำให้เกิดประจุไฟอีกครั้งก็จะสามารถใช้งานได้จนกว่าแบตเตอรี่จะเสื่อมสภาพหรือหมดอายุการใช้งาน

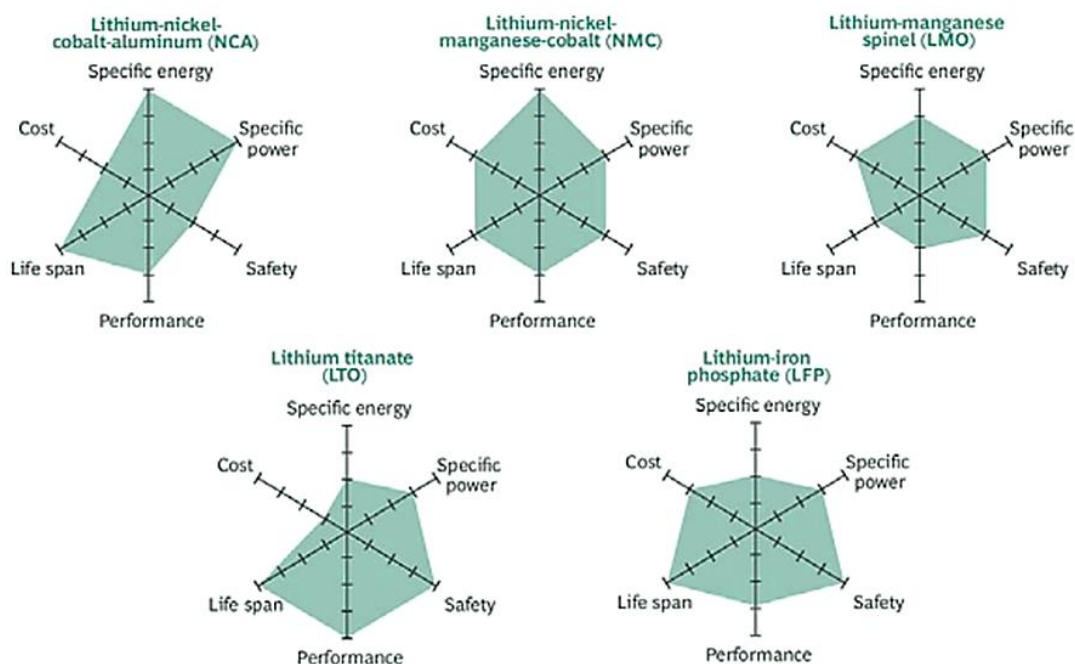
จากที่กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าสมรรถนะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขึ้นกับชนิดของวัสดุ การพัฒนาวัสดุสำหรับเป็นขั้วบวกของแบตเตอรี่เริ่มตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1972–1980 ซึ่งใช้วัสดุจำพวก Dichalcogenides เช่น LiTiS_2 LiAlLiVSe_2 และพัฒนาต่อมาเป็นวัสดุ Trichalcogenides เช่น Li_2NbSe_3 เป็นต้น แต่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนก็ยังไม่ถูกพัฒนาจนเป็นผลิตภัณฑ์ออกจำหน่ายได้ จนกระทั่งมีการพัฒนาขั้วอิเล็กโทรดจากออกไซด์ในช่วงปี ค.ศ. 1980 – 1990 โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นสารประกอบของโลหะลิเทียมออกไซด์ที่มีธาตุทรานสิชันเป็นองค์ประกอบ เช่นแมงกานีส โคบอลต์ โครเมียม เป็นต้น การพัฒนาวัสดุทำขั้วอิเล็กโทรดมีความก้าวหน้าเป็นลำดับจากออกไซด์แบบ interlayer เป็น ออกไซด์ที่มีโครงสร้าง spinel (LiMnO_2) จนกระทั่งสารประกอบออกไซด์ที่มีธาตุ

ทรานสิชั่นมากกว่า 1 ธาตุเป็นองค์ประกอบเช่น LiNiMnCoO₂ (NMC) หรือ LiNiMnAlO₃ จนกระทั่งมีการพัฒนาวัสดุลิเทียมฟอสเฟต เช่น LiFePO₄ ตัวอย่างคุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสรุปได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบ่งตามประเภทวัสดุที่ใช้ทำขั้วอิเล็กโทรด

ประเภทของวัสดุ ส่วนประกอบแบตเตอรี่	Nominal Volt limit	Charge V limit	Charge and Discharge C-rate	Specific Energy (Wh/kg)
LiCoO ₂	3.6	4.2	1C limit	110-190
LiMn ₂ O ₄	3.7-3.8	4.2	10C cont 40C pulse	110-120
LiNiMnCoO ₂	3.7	4.1	5C cont 30C pulse	95-130
LiFePO ₄	3.2-3.3	3.6	35C cont	95-140

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า LiCoO₂ ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากกำลังจำเพาะต่ำ (พิจารณาจากค่า C-rate) สำหรับแบตเตอรี่ประเภทอื่นต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นร่วมด้วย เช่น อายุการใช้งาน ความปลอดภัย รวมถึงด้านราคา บริษัท Cadex Electronics Inc. เป็นบริษัทที่มีความเชี่ยวชาญในด้านเทคโนโลยีและอุปกรณ์ทดสอบแบตเตอรี่ และบริษัท Boston Consulting Group ได้เปรียบเทียบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่าง ๆ ไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่าง

ส่วนด้านสมรรถนะ (performance) หมายถึง ความสามารถในการใช้แบตเตอรี่ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น หนาวจัดหรือร้อนจัด ด้านความปลอดภัยพิจารณาเรื่องความร้อนขณะใช้งาน และขณะ Over charge รวมไปถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ แล้ว LiFePO_4 และ LiNiMnCoO_2 เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีกำลังจำเพาะและอายุการใช้งานสูง ในขณะที่ราคาไม่สูงมากนัก ปัจจุบันนี้มีผู้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าหลายบริษัทซึ่งแบตเตอรี่ของแต่ละบริษัทมีสมรรถนะที่แตกต่างกันไป การพัฒนาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเพื่อให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้นจึงยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและเชิงพาณิชย์ วัสดุสำหรับทำขั้วแอโนดอีกประเภทหนึ่งคือดีบุก สารประกอบและวัสดุเชิงประกอบที่มีดีบุกเป็นองค์ประกอบ เช่น SnO_2 Sn-Sb Sn/C เป็นต้น ทั้งนี้ค่าความจุของแบตเตอรี่ที่ได้มีค่าตั้งแต่ 400 mAh/g (Sn/C) จนถึงประมาณ 600-700 mAh/g (Sn/C) ภายหลังการเก็บและคายประจุ 25-30 รอบ การพัฒนาวัสดุแอโนดจำพวกดีบุกลดน้อยลงไปเมื่อกราฟีน (graphene) ถูกค้นพบและสังเคราะห์ขึ้นในปี ค.ศ. 2004 กราฟีนเป็นรูปของคาร์บอนที่อะตอมคาร์บอนจับกันเป็นรวงแหแบบรังผึ้งใน 2 มิติ (two-dimensional carbon honeycomb lattice) เนื่องจากกราฟีนมีโครงสร้างเป็นคาร์บอนจัดตัวกันเป็นแผ่นทำให้มีช่องว่างมากส่งผลให้สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มความจุของไอออนลิเทียมระหว่างทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า รวมถึงสามารถเติมสารประกอบอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของแอโนดได้ นอกจากนี้

กราฟีนยังมีค่าการนำไฟฟ้าสูง ดังนั้นจึงมีนักวิจัยจำนวนมากสนใจนำกราฟีนมาใช้เป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน แนวทางการพัฒนาจึงมุ่งไปสู่การพัฒนาวัสดุที่จำพวกกราฟีนหรือวัสดุเชิงประกอบ (composite) ระหว่างกราฟีนกับออกไซด์ของโลหะ อีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาขั้วแอโนด นอกเหนือจากการเปลี่ยนชนิดของวัสดุ คือวิธีการเพิ่มความจุให้มากขึ้น โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรดด้วยนาโนเทคโนโลยี (Nano Technology)

2.2 การพัฒนาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.2.1 การพัฒนาขั้วแคโทด

การพัฒนาขั้วแคโทดในแบตเตอรี่ลิเทียมเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีลักษณะหลากหลาย โดยการค้นคว้าวัสดุใหม่และการปรับปรุงโครงสร้างเป็นแนวทางที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ นอกจากนี้การใช้ขั้วอิเล็กโทรดจากวัสดุเชิงประกอบ (composite) ยังเป็นที่น่าสนใจเพื่อเพิ่มสมรรถนะและความทนทานของแบตเตอรี่ ขั้วแคโทดในแบตเตอรี่เป็นขั้วที่มีบทบาทสำคัญในการเก็บและปล่อยพลังงานในรูปของไฟฟ้า ซึ่งมีความสำคัญมากในทั้งด้านประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ นี่คือนวัตกรรมที่มุ่งเน้นการพัฒนาขั้วแคโทดเป็นเรื่องสำคัญ

ประสิทธิภาพในการเก็บและปล่อยพลังงาน ขั้วแคโทดมีบทบาทในกระบวนการเก็บและปล่อยพลังงานที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ การพัฒนาขั้วแคโทดที่มีประสิทธิภาพสูงจะช่วยให้แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ดีมากขึ้นและมีประสิทธิภาพการเก็บพลังงานที่สูง.

ความปลอดภัย การพัฒนาขั้วแคโทดที่มีความปลอดภัยสูงเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากแบตเตอรี่มีภาวะที่มีความเสี่ยงในด้านความปลอดภัย ขั้วที่ออกแบบได้ดีจะช่วยลดความเสี่ยงของปัญหาต่าง ๆ เช่น การระเบิด การรั่วไฟฟ้า หรือการทำลายขั้วของแบตเตอรี่

อายุการใช้งาน การพัฒนาขั้วแคโทดที่มีความคงทนและทนทานต่อการใช้งานนาน ๆ มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ขั้วที่มีความสามารถในการรับ-ส่งไฟฟ้าได้ดีและทนทานต่อกระบวนการอัดประจุไฟ-การจ่ายกระแสไฟจะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ปรับปรุงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ การพัฒนาขั้วแคโทดที่ดีสามารถเป็นส่วนที่สำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยการเพิ่มความจุ ลดการสูญเสียพลังงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานทั่วไป

แนวทางที่ใช้ในการพัฒนาขั้วแคโทดมีดังนี้

1) **การใช้วัสดุเชิงประกอบ (Composite)** การผสมสารประกอบเข้ากับขั้วของอิเล็กโทรด เช่น การเติม LiFePO_4 ลงใน LIC002 เพื่อรักษาความสามารถในการเก็บประจุ (capacity)

retention) ระหว่างการประจุไฟฟ้า การนำเข้าสู่สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็น LiPF_6 หรือส่วนผสมของสารละลายเหล่านี้ เพื่อให้ได้สมรรถนะที่ดีในการเก็บและคายประจุไฟฟ้า

2) การใส่ขั้วอิเล็กโทรดแบบ spinel การใส่ขั้วอิเล็กโทรดแบบ spinel หมายถึง การนำสารอิเล็กโทรดแบบ spinel เข้าไปในโครงสร้างขั้วของแบตเตอรี่ Spinel เป็นประเภทหนึ่งของสารเคมีที่มีโครงสร้างการเรียงตำแหน่งของอะตอมในลักษณะที่ทำให้มีการนำไฟฟ้าได้ดี ในทางพฤติกรรมทางเคมี spinel มักจะมีสมบัติการนำไฟฟ้าได้และความเสถียรสูง ซึ่งทำให้เป็นวัสดุที่นิยมในการใช้ในขั้วของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และแบตเตอรี่ไอออน-พอลิเมอร์

3) การเพิ่มธาตุในขั้วแคโทด การเติมธาตุบางอย่างเข้าไปในขั้วแคโทด เช่น การเติมโครเมียมใน LiMn_2O_4 หรือการเติมอะลูมิเนียมเพียงเล็กน้อยใน LiCoO_2 หรือ LiFePO_4 เพื่อเพิ่มความสามารถของแบตเตอรี่ในการรักษาความจุการเก็บพลังงานไฟฟ้า การพัฒนาวัสดุขั้วแคโทดและโครงสร้างของแบตเตอรี่เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการรักษาความจุ (capacity retention) ของแบตเตอรี่

4) การเติมสังกะสีหรือเซอร์โคเนียม เพื่อเพิ่มความเสถียรให้กับโครงสร้างชั้น (interlayer) ของขั้วอิเล็กโทรด เช่นเดียวกับการเติมไทเทเนียมลงไปใน LiNiO_2 หรือ LiMn_2O_4

2.2.2 การพัฒนาขั้วแอโนด

ขั้วแอโนด (Anode) ในแบตเตอรี่เป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอนเมื่อแบตเตอรี่ทำงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการจ่ายและรับพลังงานของแบตเตอรี่ การพัฒนาขั้วแอโนดแบตเตอรี่มีความสำคัญเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Li-ion battery) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์พกพาต่าง ๆ หรือรถยนต์ไฟฟ้า ทิศทางการพัฒนาขั้วแอโนดที่พบ ณ ปัจจุบันมีอยู่ 2 แนวทางคือการเพิ่มพื้นที่ผิวและการใช้วัสดุกราฟีน (graphene) หรือวัสดุเชิงประกอบของกราฟีนกับธาตุอื่นเพื่อเพิ่มค่าความจุในส่วนของการเพิ่มพื้นที่ผิวของแอโนดนั้น ท่อนาโนคาร์บอนเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการใช้เป็นแอโนดนับตั้งแต่มีการค้นพบวัสดุนี้นี้เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง Casas และ Li ได้ทำการศึกษาและสรุปงานวิจัยการใช้ท่อนาโนคาร์บอนเป็นแอโนดในงานวิจัยที่ทำการทดลองแล้วพบว่า ท่อนาโนคาร์บอนช่วยเพิ่มค่าความจุของแบตเตอรี่นอกจากนี้ยังช่วยลดการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บและคายประจุในแต่ละรอบ นอกจากนี้การเติมซิลิกอนลงไปในท่อนาโนคาร์บอนยังช่วยเพิ่มสมรรถนะด้านค่าความจุให้สูงขึ้นอีก จากที่กล่าวว่าการกราฟีนมีโครงสร้างที่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาแอโนดเนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากสามารถเพิ่มความจุของไอออนลิเทียมระหว่างทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า และยังมีค่าการนำไฟฟ้าสูงดังนั้นจึงมีนักวิจัยจำนวนมากสนใจนำกราฟีนมาทดลองใช้เป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ตัวอย่างเช่น Sathish และคณะได้ทดสอบสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Graphene Nanosheet}$ (GNS) ด้วยวิธี Hydrothermal

เพื่อใช้เป็นขั้วแอโนดพบว่าค่าความจุของแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก (930 mAh/g ที่สัดส่วน Fe3O4:GNS 40:60 และเมื่อนำไปทดสอบการเก็บและคายประจุเทียบกับ GNS หรือ Fe3O4 เพียงอย่างเดียวพบว่าแอโนด Fe3O4:GNS มีความจุลดลงน้อยกว่า GNS หรือ Fe3O4 โดยเมื่อเก็บและคายประจุผ่านไปที่ 2 และ 50 รอบค่าความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้ Fe3O9.GNS GNS และ Fe3O3 อยู่ที่ 850-900 580 และ 1663 mAh/s(หลังรอบที่ 2) และ 675 323 และ 51 mAh/g (หลังรอบที่ 50) ตามลำดับ โดย Fe3O4/GNS มีค่าประสิทธิภาพความจุสูงถึง 97เปอร์เซ็นต์ภายหลังการเก็บและคายประจุ 50 รอบ ในเวลาไล่เลี่ยกัน Bhaska และคณะได้ทดลองสังเคราะห์ MoO/Graphene และทดสอบใช้เป็นขั้วแอโนดพบว่าค่าความจุในระหว่างเก็บและคายประจุอยู่ที่ 770 และ 540 mAh/ตามลำดับ และมีค่าประสิทธิภาพความจุสูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ภายหลังการเก็บและคายประจุ 1000 รอบ Zhao และคณะทดสอบเติมคาร์บอนลงในวัสดุประกอบ Li2SnO3/Graphene เพื่อใช้เป็นแอโนดพบว่าวัสดุประกอบนี้ ช่วยเพิ่มความสามารถในการเก็บประจุ (capacity retention) ทั้งนี้ค่าความจุของวัสดุนี้สูงถึง 763 mAh/ ภายหลังการเก็บและคายประจุด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 60 mA/g เป็นจำนวน 50รอบ และเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสเป็น 600 mA/g ค่าความจุยังคงสูงถึง 518.4 mAh/g จากตัวอย่าง การทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบของ MO2/Graphene สามารถเพิ่ม capacity retention และอายุการใช้งานดังนั้นจึงมีงานวิจัยพัฒนาวัสดุเชิงประกอบประเภทนี้จำนวนมากและเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

ซิลิกอนซึ่งเป็นธาตุหมู่ 4 เช่นเดียวกับคาร์บอนเป็นอีกวัสดุหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ทดสอบเป็นขั้วแอโนด ซิลิกอนถูกนำมาผสมกับคาร์บอนเป็นวัสดุเชิงประกอบ ในกรณี Si/C Bulk ที่มีซิลิกอนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักค่าความจุภายหลังจากคายประจุรอบแรกสูงถึง 1039 mAh/g และยังคงสูงถึง 794 mAh/g ภายหลังเก็บและคายประจุ 20 รอบ ต่อมามีการพัฒนา Si/C nanowire ทำให้ค่าความจุและการคงความเพิ่มสูงขึ้นอีก ทั้งนี้ค่าความจุภายหลังเก็บและคายประจุ 30 รอบด้วยอัตรา C1 สูงถึงประมาณ 2000 mAh/g โดย coulombic efficiency สูงถึง 98-99.5เปอร์เซ็นต์หลัง 50 รอบ เมื่อเปลี่ยนอัตราเก็บและคายประจุเป็น 1C ค่าความจุสูงถึง 800 mAh/g นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแอโนดจากซิลิกอนอีกจำนวนมากการพัฒนาแอโนดจากกราฟีนและซิลิกอนสามารถนำไปสู่เชิงพาณิชย์แล้วโดย California Lithium Battery Inc. และ Argonne National Laboratory ซึ่งได้พัฒนา GEN3 Li-ion battery โดยใช้ Graphene/Si เป็นแอโนด ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของทั้ง graphene และซิลิกอนเข้าด้วยกันทำให้อายุการใช้งานของอายุแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น 3 เท่าเทียบกับแอโนดที่ทำจากคาร์บอนและลดต้นทุนการผลิตลงไป 70 เปอร์เซ็นต์ วัสดุอีกประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นขั้วแอโนดคือ CoS2 นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยนานกิงทดลองใช้ CoS2 hollow sphere เป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนพบว่าค่าความจุระหว่างเก็บประจุ

ได้สูงถึง 900 mAh/g ในขณะที่ความจุระหว่างคายประจุ (discharge capacity) สูงถึง 1210 mAh/s นอกจากนี้ยังมีสมรรถนะการเก็บและคายประจุที่ดี จากการศึกษาการพัฒนาวัสดุสำหรับใช้เป็นแอโนดที่ผ่านมาจะเห็นว่า การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบเป็นแนวทางที่น่าสนใจเพราะสามารถนำข้อดีของวัสดุหลายประเภทมารวมกันทำให้เกิดวัสดุใหม่ที่มีสมบัติด้านเคมีไฟฟ้าที่สูงขึ้นกว่าวัสดุที่มีอยู่

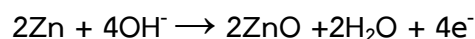
2.2.3 การพัฒนาสารละลายอิเล็กโทรไลต์

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ใช้กันทั่วไปคือสารละลายของเกลือ LiPF₆ ผสมกับตัวทำละลายคาร์บอนेट เช่น PC, EC, DMC, EMC, DEC เป็นต้น ทั้งนี้ส่วนผสมของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของผู้ผลิตแต่ละรายมีความแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามจนถึงวันนี้ยังไม่มีเกลือประเภทใดที่เหมาะสมไปกว่า LiPF₄ ซึ่งเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ยังสูงอยู่ การพัฒนาสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงมุ่งไปสู่สารนอกกลุ่มเกลือ ทั้งนี้สารละลายจำพวกโพลิเมอร์เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ ตัวอย่างของสารละลายโพลิเมอร์ที่มีการศึกษากันอยู่ ได้แก่ โพลิเมอร์เจลจำพวก PAN/PMMA โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์โบรอนเนต (LIOPAAB) เป็นต้น ทั้งนี้การพัฒนาสารละลายโพลิเมอร์เพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าและลดการสูญเสียความจุระหว่างใช้งานอย่างไรก็ดี ยังไม่มีการพัฒนาสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพลิเมอร์ในเชิงพาณิชย์การวิเคราะห์ต้นทุนและสมรรถนะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับใช้ในยานยนต์ไฟฟ้ารวมไปถึงอุปสรรคในการพัฒนาถูกศึกษาโดย Element Energy ในปี 2012 ซึ่งระบุว่า การพัฒนาเพื่อให้ได้กำลังจำเพาะและพลังงานจำเพาะได้รับการพัฒนาจนถึงเกือบถึงค่าสูงสุดที่ได้ทางทฤษฎีแล้ว ทิศทางในอนาคตคือการพัฒนาสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถทำให้แบตเตอรี่ทำงานที่ศักย์ไฟฟ้าและอุณหภูมิสูง

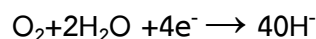
2.3 การพัฒนาแบตเตอรี่ Metal-air

แบตเตอรี่ Metal-air ถูกพัฒนามาอย่างยาวนานตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1960 เพราะในทางทฤษฎีแบตเตอรี่ประเภทนี้มีค่าความหนาแน่นพลังงานสูง ความพยายามในการพัฒนาแบตเตอรี่ Metal-air เพื่อใช้ในยานยนต์มีมาตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1979 ไม่ว่าจะเป็น Li-air Mg-air Al-air หรือ Zn-air แต่จนถึงปัจจุบันมีเพียงแบตเตอรี่ Zn-air เท่านั้นที่ได้รับการพัฒนาและทดสอบจริงกับยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับปฏิกิริยาซัลโฟเนตของแบตเตอรี่ Z-air ในระหว่างใช้งาน แสดงดังนี้ คือ

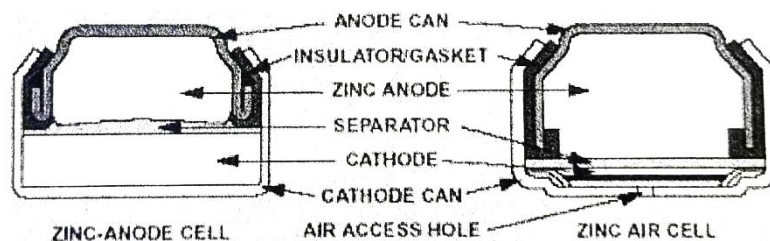
ขั้วลบ (แอโนด)



ขั้วบวก (แคโทด)

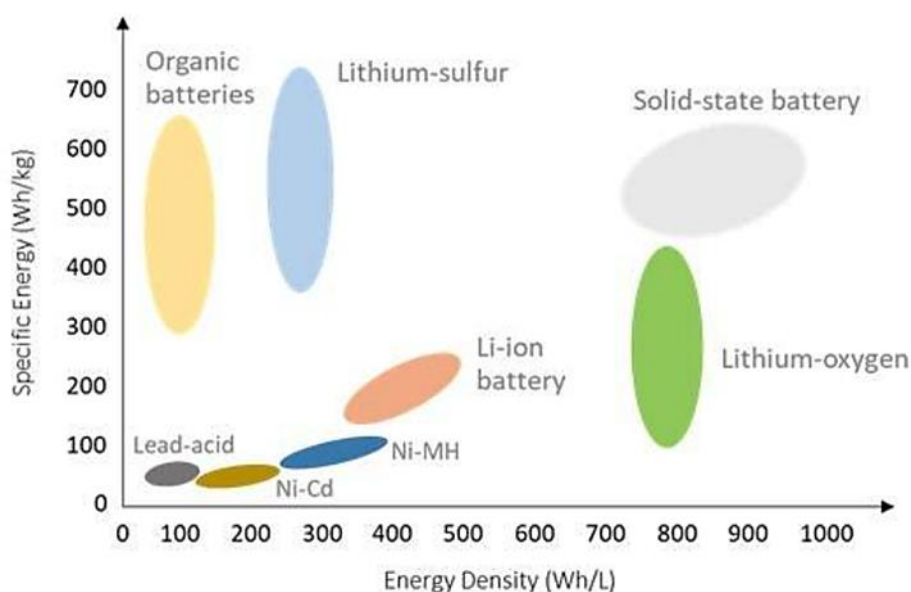


ในทางทฤษฎีแบตเตอรี่ Zn-air จะมีความหนาแน่นพลังงานสูงถึง 1,330 Wh/kg โครงสร้างของแบตเตอรี่ Zn-air แสดงดังรูปที่ 2.6 ในระหว่างการคายประจุสังกะสีที่แอโนดจะทำปฏิกิริยาเกิดออกไซด์ของสังกะสีและที่ขั้วแคโทด ออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไฮดรอกไซด์ เซลล์ประเภทนี้ต้องมีทางให้ออกซิเจนซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทดผ่านเข้ามาทำปฏิกิริยาระหว่างคายประจุ ทั้งนี้แบตเตอรี่ Zn-air ซึ่งพาณิชย์มีจำหน่ายแล้ว ตัวอย่างเช่น บริษัท Energizer และ Duracell โดยแบตเตอรี่ Zn-air ของบริษัท Energizer มีค่าความหนาแน่นพลังงานอยู่ที่ 890 Wh/L และค่าพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 345 Wh/kg จะเห็นได้ว่าค่าความจุพลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น สถานภาพปัจจุบันสำหรับการพัฒนาแบตเตอรี่ Zn-air เพื่อใช้กับยานยนต์ไฟฟ้ามี 2 บริษัทที่กำลังอยู่ในขั้นตอนพัฒนาได้แก่ EOS Energy และ Revolt Technology



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างแบตเตอรี่ที่ใช้ Zn-anode และ แบตเตอรี่ Zn-air

นอกจากแบตเตอรี่ Zn-air แล้ว แบตเตอรี่ Li-air ก็เป็นแบตเตอรี่อีกประเภทหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการนำมาพัฒนาเพื่อใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้โดยทฤษฎีแล้วแบตเตอรี่ Li-air มีความหนาแน่นพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ Zn-air ประมาณ 9 เท่า (ค่าความหนาแน่นพลังงานทางทฤษฎีของแบตเตอรี่ Li-air อยู่ที่ 11,148 Wh/kg ในการพัฒนาแบตเตอรี่ Li-air สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า บริษัท IBM ได้ประกาศว่าจะพัฒนาแบตเตอรี่ Li-air สำหรับขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าโดยมีเป้าหมายให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ 500 ไมล์ (800 กิโลเมตร) ต่อการเก็บประจุ 1 ครั้งภายใต้ชื่อโครงการ Battery 500 โดยแบตเตอรี่ประเภทนี้มีค่าความหนาแน่นพลังงานทางทฤษฎีสูงถึง 1300 Wh/kg ซึ่งสถานะปัจจุบันอยู่ในขั้นตอนการพัฒนา และ IBM คาดว่าจะสามารถพัฒนาใช้ได้จริงภายในช่วง ค.ศ. 2020-2030

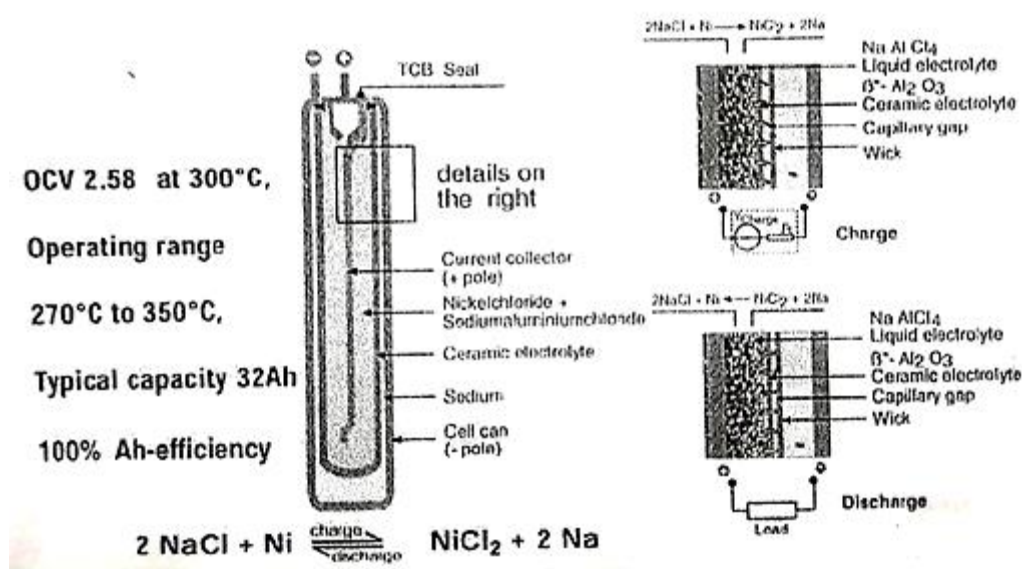


รูปที่ 2.7 การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ

2.4 การพัฒนาแบตเตอรี่ Molten Salt

แบตเตอรี่ Molten salt เป็นแบตเตอรี่อีกประเภทหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า ตัวอย่างของแบตเตอรี่ประเภทนี้ที่รู้จักกันดีคือ แบตเตอรี่ ZEBRA (Zero Emissions Batteries Research Activity) แบตเตอรี่ประเภทนี้เป็นแบตเตอรี่ Na-Ni-Cl แบตเตอรี่นี้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1978 เพื่อใช้กับยานยนต์โดยเฉพาะและพัฒนาจนเป็นผลิตภัณฑ์โดย MES-DES หลักการของแบตเตอรี่

ประเภทนี้ใช้ผงนิกเกิลและเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยมี Al_2O_3 เป็น separator ไอออนที่ใช้ในการนำไฟฟ้าคือไอออนโซเดียม (Na^+) โครงสร้างแบตเตอรี่ประเภทนี้ แสดงในรูปที่ 2.8 แบตเตอรี่ ZEBRA ถูกใช้งานเป็นแบตเตอรี่ยานยนต์สาธารณะในหลายประเทศ เช่น นอร์เวย์ เนเธอร์แลนด์และสหรัฐอเมริกา (แคลิฟอร์เนีย) เนื่องจากแบตเตอรี่ ZEBRA ให้ค่าพลังงานจำเพาะ และกำลังจำเพาะในช่วง 130-200 Wh/kg และ 230-320 W/kg ซึ่งน้อยกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถูกพัฒนามาใช้กับยานยนต์ไฟฟ้าได้ แบตเตอรี่ ZEBRA จึงหยุดการพัฒนาไป



รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยาเคมีและโครงสร้างของแบตเตอรี่ ZEBRA

การพัฒนาแบตเตอรี่ Molten Salt จึงมองไปที่ธาตุตัวอื่น ซึ่งแต่ละสารประกอบให้ค่าพลังงานจำเพาะสูงกว่าและอยู่ในระหว่างการพัฒนา แบตเตอรี่อีกประเภทหนึ่งที่อยู่ระหว่างการพัฒนาสำหรับเป็นแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าคือแบตเตอรี่จำพวก Li-S และ Na-S ซึ่งให้ค่าพลังงานจำเพาะสูงกว่าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่มีการใช้อยู่ในยานยนต์ไฟฟ้าปัจจุบัน

จากที่กล่าวมาการพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีค่าความหนาแน่นพลังงานจำเพาะและกำลังจำเพาะสูงเพื่อให้ได้แบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กน้ำหนักเบาและให้อัตราเร่งสูงเป็นปัจจัยหลักในการส่งเสริมการพัฒนา ยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงเรื่องต้นทุนและความปลอดภัยซึ่งแบตเตอรี่ที่อยู่ในทิศทางในการพัฒนาในอนาคตได้แก่แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสมรรถนะสูงรวมไปถึงแบตเตอรี่ที่ใช้อากาศเป็นอิเล็กโทรดและแบตเตอรี่ Molten Salt

2.5 ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า หรือรถยนต์ที่มีการใช้พลังงานขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ามักจะใช้แบตเตอรี่ที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน และความต้องการของรถแต่ละแบบ โดยมีประเภทหลัก ๆ ดังนี้

1. แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Batteries)

เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในยานยนต์ไฟฟ้าในอดีต มักมีราคาถูกกว่าและมีประสิทธิภาพในการทำงานต่อเนื่อง แต่มีน้ำหนักที่มากและมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า

2. แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO₄ - Lithium Iron Phosphate Batteries)

เป็นแบตเตอรี่ลิเธียมที่มีความปลอดภัยสูง ระยะเวลาการใช้งานยาวนานและมีน้ำหนักเบา มักนำมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ในปัจจุบัน

3. แบตเตอรี่ลิเธียมนิเกิลไอออนแมงกานีสโคบอลต์ (NMC - Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide Batteries)

เป็นแบตเตอรี่ลิเธียมที่มีประสิทธิภาพสูงในเรื่องของพลังงานที่เก็บได้มากและมีน้ำหนักเบา มักนำมาใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการระยะทางการขับขี่ที่ยาวนาน

4. แบตเตอรี่ลิเธียมโพลิเมอร์ (Lithium Polymer Batteries)

ลักษณะแบตเตอรี่มีขนาดที่บางเบาและสามารถปรับรูปทรงได้ง่าย แต่ไม่ได้นิยมมากเท่าไรในยานยนต์ไฟฟ้า

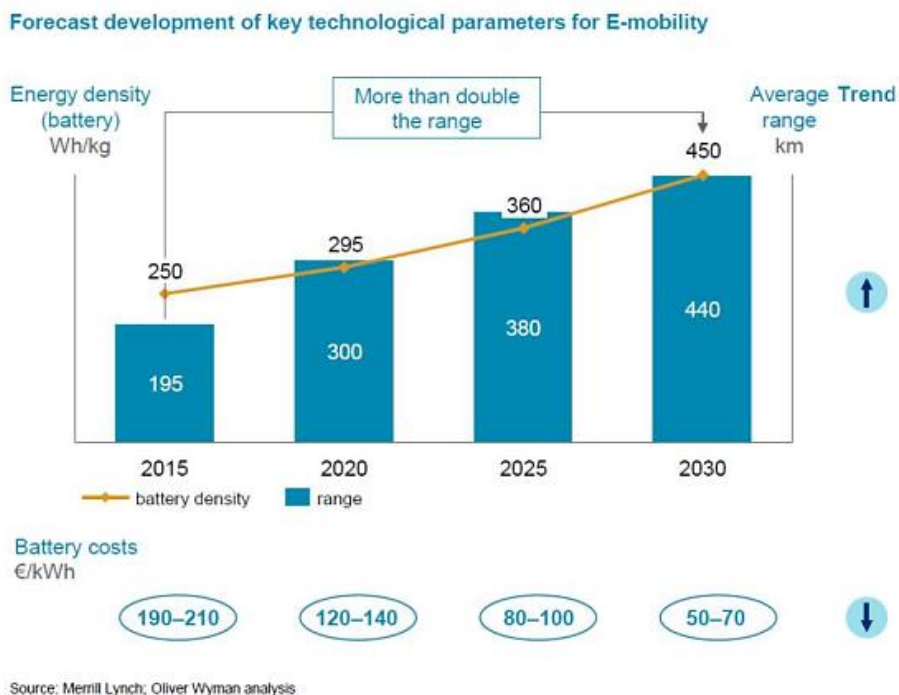
5. แบตเตอรี่ไฮบริด (Hybrid Batteries)

แบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด ที่ผสมผสานกันระหว่างการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนและการขับเคลื่อนของเครื่องยนต์เชื้อเพลิง

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติเฉพาะของแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific Energy Density (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Internal Resistance ($m\Omega$)	<100 12V pack	100-200 6V pack	200-300 6V pack	150-300 7.2V	25-75 per cell	25-50 per cell
Life Cycle (80% Discharge)	200-300	1000	300-500	500-1,000	500-1,000	1,000-2,000
Fast-Charge Time	8-16h	1h typical	2-4h	2-4h	1h or less	1h or less
Overcharge Tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-Discharge/month (Room Temp)	5%	20%	30%	<10%		
Cell Voltage (Nominal)	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3.8V	3.3V
Charge Cutoff Voltage (V/cell)	2.40	Full charge detection by voltage signature		4.20		3.60
Discharge Cutoff Voltage (V/cell, IC)	1.75	1.00		2.50-3.00		2.80
Peak Load Current	5C	20C	5C	>3C	>30C	>30C
Best Result	0.2C	1C	0.5C	<1C	<10C	<10C
Charge Temperature	-20 to 50°C -4 to 122°F	0 to 45°C 32 to 113°F		0 to 45°C 32 to 113°F		
Discharge Temperature	-20 to 50°C -4 to 122°F	-20 to 65°C -4 to 149°F		-20 to 60°C -4 to 140°F		
Maintenance Requirement	3-6 Months (topping charge)	30-60 days (discharge)	60-90 days (discharge)	Not required		
Safety Requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory		
In Use Since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very High	Very High	Low	Low		

การเลือกใช้ประเภทของแบตเตอรี่นั้นมักจะขึ้นอยู่กับความต้องการและการใช้งานของผู้ใช้แต่ละแบรนด์และรุ่นรถยนต์ไฟฟ้าอาจใช้แบตเตอรี่ของประเภทที่แตกต่างกันได้ตามความพิเศษและความต้องการของรถยนต์ในแต่ละรุ่น



รูปที่ 2.9 การพัฒนาแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ากับระยะทางที่เพิ่มขึ้น

2.2.1 โครงสร้างแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

โครงสร้างพื้นฐานของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบหลักต่อไปนี้

2.2.1.1 เซลล์ของแบตเตอรี่ (Battery Cells)

เซลล์แบตเตอรี่เป็นส่วนที่สำคัญสำหรับเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้า แต่ละเซลล์มักจะมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ เช่น ลิเทียมไอออน นิกเกิลไอออน และโคบอลต์ไอออน เป็นต้น

2.2.1.2 สะพานไฟเชื่อมต่อ (Interconnects)

นิยมเรียกว่าบัสบาร์ (Busbar) เป็นส่วนที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ของแบตเตอรี่เพื่อส่งกระแสไฟฟ้าให้มีการไหลผ่านเซลล์ทุกเซลล์ในแบตเตอรี่

2.2.1.3 โมดูลและแพ็คเกจ (Modules and Pack)

เซลล์ของแบตเตอรี่ไฟฟ้าบางประเภทจะถูกจัดเรียงและรวมกันเป็นชุดย่อย ๆ หรือโมดูล และโมดูลจะถูกจัดเรียงและรวมกันเป็นแพ็คเกจ ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า

2.2.1.4 จุดเชื่อมต่อและระบบจัดการแบตเตอรี่ (Terminal and Management System)

เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับระบบไฟฟ้าของรถยนต์ รวมถึงระบบการควบคุมและความปลอดภัย เพื่อควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ที่เรียกว่า บีเอ็มเอสแบตเตอรี่ (BMS)

2.2.1.5 ฮีทซิงค์และระบบระบายความร้อน (Heatsinks and Thermal Management System)

เป็นส่วนที่มีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการดำเนินงานที่สูงเกินไปและควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

โครงสร้างพื้นฐานของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ามักจะมีการออกแบบและปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและปลอดภัยในการใช้งาน โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อทำให้มีระยะทางการขับขี่ที่ยาวนานและการใช้งานที่มีประสิทธิภาพในอนาคต

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า

1. อุณหภูมิ อุณหภูมิส่งผลต่อการทำงานของแบตเตอรี่ การใช้งานในอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปสามารถทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลงได้ เพราะสารเคมีภายในแบตเตอรี่สามารถทำงานได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม
2. การประจุแบตเตอรี่ (Charging) การใช้งานระบบชาร์จที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้รวดเร็วและประหยัดพลังงาน นอกจากนี้การออกแบบระบบชาร์จที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพยังสามารถส่งผลให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น
3. ระยะทางการขับขี่ การขับขี่ในระยะทางที่ยาว ๆ อาจส่งผลต่อระยะทางการขับขี่ที่แบตเตอรี่สามารถทำได้ การใช้พลังงานในระยะทางยาวอาจทำให้แบตเตอรี่ลดประสิทธิภาพลง

4. ระบบการบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System) การใช้ระบบการบริหารจัดการพลังงานที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสามารถช่วยให้แบตเตอรี่ทำงานได้มากที่สุด โดยการจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ระยะทางการขับขี่ที่มากที่สุด

5. เวลาและวิธีการใช้งาน การใช้งานแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม การปิด-เปิดระบบไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ไม่ใช้งาน หรือการใช้งานระบบไฟฟ้าในท่าที่ที่ต้องการจริง ๆ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นได้

6. การดูแลและการรักษา การดูแลแบตเตอรี่อย่างถูกต้อง เช่น การตรวจสอบระดับน้ำ Electrolyte ในแบตเตอรี่แบบที่ต้องเติมน้ำ หรือการเช็คสภาพแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการลัดวงจร สามารถช่วยให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและคงทนต่อการใช้งานในระยะยาว

การเลือกและการดูแลแบตเตอรี่อย่างเหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าได้มาก โดยที่ยังคงรักษาการทำงานของรถและการขับขี่ในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทสรุป

การพัฒนาแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้ามักจะประกอบด้วยเรื่องต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ เช่น ดังนี้

1. เทคโนโลยีและวัสดุใหม่ การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและวัสดุใหม่ๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เช่น เซลล์แบตเตอรี่ไอออนลิเทียม หรือวัสดุที่มีความคงทนและปลอดภัยมากขึ้น
2. ประสิทธิภาพและความจุ การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความจุของแบตเตอรี่ เพื่อให้รถยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ไกลขึ้นโดยไม่ต้องชาร์จบ่อยครั้ง
3. เวลาการชาร์จและอายุการใช้งาน การลดเวลาในการชาร์จและการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานยาวนาน เพื่อความสะดวกสบายและความพึงพอใจของผู้ใช้
4. ความปลอดภัย การพัฒนาเทคโนโลยีและระบบใหม่เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของแบตเตอรี่ เช่น ระบบการจัดการความร้อนและระบบความปลอดภัยในกรณีเกิดการชาร์จผิดพลาดหรือการใช้งานที่ผิดปกติ
5. ราคาและความสมราคา การพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีคุณภาพสูงและราคาที่เป็นไปได้สำหรับผู้บริโภค, โดยพิจารณาความสมราคาระหว่างคุณภาพและราคา

6. อุณหภูมิการทำงาน การควบคุมและจัดการอุณหภูมิในระหว่างการใช้งาน เพื่อลดความเสียหาย และเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

7. การรักษาและการบำรุงรักษา การพัฒนาวิธีการรักษาและบำรุงรักษาที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ เพื่อส่งเสริมการใช้งานและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ประเภทของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ามีหลายประเภทตามวัตถุดิบและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต โดยทั่วไปแบ่งเป็นหมวดหมู่ดังนี้

แบตเตอรี่ไอออนลิเทียม (Lithium-ion Batteries) เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้สารก่อกั้นและออกไซด์ ไอออนลิเทียมเป็นสารตั้งต้น มีประสิทธิภาพสูงและมีความนิยมในการใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและความจุสูง

แบตเตอรี่โพลิเมอร์ลิเทียม (Lithium Polymer Batteries) เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้เทคโนโลยีของ โพลิเมอร์ลิเทียม มีความยืดหยุ่นในการออกแบบและมีความปลอดภัยสูง แต่มีราคาที่สูงกว่าแบตเตอรี่ ไอออนลิเทียม

แบตเตอรี่โลหะลิเทียม (Lithium Metal Batteries) เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้โลหะลิเทียมเป็นส่วน ผสมหลัก มีความสามารถในการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสูงแต่มีความเสี่ยงในเรื่องความปลอดภัย

แบตเตอรี่โลหะลิเทียมโพลิเมอร์ (Lithium Metal Polymer Batteries) เป็นการผสมระหว่าง โลหะลิเทียมและโพลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก มีความสามารถในการเก็บพลังงานไฟฟ้าสูงและความ ปลอดภัยสูง

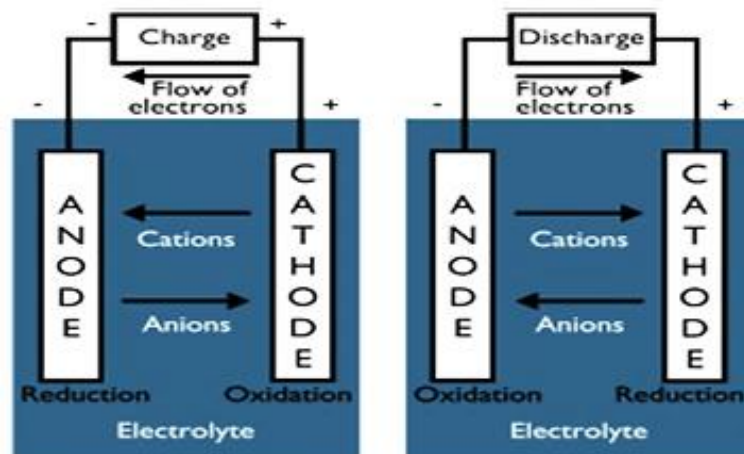
แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead Acid Batteries) เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้แผ่นธาตุตะกั่ว มักใช้ในรถยนต์ ไฟฟ้าแบบเก่าและรถยนต์โดยสารทั่วไป

บทที่ 3

โครงสร้างและเทคโนโลยีแบตเตอรี่

3.1 เคมีพื้นฐานของแบตเตอรี่

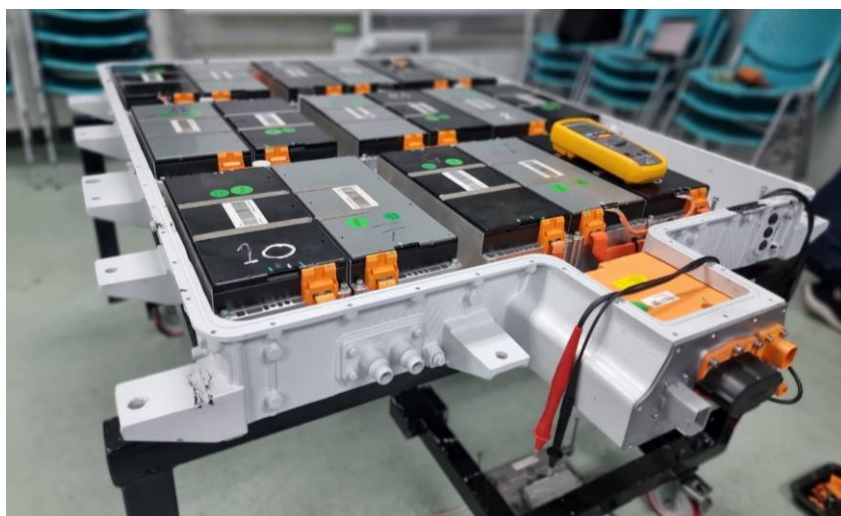
ในแบตเตอรี่ประกอบด้วยองค์ประกอบจำนวน 3 ชั้นหลักคือ Cathode, Anode และ แผ่นกั้น (Separator) โดยชั้น Cathode เป็นชั้นบวกของแบตเตอรี่และ Anode เป็นชั้นลบของแบตเตอรี่เมื่อมีโหลดเชื่อมต่อกับขั้วแบตเตอรี่กระแส (อิเล็กตรอน) จะไหลจากขั้ว Anode ไปยัง Cathode ในทำนองเดียวกันเมื่อเครื่องอัดประจุเชื่อมต่อกับขั้วแบตเตอรี่การไหลของอิเล็กตรอนจะถูกย้อนกลับนั่นคือจาก Cathode ถึง Anode



รูปที่ 3.1 แสดงปฏิกิริยาเคมีการไหลของอิเล็กตรอนขณะ Charge และ Discharge

สำหรับแบตเตอรี่ทั่วไปมีการทำงานโดยใช้ปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยา Oxidation-Reduction Reaction หรือบางครั้งเรียกว่าปฏิกิริยา Redox Reaction ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นระหว่าง Anode และ Cathode 2 แบตเตอรี่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ (ตัวคั่น) เมื่อขั้ว Anode ของแบตเตอรี่รับอิเล็กตรอนปฏิกิริยา Oxidation จะเกิดขึ้นโดยทางด้าน Cathode แบตเตอรี่จะปล่อยอิเล็กตรอนอิสระ

ออกไปไอออนนี้จะถูกถ่ายโอนจากขั้ว Cathode ไปยังด้าน Anode ของแบตเตอรี่ที่ผ่านตัวแยกมีผลทำให้ไอออนสะสมมากขึ้นใน Anode ในการทำให้เป็นกลาง Anode นี้ต้องผลักอิเล็กตรอนจาก ด้านข้างไปยัง Cathode แต่ตัวแยกช่วยให้การไหลของไอออนผ่านไปได้นั้น ยับยั้งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจากขั้ว Anode ไปยัง Cathode ดังนั้นวิธีเดียวที่แบตเตอรี่สามารถถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้คือต้องเชื่อมต่อโหลดภายนอกและนี่คือเหตุผลที่เมื่อเราเชื่อมต่อโหลดเข้ากับแบตเตอรี่เราจะได้รับกระแส (อิเล็กตรอน) ที่ไหลเวียนในการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าตัวแปรสำคัญหลักที่ใช้สำหรับการออกแบบคือความเร็วระยะทางและกำลังใช้งานข้อจำกัดของการออกแบบเหล่านี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์และแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าในขณะที่การเลือกขนาดพิกัดของมอเตอร์ไม่ใช่ประเด็นหลักที่ใช้ในการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้าแต่ปัญหาหลักอยู่ที่การออกแบบแพ็คแบตเตอรี่สำหรับมอเตอร์ที่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอและเป็นเวลานานเพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าวในปัจจุบันผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าต้องสร้างแพ็คแบตเตอรี่ที่รวมเซลล์แบตเตอรี่จำนวนมากตั้งแต่หลายร้อยเซลล์จนถึง 1,000 เซลล์เข้าด้วยกันเพื่อใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า 1 คัน เช่นรถเทรลเลอร์ S มีเซลล์ประมาณ 714 เซลล์ และ Nissan Light มีประมาณ 600 เซลล์เนื่องจากต้องใช้เซลล์แบตเตอรี่จำนวนมากเพื่อสร้างแพ็คแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ในการใช้งานเซลล์จำนวนมากพร้อมกันนี้ทำให้การออกแบบแพ็คแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานเพื่อให้การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าเกิดประสิทธิภาพสูงสุดและสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นหลักอีกประการหนึ่งคือน้ำหนักของแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าในบทนี้ให้จึงกล่าวถึงชนิดและประเภทของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการออกแบบและเกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ที่ต้องได้รับการดูแล



รูปที่ 3.2 แบตเตอรี่ที่ติดตั้งในยานยนต์ไฟฟ้า

3.2 แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (battery in EVs) ประกอบด้วยแบตเตอรี่ขนาดเล็กหลาย 100 ชิ้นแต่ละเซลล์จัดเรียงเป็นแบบอนุกรมหรือขนานเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและความจุที่ต้องการในแพ็คแบตเตอรี่โดยแพ็คแบตเตอรี่ทั่วไปประกอบด้วยบล็อกของเซลล์แบบขนานจำนวน 18 - 30 แถว และต่อแบบอนุกรม กันในแต่ละเซลล์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการเช่นแพ็คแบตเตอรี่ต้องการแรงดันไฟฟ้า 40 V มีประมาณ 96 เซลล์ต่อแบบอนุกรมดังนั้นในหัวข้อนี้จึงมีการกล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

3.2.1 ประเภทของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่มีหลายประเภทสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

Primary Batteries เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถอัดประจุใหม่ได้สามารถแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าได้และไม่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ตัวอย่างเช่นแบตเตอรี่อัลคาไลน์ (AA, AAA) ที่ใช้สำหรับของเล่นและ Remote Controls เป็นต้น

Secondary Batteries เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากสามารถแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้พลังงานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและยังสามารถแปลงพลังงาน

ไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมีอีกครั้งในระหว่างกระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่เหล่านี้มักนำมาใช้ในโทรศัพท์มือถือ ยานยนต์ไฟฟ้า EVs และ HEVs รวมถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาอื่นๆ อีกด้วย

Reserve Batteries เป็นแบตเตอรี่สำรองและมีอายุการใช้งานยาวนานการสูญเสียพลังงานน้อยมากมีความหนาแน่นพลังงานสูงและมีระดับความปลอดภัยที่สูงตัวอย่างเช่นใช้เป็นแบตเตอรี่สำหรับเสื้อชูชีพเป็นต้น

3.2.2 คำศัพท์พื้นฐานสำหรับแบตเตอรี่

การเข้าใจคำศัพท์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติและประสิทธิภาพแบตเตอรี่ มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจการทำงานและการนำไปใช้งานอย่างไรบ้างในยานยนต์ไฟฟ้า คำศัพท์พื้นฐานของแบตเตอรี่ที่สำคัญมีรายละเอียดดังนี้

1) **Voltage Rating** คำศัพท์พื้นฐานที่ต้องรู้ของแบตเตอรี่คือ ระดับแรงดันไฟฟ้าและระดับ Ah โดยแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ใช้งานทั่วไปมีแรงดันไฟฟ้า 12V และแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ประมาณ 3.7V เป็นต้น ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเหล่านี้เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าปกติของแบตเตอรี่ และไม่ได้หมายความว่าแบตเตอรี่มีขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ 3.7V ตลอดเวลาค่าแรงดันไฟฟ้ามีความแตกต่างกันไปตามความจุและการใช้งานของแบตเตอรี่

2) **Ah Rating or mAh Rating** หมายถึง Ampere-hour Rating หรือ Capacity Rating ซึ่งเป็นการวัดปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถจัดเก็บได้ในหนึ่งชั่วโมง หรือเป็นการวัดความจุของแบตเตอรี่ในหน่วยแอมป์-ชั่วโมง (Ampere-hour, Ah) ในทางทฤษฎีหากแบตเตอรี่มี Ah Rating ที่ 100 Ah หมายความว่า แบตเตอรี่นั้นสามารถให้กระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมป์ (A) ได้เป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือกระแสไฟฟ้าที่ปริมาณ 10 แอมป์ (A) ได้เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ของค่า Ah บอกเราเกี่ยวกับการใช้งานของแบตเตอรี่ดังนี้

$$\text{Run time} = \text{Ah Rating} / \text{Current rating}$$

เมื่อ Run time คือ เวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่

Ah Rating คือ พิกัดของแบตเตอรี่

Current rating คือ กระแสใช้งานของแบตเตอรี่

จากสมการเป็นการคำนวณแบบไม่ละเอียดเพื่อให้รู้ว่าแบตเตอรี่มีเวลาในการทำงานได้นานเท่าใดโดยตัวอย่างเช่นไม่สามารถใช้กระแส 30 A จากแบตเตอรี่ 2 Ah ได้ในเวลา 4 นาทีเพราะมีข้อจำกัดสำหรับกระแสสูงสุดที่สามารถใช้งานได้โดยมีการสูญเสียบางอย่างในกระบวนการเนื่องจากการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของแบตเตอรี่ลดลงดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าให้มีระยะเวลาในการทำงานได้นานจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณา

3) Cut-off Voltage แรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำของแบตเตอรี่ที่ใช้งาน เช่น ไม่ควรใช้เซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมขนาด 3.7 V ที่มีแรงดันไฟฟ้าคutoff อยู่ที่ประมาณ 3.0 V ซึ่งหมายความว่าไม่ควรเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่นี้กับโหลดเมื่อแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 3.0 V โดยค่าของแรงดันไฟฟ้าคutoff ของแบตเตอรี่สามารถดูได้จากแผ่นข้อมูลผู้ผลิต เมื่อแบตเตอรี่มีการคายประจุจนกระทั่งต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าคutoff เรียกว่าเป็นการคายประจุ Over Discharging การทำเช่นนี้ทำให้แบตเตอรี่มีผลกระทบต่อความสามารถและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การคายประจุแบตเตอรี่มากเกินไปทำให้คุณสมบัติทางเคมีของแบตเตอรี่เกิดความร้อนขึ้นทำให้เกิดเป็นไอหรือเป็นควันได้

เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งาน และพลังงานไฟฟ้าถูกดึงออก แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะลดลง ต่อไปนี้คือสามแบบที่พบ Cut-off Voltage

Voltage Cut-off during Discharge (แรงดันไฟฟ้าตัดในกระบวนการดิสชาร์จ) เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานและแรงดันไฟฟาลดลงมามากกว่าค่าที่กำหนด (Cut-off Voltage) แบตเตอรี่อาจจะหยุดการทำงานเพื่อป้องกันการลดความจุของแบตเตอรี่มากเกินไป ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ถูกใช้งานจนสุดท้ายที่อาจทำให้เสื่อมสภาพ

Voltage Cut-off during Charge (แรงดันไฟฟ้าตัดในกระบวนการชาร์จ) เมื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าถึง Cut-off Voltage ที่กำหนด แบตเตอรี่อาจหยุดกระบวนการชาร์จเพื่อป้องกันการชาร์จมากเกินไปที่อาจทำให้เกิดปัญหาตามมา

Voltage Cut-off for Storage (แรงดันไฟฟ้าตัดในกระบวนการเก็บรักษา) เมื่อแบตเตอรี่ไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน แบตเตอรี่อาจถูกตั้งค่าให้มีแรงดันไฟฟ้าที่ Cut-off Voltage ที่ต่ำเพื่อลดการสูญเสียพลังงานและสิ่งอื่น ๆ ที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ

4) Max Charge Voltage คือ แรงดันไฟฟ้าการอัดประจุสูงสุดที่แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ เมื่อเราอัดประจุแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นค่าของแรงดันไฟฟ้าที่หยุดอัดประจุเรียกว่าเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด Max Charge Voltage เป็นส่วนสำคัญในการรักษาแบตเตอรี่ให้มีอายุการใช้งานนานและป้องกันการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ เมื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่และแรงดันไฟฟ้าถึง Max Charge Voltage แล้วกระบวนการชาร์จจะหยุดโดยอัตโนมัติ หรืออุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่อาจแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทราบ ตัวอย่าง Max Charge Voltage สำหรับแบตเตอรี่ Li-ion (ลิเทียม-ไอออน) สามารถอยู่ที่ประมาณ 4.2 โวลต์ต่อเซลล์ (per cell) หรือตามค่าที่ผู้ผลิตแบตเตอรี่กำหนด. สำหรับแบตเตอรี่ LiFePO4 (ลิเทียม-ฟอสเฟต) อาจมี Max Charge Voltage ที่ประมาณ 3.65 โวลต์ต่อเซลล์ ค่านี้สามารถพบได้ในแผ่นข้อมูลผู้ผลิตหากมีการอาจประจุแบตเตอรี่เกินกว่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของการอัดประจุนี้ถูกเรียกว่าเป็นการอัดประจุไฟฟ้ามากเกินไป (Over Charging) อาจประจุไฟฟ้ามากเกินไปทำให้แบตเตอรี่เสียหายอย่างถาวรและอาจนำไปสู่อันตรายจากไฟไหม้ได้

5) Open Circuit Voltage (OCV) หมายถึง แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อไฟฟ้าหรือไม่มีการเสไฟฟ้าไหลผ่านในวงจร หรือก็คือเมื่อวงจรอยู่ในสถานะว่างเปล่า โดยไม่มีการประสานต่อหรือการใช้งาน Open Circuit Voltage เป็นข้อมูลที่สำคัญในการวัดแบตเตอรี่หรือแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้งาน หรือในสถานการณ์ที่ไม่มีโหลดไฟฟ้าทำงาน OCV จะแสดงถึงสถานะการณและประสิทธิภาพของแหล่งพลังงานนั้น ๆ โดยทั่วไป Open Circuit Voltage จะสูงขึ้นเมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือพร้อมให้ใช้งาน และจะลดลงเมื่อมีการใช้งานหรือการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้า สำหรับแบตเตอรี่ Li-ion (ลิเทียม-ไอออน), Open Circuit Voltage สามารถอยู่ในช่วง 3.6 - 4.2 โวลต์ต่อเซลล์ ขึ้นอยู่กับสถานะการณของแบตเตอรี่ (Empty หรือ fully charged). สำหรับแบตเตอรี่แบบไฟฟ้าต่ำ (LiFePO4), Open Circuit Voltage จะอยู่ในช่วง 3.2 - 3.3 โวลต์ ต่อเซลล์การวัด Open Circuit Voltage เป็นวิธีที่ใช้ในการประเมินสภาพของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะเมื่อไม่มีโหลดไฟฟ้าทำงาน และมักถูกนำมาใช้ในกระบวนการทดสอบแบตเตอรี่หรือการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

6) Terminal Voltage แรงดันไฟฟ้าเทอร์มินัล คือ ค่าของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากแบตเตอรี่ในสภาพที่เชื่อมต่อกับโหลด โดยปกติค่าของแรงดันไฟฟ้า OCV และแรงดันไฟฟ้าเทอร์มินัล มีค่าไม่เท่ากัน เป็นการวัดแรงดันไฟฟ้าที่สามารถจ่ายให้กับอุปกรณ์หรือระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อ ถือว่า Terminal Voltage เป็นแรงดันที่ออกจากแหล่งพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับ Open Circuit Voltage ของแหล่งพลังงานนั้น ๆ

7) **Specific Energy** หมายถึง ปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่หรือแหล่งพลังงานไฟฟ้าสามารถจัดเก็บได้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก โดยทั่วไปแสดงในหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (Wh/kg) หรือจูลต่อกิโลกรัม (J/g) Specific Energy เป็นอัตราส่วนที่สำคัญในการวัดประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ หาก Specific Energy ของแบตเตอรี่สูงแปลว่าแบตเตอรี่นั้นสามารถจัดเก็บได้มากขึ้นและมีความสามารถในการให้พลังงานนานนับเป็นวันหรือชั่วโมงคือเป็นพลังงานเฉพาะซึ่งสามารถรับได้ต่อหน่วยมวล (น้ำหนัก) ในยานยนต์ไฟฟ้าน้ำหนักของแบตเตอรี่เป็นปัจจัยสำคัญเนื่องจากยานพาหนะต้องบรรจุแบตเตอรี่ไปด้วยเสมอดังนั้นน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่ใช้งานจึงควรต่ำสุดโดย Specific Energy แบตเตอรี่บอกให้เราทราบว่าพลังงาน (แรงดัน x กระแส) สามารถให้พลังงานต่อหน่วยมวลของแบตเตอรี่ได้เท่าใดพลังงานเฉพาะของแบตเตอรี่ควรมีค่าสูงที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แบตเตอรี่ลิเธียมมีพลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับ Lead Acid พลังงานที่เฉพาะเจาะจงก็เหมือนกัน แต่ที่พิจารณาถึงเวลาด้วยจึงทำให้ทราบว่าสามารถรับพลังงานได้อย่างรวดเร็วจากแบตเตอรี่

8) **Energy Density** หมายถึง ความหนาแน่นพลังงาน เป็นปริมาณพลังงานที่สามารถจัดเก็บได้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรหรือพื้นที่ โดยทั่วไปแสดงในหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อ ปริมาตรหรือพื้นที่นั้น (Wh/L หรือ J/cm³) หรือหน่วยการมีมวล (Wh/kg หรือ J/g) Energy Density เป็นตัววัดที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของแบตเตอรี่หรือระบบพลังงานไฟฟ้า หาก Energy Density ของแบตเตอรี่สูงแปลว่าแบตเตอรี่นั้นสามารถจัดเก็บพลังงานได้มากขึ้นต่อหน่วยปริมาตรหรือมวล ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่มีความสามารถในการให้พลังงาน บอกให้รู้ว่าสามารถรับพลังงานได้เท่าใดต่อหนึ่งหน่วยมวลของแบตเตอรี่ความหนาแน่นของพลังงานบอกได้ว่าสามารถรับพลังงานได้เท่าใดต่อหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่ทำให้ทราบขนาดของแบตเตอรี่เนื่องจากการพิจารณาปริมาณของแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นพลังงานสูงเป็นแบตเตอรี่ที่สามารถส่งมอบพลังงานสูงด้วย

9) **Energy Watt Hour** หมายถึง ปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถเก็บไว้หรือส่งมอบได้ในรูปของวัตต์-ชั่วโมง (Watt-hour) สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถจัดเก็บหรือส่งมอบได้ถูกวัดเป็น Kilowatt-hour (kWh) ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้ในการวัดการใช้งานของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้คุณเข้าใจมากขึ้น หากแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีความจุ 60 kWh หมายความว่าแบตเตอรี่นี้สามารถส่งมอบพลังงานได้ในปริมาณ 60 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (60 kWh) การที่แบตเตอรี่มีความจุมากกว่าจะหมายความว่ารถยนต์ไฟฟ้าสามารถทำการเดินทางได้ไกลยิ่งขึ้น เนื่องจากมีพลังงานเพียงพอสำหรับระยะทางมากขึ้นโดยไม่ต้องชาร์จใหม่เท่าที่ต้องการ

การใช้หน่วย kWh เป็นที่นิยมในรถยนต์ไฟฟ้าเพราะมันให้ข้อมูลที่สะดวกต่อการคำนวณและเปรียบเทียบการใช้พลังงานของรถยนต์ที่ใช้แบตเตอรี่ EV กัน ทำให้ทราบว่ายานพาหนะไฟฟ้ามีระยะทางวิ่งได้แค่ไหนซึ่งคล้ายกับ ah แต่ kWh พิจารณาทั้งแรงนำไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วยตัวอย่างเช่น เทสลา มีแบตเตอรี่ 60-100 kWh

10) Self - Discharge Rate หมายถึง อัตราการสูญเสียพลังงานของแบตเตอรี่หรืออุปกรณ์เก็บพลังงานที่เก็บพลังงานแล้วแต่ก็ยังสูญเสียพลังงานไปตามเวลา โดยไม่มีการใช้งานหรือกระแสไฟฟ้าไม่ได้ถูกป้อนเข้ามา (idle state) Self-discharge rate เป็นปัญหาที่ควรให้ความสนใจในหลายชนิดของแบตเตอรี่และอุปกรณ์เก็บพลังงานเพื่อให้รักษาความประสงค์ในการใช้งานและเพื่อการบำรุงรักษา ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ที่มี self-discharge rate ต่ำมาก ๆ ซึ่งทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยเมื่อไม่ได้ใช้งาน แต่ในบางกรณีอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ที่มี self-discharge rate สูงอาจต้องการการเติมเต็มพลังงานเป็นประจำ หรือต้องการการดูแลรักษาเพิ่มเติมเพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานที่จะทำให้แบตเตอรี่หมดประโยชน์ในระยะเวลาสั้น ๆ Self-discharge rate อาจมีผลต่อการเลือกใช้แบตเตอรี่หรือพลังงานเก็บไฟฟ้าในแต่ละงานหน้าที่ ตลอดจนทำให้เกิดความต้องการในการวางแผนการบำรุงรักษาและการใช้งานที่เหมาะสมเพื่อลด self-discharge rate ให้มากที่สุด

11) Internal Resistance ในทางวิศวกรรมไฟฟ้า หมายถึง ค่าต้านทานที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์เก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่, และทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ส่งผ่านอุปกรณ์นั้น ๆ สูญเสียพลังงานเป็นความร้อน เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอุปกรณ์ อุปกรณ์นั้นจะมีการต้านทานภายในที่ทำให้มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน โดยทำให้ลดแรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่ส่งออกจากอุปกรณ์ Internal resistance ถูกวัดในหน่วย "โอห์ม" (Ohms) สำหรับแบตเตอรี่ internal resistance มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่โดยตรง เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแบตเตอรี่ ต้านทานภายในทำให้แบตเตอรี่สูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน และลดแรงดันไฟฟ้าที่ส่งออกมา จากสมการไฟฟ้า (Ohm's Law) ได้ว่า แรงดัน (V) ที่ส่งออกจากแบตเตอรี่ลดลงเมื่อมีกระแสไฟฟ้า (I) ไหลผ่าน

3.2.3 C-Rating ของแบตเตอรี่

ค่า C-Rating หรือ Capacity rating ของแบตเตอรี่ เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการบ่งชี้ความสามารถในการรับและส่งกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยเฉพาะในบริบทของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงหรือในงานที่ต้องการประสิทธิภาพในการรับ-ส่งไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าสูง C-rating ถูกนิยามว่า ค่าที่แสดงสัดส่วนระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้า (Current) ที่ได้จากแบตเตอรี่ถึงปริมาณความจุ (Capacity) ของแบตเตอรี่ในหนึ่งชั่วโมง

C-Rating จะมีรูปแบบเป็น Cx เช่น C10, C20, C100, ซึ่งหมายถึง กระแสที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้เท่ากับ Capacity ของแบตเตอรี่นั้นๆ คูณด้วย x ตัวอย่างเช่น

C10 หมายถึง กระแสที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้เท่ากับ Capacity ของแบตเตอรี่นั้นๆ คูณด้วย 10 ในระหว่าง 10 ชั่วโมง

C20 หมายถึง กระแสที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้เท่ากับ Capacity ของแบตเตอรี่นั้นๆ คูณด้วย 20 ในระหว่าง 20 ชั่วโมง

C100 หมายถึง กระแสที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้เท่ากับ Capacity ของแบตเตอรี่นั้นๆ คูณด้วย 100 ในระหว่าง 100 ชั่วโมง

การใช้ C-Rating มีความสำคัญในการเลือกใช้แบตเตอรี่ ในงานที่ต้องการปริมาณกระแสไฟฟ้าสูง การอัดประจุและคลายประจุของแบตเตอรี่จะถูกควบคุมโดยอัตรา C-Rating ความจุของแบตเตอรี่โดยทั่วไปจะอยู่ที่ IC ซึ่งหมายความว่าแบตเตอรี่ที่อัดประจุเต็มที่แล้ว 1 Ah ควรจะให้ 1A ชั่วโมงและการคลายประจุแบตเตอรี่ที่ 0.5 C คือการคลายประจุ 500 mA เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และที่ 2 C จะส่ง 2A เป็นเวลา 30 นาทีเป็นต้น ดังนั้นการคำนวณ C-Rating คือ

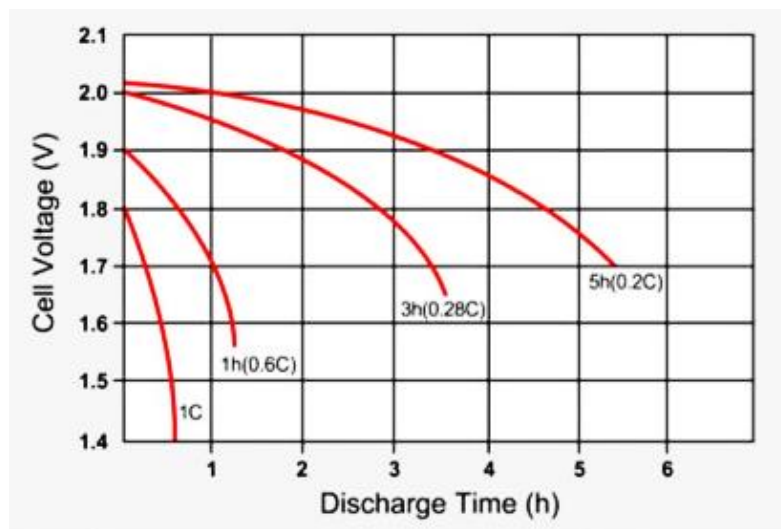
$$C - Rate = Current/Ah \text{ Rating}$$

อัตรา C ของ 1C คือ การคลายประจุ 1 ชั่วโมง, 0.5 C หรือ C/2 เป็นการคลายประจุ 2 ชั่วโมง และ 0.2 C หรือ C/5 เป็นการคายประจุ 5 ชั่วโมง ดังตารางที่ 3.1 แสดงเวลาทั่วไปในค่าของอัตรา C ต่าง ๆ

ตารางที่ 3.1 อัตรา C เวลาการใช้งานเมื่ออัดประจุและคายประจุแบตเตอรี่ 1Ah (1,000mAh)

C - Rate	เวลา
5C	12 min
2C	30 min
1C	1h
0.5C หรือ C/2	2h
0.2C หรือ C/5	5h
0.05C หรือ C/10	10h

เราสามารถวัดความจุของแบตเตอรี่ หรือปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถเก็บไว้ได้ ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ (Battery Analyzer) เครื่องวิเคราะห์การคายประจุของแบตเตอรี่ที่ กระแสไฟฟ้าที่ปรับเทียบแล้วในขณะที่คำนวณเวลาถึงแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดในการคายประจุสำหรับ แบตเตอรี่ตะกั่วกรดโดยทั่วไปมีแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดเป็น 1.75 V ต่อเซลล์ สำหรับ Nicd/NiMH 1.0 V เซลล์ ถ้าแบตเตอรี่ 1Ah ให้ 1A เป็นเวลา 1 ชั่วโมงคิดเป็น 100% หากการคายประจุเป็นเวลา 30 นาที ก่อนถึงแรงดันต่ำสุด ดังนั้นแบตเตอรี่มีความจุ 50% เมื่อวัดอัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ด้วย เครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ที่สามารถใช้อัตรา C ต่างกัน อัตรา 4 ที่ทำให้การอ่านค่าความจุลดลง โดยการ คายประจุแบตเตอรี่ 1Ah ที่อัตรา 2 C ที่เร็วขึ้นหรือ 2A แบตเตอรี่ควรจ่ายกำลังไฟฟ้าเต็มที่ใน 30 นาที จำนวนรวมควรเท่ากัน เนื่องจากปริมาณพลังงานที่เท่ากันถูกจ่ายในเวลาที่สูงลง ในความเป็นจริงการ สูญเสียภายในทำให้พลังงานบางส่วนกลายเป็นความร้อน และลดกำลังลงเหลือ 95% หรือน้อยกว่า การ คายประจุแบตเตอรี่เดียวกันที่ 0.50 C หรือ 500 mA ใน 2 ชั่วโมงน่าจะเพิ่มความจุให้สูงกว่า 100%



รูปที่ 3.3 กราฟอัตรา C การคายประจุของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

3.2.4 ประเภทของแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่ที่นิยมบางประเภทที่ใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าได้แก่ ลิเทียมไอออน (Li-ion) ตะกั่ว-กรด (Lead-Acid) นิกเกิลแคดเมียม (NiCd) และนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NiMH) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรด (Lead-Acid) จัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิคือสามารถประจุไฟฟ้าและนำกลับมาใช้ได้ใหม่และเป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ทั่วไปเช่นการใช้ใน start ของเครื่องยนต์สันดาภายใน Internal Combustion Engine (ICE) โดยมีโครงสร้างคือแผ่นธาตุบวกเป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์ (Lead Peroxide: PbO_2) และแผ่นธาตุลบเป็นตะกั่วบริสุทธิ (Sponge Lead : Pb) และเมื่อเติมสารละลายตะกั่วเปิดออกไซด์ลงไปให้ท่วมแผ่นธาตุแล้วก็พร้อมใช้งานแล้วและมี Voltage per Cell 2.0 V

2) แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH : Nickel Metal Hydride) แบตเตอรี่ที่นำมาใช้แทน Lead-Acid และเป็นที่ยอมรับใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า โดยมีโครงสร้างคือแผ่นธาตุบวกเป็น Nickel Hydroxide และ แผ่นธาตุลบเป็น Alloy of Nickel, Titanium, Vanadium และมีสารละลาย Alkaline เป็น Electrolyte ละมี Voltage

3) แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม (Ni-Cd: Nickel-Cadmium) เป็นแบตเตอรี่ Nickel อีกชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้าง คือแผ่นธาตุบวกเป็น Nickel Hydroxide และแผ่นธาตุลบเป็น Cadmium โดยมี Voltage per Cell 1.2 V

4) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน (Li-ion: Lithium-ion) เป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ซึ่งมีชนิดธรรมดาและชนิดโพลิเมอร์ (Conventional and Polymer) เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ใน มือถือ คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ต่าง ๆ โดยจะมีสารละลาย Lithium เป็น Electrolyte และมี Positive Electrode และ Negative Electrode ที่แตกต่างกันตามชนิดของ แบตเตอรี่ เช่น LCO (Li-Cobalt), LMO (Li-Manganese), LFP (Li-Phosphate), NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide), NCA (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide), LTO (Lithium Titanate), Li-S (Lithium Sulfur) และ Li-O (Lithium Oxygen) หรือเป็นแบตเตอรี่ที่ผสมระหว่างสารเหล่านี้ก็ได้ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภทมีคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้งานแตกต่างกันไป โดยพิจารณาคุณสมบัติในด้านต่างๆ ดังนี้

ค่าความจุพลังงานจำเพาะ (Specific Energy) หมายถึง ปริมาณความจุแบตเตอรี่ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก มีหน่วยเป็น Wh/kg

ค่ากำลังจำเพาะ (Specific Power) หมายถึง กำลังที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักมีหน่วยเป็น W/kg

ความปลอดภัย (Safety) หมายถึง ความสามารถในการระบายความร้อน ถ้าแบตเตอรี่สามารถ ระบายความร้อนได้ดีจะมีความปลอดภัยสูงกว่า

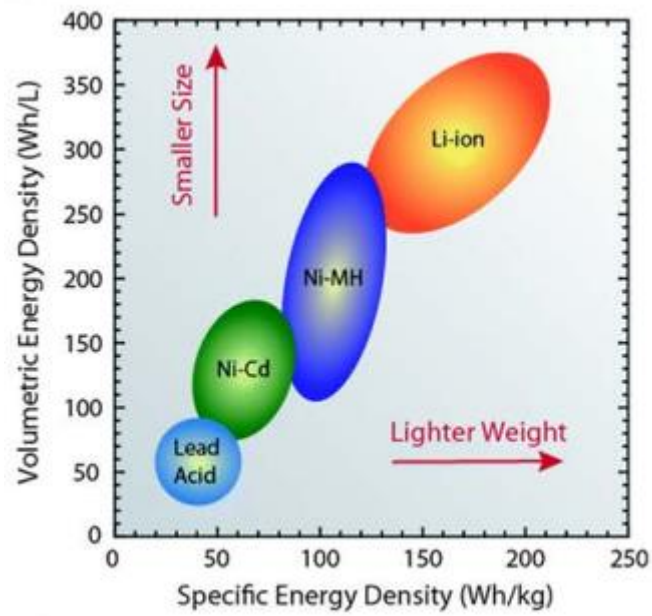
สมรรถนะ (Performance) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแบตเตอรี่ขณะใช้งาน

อายุในการใช้งาน (Life Span) หมายถึง จำนวนครั้งในการประจุไฟ

ต้นทุน (Cost) หมายถึง ต้นทุนในการผลิตแบตเตอรี่ต่อ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

การเปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน นั้นดีกว่าแบตเตอรี่ประเภทอื่น ๆ อย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งเป็นหลักการที่สำคัญในการใช้งานกับยานยนต์ไฟฟ้า เช่นมีอายุการใช้งาน 6-10 ปี นอกจากนี้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ยังประกอบด้วยวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยไม่มีปัญหาเรื่อง

แก๊สพิษ และมีความปลอดภัยสูง ดังนั้นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน จึงกลายเป็นแหล่งจ่ายไฟยอดนิยมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 เปรียบเทียบความหนาแน่นพลังงาน (Energy Density) ของขนาดและน้ำหนัก

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจำเพาะของแบตเตอรี่ตามชนิดของเคมี

pecifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific Energy Density (Wh/kg)	30-50	45-80	60-120	150-190	100-135	90-120
Internal Resistance ($m\Omega$)	<100 12V pack	100-200 6V pack	200-300 6V pack	150-300 7.2V	25-75 per cell	25-50 per cell
Life Cycle (80% Discharge)	200-300	1000	300-500	500-1,000	500-1,000	1,000-2,000
Fast-Charge Time	8-16h	1h typical	2-4h	2-4h	1h or less	1h or less
Overcharge Tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-Discharge/month (Room Temp)	5%	20%	30%	<10%		
Cell Voltage (Nominal)	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3.8V	3.3V
Charge Cutoff Voltage (V/cell)	2.40	Full charge detection by voltage signature		4.20		3.60
Discharge Cutoff Voltage (V/cell, 1C)	1.75	1.00		2.50-3.00		2.80
Peak Load Current	5C	20C	5C	>3C	>30C	>30C
Best Result	0.2C	1C	0.5C	<1C	<10C	<10C
Charge Temperature	-20 to 50°C -4 to 122°F	0 to 45°C 32 to 113°F		0 to 45°C 32 to 113°F		
Discharge Temperature	-20 to 50°C -4 to 122°F	-20 to 65°C -4 to 149°F		-20 to 60°C -4 to 140°F		
Maintenance Requirement	3-6 Months (topping charge)	30-60 days (discharge)	60-90 days (discharge)	Not required		
Safety Requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection common		Protection circuit mandatory		
In Use Since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very High	Very High	Low	Low		

3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้งานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ ที่มีเซลล์ลิเทียมไอออนเป็นชนิดที่ใช้บ่อยที่สุดสำหรับการจัดเก็บพลังงานยานยนต์ไฟฟ้า หลักการทำงานของเซลล์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับกระบวนการไอออนกลับของลิเทียมไอออน (Li+) ระหว่างแคโทดและแอโนดเรียกว่า intercalation สำหรับอัดประจุ และ deintercalation สำหรับคายประจุ แบตเตอรี่ของกลุ่มลิเทียมไอออนแบ่งคุณสมบัติทั่วไป ซึ่งเป็นการออกแบบโดยใช้ขั้วไฟฟ้าบวกของออกไซด์โลหะที่มีปริมาณลิเทียม ขั้วไฟฟ้าลบทำจาก porous carbon และอิเล็กโทรไลต์ด้วย lithium salts ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ มีโครงการวิจัยที่ ดำเนินการ โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเซลล์ ที่มุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบขององค์ประกอบเฉพาะ สิ่งนี้ทำให้สามารถสร้างเวอร์ชันที่แตกต่าง และเป็นความแตกต่างในองค์ประกอบของส่วนประกอบที่เปลี่ยนแปลง ที่ตัดสินใจเกี่ยวกับ

ประสิทธิภาพและคุณสมบัติการทำงานของเทคโนโลยีที่กำหนดปัจจุบันแบตเตอรี่ที่ใช้บ่อยที่สุดสำหรับการใช้งานกับยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับสารประกอบดังต่อไปนี้

- Lithium Iron Phosphate: LiFePO_4 (LFP);
- Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: LiNiMnCoO_2 , (NMC);
- Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide: LiNiCoAlO_2 , (NCA).

3.3.1 น้ำหนักและปริมาตรของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนได้ใช้ติดตั้งในการใช้งานด้านระบบขนส่ง เนื่องจากข้อได้เปรียบบางอย่างหนึ่งในนั้น คืออัตราส่วนที่ให้เปรียบอย่างมากของพลังงานต่อปริมาตรหรือน้ำหนัก พารามิเตอร์นี้เรียกว่าความหนาแน่นของพลังงาน ซึ่งสามารถเก็บพลังงานให้ทำไดใน 1 กิโลกรัมหรือลิตร ผู้ผลิตเซลล์กำหนดค่านี้ ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการประเมินความเหมาะสมของเทคโนโลยีที่กำหนดสำหรับโซลูชันในการออกแบบ ความหนาแน่นพลังงานที่แตกต่างกันสำหรับเซลล์เดี่ยว และแตกต่างกันไปสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้เซลล์สำเร็จรูป ด้วยปัญหาจึงทำให้ต้องมีระบบไฟฟ้า เครื่องกล และระบบการวัดเพิ่มเติมในแพ็คเกจแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามข้อมูลนี้เป็นการอ้างอิงที่ดีในการประเมินว่าพลังงานที่ต้องการมีผลต่อน้ำหนัก และปริมาตรของยานพาหนะอย่างไร

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบความหนาแน่นพลังงานสำหรับเซลล์ลิเทียมไอออนทั้ง 4 ประเภท

Cell Type	Energy Density per Weight [Wh/kg]	Energy Density per Volume [Wh/l]
LTO	90	200
LFP	130	247
NMC	150	300
NCA	240	670

ตารางที่ 3.3 แสดงความหนาแน่นพลังงานสำหรับเซลล์ลิเทียมไอออน 4 ประเภท เซลล์ LTO นั้น แต่ที่จุดในการเปรียบเทียบนี้ เซลล์ LP และ NMC อยู่ในระดับใกล้เคียงกันในขณะที่เทคโนโลยี NCA มีความหนาแน่นของพลังงานมากที่สุด

ความหนาแน่นของพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกประเภทของแบตเตอรี่สำหรับยานพาหนะแต่ละประเภท ตัวอย่าง เช่น ยานยนต์ไฟฟ้านั้นต้องการแบตเตอรี่ขนาดเล็กและความจุสูง ซึ่งเกิดจากพื้นที่ว่างมีขนาดเล็กและข้อจำกัดเกี่ยวกับน้ำหนักของยานพาหนะ รถบัสมีพื้นที่มากขึ้นและปริมาณแบตเตอรี่ไปสำคัญ แต่น้ำหนักยังเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากข้อจำกัดของน้ำหนักโดยรวม โดยกฎระเบียบที่ได้อนุญาต แบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักมากอาจจำกัดจำนวนผู้โดยสารที่สามารถเดินทางได้

3.2.2 อุณหภูมิที่มีผลต่อการทำงานของแบตเตอรี่

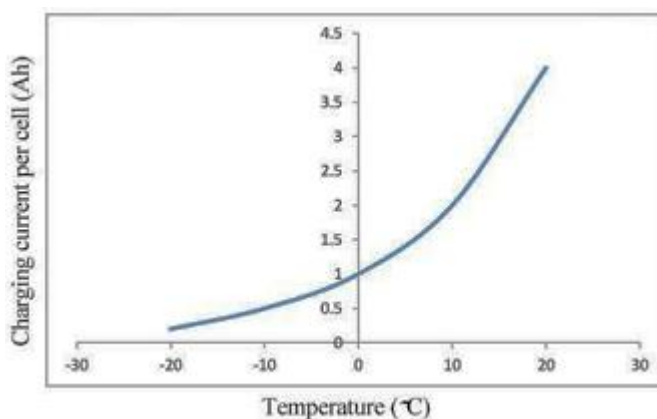
ผู้ผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทั้งหมดกำหนดว่าประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ข้อจำกัดคือเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและส่งผลกระทบต่ออายุและการปล่อยกระแสไฟฟ้า การใช้งานเกินขีดจำกัดดังกล่าวอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือทำให้อายุสั้นลง

ตารางที่ 3.4 แสดงช่วงอุณหภูมิสำหรับการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อมีการคายประจุและการทำงานอัดประจุ ข้อมูลในตารางที่ 2 สำหรับข้อมูลของค่าอุณหภูมิในระดับที่ปลอดภัยที่ผู้ผลิตแบตเตอรี่แนะนำของเซลล์ประเภท LTO, LFP, NMG และข้อมูลสำหรับ NCA ของ Data Sheet

ตารางที่ 3.4 อุณหภูมิสำหรับการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อขาดประจุและเมื่อทำการอัดประจุ

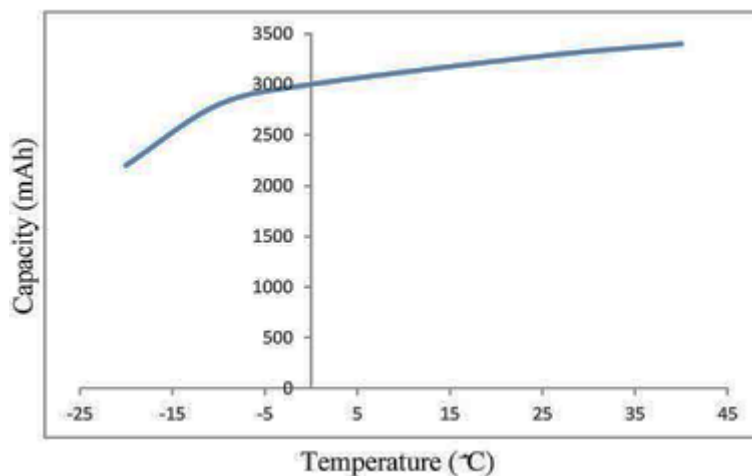
Cell Type	Operating Temperature Range (Discharging)	Operating Temperature Range (Charging)
LTO	-30 to 55 'C	-20 to 55 'C
LFP	-30 to 55 'C	-20 to 55 'C
NMC	-20 to 55 'C	-0 to 55 'C
NCA	-20 to 60 'C	-0 to 45 'C

ข้อมูลตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าช่วงอุณหภูมิสำหรับกระแสอัดประจุที่แคบกว่า กระแสคายประจุซึ่งหมายความว่ากระบวนการอาจประจุนั้นมีความต้องการทางด้านไฟฟ้ามากกว่า ดังนั้น พารามิเตอร์อุณหภูมิจึงมีความจำเป็นมากในการนำมาพิจารณา นอกเหนือจากข้อจำกัดของช่วงอุณหภูมิในการทำงานของเซลล์แล้ว ยังมีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและช่วงของกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุ และคลายประจุอีกด้วย ดังรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ LFP



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสการอัดประจุและอุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่

รูปที่ 3.5 แสดงกระแสของการอัดประจุที่อุณหภูมิ -20° ถึง 20°C พบว่าสำหรับที่ อุณหภูมิต่ำนั้นกระแสของการอัดประจุมีค่าต่ำสุดหมายถึงต้องใช้เวลาในการอัดประจุนานขึ้นด้วยและใน สถานการณ์เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าต้องการอัดประจุเร็วโดยใช้กระแสสูงแต่อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญในการ อัดประจุทำให้ไม่สามารถใช้ฟังก์ชันนี้ได้จากการใช้กระแสสูงทำให้แพะแบตเตอรี่ร้อนเกินไปและลดลง ของกระแสไฟช่วยเพิ่มเติมข้อจำกัดทางด้านความร้อนของแบตเตอรี่ความสัมพันธ์ที่ต้องพิจารณาอีก ประการหนึ่งคืออุณหภูมิที่มีผลต่อความจุ ของแบตเตอรี่รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีผล ต่อความจุของแบตเตอรี่ความจุมีค่าลดลงถึง 35% เมื่ออุณหภูมิของเซลล์ที่มีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความจุของเซลล์และอุณหภูมิของเซลล์

การทำงานของแบตเตอรี่ในอุณหภูมิต่ำหรือสูงเกินไปทำให้เสื่อมสภาพได้เร็ว อุณหภูมิในการทำงานที่แนะนำมากที่สุดคือที่ 20 - 25 °C เพื่อแก้ไขปัญหาสถานการณ์ที่กล่าวมาข้างต้นมีการใช้ระบบ passive หรือ Active สำหรับการปรับสภาพความร้อนของแพ็คเกจแบตเตอรี่เป็นระบบสำหรับความร้อนความเย็นหรือทั้ง 2 อย่างตามความต้องการขึ้นอยู่กับข้อมูลจำเพาะของแบตเตอรี่ระบบดังกล่าวระบายอากาศด้วยการใช้ของเหลวสำหรับการระบายอากาศร้อนหรืออากาศเย็นนอกเหนือจากฟังก์ชันที่ช่วยป้องกันแบตเตอรี่จากความร้อนสูงและเย็นเกินไประบบปรับความร้อนมีอุปกรณ์ประกอบ เพื่อให้อุณหภูมิภายในมีความสม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญนอกจากเซลล์ทำงานที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีข้อจำกัดการทำงานที่แตกต่างกันความแตกต่างดังกล่าวในแบตเตอรี่ 1 ก้อนอาจทำให้เกิดการลัดวงจรและอายุการใช้งานน้อยลง

3.2.3 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ทำงานในยานยนต์ไฟฟ้า

พารามิเตอร์นี้กำหนดกระแสไฟฟ้าสำหรับการอัดประจุและการคายประจุระบุไว้สำหรับอุณหภูมิ -20° C กระแสการทำงานถูกระบุเป็นตัวทวีคูณของตัวเลข C เช่นกระแสไฟฟ้า 1C คือกระแสไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมงซึ่งทำให้การอัดประจุแบตเตอรี่จาก 0-100% ของความจุใน 1 ชั่วโมงหรือการคายประจุของแบตเตอรี่จาก 100 เป็น 0% ของความจุใน 1 ชั่วโมงและกระแสไฟฟ้า 5C คือมีค่าเป็น 5 เท่าของกระแสไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมงเช่นแบตเตอรี่คายประจุทั้งหมด 1 ใน 5 ของชั่วโมงก็คือ 12 นาที

ตารางที่ 3.5 ช่วงกระแสการทำงานสำหรับการคายประจุของแบตเตอรี่

Cell Type	Operating Current (Discharging)	Operating Current (Charging)
LTO	5 C ถึง 10 C	5 C ถึง 10 C
LFP	3 C	1 C
NMC	2 C ถึง 3 C	1 C
NCA	2 C	0.5 C

จากตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าแบตเตอรี่ LTO มีกระแสไฟฟ้าทำงานที่ใช้ได้มากที่สุด เทคโนโลยี LFP และ NMC มีค่าใกล้เคียงกันและเทคโนโลยี NCA มีความต้องการมากขึ้นสำหรับการอัดประจุขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีแบตเตอรี่บางรุ่นต้องการสถานีอาจประจุที่มีพลังงานเพียงพอสำหรับการอัดประจุอย่างรวดเร็วและแบตเตอรี่อื่นๆต้องใช้ในยานพาหนะเมื่อการอัดประจุไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า

3.2.4 จำนวนรอบการทำงานของแบตเตอรี่

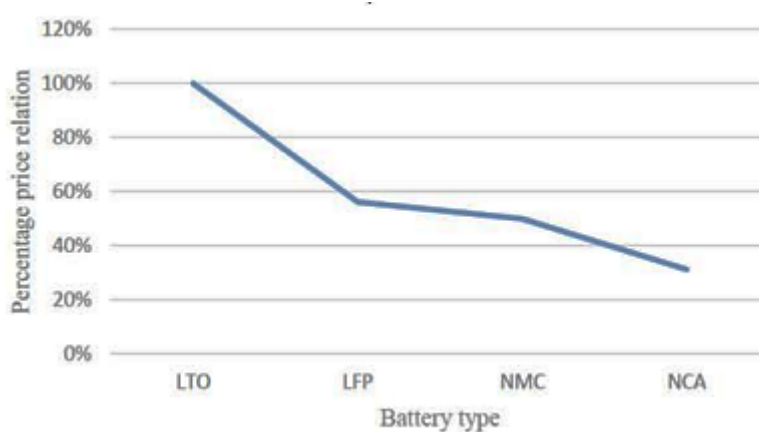
ข้อมูลของผู้ผลิตไม่สามารถเปรียบเทียบจำนวนรอบการทำงานเสมอไปทั้งนี้เพราะจำนวนขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยกระแสอาจประจุและคายประจุและความลึกของกระบวนการจากตารางที่ 2.1 คือชุดจำนวนรอบการทำงานจากผู้ผลิตแบตเตอรี่ทั้งหมดเกี่ยวข้องกับความลึกการคายประจุที่ 100% และกระแสในการทำงานลดลงในช่วงที่กำหนดจากผู้ผลิตจากข้อมูลในตารางที่ 2.5 แสดงว่าแบตเตอรี่ LTO มีข้อได้เปรียบเหนือกว่าแบตเตอรี่อื่น ๆ ส่วน LFP และ nmc มีค่าใกล้เคียงกันและ NCA เป็นค่าที่แย่ที่สุดแบตเตอรี่ LTO มีจำนวนรอบการทำงานที่ 15,000 รอบของกระแส 3C ที่ 25 °C และความลึกในการคายประจุเป็นค่าที่ได้มาจากการทดลองของผู้ผลิต

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบจำนวนรอบการทำงานที่เป็นไปได้ก่อนที่ความจุมีค่าลดลงถึง 80% ของความจุสูงสุดสำหรับเซลล์ LTO ,LFP ,NMC และ NCA

Cell Type	Number of Life Cycles for 100% Depth of Discharge (DoD)
LTO	15000
LFP	3600
NMC	3000
NCA	500

3.2.5 มุมมองทางเศรษฐกิจของการเลือกแบตเตอรี่

กระบวนการตัดสินใจในการเลือกแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับแง่มุมทางเศรษฐกิจรูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ด้านราคาสำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนยังอยู่ในระดับสูง ประมาณ 250 - 290 เหรียญสหรัฐต่อ kWh นี้คือเหตุผลของข้อจำกัดในการพัฒนาของยานยนต์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าจากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติและข้อจำกัดเมื่อตัดสินใจเกี่ยวกับการลงทุนในยานยนต์ไฟฟ้าโดยสมภาวะการทำงานที่เหมาะสมสามารถเลื่อนอายุการใช้งานได้อย่างมาก



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ด้านราคาสำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมที่ปริมาณความจุเดียวกัน

3.3 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

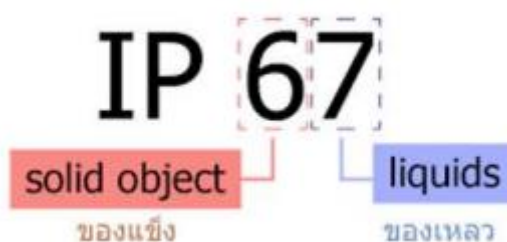
เนื่องจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการบำรุงรักษาเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรถยนต์ที่มีเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงการเปลี่ยนแพ็คแบตเตอรี่และมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นงานที่มีราคาแพงซึ่งต้องใช้ความรู้เฉพาะทางที่มีคุณสมบัติเฉพาะทางโดยขึ้นส่วนระบบส่งกำลังเหล่านี้มีอายุการใช้งานยาวนานหลายปีและมีระยะทางหลายหมื่นกิโลเมตรนอกจากนี้ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้ามักมีการรับประกันสินค้าเป็นเวลานานโดยเป็นเครื่องพิสูจน์ถึงความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้าต้องคำนึงถึงการใช้งานและการบำรุงรักษาและข้อควรหลีกเลี่ยงเบื้องต้นดังนี้

3.3.1 การวิ่งผ่านน้ำท่วม

กรณีน้ำท่วมเป็นอีกสถานการณ์ที่ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ากังวลทั้งนี้เพราะบางครั้งก็คาดเดาได้ยากว่าจะพบสถานการณ์น้ำท่วมเมื่อใดและขับผ่านไปได้อย่างไรโดยไม่เป็นอันตรายกับทั้งผู้ขับขี่และตัวรถยนต์โดยการออกแบบและผลิตแล้วเป็นที่ทราบกันว่าระบบขับเคลื่อนโดยเฉพาะมอเตอร์และ แพ็คแบตเตอรี่ถูกออกแบบมาให้กันน้ำกันฝุ่นและในการใช้งานจริงพบว่าระบบการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าไม่พบปัญหาในการขับขี่ต่อเนื่องผ่านน้ำอย่างช้าๆดังนั้นขอแนะนำโดยทั่วไปคือยานยนต์ไฟฟ้าสามารถขับผ่านน้ำท่วมได้เหมือนรถแบบดั้งเดิมคือวิ่งผ่านน้ำท่วมระดับครึ่งล้ออย่างช้าๆแต่ก็มีประสบการณ์จริงของผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า tesla Model S ที่ใช้ขับตอนน้ำท่วมสูงราว 60 - 70 ซมก็ขับผ่านได้อย่างไม่เป็นปัญหาแต่เมื่อขับผ่านบริเวณน้ำท่วมสูงมาแล้วผู้ขับขี่พบว่าหน้าจอเตือนไฟหยุดทำงานชั่วคราวแม้ว่ารถยังคงขับเคลื่อนไปได้อย่างต่อเนื่องและมีข้อแนะนำว่าเมื่อผ่านบริเวณน้ำท่วมผู้ขับขี่ควรมีเวลาตากอุปกรณ์ให้แห้งระบบจะกลับมาใช้งานได้ดังเดิม

มาตรฐาน IP (อังกฤษ : IP Rating, IP Code, IP Standard) ชื่อเต็ม International Protection Standard ความมาตรฐาน IEC 60529 หรือบางครั้งถูกตีความเป็น Ingress Protection Rating คือมาตรฐานที่บอกถึงระดับการป้องกันฝุ่นและน้ำของเครื่องจักร (mechanical casings) และ อุปกรณ์ไฟฟ้า (electrical enclosures) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย IEC (International Electro technical Commission) เทียบเท่ากับมาตรฐานยุโรป EN 60529 ในส่วนของความหมายของ IP Rating (Ingress Protection) ที่กล่าวมาจากข้างต้นนั้น หมายถึง ดัชนีที่แสดงถึงความสามารถการป้องกันสิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปในอุปกรณ์นั้นๆได้ แบ่งเป็นของแข็งและของเหลว ของแข็ง เช่น ฝุ่น ผง เศษไม้ เศษเหล็ก และ วัสดุต่างๆที่จะเล็ดลอดเข้าไปในอุปกรณ์ ของเหลว เช่น น้ำ ฝน ละอองฝน ตัวเลขที่กำกับอยู่ด้านหลัง IP

นั้นมีสองตัวคือ ตัวแรกบอกถึงระดับความสามารถที่จะป้องกันของแข็ง ส่วนตัวที่สองบอกถึงระดับความสามารถป้องกันของเหลวดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงตัวเลขที่กำกับอยู่ด้านหลัง IP

การบอกถึงระดับการป้องกันนั้นหลักๆแล้วถูกแสดงโดยตัวเลข 2 หลักคือ IPxx โดยหลักแรกหมายถึงระดับการป้องกันของฝุ่นหรือการสัมผัสโดยบังเอิญ ซึ่งมีระดับตั้งแต่ 0-6 ส่วนหลักที่สองหมายถึงระดับการป้องกันน้ำ ซึ่งมีระดับตั้งแต่ 0-9 ยกตัวอย่างเช่น IP65 หมายถึง ป้องกันฝุ่นและน้ำจากการฉีดได้ 100 % เป็นต้น ซึ่งความหมายของรหัส IP ตัวอื่นๆ ถูกเขียนไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงถึงความหมายของรหัส IP

สัญลักษณ์ IP	การป้องกันของแข็ง	การป้องกันของเหลว	การทนต่อแรงกระแทก	การป้องกันอื่นๆ
IP	ตัวเลข 0-6	ตัวเลข 0-9	ตัวเลข 0-9	ตัวอักษร
จำเป็นต่อระบุ	จำเป็นต่อระบุ	จำเป็นต่อระบุ	ยกเลิกการใช้แล้ว	ไม่จำเป็นต่อระบุ


ตัวเลขหลักที่ 1 การป้องกันของแข็ง

ตารางที่ 3.8 แสดงให้เห็นถึงระดับการป้องกันของแข็งซึ่งของแข็งที่กล่าวนี้หมายถึงการป้องกันการเข้าถึง(เข้าไปในตัวอุปกรณ์)ของฝุ่นหรือการสัมผัสโดยบังเอิญเท่านั้นไม่รวมถึงการกระแทกจากของแข็งซึ่งการทนต่อแรงกระแทกนั้นจะบอกในตัวเลขหลักที่ 3 ของมาตรฐาน IP และปัจจุบันได้ยกเลิกการใช้แล้วโดยการป้องกันของของแข็งมีทั้งหมด 7 ระดับตั้งแต่ระดับ 0 - 6

ตารางที่ 3.8 รหัสตัวแรกแสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ (ของแข็ง) เล็ดรอดเข้าภายใน

รหัส	ภาพประกอบ	รายละเอียด
0		ไม่มีการป้องกัน
1		ป้องกันของแข็งที่มีขนาดตั้งแต่ 50 mm ขึ้นไปยกตัวอย่างป้องกันการสัมผัสตัวอุปกรณ์โดยไม่ตั้งใจจากมือหรือส่วนอื่นๆของร่างกาย
2		ป้องกันของแข็งที่มีขนาดตั้งแต่ 12 mm ขึ้นไปยกตัวอย่างป้องกันการสัมผัสตัวอุปกรณ์โดยไม่ตั้งใจจากนิ้วมือหรือเครื่องมืออื่นๆที่มีขนาดใกล้เคียงกัน
3		ป้องกันของแข็งที่มีขนาดตั้งแต่ 2.5 mm ขึ้นไปยกตัวอย่างป้องกันการสัมผัสตัวอุปกรณ์โดยไม่ตั้งใจจากไขควงหรือเครื่องมืออื่นๆที่มีขนาดใกล้เคียงกัน
4		กันของแข็งที่มีขนาดตั้งแต่ 1 mm ขึ้นไปยกตัวอย่างป้องกันการสัมผัสตัวอุปกรณ์โดยไม่ตั้งใจจากสายไฟเส้นลวดไขควงขนาดเล็กแมลงบางชนิดหรือเครื่องมืออื่นๆที่มีขนาดใกล้เคียงกัน
5		ป้องกันฝุ่นได้แต่อาจมีฝุ่นเล็กน้อยเล็ดลอดเข้าไปโดยฝุ่นที่เล็ดลอดเข้าไปในนั้นต้องไม่มีผลใดๆต่อการทำงานของอุปกรณ์ มาตรฐาน IP นี้จะอยู่ในเครื่องมือวัดแบบพกพาหรืออุปกรณ์ที่ใช้เป็นครั้งคราวโดยฝุ่นอาจเล็ดรอดเข้าไปได้จากฝาปิดแบตเตอรี่



ตารางที่ 3.8 รหัสตัวแรกแสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ (ของแข็ง) เล็ดรอดเข้าภายใน (ต่อ)

รหัส	ภาพประกอบ	รายละเอียด
6		ป้องกันฝุ่นได้สมบูรณ์โดยมาตรฐานนี้ถูกทดลองบนพื้นที่ที่มีการไหลเวียนของอากาศและฝนเป็นเวลา 8 ชั่วโมงยกตัวอย่างส่วนใหญ่มาตรฐาน IP นี้จะอยู่ในเครื่องมือวัดแบบติดตั้งหรืออุปกรณ์อื่นๆที่ถูกใช้งานในพื้นที่ตลอดเวลา





ตัวเลขหลักที่ 2 การป้องกันของแข็ง

ตารางที่ 3.9 แสดงให้เห็นถึงระดับการป้องกันของเหลวซึ่งของเหลวที่กล่าวถึงนี้หมายถึงของจำพวกน้ำเท่านั้นไม่รวมถึงของเหลวประเภทอื่นๆเช่นน้ำมันสารเคมีที่มีความเป็นกรดหรือด่างสูง ฯลฯ โดยการป้องกันมีทั้งหมด 11 ระดับตั้งแต่ระดับ 0 ถึง 9K





ตารางที่ 3.9 รหัสตัวแรกแสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ(ของแข็ง)เล็ดเข้าไปภายใน

รหัส	ภาพประกอบ	รายละเอียด
0		ไม่มีการป้องกัน
1		ป้องกันหยดน้ำที่ตกกระทบในแนวตั้งกับอุปกรณ์เท่านั้นทดสอบโดยการปล่อยหยดน้ำในแนวตั้งปริมาณเทียบเท่าสายฝนขนาด 1 mm/min เป็นเวลา 10 นาที
2		ป้องกันหยดน้ำที่ตกกระทบในแนวเฉียงรอบตัวอุปกรณ์ได้ทำมุมสูงสุด 15 องศาจากแนวตั้งทดสอบโดยปล่อยหยดน้ำในแนวเฉียงปริมาณเทียบเท่าสายฝนขนาด 3mm/min เป็นเวลา 2.5 นาที/ด้าน(รวมทั้งหมด 10 นาที)โดยทดสอบทั้งหมด 4 ด้านคือด้านซ้าย ด้านขวา ด้านหน้าและด้านหลังของอุปกรณ์

ตารางที่ 3.9 รหัสตัวแรกแสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ(ของแข็ง)เล็ดเข้าไปภายใน (ต่อ)

รหัส	ภาพประกอบ	รายละเอียด
3		<p>ป้องกันละอองน้ำที่ตกกระทบในแนวเฉียงรอบตัวอุปกรณ์ได้ทำมุมสูงสุด 60 องศาจากแนวตั้งทดสอบโดยใช้หัวสเปรย์ฉีด(spray Nozzle) ฉีดไปที่อุปกรณ์ โดยมีแผ่นป้องกันน้ำ(เพื่อให้ได้มุมทดสอบ)ด้วยแรงดัน 50 - 150 Kpa และอัตราการไหล 10 l/min เป็นเวลา 1 นาทีต่อพื้นที่อุปกรณ์ 1m² โดยใช้ระยะเวลาในการทดสอบทั้งหมดอย่างน้อย 5 นาที</p>
4		<p>ป้องกันละอองน้ำที่ตกกระทบตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทางทดสอบโดยใช้หัวฉีดสเปรย์ (Spray Nozzle) ฉีกรอบตัวอุปกรณ์ด้วยแรงดัน 50-150 kPa และอัตราการไหล 10 l/min เป็นเวลา 1 นาทีต่อพื้นที่อุปกรณ์ 1 m² โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมดอย่างน้อย 5 นาที</p>
5		<p>ป้องกันน้ำจากการฉีดที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทางทดสอบโดยใช้หัวฉีด (Nozzle) ขนาด 6.3 มม ฉีกรอบตัวอุปกรณ์ด้วยแรงดัน 30 kPa ที่ระยะห่าง 3 m และอัตราการไหล 12.5 l/min เป็นเวลา 1 นาทีต่อพื้นที่อุปกรณ์ 1 m² โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมดอย่างน้อย 3 นาที</p>
6		<p>ป้องกันน้ำจากการฉีดแบบรุนแรงที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทางทดสอบโดยใช้หัวฉีด (Nozzle) ขนาด 12.5 mm ฉีกรอบตัวอุปกรณ์ด้วยแรงดัน 100 kPa ที่ระยะห่าง 3 m และอัตราการไหล 100 l/min เป็นเวลา 1 นาทีต่อพื้นที่อุปกรณ์ 1 m² โดยใช้เวลาในการทดสอบ ทั้งหมดอย่างน้อย 3 นาที</p>

ตารางที่ 3.9 รหัสตัวแรกแสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ(ของแข็ง)เล็ดเข้าไปภายใน (ต่อ)

รหัส	ภาพประกอบ	รายละเอียด
6K		<p>ป้องกันน้ำจากการรดแรงดันสูงที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทางทดสอบโดยใช้หัวฉีด (Nozzle) ขนาด 6.3 เททา ฉีครอบตัวอุปกรณ์ ด้วยแรงดัน 1,000 kPa ที่ระยะห่าง 3 ม และอัตราการไหล 75 l/min เป็นเวลา 1 นาทีต่อพื้นที่อุปกรณ์ 1 m² โดยใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมดอย่างน้อย 3 นาที</p>
7		<p>ป้องกันการแทรกซึมของน้ำจากการแช่ตัวอุปกรณ์ในน้ำได้ที่ความลึกสูงสุด 1 ม เป็นระยะเวลาสูงสุด 30 นาที การทดสอบ ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กจะแช่ตัวอุปกรณ์ลงในน้ำที่ความลึก 1,000 mm โดยวัดจากจุดต่ำสุดของตัวอุปกรณ์ถึงผิวน้ำ ในกรณีที่เป็นอุปกรณ์ขนาดใหญ่จะแช่ตัวอุปกรณ์ลงในน้ำที่ความลึก 150 มม วัดจากจุดสูงสุดของตัวอุปกรณ์ถึงผิวน้ำ เป็นระยะเวลา 30 นาที ทั้ง 2 กรณี</p>
8		<p>ป้องกันการแทรกซึมของน้ำจากการแช่ตัวอุปกรณ์ในน้ำได้แบบถาวรทดสอบ เนื่องจากระยะความลึกในการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน การทดสอบของมาตรฐาน IP นี้ขึ้นอยู่กับโรงงานผู้ผลิต โดยตรงซึ่งโรงงานผู้ผลิตจะระบุความลึกสูงสุดในการใช้งานของอุปกรณ์มาด้วย</p>
9K		<p>ป้องกันน้ำจากการฉีดแรงดันสูงพิเศษที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทาง ที่อุณหภูมิน้ำสูงสุด 80 C ทดสอบโดยใช้หัวฉีด (Nozzle) ฉีครอบตัวอุปกรณ์ 4 ตำแหน่งคือ ทำมุม 0, 30, 60, 90 องศาจากแนวตั้งของอุปกรณ์ที่ระยะห่าง 100-150 mm ด้วยแรงดัน 8-10 MPa และอัตราการไหล 14-16 l/min ที่อุณหภูมิน้ำ 80C เป้าเวลาตำแหน่งละ 30 วินาที (รวมทั้งหมด 2 นาที)</p>

การป้องกันอื่นๆ

นอกเหนือจากการป้องกันฝุ่นและน้ำแล้วยังมีการป้องกันอื่นๆเพิ่มเติมอีก โดยการป้องกันอื่นๆนั้นจะใช้สัญลักษณ์ตัวอักษรต่อท้ายหมายเลข IP โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การป้องกันอื่นๆ

สัญลักษณ์	รายละเอียด
f	ป้องกันน้ำมัน
H	ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงดันสูง (High voltage device)
M	อุปกรณ์มีการเคลื่อนที่ขณะทดสอบการป้องกันน้ำ
S	อุปกรณ์ไม่มีการเคลื่อนที่ขณะทดสอบการป้องกันน้ำ
W	ทนต่อสภาพอากาศทางธรรมชาติ

ตัวอย่างมาตรฐาน IP ที่อาจเจออยู่บ่อยๆ จากตารางตัวเลขทั้งหมดที่กล่าวมานั้น มีไม่กี่ตัวที่ถูกนำมาใช้และเป็นที่ยอมรับมาจำหน่าย ซึ่งมาตรฐาน IP ที่นิยมและเห็นได้บ่อยครั้งมีดังนี้

IP54 คือมาตรฐานที่จะเป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์หรือเครื่องมือนั้นๆ มีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นได้แต่ต้องมีฝุ่นเล็กน้อยเล็ดลอดเข้าไปโดยฝุ่นที่เล็ดลอดเข้าไปนั้นต้องไม่มีผลใดๆต่อการทำงานของอุปกรณ์และมีความสามารถที่จะป้องกันละอองน้ำที่ตกกระทบตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทาง

IP65 คือมาตรฐานที่จะเป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์หรือเครื่องมือนั้นๆ มีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นได้สมบูรณ์และมีความสามารถที่จะป้องกันน้ำจากการฉีดที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทาง

IP66 คือมาตรฐานที่จะเป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์หรือเครื่องมือนั้นๆ มีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นได้สมบูรณ์และมีความสามารถที่จะป้องกันน้ำจากการฉีดแบบรุนแรงที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทาง

IP66K คือมาตรฐานที่จะเป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์หรือเครื่องมือนั้นๆ มีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นได้สมบูรณ์และมีความสามารถที่จะป้องกันน้ำจากการฉีดแรงดันสูงที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทาง

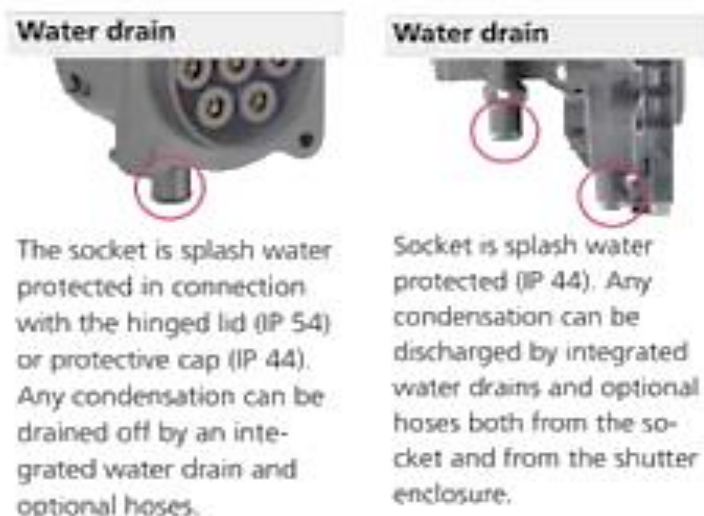
IP67 คือมาตรฐานที่จะเป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นๆ มีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นได้สมบูรณ์และมีความสามารถที่จะป้องกันการแทรกซึมของน้ำจากการแช่ตัวอุปกรณ์ในน้ำได้ที่มีความลึกสูงสุด 1 m เป็นระยะเวลาสูงสุด 30 นาที

IP68 คือมาตรฐานที่จะเป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นๆ มีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นได้สมบูรณ์และมีความสามารถที่จะป้องกันการแทรกซึมของน้ำจากการแช่ตัวอุปกรณ์ในน้ำได้

IP69K คือมาตรฐานที่จะเป็นตัวบอกว่าอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นๆ มีความสามารถที่จะป้องกันฝุ่นได้สมบูรณ์และมีความสามารถที่จะป้องกันการฉีดแรงดันสูงพิเศษที่ตัวอุปกรณ์ได้จากทุกทิศทาง ที่อุณหภูมิสูงสุด 80 C

3.3.2 การอัดประจุไฟฟ้าขณะฝนตก

สำหรับเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าเป็นระบบการทำงานเกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าที่สูงส่งผลให้การประจุไฟฟ้าขณะฝนตกจึงเป็นกรณีที่หลายคนกังวล แต่โดยการออกแบบแล้วโดยมาตรฐานแทนประจุถูกออกแบบมาให้ทำงานได้ทั้งกับฝนและหิมะ โดยไม่ต้องมีระบบป้องกันหรือที่ครอบตามรูปที่ 3.9 สังเกตได้ว่าที่หัวประจุ Socket มีการออกแบบให้มีช่องระบายน้ำในขณะที่เป็นประจุที่ตัวรถก็มีช่องระบายน้ำเช่นกันโดยออกแบบเพื่อรองรับกรณีฝนตกน้ำซึ่งที่เต้าน้ำจึงไม่ขังอยู่ในบริเวณที่หัวประจุโดยหัวประจุนี้จะยึดประกบเข้ากับแป้นประจุ ตามรูปที่ 3.9 ด้านซ้าย นอกจากนั้นแล้วในการเสียบเข้ายึดประกบกันไฟฟ้ายังไม่จ่ายในทันทีเมื่อยึดประกบกันขึ้นกันน้ำมี IP Rating ที่ 54 ป้องกันฝุ่นและน้ำสะอาดจากรอบด้านป้องกันน้ำฝนที่จะเข้าไปโดยขั้วไฟฟ้าเพิ่มเติมอุปกรณ์สำคัญคือ Ground Fault Interrupter (GFI) อุปกรณ์นี้คอยตรวจจับกระแสไฟฟ้าในวงจรในการไหลไปหากไหลกลับมีการสูญเสียไปของกระแสไฟฟ้า GFI จะตัดกำลังไฟฟ้าสู่วงจรทันทีต่อเมื่อไม่พบการรั่วไหลของกระแสการจ่ายไฟฟ้าเพื่อประจุจึงเกิดขึ้นได้



รูปที่ 3.9 ช่องระบายน้ำออกที่ Socket

3.3.3 ข้อควรหลีกเลี่ยง

แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพลดลงตามการใช้งานและเวลามีหลายวิธีที่สามารถดำเนินการเพื่อยืดอายุใช้งานของแพคเกจแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าวิธีที่ดีที่สุดในการยืดอายุการใช้งานของชุดแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าคือ

1) หลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่สูงเกินไปทางอุณหภูมิที่ร้อนและเย็นจัดส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปและผู้ผลิตจะคำนึงถึงอุปกรณ์ที่สูงเกินไปในระหว่างการพัฒนา รถยนต์และยานยนต์ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีตัวเลือกการระบายความร้อนเสริมและตัวเลือกการทำความร้อนที่เพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของก้อนแบตเตอรี่จะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2) หลีกเลี่ยงการประจุแบตเตอรี่จนเต็ม (fully charging) และใช้งานจนแบตเตอรี่หมด การประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าให้เต็มความจุและใช้งานจนแบตเตอรี่หมดทำให้แบตเตอรี่เสื่อมประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าจึงป้องกันการประจุเต็มกำลังการผลิตเพื่อจำกัดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

3) หลีกเลี่ยงการใช้เครื่องประจุอย่างรวดเร็ว (Fast chargers) เป็นประจำ การประจุอย่างรวดเร็ว "Fast Chargers" ทำให้แบตเตอรี่เสื่อมโทรมเร็วกว่าวิธีการประจุแบบทั่วไป

3.4 ขนาดพิกัดของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้านั้นใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จำนวนมากรวมกันเป็นแพ็คแบตเตอรี่โดยประกอบด้วยเซลล์ โมดูลแบตเตอรี่ และแพ็คแบตเตอรี่ ดังนี้

3.4.1 เซลล์แบตเตอรี่

เซลล์แบตเตอรี่ (Cell) หมายถึงแบตเตอรี่หนึ่งก้อน มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันสำหรับเซลล์ชนิดของเคมี ซึ่งเคมีที่ใช้กันมากที่สุดคือ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด และแบตเตอรี่ลิเธียม แบตเตอรี่เหล่านี้มีรูปร่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ ทรงกระบอก (cylindrical cell) และทรงเหลี่ยม แบบถุงกาแฟ (Pouchi-bag cell และแบบทรงกล่องสี่เหลี่ยม (Prismatic cel) สำหรับแบตเตอรี่ลิเธียม แสดงดังรูปที่ 3.40 โดยมีกราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าของเซลล์สูงสุดที่ 4.2 V และมีระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ 3.75 V เซลล์เดียวสามารถเก็บพลังงานได้สูงสุด 122 Wh สำหรับเซลล์แบตเตอรี่แบบทรงกระบอกเป็นเซลล์ชนิด ICO, NMC, LFP เซลล์แบบถุงกาแฟเป็นเซลล์ชนิด LFP, LTO และเซลล์แบตเตอรี่แบบทรงกล่องสี่เหลี่ยมมักจะเป็นเซลล์ชนิด LMO, LFP, LTO



รูปที่ 3.10 รูปร่างต่าง ๆ ของเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

3.4.2 โมดูลแบตเตอรี่

โมดูลแบตเตอรี่ (Baterly Module) จากรูปที่ 3.41 (ก) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบบโมดูลโดยแต่ละโมดูลมี 4 เซลล์ดังนั้นมีพลังงานทั้งหมด 488 Wh ต่อโมดูล ซึ่งเป็นจำนวนมาก และด้วยเหตุนี้จึงควรใช้ความระมัดระวังอย่างมากในการจัดการหรือการใช้งานโมดูลดังกล่าว แรงดันไฟฟ้าปกติของ 1 โมดูลคือ $2 \times 3.75 = 7.5V$ และเมื่อมีการเชื่อมต่อโมดูลแบบ 4 เซลล์จำนวน 2 ชุดโมดูลแบบ 8 เซลล์ดังรูปที่ 3.41 (ข)

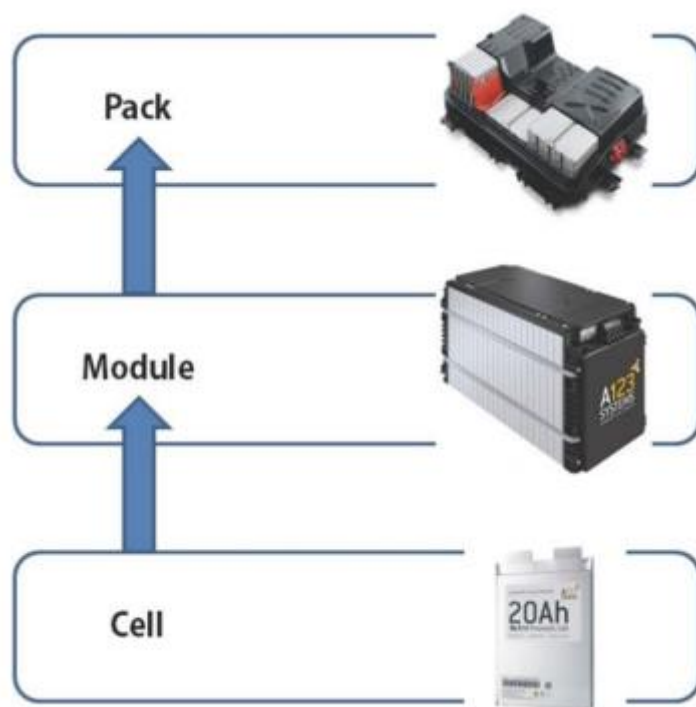


รูปที่ 3.11 แบตเตอรี่ลิเธียมแบบโมดูล

3.4.3 แพ็คแบตเตอรี่

เมื่อระดับของแรงไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้มาจากการรวมโมดูลต่าง ๆ ในรูปแบบอนุกรมและแบบขนานจากหัวข้อโมดูลแบตเตอรี่เป็นแพ็คแบตเตอรี่ (Battery Pack) ดังรูปที่ 3.11 ถ้า 1 แพ็คแบตเตอรี่ประกอบด้วย 48 โมดูล ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าทั้งแพ็คแบตเตอรี่คือ $48 \times 7.5 V = 360 V$ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่บรรจุคือ $2 \times 4.2 \times 48 = 403 V$ แม้ว่าจะเป็นที่น่าทึ่งกันว่า Leaf ใช้ความจุของแพ็คประมาณ 80 % ประมาณ 20 kWh จาก 24 kWh เพื่ออายุการใช้งานที่ดี ทำให้แรงดันเซลล์สูงสุดเท่ากับ 4.0 V และแรงดันสูงสุดของแพ็คคือ 384 V

จากกราฟการคายประจุกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ แสดงว่าเซลล์หนึ่งสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างน้อย 90 A ซึ่ง 1 แพ็คแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 180 A ที่ 384 V หรือมากกว่า 70 kW หรือมากกว่า 95 แรงม้า ไปยังระบบขับเคลื่อนเห็นได้ว่าทั้งค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันสูงนี้ต้องมีการออกแบบพิเศษเพื่อความปลอดภัย



รูปที่ 3.12 เซลล์โมดูลและแพ็คแบตเตอรี่ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า

3.4.4 การพัฒนาแพ็คแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนมีความหนาแน่นพลังงานสูงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดหรือแบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะทำให้ขนาดแบตเตอรี่ได้กลงกว่าขนาดอื่น ๆ ในขณะที่ยังคงความจุในการจัดเก็บที่เหมือนกัน เทคโนโลยีแบตเตอรี่ลิเธียม ไอออนใช้วัสดุที่ทำให้มีความหนาแน่นของไอออนลิเธียมสูงส่งผลให้ระยะการเดินทางเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3.13

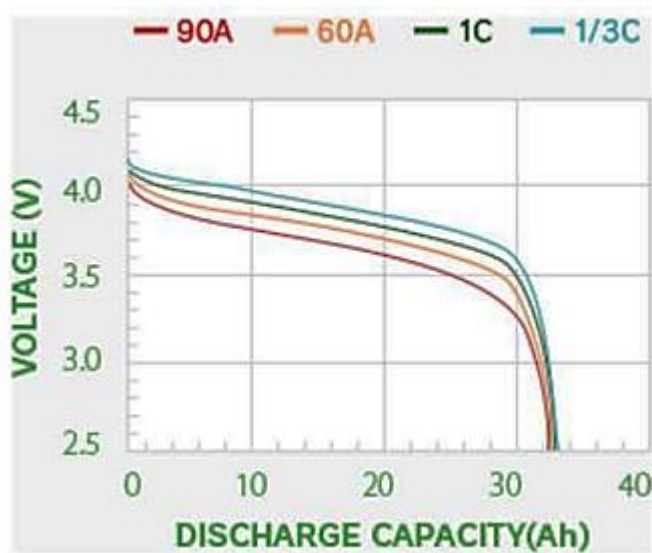
Battery	Cruising distance (WLTC/JC08 mode)	
24kWh	2010	(200km@JC08)
	2012	(228km@JC08)
30kWh	2015	(280km@JC08)
40kWh	2017	322km@WLTC Mode (400km@JC08 Mode)
62kWh	2019	458km@WLTC Mode (570km@JC08 Mode)

รูปที่ 3.13 ระยะทางที่เดินทางตามพิกัดของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตระหนักถึงความหนาแน่นพลังงานและความน่าเชื่อถือสูงโดยใช้วัสดุอิเล็กโทรดบวก Ni-Co-Mn และซิลิโคนโครงสร้างลามิเนต วัสดุอิเล็กโทรดบวก Ni-Co-Mi มีโครงสร้างซึ่งเพิ่มความสามารถในการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ โดยยอมให้มีการจัดเก็บลิเทียมไอออน ได้จำนวนมาก เซลล์แบตเตอรี่ โครงสร้างลามิเนตมีประสิทธิภาพการระบายความร้อนในระดับสูงและมี โครงสร้างที่เรียบง่าย ประหยัดพื้นที่และลดขนาดโดยรวมของแพ็คเกจแบตเตอรี่ เนื่องจากความทนทานและความน่าเชื่อถือสูง การรับประกันความจุของแบตเตอรี่รับประกัน 160,000 km หรือ 8 ปี โดย Nissan LEAF ใช้แบตเตอรี่ Lithium-ion - L aminatepe Cathode/Anode Material: LiMn O, with LiNiO/Graphite ดังรูปที่ 3.14 โดยมีกราฟการคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่ (LiMn O, with LiNiO) ขนาด 325 Ah ดังรูปที่ 3.45 ในยุคแรกใช้ขนาด 24 kWh ชนิด โมดูล แต่ละโมดูลมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย 4 เซลล์ โดยมีจำนวนทั้งหมด 48 โมดูล 196 เซลล์ที่อยู่บนยานยนต์ไฟฟ้าใน LEAF ดังรูปที่ 3.16 เจนเนอเรชันต่อมาในรถยนต์นิสสันสปูร์ใหม่ (เจนเนอเรชันที่ 2, MY2017) แบตเตอรี่มีแน่นของพลังงานสูง ซึ่งเป็นผลจากการใช้ NMC มาเป็นวัสดุทำแคโทด โครงสร้างที่เป็นชั้นของ NMC ที่เป็นวัสดุแคโทดช่วยให้มีความจุของแบตเตอรี่มาก ซึ่งช่วยให้ความหนาแน่นของ Lithium-ion สูงตามโครงสร้างเซลล์ที่ประกอบกันเป็นแผ่นบางๆ ช่วยให้ประหยัดพื้นที่ทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูง และเป็นโครงสร้างอย่างง่าย โดยแบตเตอรี่ขนาด 40 W แต่ละโมดูลแบตเตอรี่สร้างขึ้นด้วย 8 เซลล์ดังรูป 3.17 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ 2019 LEAF e+ ใช้โครงสร้างโมดูลใหม่ที่ทำให้ความยืดหยุ่นในการปรับแต่งจำนวนเซลล์ด้วยการใช้การเชื่อมแบบเลเซอร์ เพื่อรวมเซลล์เข้าด้วยกัน ทำให้ความยาวรวมของโมดูลสั้นลง และช่วยให้รูปร่างโมดูลและความสูงของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมที่สุดกับแพลตฟอร์มยานพาหนะ



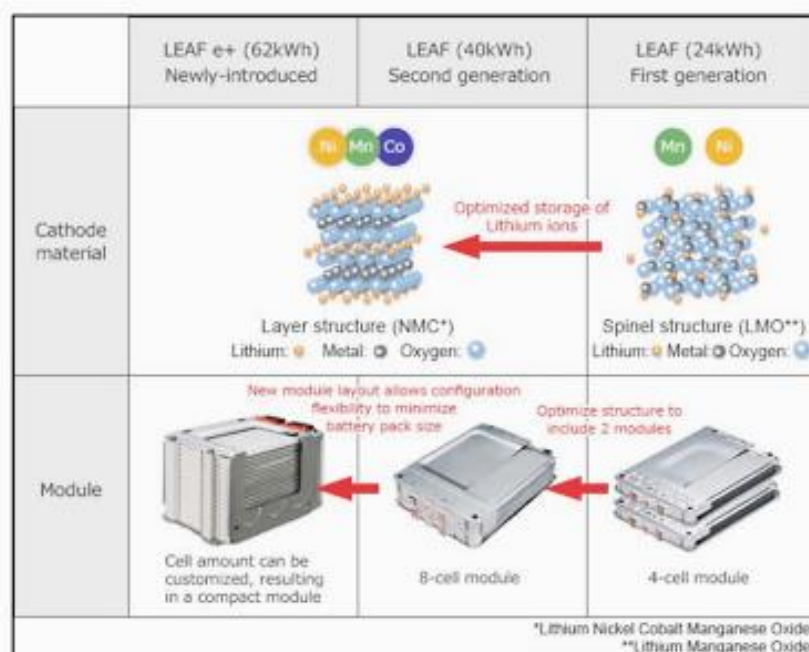
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า Nissan LEAF



รูปที่ 3.15 กราฟการคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่ Lithium-ion



รูปที่ 3.16 นิสสัน LEAF Lithium-Ion Battery Pack

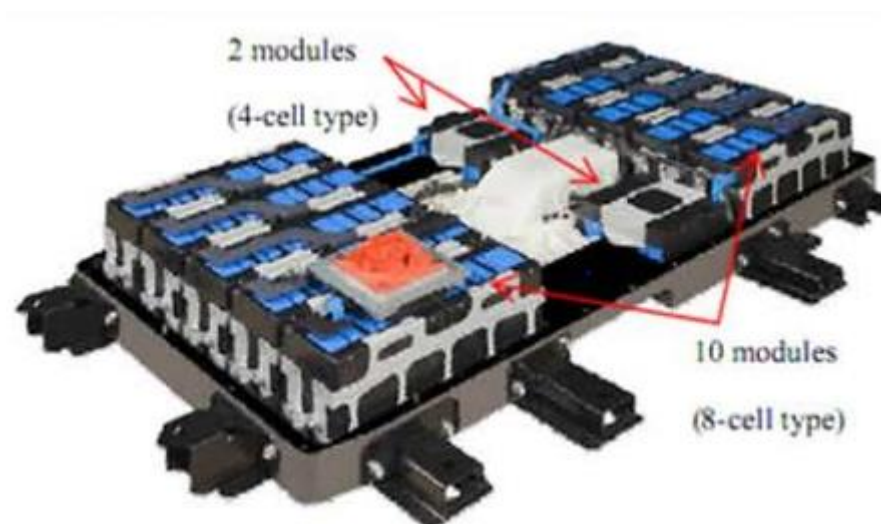


รูปที่ 3.17 โมดูลตามพิกัดขนาดของแบตเตอรี่

สำหรับแพ็คเกจเตอรี่ของ Mitsubishi - MiEV ประกอบด้วย 22 โมดูล 88 เซลล์ เชื่อมต่อแบบอนุกรม แต่ละโมดูลประกอบด้วย 4 เซลล์ มีแรงดันไฟฟ้าแต่ละเซลล์ 3.75 V, 50Ah (YUASA LEV50 Battery) ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ารวมทั้งหมด 330 V, 16 kwh ใช้แบตเตอรี่ Lithium-Ion Battery Pack ดังรูปที่ 3.18

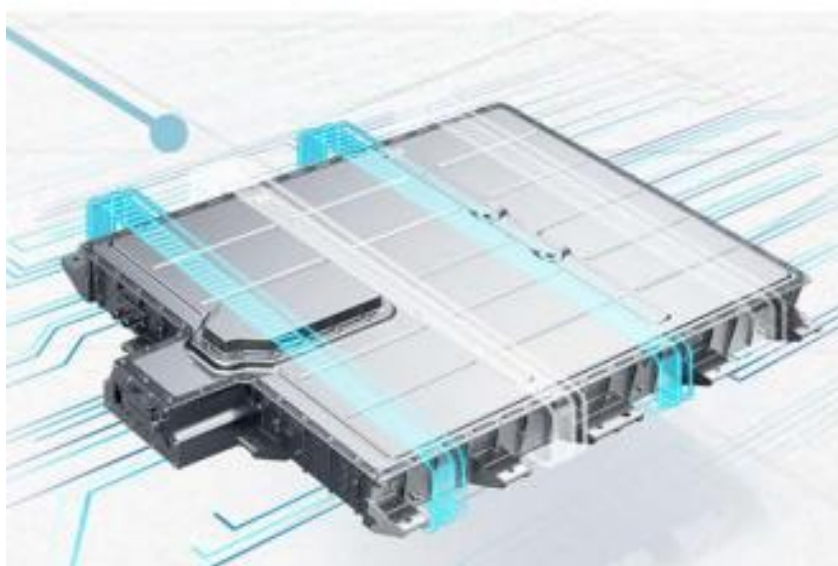


รูปที่ 3.18 ลักษณะเซลล์และโมดูลสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ใน Mitsubishi - MiEV



รูปที่ 3.19 ตำแหน่งติดตั้งแพ็คเกจเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า Mitsubishi

แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า MG ZS EV มีแบตเตอรี่รี ทั้งหมด 18 โมดูล ขนาดพิกัด 44.5 kWh ใช้แบตเตอรี่ Lithium-ion ประกอบเป็นแพ็คแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.20 และมีตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า MG ZS EV ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า MG ZS EV

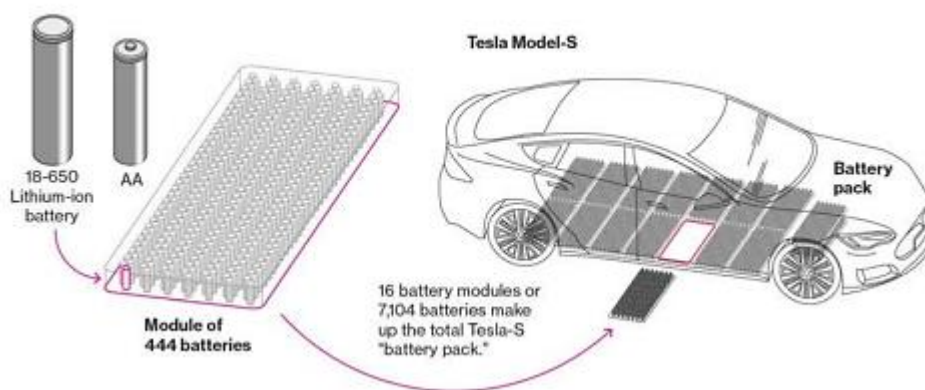


รูปที่ 3.21 ตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า MG ZS EV

แพ็คเกจแบตเตอรี่แรงดันสูงของ Tesla รุ่น S ซึ่งประกอบด้วยโมดูลแบตเตอรี่ 16 โมดูลโดยแต่ละโมดูลมีแรงดันไฟฟ้า 25 V (แบตเตอรี่คือ 1P56 โมดูลแบตเตอรี่สิบหกโมดูลเชื่อมต่อแบบอนุกรมกับแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้า 400 V โมดูลแบตเตอรี่แต่ละชุดประกอบด้วยเซลล์ฟานาโซนิก 18650 จำนวน 444 เซลล์แบบ (น้ำหนักของแบตเตอรี่หนึ่งก้อนคือ 46 กรัม) ซึ่งมีการเชื่อมต่อตามโครงการ 6s74p เชื่อมต่อแบบ 6 เซลล์ในแบบอนุกรมและ 74 กลุ่มในแบบขนาน โดยรวมแล้วแบตเตอรี่เทสลาประกอบด้วย 7104 เซลล์ ดังรูปที่ 3.22 และมีตำแหน่งของการติดตั้งดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.22 แบตเตอรี่ Tesla Model S



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งติดตั้งแบตเตอรี่ในตัวรถ Tesla Model S

บทสรุป

โครงสร้างของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบหลักต่อไปนี้

1. **เซลล์แบตเตอรี่ (Battery Cells)** เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของแบตเตอรี่ แต่ละเซลล์มักจะเป็นเซลล์ไอออนลิเทียม (Lithium-ion cells) ที่มีหลายสูตรประกอบตามรุ่นและผู้ผลิต ส่วนเซลล์แบตเตอรี่มักจะถูกจัดเรียงต่อกันในชุดหรือแบตเตอรี่เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า
2. **ชุดแบตเตอรี่ (Battery Pack)** ชุดแบตเตอรี่เป็นการรวมเซลล์แบตเตอรี่หลาย ๆ เซลล์เข้าด้วยกันโดยมักจะมีการจัดเรียงและการต่อเชื่อมแบตเตอรี่เพื่อให้ได้แรงดันและความจุที่ต้องการ ชุดแบตเตอรี่มักจะถูกติดตั้งในพื้นที่ที่เหมาะสมของรถยนต์ อาจอยู่ใต้พื้นรถ, ใต้ที่นั่งหลัง หรือในช่องเครื่องยนต์ข้างหน้า
3. **ระบบการควบคุมและจัดการพลังงาน (Battery Management System, BMS)** ระบบนี้เป็นที่สำคัญในการควบคุมและจัดการการทำงานของแบตเตอรี่ รวมถึงการควบคุมกระแสไฟฟ้า, อุณหภูมิ, แรงดัน, และการควบคุมประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ระบบ BMS ช่วยให้การใช้งานและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
4. **ระบบการระบายความร้อน (Thermal Management System)** ระบบนี้ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในช่วงการทำงานเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่
5. **โครงสร้าง (Structural Frame)** รถยนต์ไฟฟ้าบางรุ่นอาจมีโครงสร้างที่ถูกรออกแบบมาเพื่อรองรับชุดแบตเตอรี่โดยตรง ซึ่งชุดแบตเตอรี่เองอาจเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของรถยนต์เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความเสถียรภาพขณะขับขี่

การเลือกแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่สำคัญ โดยรวมแล้วปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกแบตเตอรี่ได้แก่

1. **ความจุและระยะทาง** ความจุและระยะทางที่แบตเตอรี่สามารถวิ่งได้ต่อการชาร์จมีผลต่อความสะดวกสบายของการใช้งาน ผู้ใช้ต้องการแบตเตอรี่ที่มีความจุเพียงพอสำหรับการใช้งานประจำวันและมีระยะทางที่เพียงพอต่อความต้องการของพวกเขา.
2. **ประสิทธิภาพพลังงาน** การเลือกแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถให้พลังงานมากพอที่จะขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้าได้ไกลโดยไม่ต้องชาร์จบ่อยครั้ง ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพของรถ การชาร์จและการถอดไฟฟ้า เป็นต้น

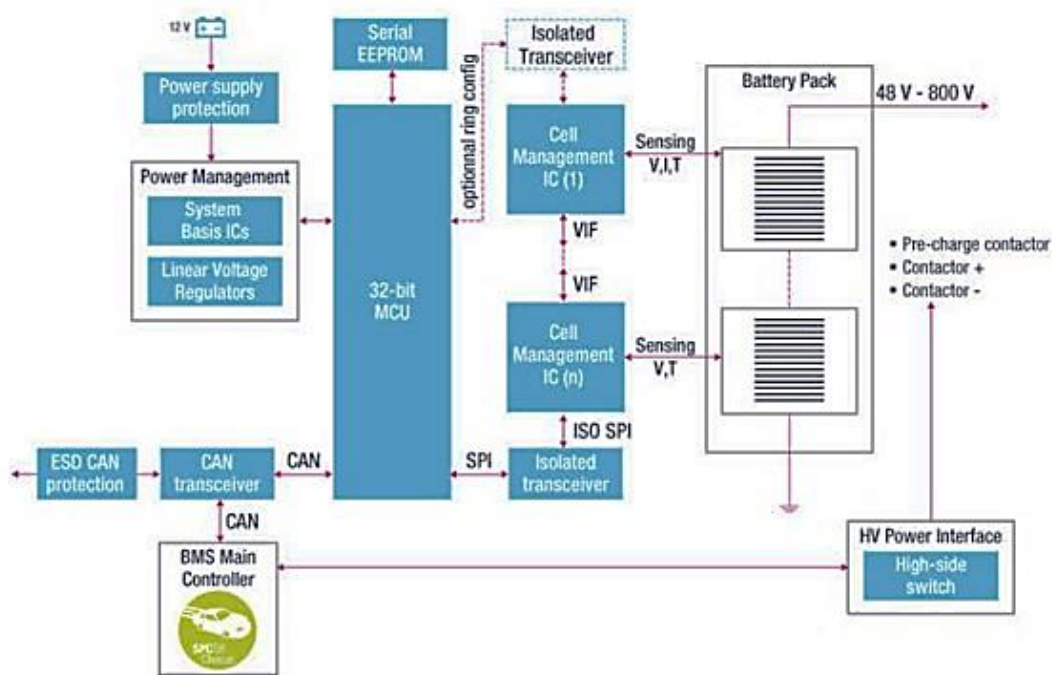
3. **ราคา** ราคาของแบตเตอรี่เป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจ เนื่องจากมีผลต่อความเป็นไปได้ในการทำรายการซ่อมบำรุงในระยะยาว การเลือกแบตเตอรี่ที่มีราคาที่เหมาะสมและคุณภาพที่ดีสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายให้ได้ในระยะยาว
 4. **ความปลอดภัย** ความปลอดภัยของแบตเตอรี่มีความสำคัญเพื่อป้องกันอุบัติเหตุและปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เช่น การระเบิดหรือการร้อนเกินไปของแบตเตอรี่
 5. **อายุการใช้งานและความคงทน** ความคงทนและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่มีผลต่อประสิทธิภาพในระยะยาว การเลือกแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานนานและคงทนเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยลดความไม่สะดวกในการซ่อมบำรุงและเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อยครั้ง
 6. **น้ำหนักและขนาด** การลดน้ำหนักและขนาดของแบตเตอรี่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนรถและสะดวกสบายในการใช้งาน
- การเลือกแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับรถยนต์ไฟฟ้ามีผลต่อประสิทธิภาพและประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้ โดยคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเลือกแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับความต้องการและสภาพการใช้งานของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 4

ระบบจัดการแบตเตอรี่

ในปัจจุบันการใช้พลังงานแบตเตอรี่มีความแพร่หลายมาก โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานสูง เช่น มอเตอร์ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน เป็นแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากมีความหนาแน่นของประจุ (Charge Density) สูง และมีน้ำหนักเบา (Low Weight) ยานยนต์ไฟฟ้ามีการใช้เซลล์แบตเตอรี่จำนวนมากเพื่อเชื่อมต่อแบบอนุกรมสร้างเป็นโมดูลแบตเตอรี่และแพ็คแบตเตอรี่ แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ไม่สูงพอที่จะใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า แพ็คแบตเตอรี่เหล่านี้จึงต้องมีขนาดใหญ่และมีระดับของแรงดันไฟฟ้าประมาณ 400 V รวมถึงในระหว่างการใช้งานมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงถึงประมาณ 300 A ดังนั้น เมื่อนำแพ็คแบตเตอรี่ไปใช้งานต้องหลีกเลี่ยงการอัดประจุมากเกินไป (Over Charged) หรือการคายประจุไฟฟ้า (Under Discharge) ที่มีปริมาณมากเกินไป เนื่องจากเป็นผลทำให้เซลล์แบตเตอรี่เสียหายซึ่งมีสาเหตุจากการเกิดความร้อน ดังนั้นเซลล์แบตเตอรี่จึงต้องได้รับการตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และระดับอุณหภูมิตลอดเวลา เพื่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพในการทำงาน รวมถึงการมีส่วนช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System : BMS) ดังรูปที่ 4.1 จึงนำมาใช้สำหรับการประมาณค่าสถานะแบตเตอรี่ การจัดการความปลอดภัยของแบตเตอรี่ ระบบจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้มั่นใจว่าการทำงานของแบตเตอรี่มีความปลอดภัยและเชื่อถือได้ จะต้องสามารถตอบสนองคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ การตรวจสอบสถานะปัจจุบันของแบตเตอรี่ (State of Charge : SOC) และการปรับสมดุลเซลล์ของแบตเตอรี่



รูปที่ 4.1 ผังระบบจัดการแบตเตอรี่

4.1 หน้าที่ของระบบจัดการแบตเตอรี่

การพัฒนาสำหรับยุคต่อไปของยานยนต์ไฟฟ้า Electric (BEV) และ Hybrid Electric Vehicles (HEV) คือ การพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ใหม่ เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงสุด การออกแบบระบบของยานพาหนะจึงจำเป็นต้องใช้ประโยชน์จากความจุแบตเตอรี่ให้เต็มที่ ความก้าวหน้าในการพัฒนาที่โดดเด่นของเทคโนโลยีแบตเตอรี่จึงเป็นหัวใจสำคัญสำหรับ EV และ HEV ความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสามารถอัดประจุและปล่อยประจุให้หลายพันครั้ง EV และ HEV มีศักยภาพที่จะแข่งขันกับยานพาหนะแบบดั้งเดิมในแง่ของราคาความน่าเชื่อถือและอายุการใช้งานที่ยืนยาว ความจุของแบตเตอรี่หมายถึงจำนวนประจุที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้จากสถานะประจุ 100% (SOC) ถึง 0% SOC โดยการอัดประจุ SOC 100% หรือการคายประจุที่ 0% SOC ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงอย่างรวดเร็ว แต่แบตเตอรี่ต้องได้รับการจัดการอย่างดีเพื่อหลีกเลี่ยงสภาพการอัดประจุหรือคายประจุที่มากเกินไป การอัดประจุหรือคายประจุระหว่าง 10% SOC และ 90% SOC หมายถึง 80% ของความจุแบตเตอรี่ทำให้ลดจำนวนรอบการอัดประจุทั้งหมด 3 เท่าหรือมากกว่า เมื่อเทียบกับการอัดประจุหรือคายประจุระหว่าง 30% ถึง 70% SOC คือ 40% เมื่อเทียบกับ 80% หาก

ระบบจำกัดแบตเตอรี่เพียง 40% เป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้นานขึ้น 3 เท่า และต้องเพิ่มขนาดของแบตเตอรี่เป็นสองเท่า เพื่อให้ได้ความจุที่สามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับเคส 80% ซึ่งเป็นการเพิ่มน้ำหนักและปริมาตรของระบบแบตเตอรี่เป็นสองเท่าด้วยและยังเป็นการเพิ่มต้นทุนและทำให้ประสิทธิภาพลดลง หน้าที่หลักของระบบจัดการแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าคือ

- การป้องกันแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการดำเนินงานนอกพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย (Safe Operating Area)

- การตรวจสอบแบตเตอรี่โดยประมาณสถานะการชาร์จแบตเตอรี่ (State of Charge : SOC) และสถานะสุขภาพแบตเตอรี่ (State of Health : SOH) ระหว่างการชาร์จและการคายประจุ

- ปรับแต่งแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับช่วงการขับขี่ ที่เหมาะสมสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) และยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) การปรับสมดุลของเซลล์จะช่วยปรับปรุงอายุการใช้งานและความจุของแบตเตอรี่

ระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System - BMS) มีหน้าที่หลายอย่างที่มีความสำคัญในการดูแลและควบคุมแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าหรือระบบพลังงานที่ใช้แบตเตอรี่ ภายใน BMS ประกอบด้วยตัวควบคุมและเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่ดังนี้

- 1) ควบคุมและความปลอดภัย BMS มีหน้าที่ควบคุมและดูแลการทำงานของแบตเตอรี่ในระบบ มันจะป้องกันการทำงานในเงื่อนไขที่ไม่ปลอดภัย เช่น การทำงานในอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป การกระชากกระแสไฟฟ้ามากเกินไป หรือการอัดประจุหรือคายประจุไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสม

- 2) การตรวจวัดและรายงาน BMS ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่ มันสามารถรายงานข้อมูลเหล่านี้ให้ผู้ใช้หรือระบบควบคุมรถ

- 3) การควบคุมการชาร์จและดิสชาร์จ BMS มีบทบาทในการควบคุมกระบวนการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ มันช่วยให้การชาร์จเป็นไปได้ในเงื่อนไขที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ โดยป้องกันการชาร์จเกินที่อาจทำให้เซลล์แบตเตอรี่เสียหาย

- 4) การควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ BMS ควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ในทุกๆ ระบบ รวมถึงการสั่งการให้แบตเตอรี่ทำงานในโหมดต่าง ๆ เช่น โหมดขับขี่ โหมดพัก หรือโหมดฉุกเฉิน

- 5) ควบคุมความสมดุลของแบตเตอรี่ BMS จัดการเพื่อให้แต่ละเซลล์ในแบตเตอรี่มีการรับและถ่ายโอนประจุไฟฟ้าในระดับที่สมดุล เพื่อป้องกันการสูญเสียประสิทธิภาพและการทำงานของแบตเตอรี่

6) การตรวจสอบอาการทำงานผิดปกติ BMS มีระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนเมื่อพบการทำงานผิดปกติ เช่น แบตเตอรี่เสื่อมสภาพ หรืออุณหภูมิสูงเกินไป

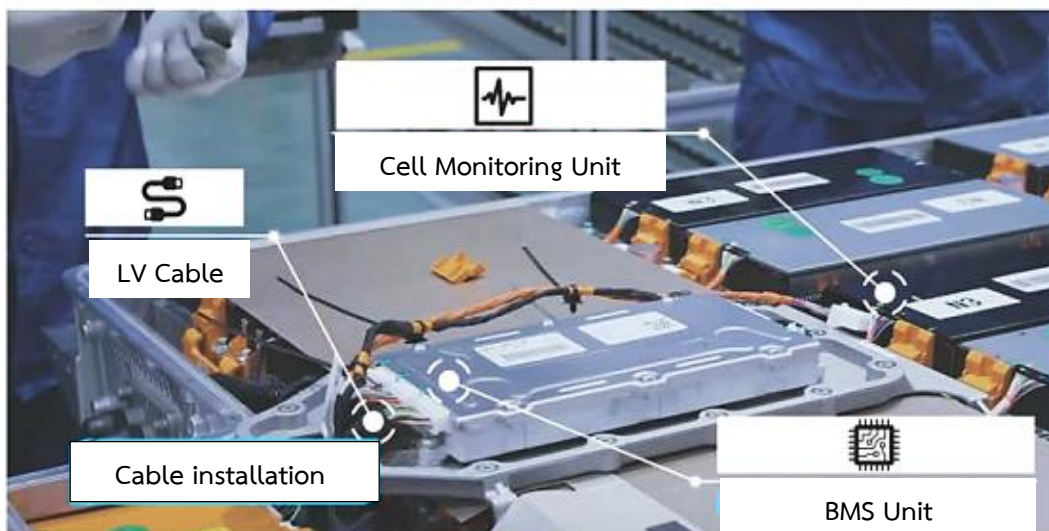
7) การควบคุมการควบคุมการระบายความร้อน BMS มีบทบาทในการควบคุมระบบระบายความร้อน เพื่อป้องกันการทำงานในอุณหภูมิสูงที่อาจส่งผลให้แบตเตอรี่เสียหาย

ดังนั้น BMS เป็นส่วนสำคัญของระบบขับเคลื่อนที่ใช้แบตเตอรี่ ทำหน้าที่ทั้งการควบคุมการทำงานและความปลอดภัยของแบตเตอรี่เพื่อให้รถทำงานได้ตามปกติและปลอดภัย



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ BMS ที่ติดตั้งกับแพ็คแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า BYD

แบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยแบตเตอรี่หลายสิบลูกเรียงกันเป็นแพ็ค โดยทั่วไปอาจมีเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 96 เซลล์ หรือมากกว่านั้นต่อแพ็คแบตเตอรี่ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้ารวมเกินกว่า 400V จากแบตเตอรี่ที่มีค่าจางแรงดันไฟฟ้า 4.2V ในขณะที่ระบบพลังงานของยานยนต์ไฟฟ้ามองเห็นแบตเตอรี่เป็นแพ็คเดียว ดังนั้นการอัดประจุและการคายประจุที่แรงดันไฟฟ้าสูงของแพ็คแบตเตอรี่ทั้งหมดพร้อมกัน จึงต้องออกแบบระบบควบคุมแบตเตอรี่ที่ต้องพิจารณาสภาพของแบตเตอรี่และเซลล์อย่างอิสระ หากแบตเตอรี่หนึ่งเซลล์ในแพ็คแบตเตอรี่มีความจุน้อยกว่าแบตเตอรี่เซลล์อื่นเล็กน้อย ค่าของสถานะประจุจะค่อย ๆ เบี่ยงเบนไป ทำให้ค่าสถานะประจุของเซลล์นั้นไม่สมดุลกับแบตเตอรี่ที่เหลือ ทำให้มีการนำไปสู่การคายประจุที่ลึกกว่าและทำให้เกิดความเสียหายได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น จึงจำเป็นต้องตรวจสอบค่าของแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์เพื่อกำหนดค่าสถานะประจุของแต่ละเซลล์ที่ถูกอัดประจุและการคายประจุเพื่อปรับค่าของสถานะประจุให้สมดุลกัน ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การตรวจสอบการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่จากแพ็คแบตเตอรี่

รูปที่ 4.3 เป็นการตรวจสอบการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่จากแพ็คแบตเตอรี่ โดยที่ Cell Monitoring Unit ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้า สถานะปัจจุบันต่าง ๆ จากแต่ละเซลล์แบตเตอรี่ทั้งหมดส่งให้ BMS Unit ใช้ในการจัดการแบตเตอรี่

ระบบการจัดการแบตเตอรี่ (BMS) ใช้สำหรับการประมาณค่าแบตเตอรี่ (SOC) จัดการความปลอดภัยของแบตเตอรี่ และใช้สำหรับสื่อสารกับชุดควบคุมหลัก (Head Controlling Unit : HCU) การทำงานของ BMS หลากหลายประเภทที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยสามารถออกแบบได้ด้วยตัวเอง หรือแม้กระทั่งใช้ Integrated IC ที่พร้อมใช้งานจากมุมมองโครงสร้างฮาร์ดแวร์มีหน้าที่ทำงานหลักดังนี้

4.1.1 ระบบจัดการแบตเตอรี่แบบ Distributed BMS ระบบการจัดการแบตเตอรี่ BMS แบบกระจาย (Distributed BMS) คือ ระบบที่แบ่งหน้าที่และควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ไปที่หลายๆ ตัวควบคุมที่ตั้งอยู่บนแต่ละเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ของแบตเตอรี่ โดยทำให้แต่ละตัวควบคุมสามารถทำงานร่วมกันได้เพื่อควบคุมและปรับการทำงานของแบตเตอรี่ให้อยู่ในสถานะที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพที่สูง โดยทั่วไปแล้ว Distributed BMS มักจะมีโครงสร้างพื้นฐานที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1) เซ็นเซอร์และตัววัด: ตัว BMS แต่ละตัวจะติดตั้งเซ็นเซอร์และตัววัดที่ติดต่อกับแบตเตอรี่เพื่อตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดัน (Voltage), กระแส (Current), อุณหภูมิ (Temperature) เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์นี้จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมหลัก (Central Control Unit) เพื่อประมวลผลและตัดสินใจในการควบคุมแบตเตอรี่

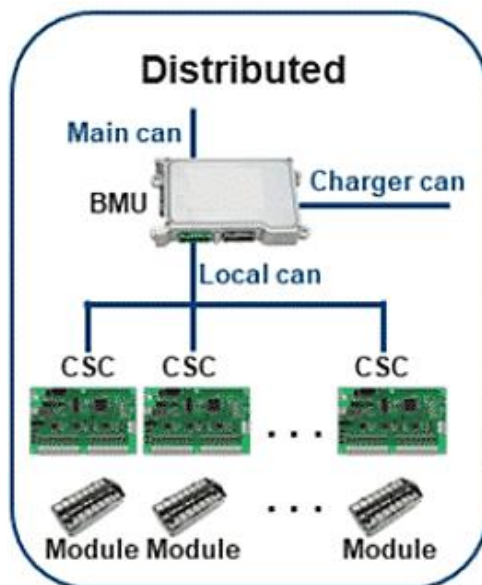
2) **ตัวควบคุมหลัก (Central Control Unit):** เป็นส่วนที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์และตัววัดทั้งหมด และดำเนินการประมวลผลข้อมูลเพื่อตัดสินใจในการควบคุมที่ถูกต้องของแบตเตอรี่ รวมทั้งส่งคำสั่งไปยังตัวควบคุมที่ติดตั้งบนแต่ละเซลล์

3) **ตัวควบคุมที่ติดตั้งบนแต่ละเซลล์ (Cell-level Control Unit):** ตัวควบคุมที่ติดตั้งบนแต่ละเซลล์มีหน้าที่ควบคุมและปรับแต่งการทำงานของแต่ละเซลล์ในระบบ โดยตัวควบคุมนี้จะได้รับคำสั่งจากตัวควบคุมหลัก

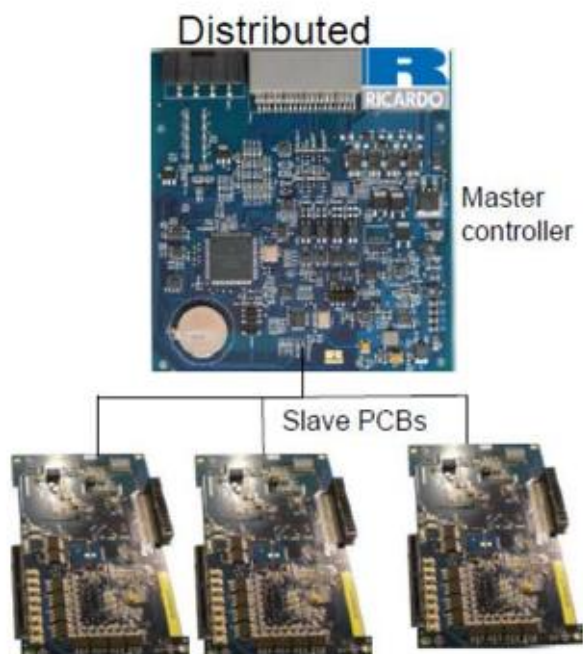
4) **การสื่อสารระหว่างตัวควบคุม:** ระบบ Distributed BMS ต้องมีการสื่อสารทางไร้สายหรือการสื่อสารแบบต่างๆ เพื่อให้ตัวควบคุมที่ติดตั้งบนแต่ละเซลล์สามารถติดต่อกับตัวควบคุมหลักได้ ซึ่งการสื่อสารนี้สามารถใช้เทคโนโลยีเช่น Controller Area Network (CAN), Modbus หรือ Ethernet ได้

5) **ระบบการจัดการข้อมูล** ระบบจะต้องมีการจัดการข้อมูลที่ถูกต้องและปลอดภัย เช่น การบันทึกข้อมูลการทำงาน การเก็บข้อมูลการตรวจวัด และการจัดการข้อมูลการแจ้งเตือน (alerts) เป็นต้น

ระบบจัดการแบตเตอรี่ BMS แบบกระจาย (Distributed BMS) แบ่งออกเป็นคอนโทรลเลอร์โมดูลหลักตัวเดียวและโมดูลย่อยหลาย ๆ ตัว ดังรูปที่ 4.4 และตัวอย่าง Board ที่ใช้งานของ Distributed BMS ดังรูปที่ 4.5

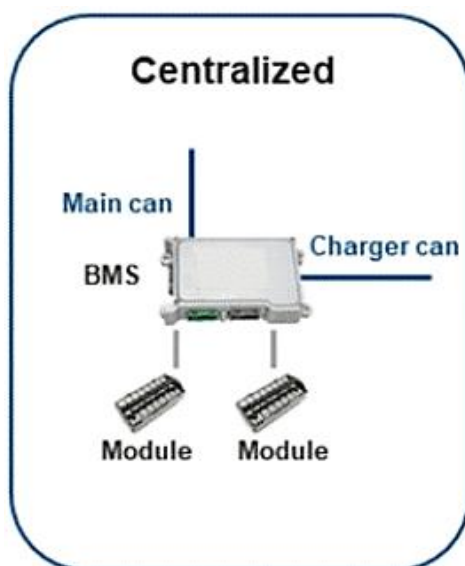


รูปที่ 4.4 ระบบควบคุมการทำงาน Distributed BMS



รูปที่ 4.5 ตัวอย่าง Board ที่ใช้งานของ Distributed BMS

4.1.2 ระบบจัดการแบตเตอรี่แบบ Centralized BMS คือ ระบบที่มีตัวควบคุมหลักที่ทำหน้าที่ควบคุมและจัดการแบตเตอรี่ทั้งหมดในระบบ โดยข้อมูลทั้งหมดทุกรายละเอียดเกี่ยวกับแบตเตอรี่จะถูกส่งไปยังหน่วยควบคุมหลักนี้ รูปที่ 4.6 และตัวอย่าง Board ที่ใช้งานดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ระบบควบคุมการทำงาน Centralized BMS

4.1.3 ระบบควบคุมแบบ Semi-Distributed BMS เป็นรูปแบบที่อยู่ระหว่าง Centralized BMS และ Distributed BMS โดยที่บางฟังก์ชันหรือควบคุมมีการกระจายอยู่ที่แต่ละแบตเตอรี่ แต่ยังคงมีการควบคุมหลักที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานรวมๆ ของระบบ นั่นคือ ระบบ Semi-Distributed BMS มีหน่วยควบคุมที่กระจายตัวในแบตเตอรี่แต่ยังมีหน่วยควบคุมหลักที่สามารถควบคุมและดูแลทั้งระบบ คุณสมบัติที่มักจะมีในระบบ BMS แบบ Semi-Distributed ประกอบด้วย

การควบคุมหลัก (Central Control) ระบบ Semi-Distributed BMS จะมีหน่วยควบคุมหลักที่ควบคุมปริมาณพลังงานทั้งระบบ และรับข้อมูลจากแต่ละหน่วยควบคุมที่กระจายตัวในแบตเตอรี่

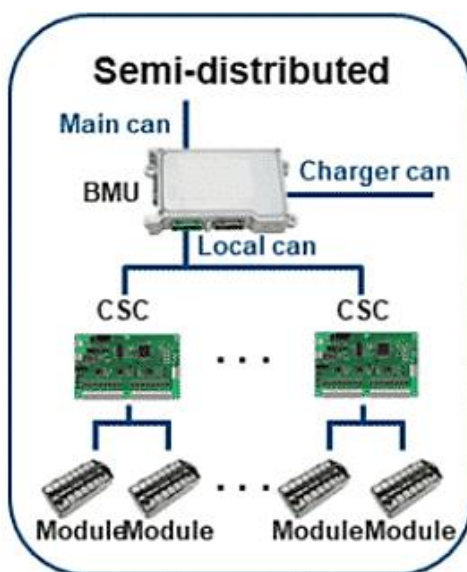
หน่วยควบคุมในแบตเตอรี่ แต่ละแบตเตอรี่มีหน่วยควบคุมตัวเองที่ทำหน้าที่ควบคุมและดูแลสถานะของแบตเตอรี่นั้น ๆ รวมถึงการปรับปรุงแบตเตอรี่ในกรณีที่จำเป็น

การสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุม ระบบ Semi-Distributed BMS มีการสื่อสารระหว่างหน่วยควบคุมหลักและหน่วยควบคุมที่กระจายตัว โดยที่ข้อมูลเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และข้อมูลอื่น ๆ จะถูกส่งไปมาเพื่อควบคุมและดูแลระบบ

ความยืดหยุ่น ระบบ Semi-Distributed BMS มีความยืดหยุ่นในการปรับแต่งการทำงานของแต่ละแบตเตอรี่ โดยไม่ต้องมีการกำหนดให้แต่ละหน่วยทำงานเหมือนกัน

ความทนทานที่สูง การกระจายควบคุมในแบตเตอรี่ทำให้ระบบมีความทนทานต่อปัญหาและความเสียหายที่เกิดขึ้นในหนึ่งส่วนของระบบ

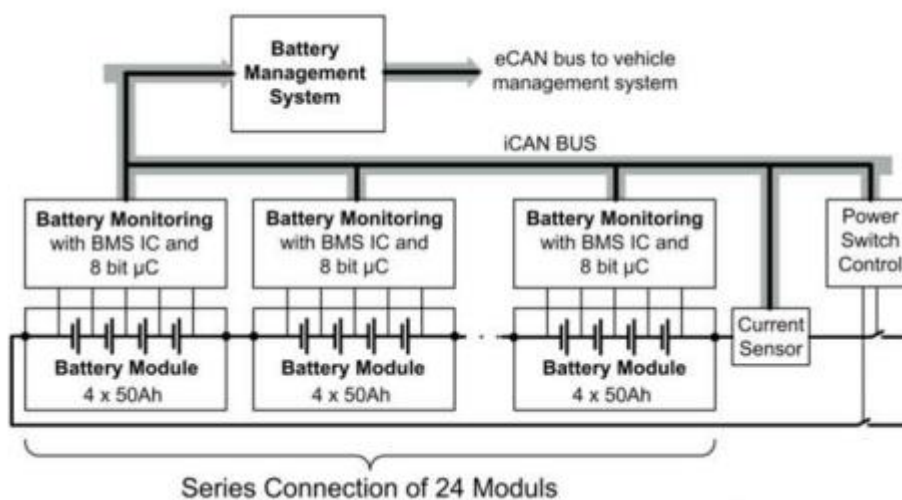
ระบบ Semi-Distributed BMS มีความยืดหยุ่นและความทนทานต่อความเสียหาย ซึ่งทำให้เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับระบบพลังงานที่ต้องการควบคุมที่แม่นยำ รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ระบบควบคุมการทำงาน Semi- distributed

4.2 การใช้ CAN-bus สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ดังนั้นสถาปัตยกรรมการตรวจสอบแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งสำคัญในการได้มาซึ่งความถูกต้องของข้อมูล ข้อควรพิจารณาที่สำคัญสำหรับระบบตรวจสอบแพ็คแบตเตอรี่คือส่วนต่อประสานการสื่อสารสำหรับการสื่อสารภายในบอร์ด PC ตัวเลือกทั่วไป ได้แก่ อุปกรณ์ต่อพ่วงแบบอนุกรม Serial Peripheral Interface (SPI) และ Inter-Integrated Circuit (I²C) แต่มีการสื่อสารที่ไม่ดี เหมาะสำหรับสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ อีกตัวเลือกหนึ่งคือ Controller Area Network (CAN) bus ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการใช้งานยานพาหนะ CAN บัสนั้น มีอัตราการสื่อสารและมีความน่าเชื่อถือสูง ในขณะที่การเชื่อมต่อจากระบบแบตเตอรี่ไปยังยานยนต์ไฟฟ้าหลัก CAN บัสจำเป็นต้องใช้การสื่อสารภายในแบตเตอรี่แบบ SPI หรือ I²C ดังรูปที่ 4.8 เป็นการตรวจสอบการทำงานของเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 96 เซลล์ จาก Cell Monitoring หนึ่งชุดตรวจสอบได้จำนวน 4 เซลล์ และมีทั้งหมด 24 โมดูล



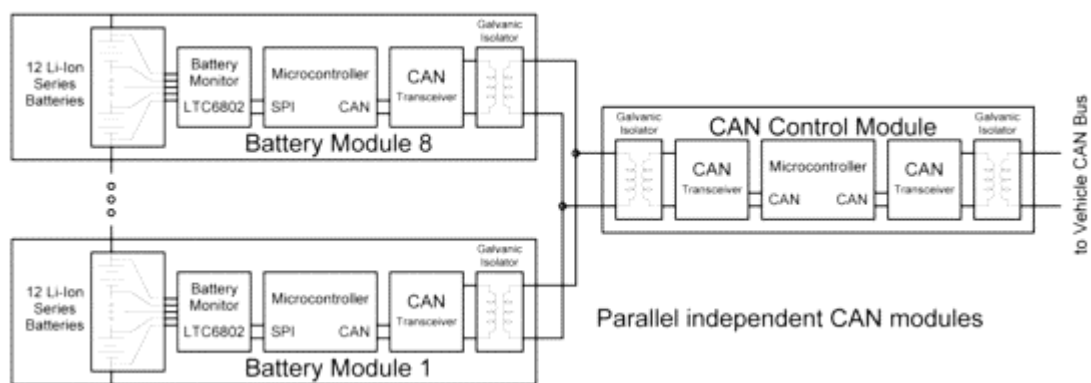
รูปที่ 4.8 สถาปัตยกรรมของระบบการจัดการแบตเตอรี่ [2]

CAN (Controller Area Network) เป็นเครือข่ายการสื่อสารแบบอนุกรมสำหรับการควบคุมแบบ Real-Time (Real-Time Distributed Control) CAN-bus ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากมีอัตราการสื่อสารและมีความน่าเชื่อถือสูงและหากมีการใช้ CAN-bus เป็นการลดการสื่อสารโดยใช้สายไฟลงได้ โดยปัจจุบันมีการพัฒนาระบบจัดการแบตเตอรี่แบบ Distributed Type of BMS โดยใช้พื้นฐานของ CAN-bus ที่พิจารณาถึงโครงสร้างและความ

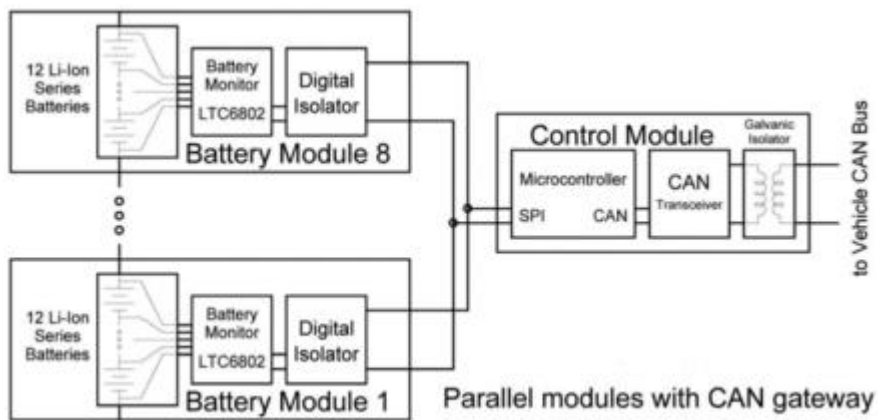
ต้องการใช้งานของแพ็คเกจแบตเตอรี่ Li-ion ที่ใช้สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและระบบจัดการแบตเตอรี่ที่พัฒนา ซึ่งสามารถส่งข้อมูลของแบตเตอรี่ ค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่และสื่อสารกับ HCU ได้

4.2.1 สถาปัตยกรรมการตรวจสอบแบตเตอรี่

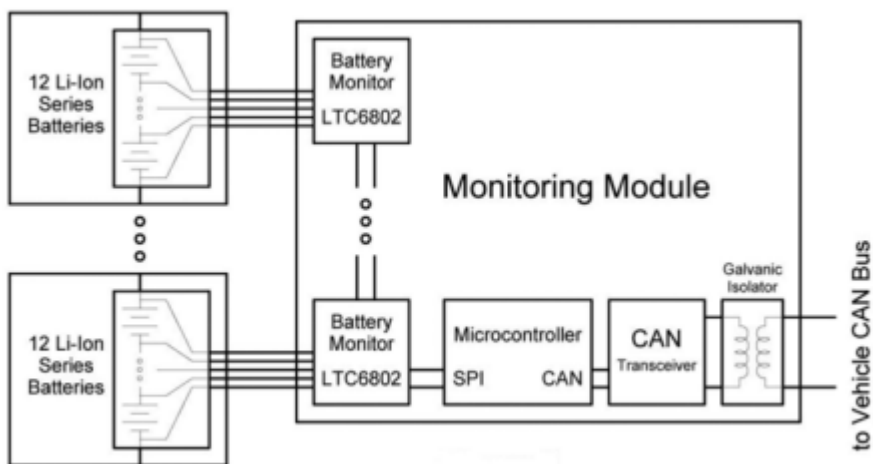
สถาปัตยกรรมสำหรับการสื่อสารในระบบตรวจสอบแบตเตอรี่ประกอบด้วย 4 รูปแบบหลัก คือ แบบ Parallel Independent CAN Gateway และแบบ Series Modules with CAN Gateway โดยมีหลักการทำงาน เช่น ในระบบยานยนต์ไฟฟ้ามีเซลล์แบตเตอรี่ให้ตรวจสอบจำนวน 96 เซลล์ ซึ่งแบ่งการตรวจสอบเป็น 8 โมดูล แต่ละโมดูลมี 12 เซลล์ สำหรับการตรวจสอบใช้ IC เบอร์ LTC6802 ที่ตรวจสอบเซลล์ของแบตเตอรี่จำนวน 12 เซลล์ โดยที่เซลล์แบตเตอรี่ Li-Ion มีระดับของแรงดันไฟฟ้า 4.2 ต่อ 1 เซลล์ ทำให้มีแบตเตอรี่ในโมดูลแรกมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0 V ถึง 50.4 V และแบตเตอรี่ในโมดูลต่อไปมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 50.4 V ถึง 100.8 V และมีขนาดของแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในโมดูลต่อไป แต่แต่ละโมดูลมีสถาปัตยกรรมที่ได้รับการออกแบบให้เป็นระบบตรวจสอบแบตเตอรี่แบบอิสระ ซึ่งในแต่ละโมดูลมีการเชื่อมต่อแบบ CAN บัสไปยัง CAN บัสหลักของยานพาหนะ



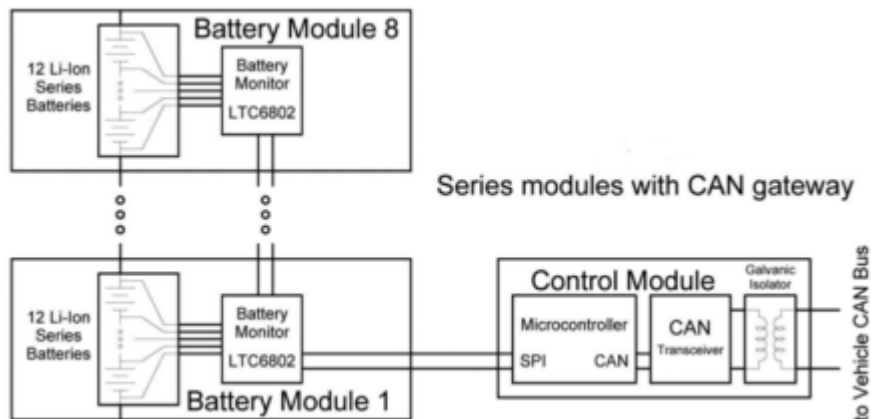
รูปที่ 4.9 สถาปัตยกรรม Parallel Independent CAN Modules [3]



รูปที่ 4.10 สถาปัตยกรรม Parallel Modules with CAN gateway [3]



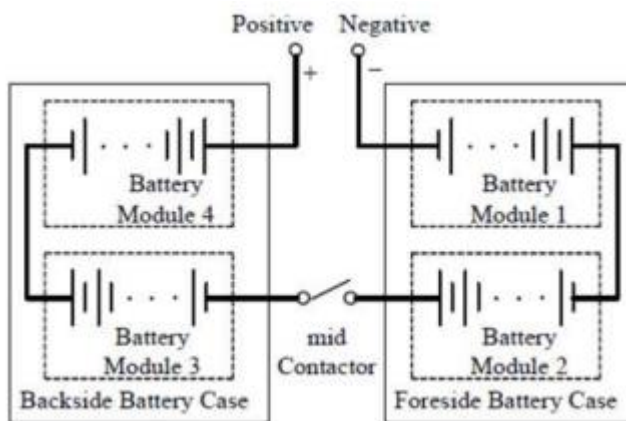
รูปที่ 4.11 สถาปัตยกรรม Single Monitoring Module with CAN Gateway [3]



รูปที่ 4.12 สถาปัตยกรรม Series Modules with CAN Gateway

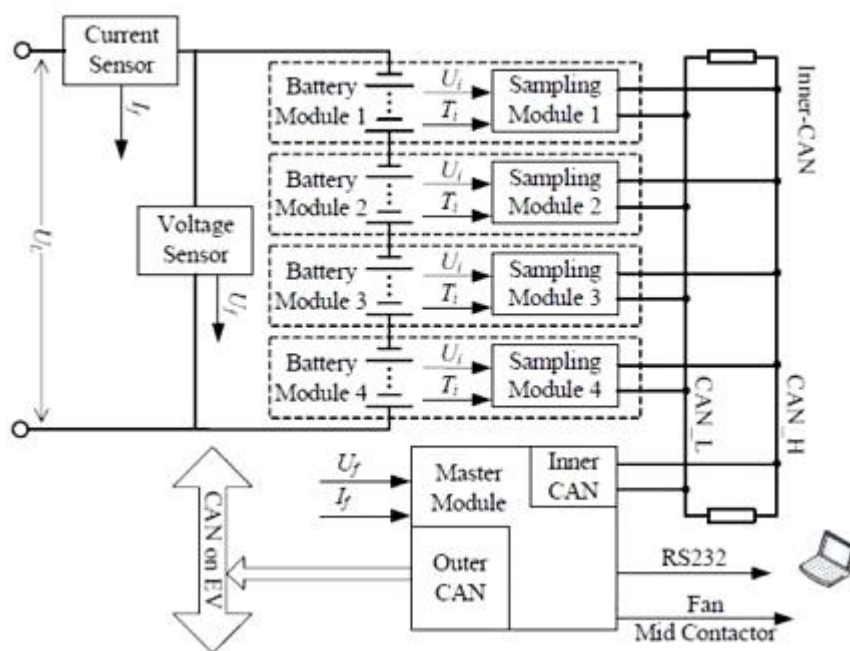
4.2.2 การทำงานของการตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่

แพ็คแบตเตอรี่ Li-ion ที่ติดตั้งบน EV ประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion จำนวน 80 เซลล์ มีแรงดันไฟฟ้าปกติ (nominal voltage) ของแพ็คแบตเตอรี่ทั้งหมดคือ 288 V และมีความจุปกติ 55 Ah ลักษณะการเชื่อมต่อโครงสร้างของแพ็คแบตเตอรี่บางแบบ แสดงตามรูปที่ 4.13 โดยที่แพ็คแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 แพ็คแบตเตอรี่ และได้รับการติดตั้งที่ด้านล่างของตัวรถ แพ็คแบตเตอรี่แต่ละแพ็คมีโมดูลแบตเตอรี่ 2 โมดูล โมดูลในแพ็คแบตเตอรี่ด้านข้างมีเซลล์แบตเตอรี่จำนวน 22 เซลล์ และโมดูลในแพ็คแบตเตอรี่ด้านหลังมีจำนวน 18 เซลล์จากนั้นโมดูลแบตเตอรี่ถูกรวมเข้าเป็นแพ็คแบตเตอรี่เดียวกันผ่านสายไฟภายนอกและสวิตช์เชื่อมต่อส่วนกลาง



รูปที่ 4.13 การเชื่อมต่อของแพ็คแบตเตอรี่ 4 โมดูลเข้าด้วยกัน

เนื่องจากความต้องการทำงานที่ปลอดภัย แรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์แบตเตอรี่ Li-ion ในแพ็คแบตเตอรี่ต้องได้รับการเลือกเก็บข้อมูลในทุก ๆ เซลล์ตลอดเวลา และควรเลือกเก็บข้อมูลของอุณหภูมิอย่างน้อย 4 จุดในแต่ละโมดูลแบตเตอรี่ ดังนั้นในการเก็บข้อมูลจึงมีสัญญาณจำนวนมากที่กระจายอยู่ในโมดูลแบตเตอรี่ ทำให้ต้องมีสายไฟที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อเก็บข้อมูลจำนวนมาก ที่ผ่านโมดูลแบตเตอรี่และแพ็คแบตเตอรี่มีการใช้งานแบบ Centralized Type of BMS ผลที่ตามมาคือการติดตั้งทำให้เกิดความไม่สะดวกและเป็นอันตราย ดังนั้น Distributed Type of BMS แบบ CAN-bus จึงได้รับการพัฒนา Two Individual CAN-buses ถูกใช้ใน ระบบจัดการแบตเตอรี่ ที่พัฒนาขึ้นของเราเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนข้อมูล CAN บัสหนึ่งชื่อ Inner-CAN ใช้สำหรับการสื่อสารภายใน ระบบจัดการแบตเตอรี่ และอีกชื่อ Outer-CAN สำหรับการสื่อสารกับ HCU โครงสร้างของระบบจัดการแบตเตอรี่ที่พัฒนาแล้วแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 โครงสร้างของระบบจัดการแบตเตอรี่แบบ Two individual CAN-bus

ระบบจัดการแบตเตอรี่ประกอบด้วยโมดูลหลัก (Master Module) 1 โมดูล ซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งด้านหลังแบตเตอรี่ และโมดูลเก็บข้อมูล (Sampling Modules) อีก 4 โมดูล ซึ่งโมดูลเก็บข้อมูลทำการสุ่มตัวอย่างของแรงดันไฟฟ้าสำหรับเซลล์แบตเตอรี่และอุณหภูมิในโมดูลแบตเตอรี่ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นข้อมูลของโมดูลแบตเตอรี่ เช่น แรงดันไฟฟ้า และอุณหภูมิถูกส่งไปยังบัส Inner-CAN โมดูลหลักได้รับ

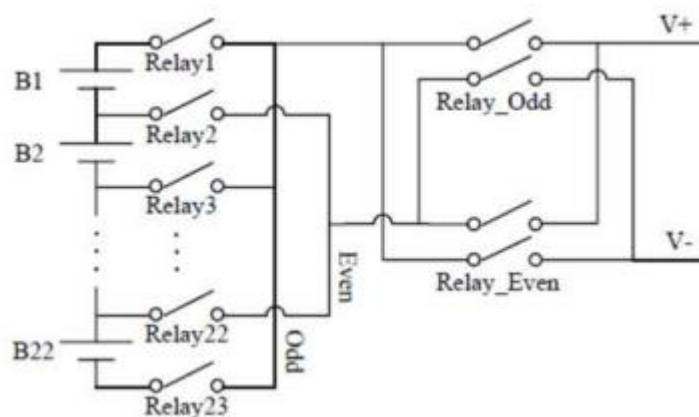
ข้อมูลแบตเตอรี่จากบัส Inner-CAN และเก็บตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งหมด และกระแสไฟฟ้าผ่านเซ็นเซอร์ จากนั้นทำการประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ และการจัดการความปลอดภัยของแบตเตอรี่ นอกจากนี้โมดูลหลักยังสื่อสารกับ HCU ตามโปรโตคอล CAN ของ EV โมดูลหลักยังสามารถสื่อสารกับ PC ผ่าน Interface RS232 เพื่อให้ข้อมูลของแบตเตอรี่สามารถแสดงบนหน้าจอของ PC และในระบบจัดการแบตเตอรี่

4.2.3 การทำงานของโมดูลตรวจสอบเซลล์

ข้อมูลของแบตเตอรี่ เช่น แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ อุณหภูมิ และกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำเพื่อการประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ และการจัดการความปลอดภัยของแบตเตอรี่

1) การเก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้า

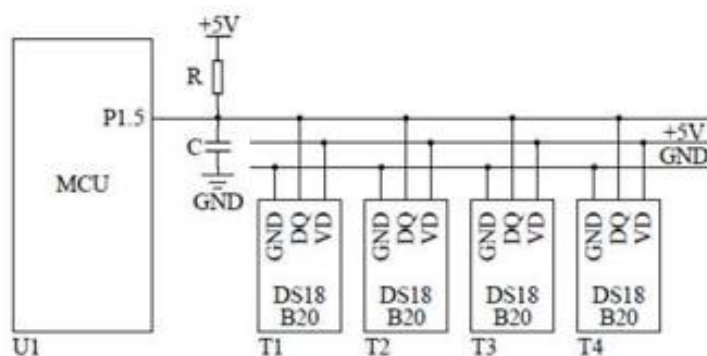
ในแพ็คเกจแบตเตอรี่มีเซลล์แบตเตอรี่จำนวนมากซึ่งเชื่อมต่อแบบอนุกรมในแต่ละโมดูลแบตเตอรี่ และเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเซลล์ไม่ได้ใช้กราวด์เดียวกัน วงจร Sampling Circuit ได้รับการออกแบบสำหรับการสุ่มตัวอย่างของแรงดันไฟฟ้า ที่กราวด์แตกต่างกัน การออกแบบแสดงในรูปที่ 4.15 ในเวลาเดียวกันมีเพียงแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่เพียงตัวเดียวเท่านั้นที่เชื่อมต่อกับ AD ของวงจร Sampling Circuit ของ MCU ผ่านการควบคุมอาร์เรย์รีเลย์ เมื่อสุ่มตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าของหนึ่งเซลล์ในแบตเตอรี่รีเลย์ที่เกี่ยวข้องถูกสั่งการให้ทำงานผ่านสัญญาณควบคุม เช่น เมื่อต้องการสุ่มตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เซลล์ที่ 2 (B2) รีเลย์ 2 และ รีเลย์ 3 ถูกสั่งการให้ทำงาน และรีเลย์ Relay Even ถูกสั่งการให้ทำงานเช่นกัน เพราะหมายเลขลำดับของแบตเตอรี่เป็นเลขคู่ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ B2 เชื่อมต่อกับโหนด V+ และ V- จากนั้นแรงดันไฟฟ้าถูกสุ่มโดย AD ของ MCU สัญญาณควบคุมต้องถูกสร้างขึ้นและเชื่อถือได้ มิฉะนั้นแบตเตอรี่อาจลัดวงจรผ่านรีเลย์ ถ้าสัญญาณควบคุมผิดหรือใช้งานไม่ได้ นอกจากนี้ยังมีพอร์ต I/O จำนวนมากที่จำเป็นสำหรับการควบคุมอาร์เรย์ของรีเลย์ ดังนั้นจึงใช้ CPLD (Complex Programmable Logical Device) เพื่อสร้างสัญญาณควบคุม CPLD เหมาะสำหรับการออกแบบเชิงตรรกะที่ซับซ้อนเนื่องจากมีความน่าเชื่อถือสูง และพอร์ต I/O จำนวนมากต้องการเพียง 5 พอร์ต I/O MCU เพื่อควบคุมรีเลย์ผ่าน CPLD หากมีเซลล์แบตเตอรี่ 22 เซลล์ที่ต้องการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.15 วงจรการเก็บข้อมูลขอแรงดันไฟฟ้า

2) การเก็บข้อมูลของอุณหภูมิ

ข้อมูลอุณหภูมิในโมดูลแบตเตอรี่วัดโดยอุปกรณ์บัส 1-Wire DS18B20 อุปกรณ์ 1-Wire จำนวนมากสามารถเชื่อมต่อพอร์ต I/O เดียวของ MCU อุปกรณ์ 1-Wire ที่แตกต่างกันสามารถแยกความแตกต่างระหว่างกันผ่านรหัสประจำตัว DS18B20 มีช่วงการวัดที่ $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความแม่นยำที่ $0.0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ เวลาในการแปลงของ DS18B20 น้อยกว่า 750 ms วงจรที่เชื่อมต่อระหว่าง MCU และ DS18B20 แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงวงจรเชื่อมต่อ DS18B20 กับ MCU

3) การเก็บข้อมูลของกระแสไฟฟ้า

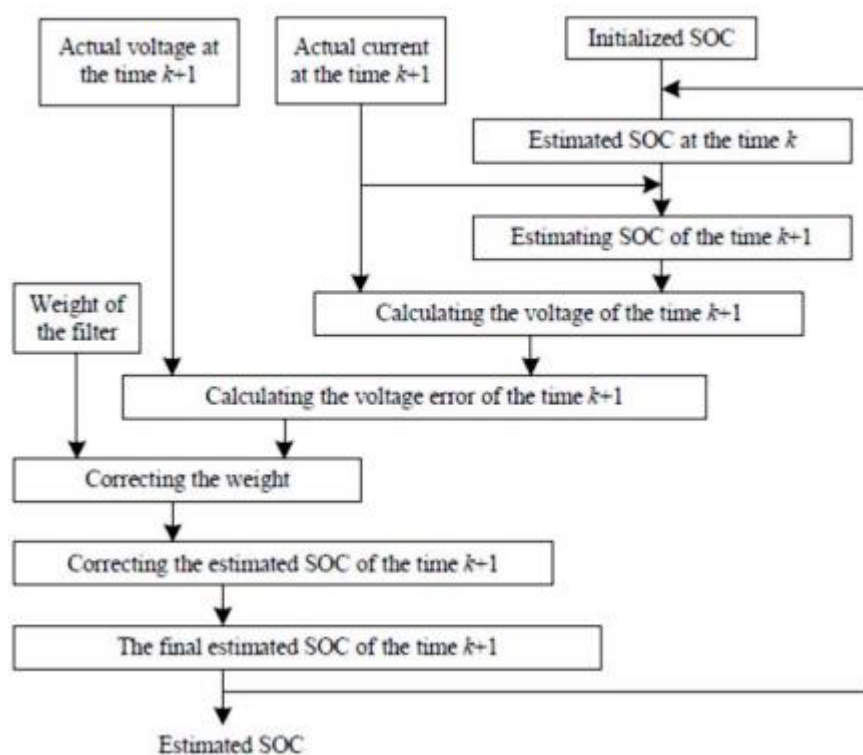
แพ็คแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้ามีกระแสไฟสูงถึง 250A หรือสูงกว่า นอกเหนือจากนี้ ต้องวัดกระแสไฟฟ้าของทุกโมดูลในแพ็ค เพื่อให้แน่ใจว่าโหลดมีการกระจายอย่างเท่าเทียมกัน ในขณะที่การออกแบบองค์ประกอบการตรวจจับในปัจจุบันยังต้องจัดให้มีการแยกระหว่างอุปกรณ์การวัดและการตรวจจับ วิธีที่ใช้กันมากที่สุดในการวัดกระแสไฟฟ้าคือ วิธี Shunt Methods และวิธี Hall-Sensor ทั้งสองวิธีมีข้อดีข้อเสียคือ วิธี Shunt Methods มีความแม่นยำน้อยกว่าแต่ด้วยความพร้อมของการออกแบบที่มีความแม่นยำสูง วิธี Hall-Sensor พร้อมแอมพลิฟายเออร์แยกและตัวแปลงจึงเป็นที่ต้องการมากกว่า

4.2 การทำงานของโมดูลประมวลผล

โมดูลประมวลผลของระบบจัดการแบตเตอรี่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากวัดค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแพ็คแบตเตอรี่จากโมดูลการวัดเก็บข้อมูล และการประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ DSP (Digital Signal Processor) ในการคำนวณและในการประมวลผลการประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่เป็นหนึ่งในฟังก์ชันที่สำคัญที่สุดของระบบจัดการแบตเตอรี่ วิธีทั่วไปในการประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ คือวิธีการนับคูลอมบ์ และการประมาณค่าสถานะประจุจากแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (OCV) วิธีการนับคูลอมบ์นั้นมีความไวต่อข้อผิดพลาดในการวัดกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับการทำงานเป็นเวลานาน การประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่จาก OCV เหมาะสำหรับสถานการณ์ เช่นวงจรเปิด หรือทำงานที่กระแสคงที่ แต่กระแสไฟฟ้าที่ใช้งานบน EV แตกต่างกันอย่างรวดเร็ว และเป็นช่วงเวลา ดังนั้นวิธี OCV จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานจริงของยานยนต์ไฟฟ้า การศึกษาที่มุ่งเน้นไปที่การประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่โดยใช้วิธี Fuzzy Logic, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) และวิธีอื่นๆ วิธีการเหล่านี้ต้องการการวัดเก็บข้อมูลประวัติแบตเตอรี่จำนวนมาก และมีความซับซ้อนในการใช้งาน ซึ่งอีกวิธีหนึ่งคือวิธี Kalman Filtering ซึ่งใช้สมการแบบเรียกซ้ำบางส่วน และไม่จำเป็นต้องวัดเก็บข้อมูลประวัติของแบตเตอรี่ การประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่เป็นตัวแปรสถานะ กระแสไฟฟ้าคืออินพุตของระบบ และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เป็นผลลัพธ์ที่สังเกตได้ ขั้นตอนของวิธีนี้แสดงในรูปที่ 4.17 และโดยมีคำอธิบายดังนี้

1) Initialization เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มทำงาน ระบบจัดการแบตเตอรี่เริ่มอ่านค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่จาก EEPROM ของ ระบบจัดการแบตเตอรี่ ซึ่งเก็บค่าต่าง ๆ ไว้ก่อนที่ยานยนต์ไฟฟ้าจะหยุดการทำงาน และผลกระทบของแบตเตอรี่เนื่องจาก self-discharged ถูกนำมาพิจารณาด้วย

- 2) Estimation การประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ที่เวลา $k+1$ จากค่าการประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ที่เวลา k และจากค่าของกระแสไฟฟ้าที่เวลา k
- 3) Updating the output คำนวณแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เวลา $k+1$ ตามแบบจำลองของแบตเตอรี่
- 4) Updating the output error คำนวณข้อผิดพลาดของค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้และค่าแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา
- 5) Updating the weight ประเมินค่าน้ำหนักของตัวกรองตามข้อผิดพลาดของเอาต์พุต
- 6) Correction แก้ไขค่าการประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ตามค่าน้ำหนัก และได้การประมาณค่าสถานะประจุสุดท้ายที่ค่า $k+1$

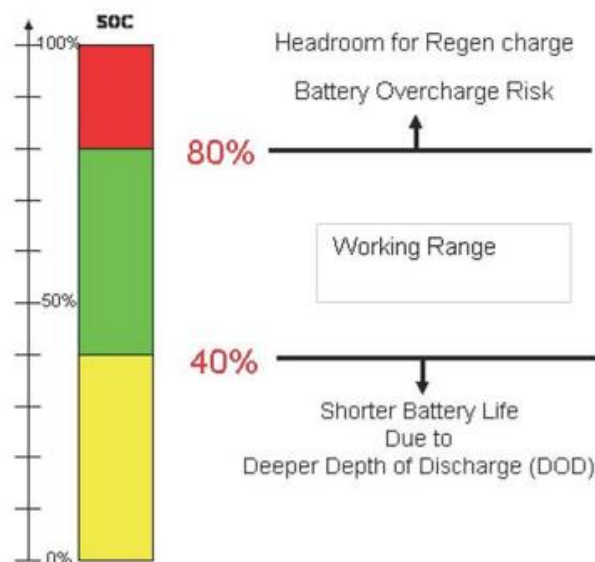


รูปที่ 4.17 การประมาณค่าสถานะประจุโดยใช้วิธี Kalman filtering

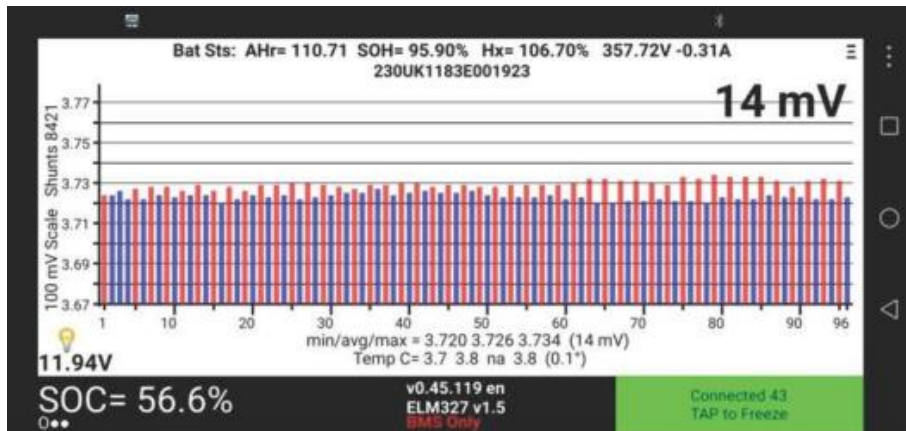


รูปที่ 4.18 หนึ่งในระบบจัดการแบตเตอรี่ของเทคโนโลยี AVID

รูปที่ 4.18 เป็นหน่วยควบคุมโมดูลหรือ MCU บางครั้งเรียกว่า โมดูล slave BMS หน่วยเหล่านี้จะตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ขนาดเล็กในแบตเตอรี่อย่างแม่นยำมาก โดยทั่วไปแล้ว MCU จะรวมการวัดอุณหภูมิภายในก้อนแบตเตอรี่และเซลล์ต่าง ๆ ด้วย MCU ใช้ในการสื่อสารกับโมดูล BMS หลัก

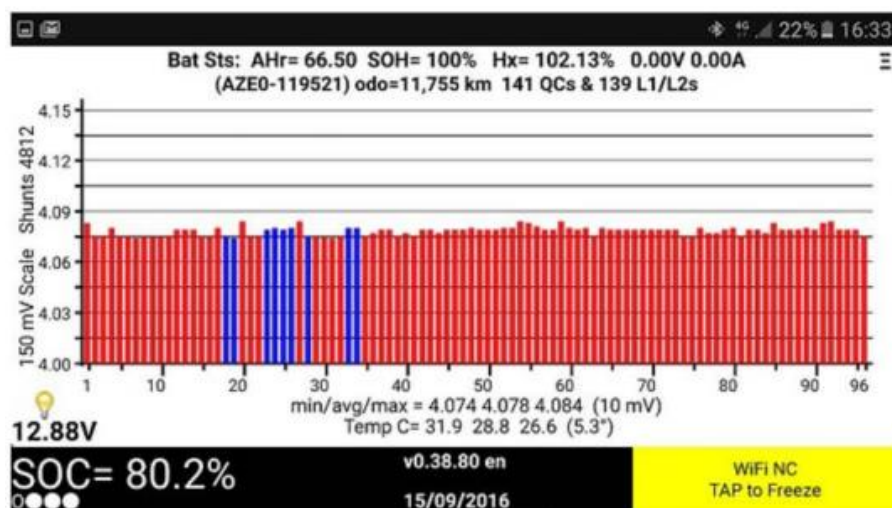


รูปที่ 4.19 วิธีการในการกำหนด SOC ของแบตเตอรี่ HEV



รูปที่ 4.20 หน้าจอ Service Screen แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่โหมด BMS

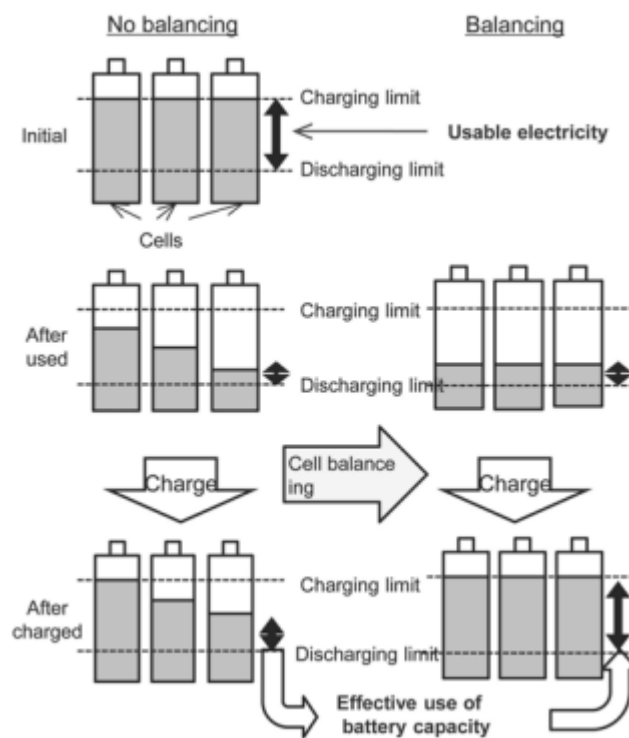
จากรูปที่ 4.20 คือ Leafspy ที่เข้าสู่โหมด BMS เท่านั้นผ่านหน้าจอ service screen โดยสามารถอ่านข้อมูลจาก BMS ของแบตเตอรี่อยู่ที่ SOC 56%, SOH อยู่ที่ 95.9% และค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าคือ 14mV โดยแบตเตอรี่นี้มีสุขภาพสมบูรณ์ และจากรูปที่ 4.20 แสดงถึงแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่เมื่ออัดประจุไฟฟ้าชนิดเต็มเร็วจาก 16% ถึง 18% ข้อมูลจาก BMS ของแบตเตอรี่อยู่ที่ SOC 80.2%, SOH อยู่ที่ 100% แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่สูงสุด 4.084 V ต่ำสุด 4.04 V และค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าคือ 10 mV



รูปที่ 4.21 หน้าจอ Service Screen แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่อัดประจุไฟฟ้าชนิดเต็มเร็วจาก 16% ถึง 20%

4.3 การปรับสมดุลของเซลล์

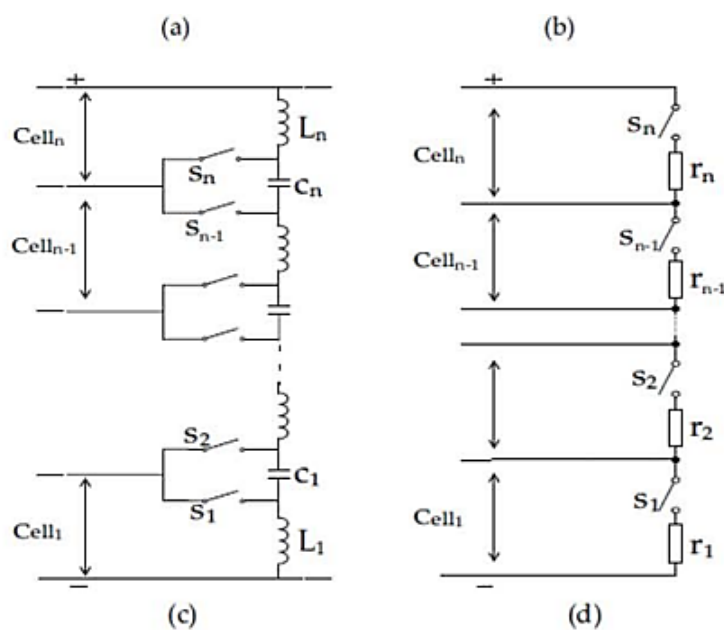
การปรับสมดุลของเซลล์ (Cell Balancing) หน้าที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบจัดการแบตเตอรี่ คือการรักษาสสมดุลของเซลล์ เช่น โมดูลแบตเตอรี่ประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่ 3 เซลล์ เชื่อมต่อแบบอนุกรม แรงดันไฟฟ้าของทั้ง 3 เซลล์ควรมีค่าเท่ากันเสมอ และหากเซลล์หนึ่งมีแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าหรือสูงกว่าเซลล์อื่นก็มีผลต่อโมดูลแบตเตอรี่ทั้งหมด เช่น ถ้าเซลล์หนึ่งมีค่าเท่ากับ 3.5 V ในขณะที่อีกสามเซลล์อยู่ที่ 4 V ในระหว่างการอัดประจุเซลล์ทั้งสามนี้มีแรงดันไฟฟ้า 4.2 V และอีกเซลล์หนึ่งมีแรงดันไฟฟ้าเพียง 3.7 V ในทำนองเดียวกันเซลล์นี้เป็นเซลล์แรกที่คายประจุไปที่ 3 V ก่อนอีกเซลล์ที่เหลือ ด้วยเหตุการณนี้เซลล์อื่นทั้งหมดในแพ็คไม่สามารถใช้ศักยภาพสูงสุดได้จึงทำให้ประสิทธิภาพลดลง เพื่อจัดการกับปัญหานี้ระบบจัดการแบตเตอรี่ต้องดำเนินการที่เรียกว่าการปรับสมดุลของเซลล์ดังรูปที่ 4.22 โดยเทคนิคการปรับสมดุลเซลล์มีหลายประเภท แต่สิ่งที่ใช้กันทั่วไปคือการปรับสมดุลของเซลล์ชนิดแอคทีฟ (Active Cell Balancing Methods) และพาสซีฟ (Passive Cell balancing Methods)



รูปที่ 4.22 การปรับสมดุลของเซลล์

4.3.1 การปรับสมดุลเซลล์ชนิดแอคทีฟ

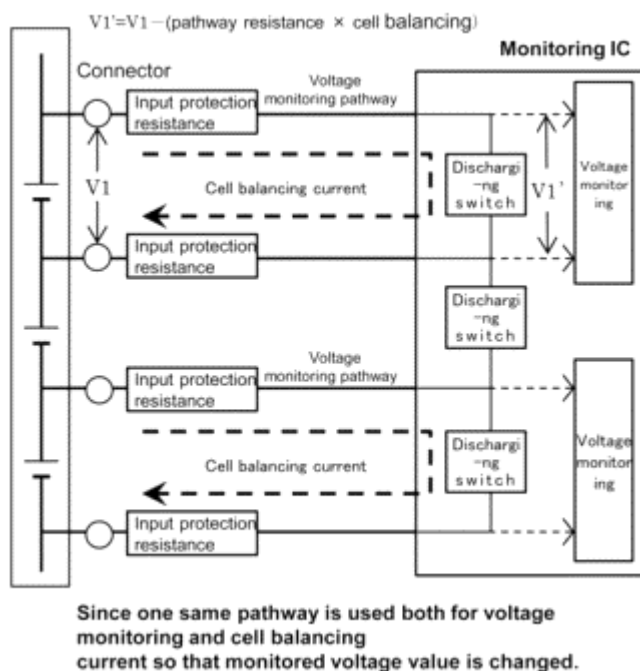
วิธีการปรับสมดุลเซลล์ชนิดแอคทีฟ (Active Cell Balancing Methods) ที่ใช้งานทั่วไปซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองกลุ่มตามการใช้งาน โดยกลุ่มแรกคือการปรับสมดุลเซลล์ที่ใช้ตัวเก็บประจุ และกลุ่มที่สองนี้เป็นการปรับสมดุลเซลล์ที่ใช้คอนเวอร์เตอร์ โดยสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทย่อยคือแบบ Isolated และ Non-Isolated ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับรักษาสมดุลในระดับที่แตกต่างกัน เช่น Call-to-Cell, Cell-to-Pack, Pack-to-Cell และ Cell-to-Pack-to-Cell เป็นต้น วงจรการปรับสมดุลของเซลล์ที่ใช้ตัวเก็บประจุนานกับเซลล์หรือแพ็คที่เลือกเพื่อถ่ายโอนพลังงานจากแรงดันสูงไปยังเซลล์หรือแพ็คที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า ดังรูปที่ 4.23 (a) วงจรการปรับสมดุลเซลล์ที่ใช้คอนเวอร์เตอร์โดยใช้แพ็คแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการอัดประจุเซลล์ที่เลือก โดยวิธีการปรับสมดุลเซลล์ใช้คอนเวอร์เตอร์แบบ Isolated เช่น Multi-Winding Transformer, Multiple Transformers, and Single Switched Transformer เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.23 (b) และวิธีการปรับสมดุลเซลล์ใช้คอนเวอร์เตอร์แบบ Non-Isolated ใช้วงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์ เช่น วงจร Buck, Boost, Buck-Boost หรือ Cuk คอนเวอร์เตอร์ เป็นต้น ดังแสดงรูปที่ 4.23 (c)



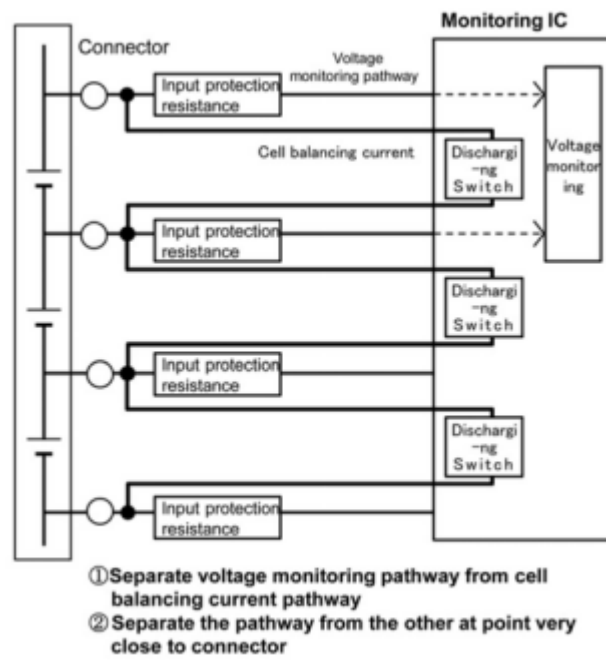
รูปที่ 4.23 โครงสร้างของวิธีการปรับสมดุลของเซลล์แบบต่าง ๆ (a) Modularized switched capacitor; (b) Switch matrix transformer; (c) Cuk converter; and (d) Switched shunt resistor

4.32 การปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟ

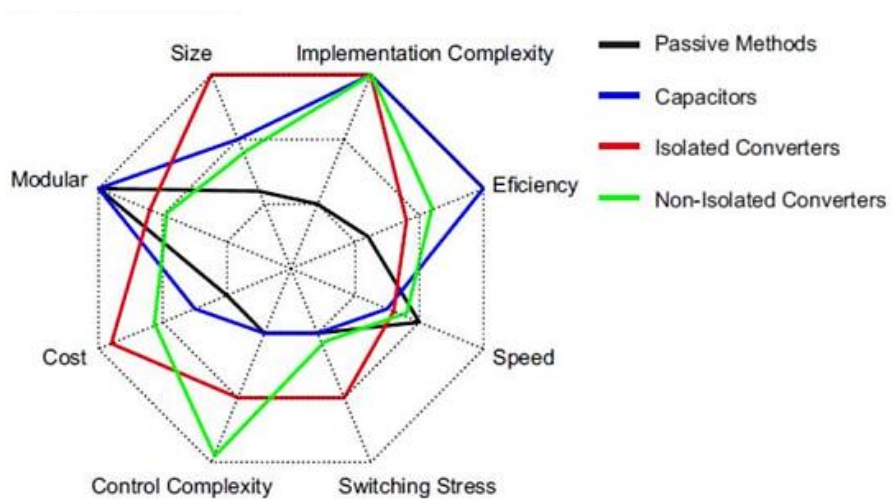
การปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟ (Passive Cell Balancing Methods) เมื่อสวิตช์สำหรับการคายประจุ (SW) ทำงานมีผลทำให้มีการบังคับให้แบตเตอรี่เซลล์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าคายประจุ ในโครงสร้างทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 4.24 (d) โดยขั้นตอนเดียวกันนี้ถูกใช้ทั้งสำหรับการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสมดุลของเซลล์ด้วยดังรูปที่ 4.25 ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่ตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่แม่นยำในระหว่างการปรับสมดุลของเซลล์ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าลดลงเนื่องจากความต้านทาน และกระแสไฟฟ้าในกระบวนการทำงานดังนั้นจึงมีปัญหาเรื่องความแม่นยำที่น้อยของแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ที่วัดได้ในระหว่างการอัดประจุหรือการคายประจุ และในขณะการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้โครงสร้างที่แสดงในรูปที่ 4.26 ถูกนำมาใช้ ความถูกต้องของการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่จำเป็นสำหรับระบบจัดการแบตเตอรี่ คือที่แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงปกติ 10 mV หรือน้อยกว่า ดังนั้นความต้านทานมีผลต่อแรงดันตก ซึ่งมีการแก้ไขโดยการเปลี่ยนจุดวัดของกระแสไฟฟ้าจากจุดตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าเดิมไปยังจุดที่อยู่ใกล้กับขั้วต่อ ดังนั้นจึงเป็นการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่แม่นยำยิ่งขึ้นแม้ในช่วงสมดุลของเซลล์ ซึ่งเป็นการปรับสมดุลของเซลล์โดยไม่ลดความแม่นยำของการวัดแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แม้ในระหว่างการดำเนินการอัดประจุหรือคายประจุและการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ



รูปที่ 4.24 โครงสร้างทั่วไปของการปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟ

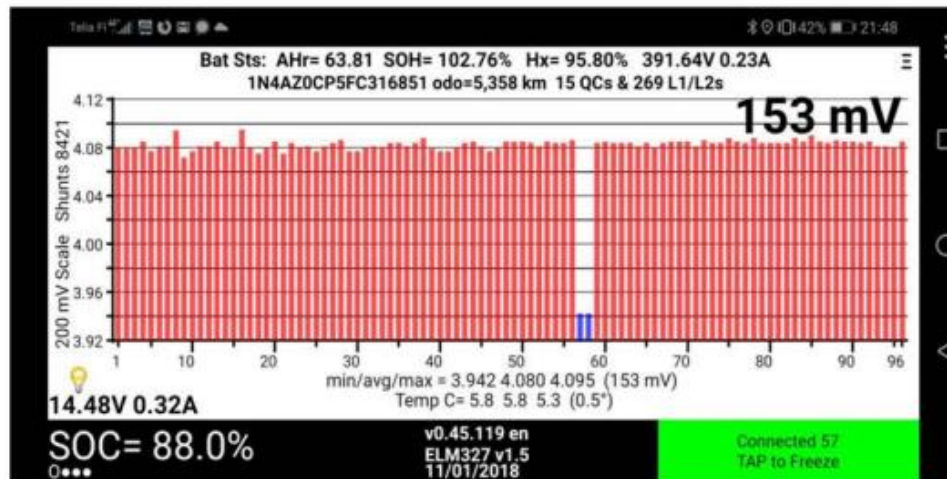


รูปที่ 4.25 โครงสร้างแบบใหม่ของการปรับสมดุลเซลล์แบบพาสซีฟ



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบวิธีการปรับสมดุลของเซลล์

รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบคุณสมบัติหลักของวิธีการปรับสมดุลที่แตกต่างกัน ตามความเรียบง่าย ราคา ประสิทธิภาพ ปริมาณน้ำหนักรวม ความทนทาน และความน่าเชื่อถือ และที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 4.27 แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.27 เห็นได้ว่า Cellpair 57 และ 58 ลดลง 150 mV จากส่วนที่เหลือของเซลล์ระบบ การจัดการแบตเตอรี่ของนิสสันนั้นใช้ประโยชน์จากลิเทียมเซลล์แบบสมดุลโดยใช้ตัวต้านทาน shunt

4.4 ระบบควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่

อายุการใช้งานและประสิทธิภาพของแพ็คแบตเตอรี่ลิเทียมขึ้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำงานเป็นอย่างมาก แบตเตอรี่มีแนวโน้มของการคายประจุเร็วขึ้นในสภาพอากาศร้อนเมื่อเทียบกับอุณหภูมิห้องปกติ การเพิ่มการใช้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงต้องการระบบการจัดการความร้อน (Thermal Management System :TMS) เพื่อระบายความร้อนในแพ็คแบตเตอรี่ ระบบระบายความร้อนนี้สามารถลดอุณหภูมิได้ และควรเพิ่มอุณหภูมิในสภาพอากาศหนาวเย็นได้หากต้องการ ซึ่งระบบจัดการแบตเตอรี่มีหน้าที่ในการวัดอุณหภูมิของเซลล์และควบคุมระบบระบายความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิโดยรวมทั้งหมดของแพ็คแบตเตอรี่

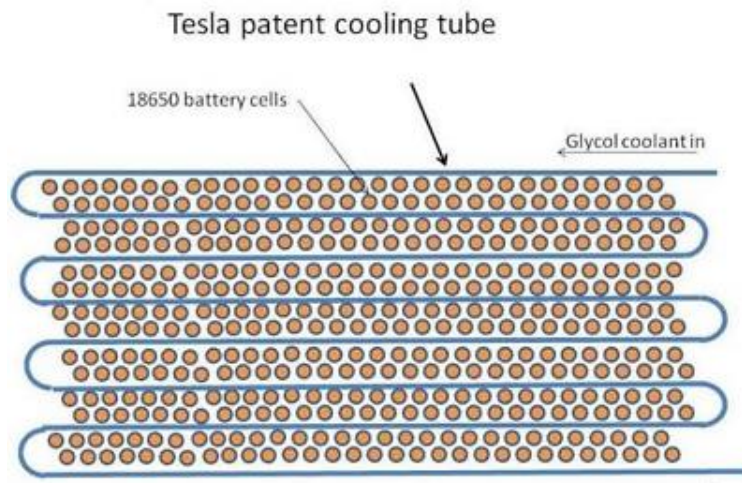
TMS (Thermal Management System) หรือระบบควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ เป็นระบบที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าหรือรถยนต์ไฮบริดเพื่อควบคุมและรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในระดับที่เหมาะสม

หน้าที่หลักของ TMS คือการป้องกันและควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในสถานการณ์ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีความแปรปรวนทั้งจากอากาศร้อนและอากาศเย็น คุณสมบัติหลายอย่างของ TMS มีดังต่อไปนี้

- 1) ระบายความร้อน TMS ช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ในกรณีที่มีการใช้งานหรือชาร์จแบตเตอรี่มาก ๆ ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดอุณหภูมิสูงที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสียหาย
- 2) เครื่องทำความเย็นหรือทำความร้อน บาง TMS มีระบบทำความเย็นหรือทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในสภาวะที่ต้องการ, แม้แบตเตอรี่จะต้องทำงานในสภาพอุณหภูมิที่เหมาะสม
- 3) ควบคุมอุณหภูมิในสภาวะต่ำ ในสภาวะอากาศเย็นหรืออุณหภูมิต่ำ TMS ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้มีความอุ่นพอเหมาะเพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ที่สมบูรณ์
- 4) ป้องกันการทำงานในสภาวะร้อน ในสภาวะอากาศร้อน, TMS ช่วยในการระบายความร้อนเพื่อป้องกันการทำงานในอุณหภูมิสูงที่อาจทำให้แบตเตอรี่เสียหาย
- 5) ปรับความเย็นหรือความร้อนในรถ บางระบบ TMS ยังมีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่รถเพื่อความสบายของผู้โดยสาร

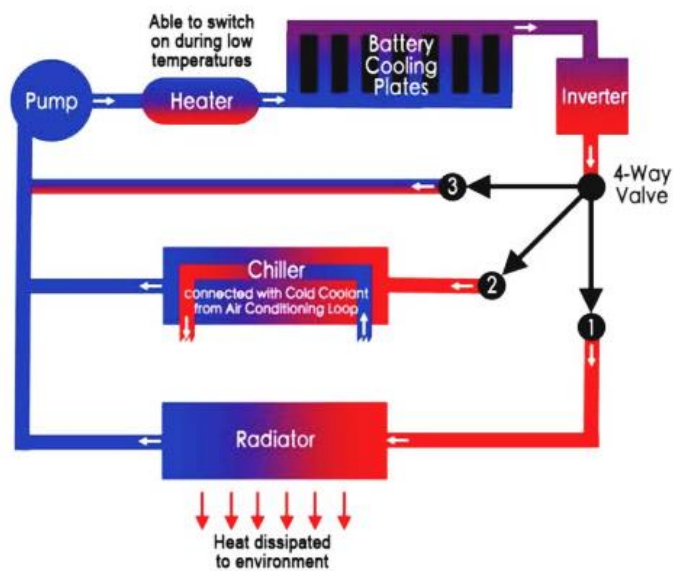
การใช้ TMS ช่วยให้แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในเหตุการณ์ที่มีความแปรปรวนของอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ยานยนต์ไฟฟ้าอาจพบเจอ

นอกเหนือจากการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ การคำนวณประมาณค่าสถานะประจุค่าสถานะสุขภาพแบตเตอรี่และอื่น ๆ ระบบจัดการแบตเตอรี่มีหน้าที่สำคัญคือ การควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้เหมาะสม แบตเตอรี่จะหมดเร็วขึ้นถ้าหากใช้งานในอุณหภูมิที่สูงเกินค่ากำหนดหรืออุณหภูมิต่ำลงเกินไป เพื่อประสิทธิภาพระบบระบายความร้อนในแบตเตอรี่ เทสลาใช้การระบายความร้อนด้วยของเหลว โดยที่หลอดท่อทางของเหลวระบายความร้อนจะถูกส่งผ่านแพ็คแบตเตอรี่ เพื่อสัมผัสกับเซลล์ทั้งหมด สารหล่อเย็น เช่น น้ำหรือแผ่นเจล (Glycol) ดังรูปที่ 4.28 นั้นถูกส่งผ่านท่ออุณหภูมิของสารหล่อเย็นถูกควบคุมโดยระบบจัดการแบตเตอรี่ตามอุณหภูมิของเซลล์ นอกจากนี้แบตเตอรี่ยังสามารถใช้อากาศหรือสารเคมีเพื่อรักษาอุณหภูมิที่ต้องการดังรูปที่ 4.29

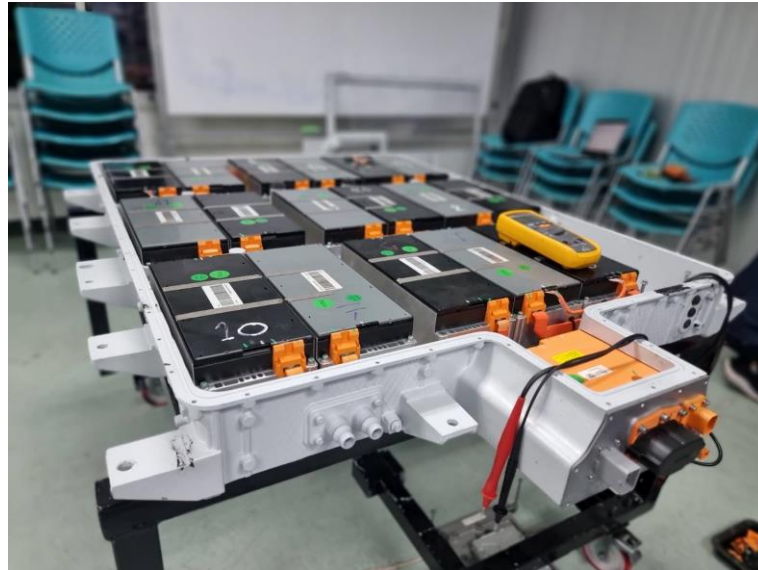


รูปที่ 4.28 ระบบ TMS ของ Tesla ที่ใช้แผ่นเจลทำหน้าที่ระบายความร้อนหรือเพิ่มความร้อน

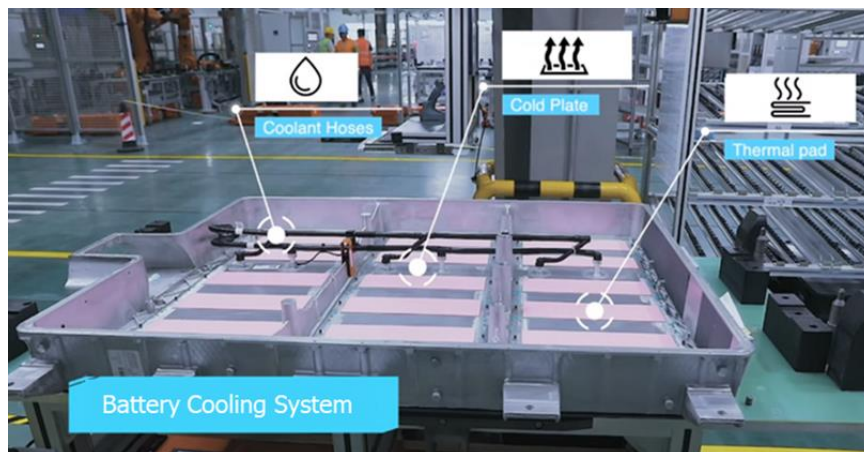
สาเหตุที่ต้องมีระบบ Cooling Liquid หรือ เรียกอีกอย่างว่า TMS (Thermal Management System) หรือระบบควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ คือ เวลาใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในแถบภูมิประเทศที่มีอากาศเย็น เช่น ทางแถบยุโรปที่อุณหภูมิตดล (-20C ถึง -30C) นั้น ระบบ TMS นี้ก็จะปล่อยความร้อนออกมาเพื่ออุ่นแบตเตอรี่ให้อุณหภูมิมากกว่า 5-20 องศาเซลเซียส เพราะแบตเตอรี่ Lithium-Ion นั้นไม่สามารถทำงานได้ดีที่อากาศติดลบ ยานยนต์ไฟฟ้าไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้งานได้ถ้าแบตเตอรี่อยู่ในสภาวะต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.29 แผนภูมิระบบ TMS ของยานยนต์ไฟฟ้า



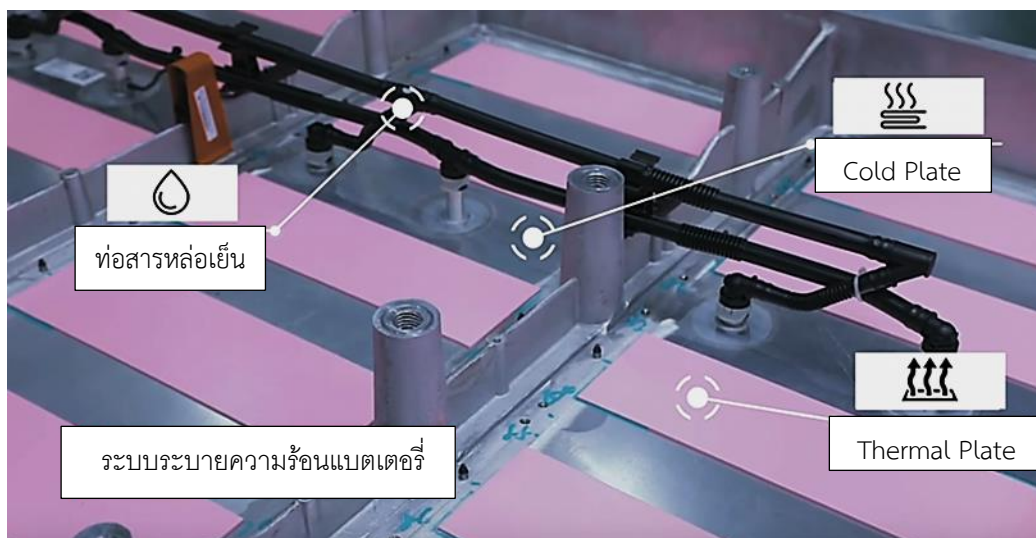
รูปที่ 4.30 การติดตั้งโมดูลเซลล์ในแพ็คเกจเตอร์รี่ของ MG ZS EV



รูปที่ 4.31 TMS (Thermal Management System) หรือระบบควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ของ MG ZS EV แสดงท่อทางของสารหล่อเย็นและวิธีการระบายความร้อน
ที่มา : ดัดแปลงจาก MG ZS EV

การติดตั้งโมดูลเซลล์ในแพ็คแบตเตอรี่ของ MG ZS EV ดังรูปที่ 4.29 จะเห็นการนำเซลล์แบตเตอรี่รวมกันเป็นโมดูลหลาย ๆ โมดูลรวมกันเป็นแบตเตอรี่แพ็ค การทำงานของระบบระบายความร้อนของแพ็คแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.30 เป็นการทำงานของแพ็คแบตเตอรี่ MG ZS EV ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- 1) Coolant Hoses ท่อน้ำยา coolant หรือท่อน้ำสำหรับระบายความร้อนของแบตเตอรี่
- 2) Cold Plate คือแผ่นสำหรับระบบความร้อนแบตเตอรี่ในเวลาที่ถูกใช้งานหนักๆ เช่น อัดประจุแบบเร็ว การเหยียบคันเร่งจม หรือ เบรก Kiers เพื่ออัดประจุไฟกลับไปยังแบตเตอรี่ หรือ แม้กระทั่งการใช้งานในสภาวะแวดล้อมร้อนจัดในประเทศไทยเป็นต้น
- 3) Thermal Pad สำหรับประเทศไทยนั้นคงไม่มีความจำเป็นในการใช้ Thermal Pad แน่นอนเพราะอากาศในไทยนั้นอุณหภูมิไม่เคยต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ตัว Thermal Pad หรือแผ่นทำความร้อนให้แก่แบตเตอรี่จะทำงานในกรณีที่อุณหภูมิกายนอกแพ็คแบตเตอรี่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.32 แสดงระบบท่อทางสารทำความเย็นระบายความร้อน และ Thermal Plate เพิ่มอุณหภูมิแบตเตอรี่

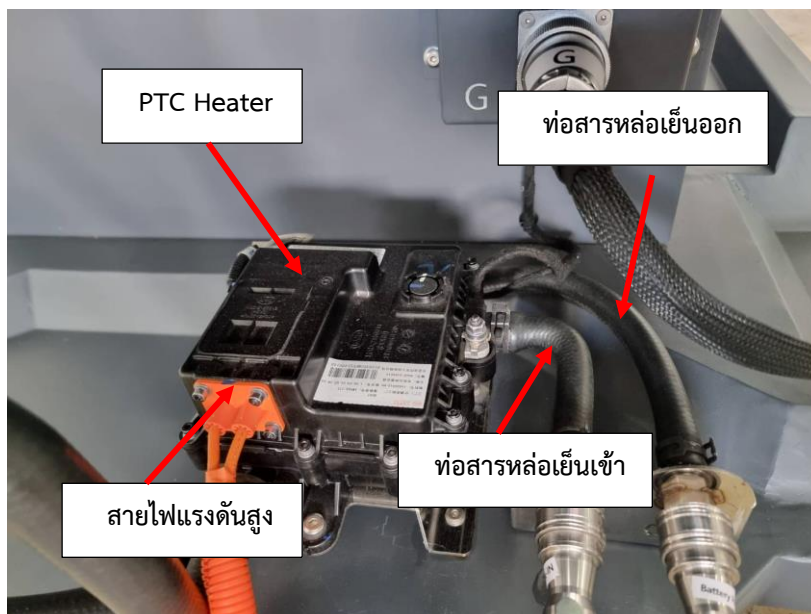
ที่มา : ดัดแปลงจาก MG ZS EV

การระบายความร้อนและการให้ความร้อนแก่แบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยรักษาอุณหภูมิของแบตเตอรี่ในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้รถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อไปนี้คือการอธิบายเกี่ยวกับระบบนี้

PTC (Positive Temperature Coefficient) Heater คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างความร้อนเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ในรถยนต์ไฟฟ้า BYD, PTC Heater สามารถใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในพื้นที่ที่มีแบตเตอรี่ติดตั้ง เมื่อมีความต้องการในการรักษาอุณหภูมิในสภาวะที่แบตเตอรี่มีอุณหภูมิต่ำ ระบบสามารถใช้ PTC Heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของแบตเตอรี่ได้ PTC Heater ทำหน้าที่เพิ่มความร้อนโดยใช้กระแสไฟฟ้า ซึ่งช่วยในการรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ ตัวอย่างระบบระบายความร้อนและการให้ความร้อนแก่แบตเตอรี่ในรถ BYD ช่วยให้แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพที่ดีในทุกสภาพแวดล้อม การควบคุมอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยในการรักษาประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ในระยะยาว อุปกรณ์ที่ช่วยระบายความร้อนหรือให้ความร้อนแก่แบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การขุดท่อน้ำหล่อเย็นไปตามส่วนต่าง ๆ ของแบตเตอรี่เพื่อระบายความร้อน



รูปที่ 4.34 PTC Heater เพิ่มอุณหภูมิแบตเตอรี่ ของ BYD Qin EV

ในสถานะที่อุณหภูมิต่ำ ระบบจะใช้ PTC Heater เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของแบตเตอรี่ PTC Heater จะได้รับการควบคุมการทำงานจาก BMS ร่วมกับชุด CDU ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงมายัง PTC Heater ให้ทำงานซึ่งช่วยในการรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ในสถานะอุณหภูมิต่ำ ในสถานะนี้สารทำความเย็นจะถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งไปในท่อไหลเวียนรอบ ๆ แบตเตอรี่ โดยการควบคุมการไหลด้วยปั๊มมอเตอร์ไฟฟ้าของระบบ ดังรูปที่ 4.35

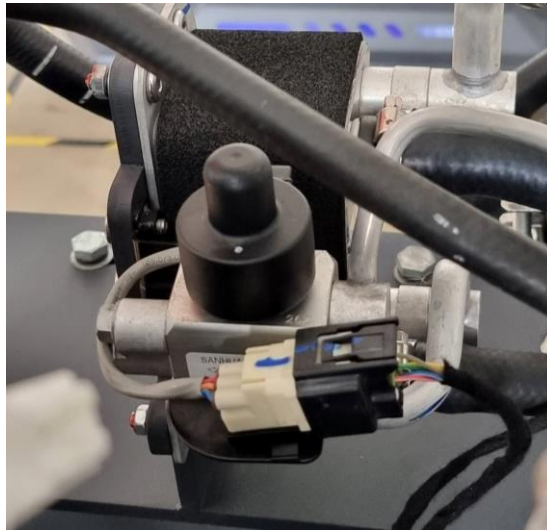


รูปที่ 4.35 ปั๊มไฟฟ้าน้ำยาทำความเย็นระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่

ในสถานะที่อุณหภูมิแบตเตอรี่สูงเกินค่ากำหนด ระบบจัดการแบตเตอรี่จะควบคุมให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนให้ดียิ่งขึ้น โดยใช้ระบบทำความเย็นระบบปรับอากาศช่วยเร่งระบายอุณหภูมิที่แบตเตอรี่ หลักการทำงานคือสารทำความเย็นของระบบปรับอากาศจะถูกเปิดให้ไหลเวียนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ทำให้น้ำหรือสารทำความเย็นที่ส่งไปยังระบบระบายความร้อนของแบตเตอรี่ถูกลดอุณหภูมิลงได้เร็วและมีประสิทธิภาพกว่าการระบายความร้อนปกติ ลักษณะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังรูปที่ 4.36 ส่วนการควบคุมอุณหภูมิในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะมีวาล์ว 4 ทิศทางที่ควบคุมการเปลี่ยนตำแหน่ง ปิด-เปิด ด้วยไฟฟ้า รูปที่ 4.37 จากหน่วยควบคุม MCU



รูปที่ 4.36 ท่อสารทำความเย็นระบบปรับอากาศต่อเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิน้ำหรือสารทำความเย็นก่อนไหลเวียนไปที่แบตเตอรี่



รูปที่ 4.37 วาล์วควบคุม 4 ทาง ควบคุมทิศทางการไหลเวียนของสารทำความเย็นจากระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมหรือลดอุณหภูมิในน้ำหรือสารหล่อเย็นที่ไหลเวียนไปยังแบตเตอรี่

บทสรุป

การจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานและอายุการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้า การจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้รถยนต์ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการใช้งานและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น บทสรุปของประเด็นสำคัญในการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้ามีดังนี้

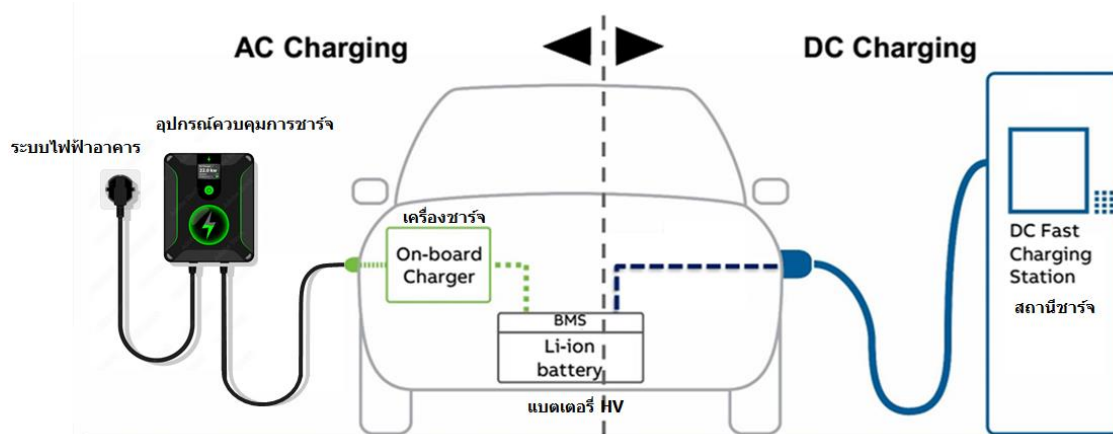
1. การชาร์จและการสะสมพลังงาน การชาร์จแบตเตอรี่เป็นกระบวนการสำคัญที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การชาร์จให้เต็มที่และการหลีกเลี่ยงการสะสมพลังงานที่เกินไปสามารถช่วยลดการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้
2. ระบบการบริหารจัดการพลังงาน ระบบบริหารจัดการพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้ามีความสำคัญในการควบคุมการใช้พลังงานให้เหมาะสม ทำให้สามารถประหยัดพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการขับเคลื่อนได้
3. ระบบการควบคุมระบายความร้อนแบตเตอรี่ การควบคุมอุณหภูมิของแบตเตอรี่ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่
4. การตรวจวัดและการวินิจฉัย ระบบการตรวจวัดและการวินิจฉัยปัญหาที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่เป็นส่วนสำคัญในการรักษาสภาพแบตเตอรี่ให้ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

5. การวางแผนการใช้งาน การวางแผนการใช้งานแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการขับเคลื่อนและสภาพการใช้งานจะช่วยลดการเสื่อมสภาพและเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่
6. การบำรุงรักษาและการดูแล: การดูแลและการบำรุงรักษาแบตเตอรี่อย่างเคร่งครัดมีผลต่ออายุการใช้งานและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในระยะยาว

บทที่ 5

เทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่

เมื่อแหล่งพลังงานจากแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าหมดลง หรือมีระดับของแรงดันไฟฟ้าลดลงต่ำกว่า แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (Cut-Off Voltage) การใช้งานหรือกระบวนการคายประจุต้องหยุดทำงาน และแบตเตอรี่ต้องการที่จะเริ่มกระบวนการอัดประจุ เมื่อกระบวนการทำงานของแบตเตอรี่ไม่ถูกต้อง เช่น การคายประจุที่มากกว่าปกติ การประจุที่มากกว่าปกติ เป็นการเร่งให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่เป็นอย่างมาก วิธีการประเมินที่แม่นยำเพียงพอของวิธีการอัดประจุ เช่น ค่าสถานะประจุ (State of Charge : SOC) ค่าสถานะสุขภาพ (State of Health : SOH) ทำให้วิธีการอัดประจุมีประสิทธิภาพ และสามารถป้องกันแบตเตอรี่จากความร้อนสูงเกินไป และยืดอายุการใช้งานได้ วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charging Approach) ปัจจุบันมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการอัดประจุต่าง ๆ ให้มีคุณภาพมากขึ้น เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการประจุ เป็นต้น ดังนั้นวิธีการอัดประจุที่นิยมใช้กันปัจจุบันนี้มีสี่วิธี ซึ่งทั้งสี่วิธีใช้กันอย่างแพร่หลายในการอัดประจุแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า โดยวิธีการสามารถจำแนกได้เป็น วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (CC) วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV) วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CC-CV) และวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับ (MCC) โดยทั่วไป แล้วการอัดประจุแบตเตอรี่อาจนานถึง 8 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า 30 นาที ขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์อัดประจุที่ใช้ และความจุของแบตเตอรี่ของ EV



รูปที่ 5.1 หลักการทำงานของ การอัดประจุแบตเตอรี่แบบออนบอร์ด (On-board charger) และแบบกระแสตรงชนิดเติมเร็ว (DC fast charger)

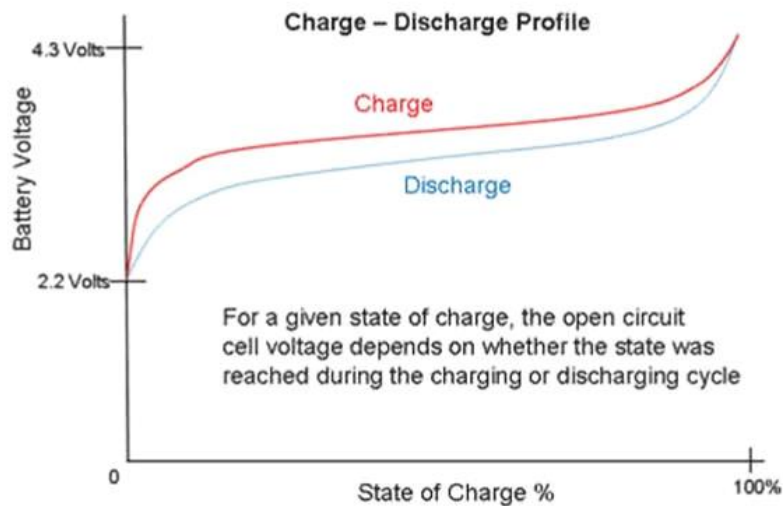
5.1 การประมาณสถานะแบตเตอรี่

การคำนวณที่สำคัญของระบบจัดการแบตเตอรี่นั้นใช้เพื่อการประมาณสถานะแบตเตอรี่ (Battery State Estimation) ซึ่งรวมถึงการวัดค่าสถานะประจุ และค่าสถานะสุขภาพซึ่งสามารถคำนวณการประมาณค่าสถานะประจุได้โดยใช้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์กระแสไฟฟ้า ข้อมูลการอัดประจุและข้อมูลการคายประจุ สามารถคำนวณค่าสถานะสุขภาพได้ โดยใช้จำนวนรอบของการอัดประจุและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีหลายวิธีการ การวัดค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่แต่ละวิธีต้องมีค่าอินพุตของตัวเอง วิธีการที่ใช้มากที่สุดสำหรับการประมาณค่าสถานะประจุ เรียกว่า the Coulomb Counting Method นอกเหนือจากนั้นยังมีวิธีขั้นสูงและซับซ้อนอื่น ๆ อีกมากมายดังนี้

5.1.1 การประมาณค่าสถานะประจุ SOC

การประมาณค่าสถานะประจุ (SOC Estimation) เป็นการประมาณความจุของแบตเตอรี่ที่เหลือใช้งานได้เป็นเปอร์เซ็นต์ต่อผลรวมในสถานการณ์เดียวกัน 100% หมายถึงแบตเตอรี่อัดประจุเต็มกำลังการผลิตรวม และ 0% หมายถึงแบตเตอรี่หมดประจุดังรูปการทำงานที่ 5.2 โดยการประมาณค่าสถานะประจุอย่างแม่นยำมีบทบาทสำคัญในการตรวจสอบสถานะความจุที่มีอยู่ เพื่อรับประกันการใช้งานแบตเตอรี่ที่ปลอดภัย การประมาณค่าสถานะประจุโดยทั่วไป มี 2 แบบ คือ การประมาณค่าโดยตรง (Direct Estimation Approach) และการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองวงจรสมมูล (Model-based Approach) สำหรับการประมาณค่าโดยตรงเป็นการวัดค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยตรงและนำมาคำนวณค่าสถานะประจุมีการคำนวณ โดยใช้วิธีที่ต่างกัน

สองวิธีคือ วิธี Ampere-hour (Ah) Method หรือวิธี Coulomb Counting Method และวิธีวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage : OCV)



รูปที่ 5.2 แสดงการทำงานของ การประจุแบตเตอรี่และการคายประจุของแบตเตอรี่

1) วิธี Ampere-hour (Ah) Method

Ampere-hour (Ah) method เป็นวิธีการในการทดสอบแบตเตอรี่เพื่อประมาณการความจุหรือปริมาณพลังงานที่สามารถเก็บไว้ได้ของแบตเตอรี่ ซึ่งวิธีนี้จะวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ในระหว่างเวลาเพื่อคำนวณหรือวัดปริมาณไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปทั้งหมด ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเพื่อหาความจุของแบตเตอรี่ได้ ขั้นตอนที่ใช้ใน Ampere-hour method มักจะมีดังนี้

Discharge (คายประจุ) ให้แบตเตอรี่ถูกชาร์จเต็มที่ 100% ก่อนทดสอบ จากนั้นให้คายประจุแบตเตอรี่โดยให้กระแสไฟฟ้าไหลจากแบตเตอรี่ไปยังโหลดหรืออุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้า

การวัดเวลาและกระแสไฟฟ้า นับเวลาที่แบตเตอรี่กำลังถูกใช้งานและวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่ในระหว่างเวลาที่กำลังใช้งาน

การคำนวณ Ampere-hour คำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่โดยการนำกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมากคูณกับเวลาที่ใช้งาน นั่นคือ $Ah = Current \times Time$ ตัวอย่างเช่น ถ้ากระแส

ไฟฟ้าที่ไหลผ่านแบตเตอรี่เป็น 5 Amperes และใช้เวลา 4 ชั่วโมง แบตเตอรี่จะมีปริมาณพลังงานหรือความจุเท่ากับ $5 \text{ A} \times 4 \text{ h} = 20 \text{ Ah}$ วิธี Ah method เป็นวิธีที่ใช้ทั่วไป และง่ายในการคำนวณค่าสถานะประจุซึ่งแสดงตามสมการ

$$\text{SOC}(k) = \text{SOC}(k_0) + \int_{k_0}^k nI(t)dt / C_n$$

เมื่อ SOC (k_0) คือ ค่าเริ่มต้นของ SOC

N คือ ค่าประสิทธิภาพของการอัดประจุแบตเตอรี่หรือคายประจุ

C_n คือ ค่าความจุปกติของแบตเตอรี่

$I(t)$ คือ ค่าของกระแสซึ่งเป็นค่าบวกสำหรับการอัดประจุและลบสำหรับการคายประจุ

เนื่องจากการอัดประจุหรือการคายประจุของแบตเตอรี่สามารถวัดได้ด้วยวิธี Ah Method ซึ่งเป็น วิธีการประมาณค่าโดยตรงสำหรับการประมาณค่าสถานะประจุ อย่างไรก็ตามวิธี Ah Method ขึ้นอยู่กับการวัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีข้อผิดพลาดจากการวัด และมีผลต่อความแม่นยำในการประมาณค่าสถานะประจุ นอกจากนี้เป็นการยากที่กำหนดค่าสถานะประจุเริ่มต้นได้อย่างแม่นยำสำหรับในการใช้งานแบบเรียลไทม์ และ ต้องอัดประจุแบตเตอรี่ในช่วงที่จำกัดเท่านั้น เช่น ในช่วง 10% ถึง 90% สำหรับการเปรียบเทียบค่าสถานะประจุเริ่มต้นและปัจจุบัน กลายเป็นประเด็นที่ท้าทายสำหรับการประมาณค่าสถานะประจุ

2) วิธีการนับคูลอมบ์ (Coulomb Counting Method)

วิธีการนับคูลอมบ์ (Coulomb Counting Method) เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างอินพุตของการอัดประจุรวมและความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ วิธีการหาค่าการประมาณค่าสถานะประจุ คือ

$$\text{SOC} = \text{Total Charge Input} / \text{Maximum Capacity}$$

ความจุสูงสุดของแบตเตอรี่ถูกกล่าวถึงในแผ่นข้อมูลของแบตเตอรี่ การคำนวณ Total Charge Input ต้องใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ อินพุตของการอัดประจุทั้งหมดคือ กระแสไฟฟ้าและเวลา แต่ค่าของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันไปตามเวลาและด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้วิธีการรวมค่าของกระแสไฟฟ้าเพื่อกำหนดอินพุตค่าที่ไม่ต่อเนื่องของกระแสไฟฟ้าถูกดำเนินการที่ภายในอย่างสม่ำเสมอ และค่าที่ครบถ้วนของค่าเหล่านี้ทำให้มีค่าของ Total Charge Input ตัวอย่างของการคำนวณค่าโดยพิจารณาว่าค่าของกระแสไฟฟ้าคงที่ 2A สำหรับ 4 ชั่วโมง ดังนั้นค่าของอินพุตการอัดประจุทั้งหมดเป็น 8 Ah และ

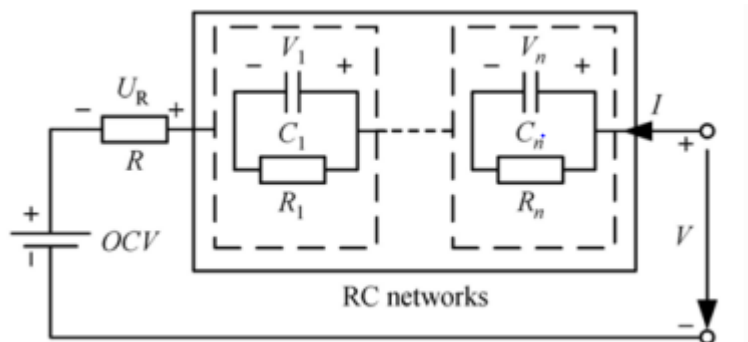
หากความจุสูงสุดของแบตเตอรี่คือ 25 Ah ค่าการประมาณค่าสถานะประจุ คือ $((2 * 4) / 25)$ เท่ากับ 32% แต่วิธีนี้ไม่น่าเชื่อถือเพราะความจุสูงสุดของแบตเตอรี่มีค่าลดลงตามอายุของแบตเตอรี่ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการอื่นในการคำนวณ

3) วิธีวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open-Circuit Voltage (OCV) Method)

เนื่องจากความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างค่าสถานะประจุและแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรของแบตเตอรี่ ทำให้การใช้วิธีวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open Circuit Voltage: OCV) เพื่อประมาณค่าสถานะประจุของแบตเตอรี่ได้กลายเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับ ซึ่งมีการนำไปใช้ในหลากหลายการใช้งาน ถึงแม้ว่าความแม่นยำในการประมาณค่าสถานะประจุสามารถทำได้โดยวิธีวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร แต่ช่วงเวลาที่เริ่มต้นกลายเป็นข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับการประมาณค่าสถานะประจุ และวิธีวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรโดยทั่วไปใช้เวลานานในการเข้าถึงค่าสมดุลหลังจากปลดกระแสไฟฟ้าไหลต เช่น แบตเตอรี่ LiFePO_4 ใช้ระยะเวลามากกว่า 2 ชั่วโมงภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร และค่าสถานะประจุเปลี่ยนไปตามอายุการใช้งานและอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ข้อเสียของวิธีวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรคือการจำกัดการใช้งานที่หลากหลายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้หากวิธีวัดแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจรสามารถรับค่าแบบเรียลไทม์ เพื่อประเมินค่าสถานะประจุในระหว่างการใช้งานได้ ดังนั้นวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองวงจรสมมูล (Model-based Approach) เป็นวิธีที่ใช้แบบจำลองเพื่อ คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร สำหรับการประมาณค่าแบบออนไลน์ของค่าสถานะประจุ ของแบตเตอรี่

แบบจำลองแบตเตอรี่ (Battery Modeling) หากต้องการใช้วิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น หรือ ตรวจสอบว่าระบบจัดการแบตเตอรี่ ทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ มีความจำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่ โดยที่แค่แบตเตอรี่ทั่วไปใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงในการอัดประจุ และอีก 6 ชั่วโมง ในการคลายประจุ ข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของเซลล์มีค่าแตกต่างกันระหว่างการอัดประจุและการคายประจุ เพื่อตรวจสอบว่าระบบจัดการแบตเตอรี่ทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ คือเหตุผลที่รุ่นแบตเตอรี่ได้รับการพัฒนารุ่นนี้สามารถทำหน้าที่เป็นแบตเตอรี่เสมือน (Hardware in Loop) ในช่วงการพัฒนาของระบบจัดการแบตเตอรี่ความแม่นยำของการประมาณค่าสถานะประจุและค่าสถานะสุขภาพนั้นขึ้นอยู่กับความถูกต้องของรุ่นแบตเตอรี่ด้วย ด้วยเหตุนี้ควรมีความเที่ยงตรง และความทนทานสูงในรุ่นแบตเตอรี่อุดมคติ แรงดันไฟฟ้าอินพุตควรเท่ากับแรงดันเอาต์พุต และค่าความผิดพลาดควรเป็นศูนย์ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว สถานการณ์นี้ทำได้ยาก

เนื่องจากมีพารามิเตอร์หลายอย่าง เช่นอุณหภูมิ อายุการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผล กระทบต่อระบบ มีแบตเตอรี่หลายรุ่นให้เลือก โดยแบ่งเป็นรุ่น Lumped-Parameter, Equivalent Circuit Model และ Electro-Chemical Model ทั้งสามรุ่น Electro-Chemical เป็นรุ่นที่ดีและแม่นยำที่สุด



รูปที่ 5.3 แบบจำลองเทวินินของแบตเตอรี่ $V_{OCV} = V_i + IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n$

5.1.2 การประมาณค่าสถานะสุขภาพ SOH

การประเมินค่าสถานะสุขภาพ (SOH Estimation) เป็นการบอกรายละเอียดเกี่ยวกับ อายุ และวงจรชีวิตของแบตเตอรี่ตามประวัติของการใช้งาน โดยมีค่าลดลงตามอายุการใช้งานของ แบตเตอรี่ และสามารถรู้ระยะเวลาของการเปลี่ยนแบตเตอรี่ว่าเมื่อใดที่ค่าสถานะสุขภาพควรได้รับการ คำนวณและติดตามโดยที่ระบบจัดการแบตเตอรี่การประเมินค่าสถานะสุขภาพ เป็นไปสมการดังนี้

$$SOH(t) = SOH(t_0) + \int_{t_0}^t \delta_{fune}(I, T, SOC, others) dt$$

เมื่อ $SOH(t_0)$ คือ ค่าเริ่มต้นของ ค่าสถานะสุขภาพ,

δ_{fune} เป็นฟังก์ชันของอัตราเสื่อมสภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น กระแส อุณหภูมิ ค่าสถานะประจุปัจจัยอื่น ๆ เช่นการสั้นสะพานทองและอัตราการใช้งานเกินศักยภาพ สำหรับการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้า อายุการใช้งานแบตเตอรี่ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่ลดลงดังนั้น

ความสามารถในการประมาณค่าสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่โดยความต้านทานภายในหรือความสามารถในการใช้งาน ซึ่งเป็นวิธีการทำนายการเปลี่ยนแปลง มีการเสนอวิธีการมากมายในการประมาณค่าสถานะสุขภาพ ของแบตเตอรี่ซึ่งแบ่งออกเป็นสามกลุ่มคือ วิธีการแบบไม่มีแบบจำลอง (Model-Free Method) วิธีการแบบตาม แบบจำลอง (Model-Based Method) และวิธีการแบบการขุดข้อมูล (Data Mining Methods)

$$SOH = C_{aged} / C_n \times 100\%$$

$$SOH = R_{inc} / R_n \times 100\%$$

เมื่อ C_{aged}, R_{inc} คือ ความจุที่ลดลงตามการใช้งานและความต้านทานภายในที่เพิ่มขึ้น
 C_n, R_n คือ ความจุปกติและความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ใหม่โดยไม่ใช้งาน
 ค่าสถานะสุขภาพถูกกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความจุปกติ อายุการใช้งานและจำนวนรอบของการประจุ-คายประจุ เป็นสองตัวแปรหลักสำหรับการลดลงของค่าสถานะสุขภาพ และค่าสถานะสุขภาพของแบตเตอรี่ Li-Ion โดยเฉลี่ยลดลงเหลือ 80% หลังจากการประจุ การคายประจุ 1,000 ครั้ง

5.1.3 การประมาณค่าอุณหภูมิภายใน

การประมาณค่าอุณหภูมิภายใน (Internal Temperature Estimation) เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากอุณหภูมิของแบตเตอรี่เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในหลาย ๆ ด้าน เช่นอายุการใช้งาน ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน ความน่าเชื่อถือ และความปลอดภัย สามารถวัดอุณหภูมิพื้นผิวที่เหมาะสมได้ โดยตรงโดยใช้เซ็นเซอร์ความร้อน หรือเทอร์โมคัปเปิล แต่อุณหภูมิภายในของแบตเตอรี่เป็นสภาวะภายในซึ่งวัดได้ยาก ความแตกต่างระหว่างพื้นผิวแบตเตอรี่และอุณหภูมิภายในจะค่อนข้างสำคัญ เช่นบางครั้งมากกว่า 12° C ในการใช้งานพลังงานสูง อุณหภูมิภายในที่ร้อนจัดจะเร่งอายุแบตเตอรี่และยังนำไปสู่ปัญหาด้านความปลอดภัย เช่นไฟไหม้และการระเบิด ดังนั้นการวัดอุณหภูมิพื้นผิวของแบตเตอรี่จึงไม่เพียงพอในการปกป้องแบตเตอรี่ วิธีการประมาณอุณหภูมิภายในที่เหมาะสมนั้นไม่เพียง แต่สามารถป้องกันแบตเตอรี่จากความเสียหายเท่านั้น แต่ยังช่วยให้ระบบจัดการแบตเตอรี่ สามารถกำหนดกลยุทธ์ที่เหมาะสมเพื่อประหยัดพลังงาน

5.1.4 การประมาณค่าสถานะร่วม

ตามที่โมเดลความร้อนไฟฟ้าคู่ ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมทางไฟฟ้าและความร้อนของแบตเตอรี่พร้อมกัน การประมาณสถานะร่วม (Joint State Estimation) ของการประมาณค่าสถานะประจุและอุณหภูมิภายใน ของแบตเตอรี่สามารถทำได้ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมและการปรับสมดุลของแบตเตอรี่ ขั้นตอนสำคัญในการประมาณค่าสถานะร่วมกันคือการสร้างแบบจำลองแบตเตอรี่ไฟฟ้าที่ง่ายและแม่นยำในตอนแรก วิธีการประมาณค่าที่เหมาะสม เช่น Slide Mode Observer, Kalman Filter Observer ถูกนำมาใช้

5.2 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่

เมื่อแหล่งพลังงานแบตเตอรี่หมดลงหรือมีระดับของแรงดันไฟฟ้าลดลงต่ำกว่า cut-off voltage หรือลดลงต่ำกว่า 20% กระบวนการคายประจุควรหยุดและแบตเตอรี่ต้องการที่อัดประจุใหม่ คุณสมบัติการอัดประจุสำหรับชนิดของแบตเตอรี่แสดงตามตารางที่ 5.1 การทำงานไม่ถูกต้อง เช่น การคายประจุที่มากกว่าปกติ การประจุมากกว่าปกติเป็นการเร่งให้เกิดความเสียหายของแบตเตอรี่อย่างมาก เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น Li-ion battery มีประสิทธิภาพค่อนข้างคงที่แต่มีอายุการใช้งานน้อยลงที่สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ในขณะที่ไม่ได้รับอนุญาตให้เริ่มต้นการประจุที่ต่ำกว่า freezing ตามที่การประเมินที่แม่นยำเพียงพอของวิธีการอัดประจุ ค่าสถานะประจุ (State of Charge : SOC), ค่าสถานะสุขภาพ (State of Health : SOH) อุณหภูมิภายใน (internal temperature) และ การประมาณค่าสถานะร่วม (joint state estimation) สามารถออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อไปในการอัดประจุแบตเตอรี่จากสถานะเริ่มต้นไปยังค่าเป้าหมาย SOC สุดท้าย ในขณะที่เดียวกันวิธีการอัดประจุยังสามารถป้องกันแบตเตอรี่จากความร้อนสูงเกินไป ยืดอายุการใช้งานและปรับปรุงการใช้กำลังการผลิต

ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพของการอัดประจุสำหรับแต่ละชนิดของแบตเตอรี่

ชนิดของแบตเตอรี่	ประสิทธิภาพการของอัดประจุ
Li-ion	1) สามารถปรับความเร็วในการชาร์จได้ แต่อุณหภูมิที่สูงจะส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ 2) การชาร์จเป็นปัญหาสำหรับอุณหภูมิที่ต่ำมากหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง
Lead acid	1) อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า V ลดลง 3 mV/°C 2) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งสามารถชาร์จอัดประจุได้ที่ 0.3 C
NiMH, NiCd	1) การชาร์จจะลดลงจาก 70% ที่ 45 °C ถึง 45% ที่ 60 °C ตามลำดับ 2) อัตราชาร์จ 0.1 C อยู่ระหว่าง -17 °C และ 0 °C; 3) อัตราชาร์จ 0.3 C อยู่ระหว่าง 0 °C และ 6 °C

วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery Charging Approach) ที่ได้รับความนิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการอัดประจุต่าง ๆ ให้มีคุณภาพมากขึ้น เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการประจุ เป็นต้น ดังนั้นวิธีการอัดประจุที่นิยมใช้กันปัจจุบันนี้มีสี่วิธี ซึ่งทั้งสี่วิธีใช้กันอย่างแพร่หลายในการอัดประจุแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า โดยวิธีการสามารถจำแนกได้เป็นวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (CC) วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV) วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CC-CV) และวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับ (MCC) ในเรื่องต่อไปนี้มีกรณีเน้นเป็นพิเศษคือการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ และการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับดังนี้

5.2.1 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่

วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (CC Charging) เป็นวิธีที่ง่าย แต่ไม่ละเอียด ซึ่งใช้อัตรากระแสไฟฟ้าคงที่มีขนาดเล็กเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ในระหว่างกระบวนการอัดประจุทั้งหมด การอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่สิ้นสุดลงเมื่อเวลาในการอัดประจุถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ วิธีการอัดประจุนี้เริ่มใช้เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ NiCd หรือ NiMH และยังคงใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับอัตรากระแสไฟในการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นความท้าทายหลัก สำหรับวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่คืออัตราของกระแสไฟฟ้าสำหรับการอัดประจุที่เหมาะสม ซึ่งสามารถปรับเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่และการใช้งานความจุได้อย่างสมดุล สำหรับการใช้อัตรากระแสไฟฟ้าที่สูงในการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ทำได้ความเร็วในการอัดประจุเร็วขึ้น แต่ทำให้การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ลดลงตามไปด้วย และอัตรา

กระแสไฟฟ้าขนาดต่ำในการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่เป็นการทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สูงขึ้นได้คุณภาพจากการประจุสูง แต่อัตราการประจุที่ต่ำเกินไปจะทำให้ความเร็วในการอัดประจุแบตเตอรี่ช้าลง และมีผลเสียต่อความเสถียรในการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้า

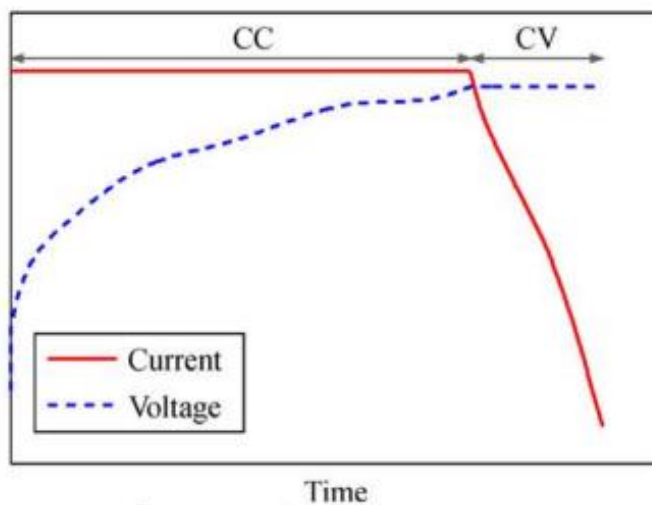
5.2.2 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่

วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV Charging) เป็นวิธีการอัดประจุที่ใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ หลักของการใช้การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่คือเพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และควรหลีกเลี่ยงการใช้แรงดันไฟฟ้าเกินซึ่งอาจเกิดขึ้นในกระบวนการอัดประจุ เมื่อใช้การอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่กระแสไฟฟ้าของการอัดประจุจะค่อยๆ ลดลง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ทำให้มีกระแสสูงเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าเทอร์มินัลให้คงที่ในระยะเริ่มต้นของกระบวนการอัดประจุ ซึ่งทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ง่าย ปัญหาทั่วไปของวิธีการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่คือการเลือกค่าที่เหมาะสมสำหรับแรงดันไฟฟ้าคงที่เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมระหว่างความเวลาในการอัดประจุ การสลายตัวของอิเล็กโทรไลต์และการใช้กำลังไฟฟ้า โดยสรุปลักษณะของการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่และวิธีการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่นั้นสามารถปรับปรุงตามเวลาการอัดประจุได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สร้างความเสียหายอย่างมากต่อความจุของแบตเตอรี่ สาเหตุหลักมาจากกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่ออัดประจุแบตเตอรี่ที่ค่าสถานะประจุต่ำกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นมีขนาดสูงกว่าช่วงที่ยอมรับของแบตเตอรี่ ซึ่งนำไปสู่การทำให้แบตเตอรี่เสียหาย และทำให้การทำงานของสารที่ใช้งานในขั้วแบตเตอรี่แยกลง แต่เมื่อความจุของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุลดลงอย่างมาก เวลาในการอัดประจุสำหรับวิธีแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่นั้นค่อนข้างรวดเร็ว เนื่องจากกระแสแบตเตอรี่เฉลี่ยสูงในช่วงเวลาสถานะประจุ จาก 0.15 ถึง 0.8 และกระแสการอัดประจุลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าสถานะประจุถึง 0.9

5.2.3 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ CC-CV

การใช้วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ทั้งแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CC-CV Charging Approach) เรียกว่าเป็นการอัดประจุแบตเตอรี่แบบไฮบริดหรือการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ ดังแสดงในรูป 3.4 วิธีการนี้แบตเตอรี่ถูกอัดประจุก่อนในช่วงเริ่มต้นด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ที่กำหนดไว้ในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่ โดยส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้หลังจากนั้นแบตเตอรี่เข้าสู่โหมดแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่กำหนดไว้ จึงนำมาซึ่งการลดลงอย่างต่อเนื่องของกระแสแบตเตอรี่สำหรับในขั้นตอนอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ สิ้นสุดเมื่อค่าของกระแสไฟฟ้าที่ลดลง หรือถึงความจุเป้าหมายที่กำหนด วิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ ถูกนำมาใช้ครั้งแรกเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดด้วยค่าที่กำหนดไว้ โดยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่กำหนด ผู้ผลิตแบตเตอรี่ และยังสามารถนำมาใช้ในการ

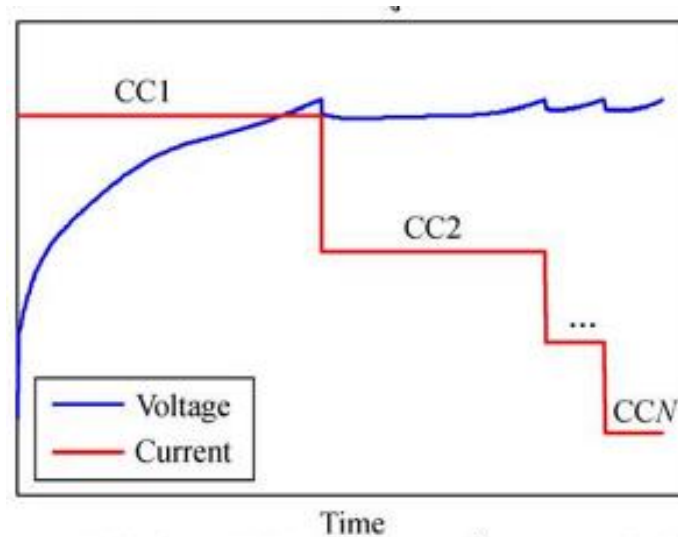
อัดประจุแบตเตอรี่ ลิเธียมไอออน ด้วยการปรับปรุงบางอย่าง เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเทอร์มินัลที่สูงขึ้น และเมื่อนำมาอัดประจุแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน กระแสคงที่ในการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน สำหรับการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ควรมากกว่าของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ซึ่งกำหนดให้มีค่าจาก 0.5 C ถึง 3.0 C ในกระบวนการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ การสูญเสียกำลังงานที่เกิดจากโพลาริเซชันเคมีไฟฟ้าขนาดใหญ่ในระยะกระแสไฟฟ้าคงที่ถูกชดเชย โดยขั้นตอนของการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่จึงดีกว่าวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่อย่างเดียว เช่นเดียวกับการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ในการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้าและได้รับเลือกเป็นเกณฑ์มาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ที่พัฒนาขึ้นใหม่ แม้ว่าวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยปกตินั้นใช้งานง่าย ปัญหาที่ท้าทายคือการกำหนดอัตรากระแสคงที่ที่เหมาะสมที่ระยะกระแสไฟฟ้าคงที่และค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ของวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ถูกกำหนดโดยอัตราคงที่เป็นหลัก ในขณะที่การใช้กำลังการผลิตของการอัดประจุแบตเตอรี่ส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากค่าของขอบเขตแรงดันไฟฟ้าคงที่ สำหรับอัตราของกระแสคงที่สำหรับวิธีการอัดประจุ แบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ ในอีกด้านค่าสูงของอัตรากระแสอาจทำให้เกิด Lithium Plating, เกิดประสิทธิภาพการแปลงพลังงานต่ำ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่เกินระดับที่กำหนดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานพลังงานสูงในทางกลับกันกระแสไฟอัดประจุที่ต่ำทำให้ลดเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่และส่งผลกระทบต่อความสะดวกในการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีความสำคัญในการออกแบบวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการอัดประจุโดยรวมและรับประกันความปลอดภัยในการทำงานของแบตเตอรี่



รูปที่ 5.4 แสดงกระแสแบตเตอรี่และแรงดันไฟฟ้าของวิธีการอัดประจุแบบกระแส

5.2.4 วิธีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับ

อีกวิธีของการอัดประจุแบตเตอรี่ที่นิยมคือการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับ (MCC Charging) วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ที่หลายชนิด เช่น แบตเตอรี่ตะกั่วกรด แบตเตอรี่ NiMH และแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับและวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ คือ การอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับมีการอัดประจุของกระแสไฟฟ้าแบบหลายขนาดที่ถูกระบุ สำหรับแบตเตอรี่ในระหว่างกระบวนการอัดประจุกระแสการอัดประจุควรมีค่าลดลง เนื่องจากรูปแบบของกระแสคงที่ต่าง ๆ ($ICC_1 > ICC_2 > \dots > ICC_N$) เมื่อแรงดันไฟฟ้าขึ้นไปถึงระดับของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด สำหรับค่าเริ่มต้นของกระแสคงที่ในขั้นตอนแรก ขั้นตอนการอัดประจุเปลี่ยนเป็นอีกขั้นหนึ่งของกระแสคงที่ จากนั้นใช้อัตราของกระแสใหม่ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง กระบวนการที่ลดลงของการอัดประจุของกระแสทำงานต่อไปจนกว่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ถึงขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นสุดท้ายภายใต้เงื่อนไขของกระแสต่ำสุด เวลาในการอัดประจุสำหรับวิธีอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับช้ากว่าวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่มีกระแสเริ่มต้นเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กระแสและแรงดันไฟฟ้าของวิธีอัดประจุแบบเตอรีแบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับ

จากค่าในตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบของวิธีการอัดประจุที่กล่าวถึงทั้งหมด สำหรับข้อดีข้อเสีย และองค์ประกอบสำคัญในการออกแบบวิธีการเหล่านี้ได้กล่าวไว้โดยย่อ สำหรับวิธีการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่อย่างเดียว และการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานค่อนข้างต่ำ โดยมีเพียงไม่กี่พารามิเตอร์เท่านั้นที่ต้องพิจารณา อย่างไรก็ตามวิธีการอัดประจุเหล่านี้อาจทำให้เกิดปัญหาในการอัดประจุ เช่น โคร่งข่ายแบตเตอรี่พังทลายและขั้วแบตเตอรี่ชำรุด เป็นการยากที่จะปรับการใช้งานความจุของแบตเตอรี่และความเร็วในการอัดประจุโดยใช้วิธีอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่หรือแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่เพียงอย่างเดียว เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการอัดประจุ เช่น การหลีกเลี่ยงแรงดันเกิน การใช้กำลังและการอัดประจุอย่างรวดเร็ว ได้มีการพัฒนาวิธีการอัดประจุแบบไฮบริด เช่น วิธีแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่และวิธีอัดประจุแบบเตอรีแบบกระแสไฟฟ้าคงที่หลายระดับ ปัญหาเปิดสำหรับการใช้วิธีไฮบริดเหล่านี้คือการหาค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อปรับสมดุล เพื่อวัตถุประสงค์และประสิทธิภาพ เช่น ความเร็วในการอัดประจุแบบเตอรี การสูญเสียพลังงาน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอายุการใช้งานแบตเตอรี่ นอกจากนี้การวิเคราะห์ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า เช่น Lithium Plating ในระหว่างกระบวนการอัดประจุแบบเตอรี เป็นต้น

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้า

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย	องค์ประกอบสำคัญ
CC	ใช้งานง่าย	Capacity Utilization อยู่ในระดับต่ำ	1) อัตรากระแสอัดประจุคงที่ 2) Terminal Condition
CV	1) ใช้งานง่าย 2) มีเสถียรภาพที่ขั้วของแรงดันไฟฟ้า	ง่ายต่อการทำให้เกิดความเสียหายของแบตเตอรี่	1) การอัดประจุที่แรงดันไฟฟ้าคงที่ 2) Terminal Condition
CC-CV	1) Capacity Utilization อยู่ในระดับสูง 2) มีเสถียรภาพที่ขั้วของแรงดันไฟฟ้า	ยากที่จะปรับสมดุลของเป้าหมาย เช่น ระยะเวลาในการอัดประจุ การสูญเสียพลังงานในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	1) อัตรากระแสคงที่ในระยะ CC 2) แรงดันไฟฟ้าคงที่ในช่วง CV 3) Terminal Condition
MCC	1) ใช้งานง่าย 2) ง่ายต่อการอัดประจุอย่างรวดเร็ว	ยากที่จะปรับสมดุลของเป้าหมาย เช่น ระยะเวลาในการอัดประจุ Capacity Utilization และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	1) จำนวนช่วงกระแสไฟฟ้า 2) อัตรากระแสไฟฟ้าคงที่สำหรับแต่ละขั้นตอน

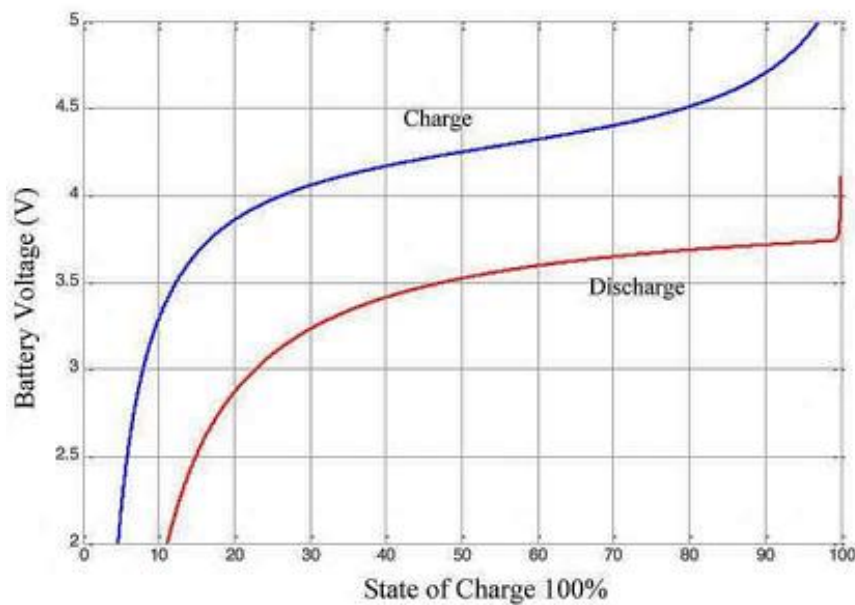
5.3 การควบคุมการอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

5.3.1 การควบคุมการอัดประจุ (Charging Control)

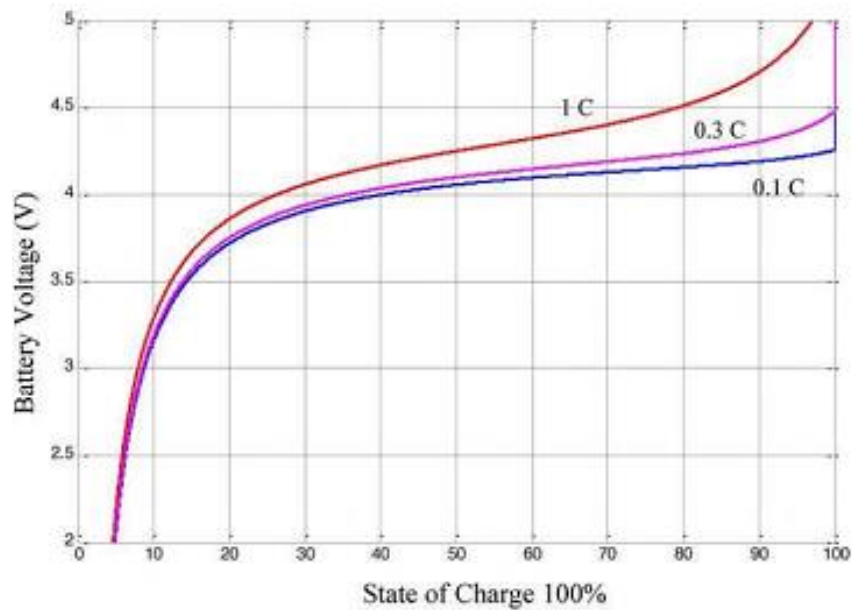
การตรวจสอบโดยระบบจัดการแบตเตอรี่พบว่า แบตเตอรี่ส่วนใหญ่ได้รับความเสียหายหรือมีอายุการใช้งานลดลง เมื่อมีการอัดประจุอย่างไม่เหมาะสม สำหรับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่มีการทำงานคือ ขั้นตอนแรกเรียกว่าการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ (CC) ซึ่งส่งกระแสไฟฟ้าคงที่เพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ และเมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุใกล้เต็มแล้ว ขั้นตอนที่สองเรียกว่าขั้นตอนการจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV) ในขั้นตอนนี้มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่

ให้กับแบตเตอรี่ โดยที่กระแสไฟฟ้ามืดค่าต่ำมาก ระบบจัดการแบตเตอรี่ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่าทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในระหว่างการอัดประจุไม่เกินขีดจำกัดที่สามารถรับได้ของเซลล์แบตเตอรี่ และเพื่อไม่ให้มีการอัดประจุเกิน แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุและกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานสามารถดูได้จากแผ่นข้อมูลของแบตเตอรี่

1) ทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 3.8 V กระแสไฟฟ้า 33.1 Ah 125 Ah โดยรูปที่ 5.6 เป็นกราฟการทำงานระหว่างค่าสถานะประจุและแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการอัดประจุและคายประจุที่พิกัดกระแสไฟฟ้าคงที่ 1C หรือที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 33.1 Ah และเมื่อวัดค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสถานะประจุของการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C หรือ 3.3Ah, 9.9Ah และ 33.1 Ah ได้ผลดังรูปที่ 5.7



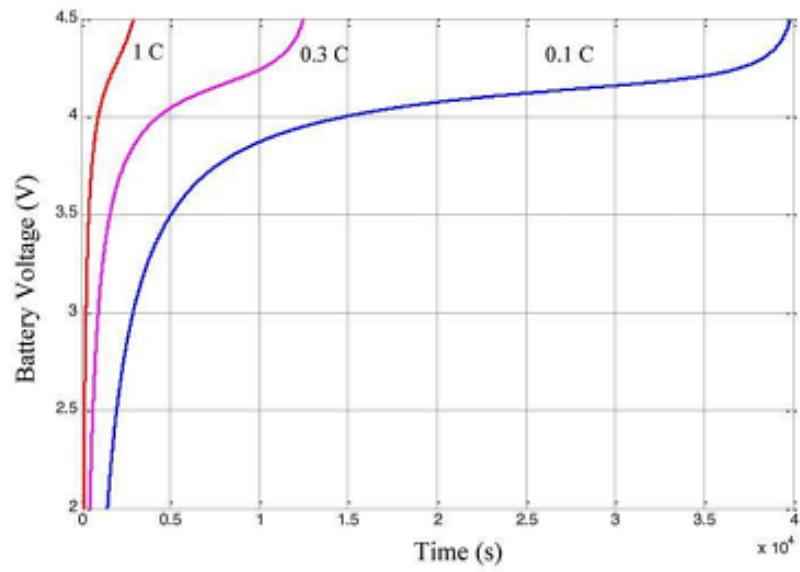
รูปที่ 5.6 การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดพิกัดกระแสไฟฟ้าคงที่ 1C



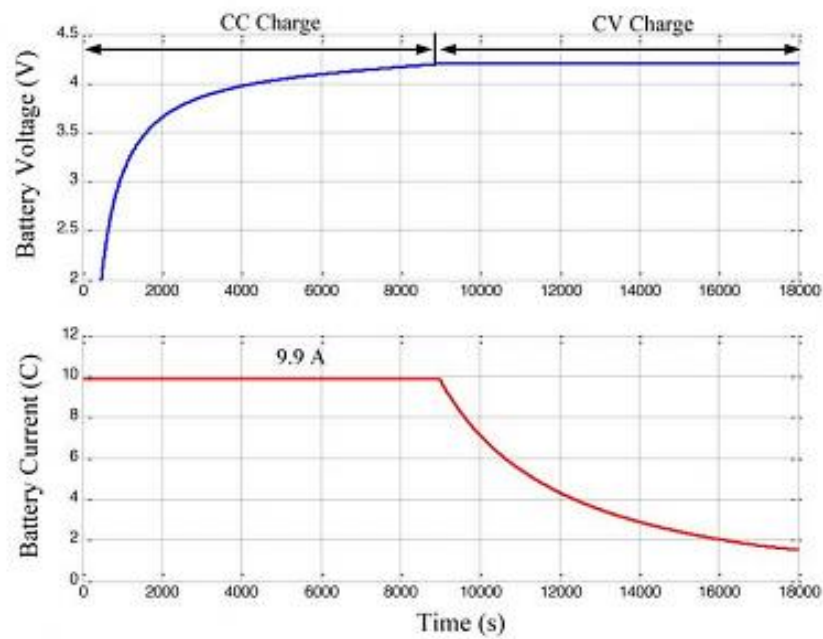
รูปที่ 5.7 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสถานะประจุของการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C

เมื่อทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C หรือ 3.3Ah, 9.9Ah และ 33.1 Ah ดังรูปที่ 5.8 โดยค่า C ของกระแสไฟฟ้าต่ำจะใช้เวลาในการประจุนานจึงเหมาะกับการอัดประจุของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยซึ่งต้องใช้นาน และที่ค่าของ C สูงจึงเหมาะสำหรับการอัดประจุของแบตเตอรี่แบบเร็ว

สำหรับรูปที่ 5.9 เป็นการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ ซึ่งมีการใช้กระแสไฟฟ้าแบบคงที่ที่ 0.3C ในช่วงเวลาเริ่มต้นจากนั้นแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดไว้และเปลี่ยนโหมดการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ 4.2 V

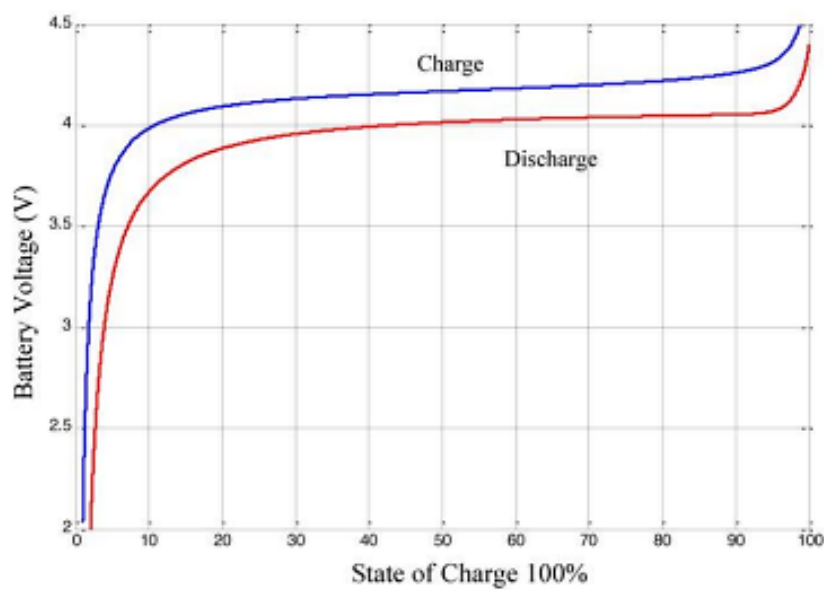


รูปที่ 5.8 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C

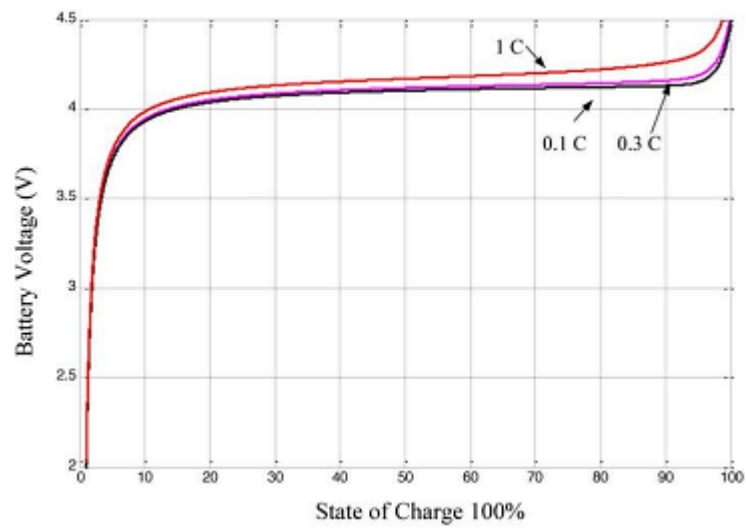


รูปที่ 5.9 การอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่

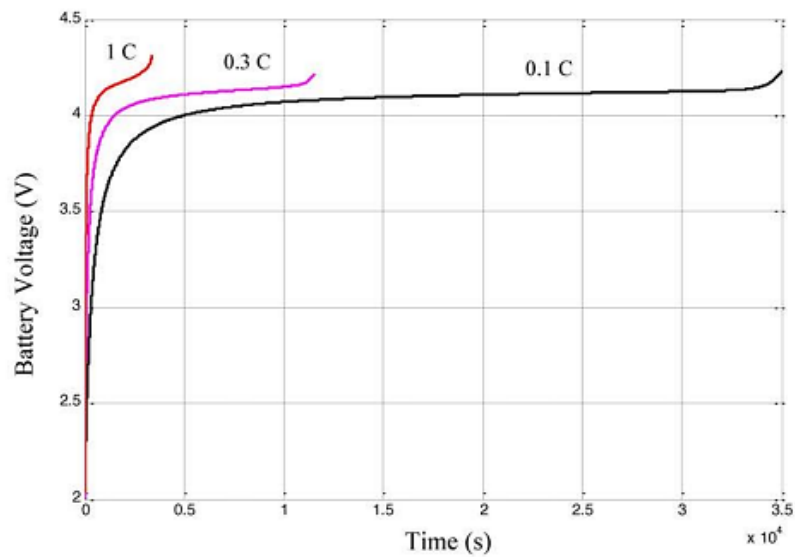
2) ทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาดพิกัดแรงดันไฟฟ้า 3.8 V กระแสไฟฟ้า 33.1 Ah 125 Wh โดยรูปที่ 5.10 เป็นกราฟการทำงานระหว่างค่าสถานะประจุและแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการอัดประจุและคายประจุที่พิกัดกระแสไฟฟ้าคงที่ 1C หรือที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 33.1 Ah และเมื่อวัดค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่าสถานะประจุของการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C หรือ 3.3Ah, 9.9Ah และ 33.1 Ah ได้ผลดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.10 การอัดประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนพิกัดกระแสไฟฟ้าคงที่ 1C



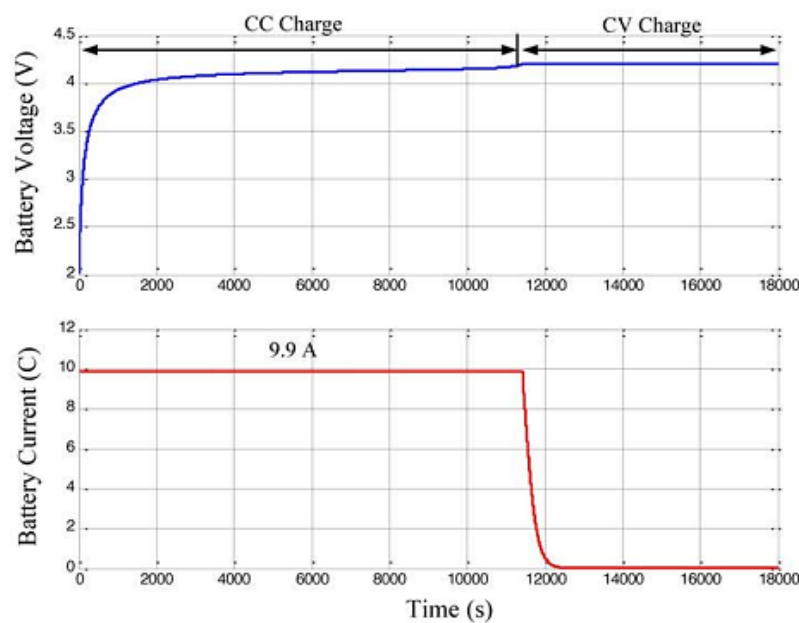
รูปที่ 5.11 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่า SOC ของการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C



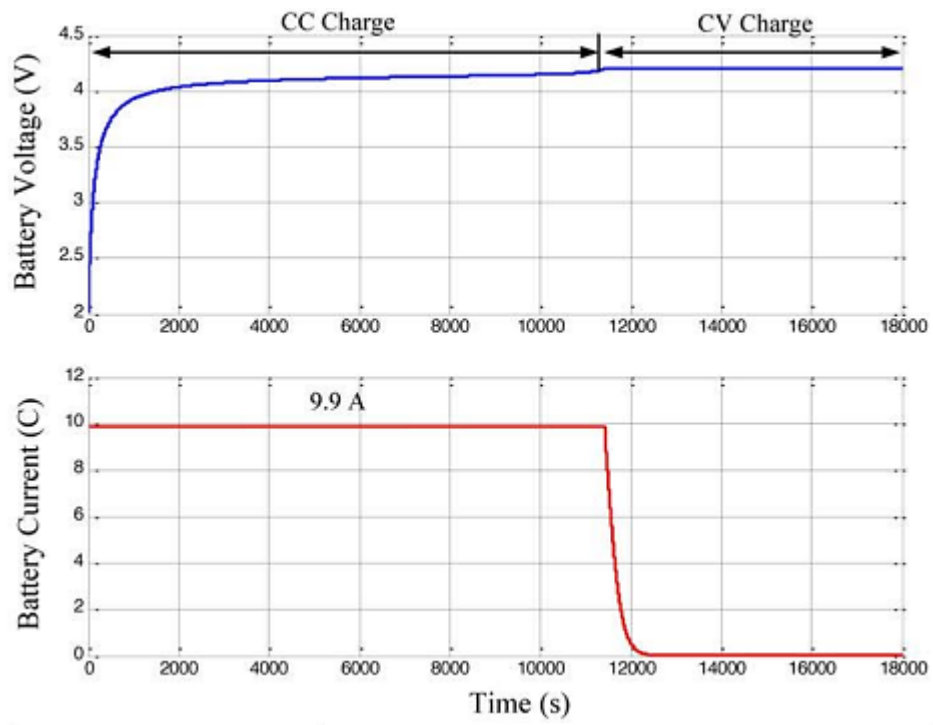
รูปที่ 5.12 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C

เมื่อทดสอบการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C หรือ 3.3Ah, 9.9Ah และ 33.1 Ah ดังรูปที่ 5.12 โดยค่า C ของกระแสไฟฟ้าต่ำจะใช้เวลาในการประจุนานจึงเหมาะกับการอัดประจุของแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัยซึ่งต้องใช้เวลานาน และที่ค่าของ C สูงจึงเหมาะสำหรับการอัดประจุของแบตเตอรี่แบบเร็ว

สำหรับรูปที่ 5.13 เป็นการอัดประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่ซึ่งมีการใช้กระแสไฟฟ้าแบบคงที่ที่ 0.3C ในช่วงเวลาเริ่มต้นจากนั้นแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดไว้และเปลี่ยนโหมดการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่ที่ 4.2 V



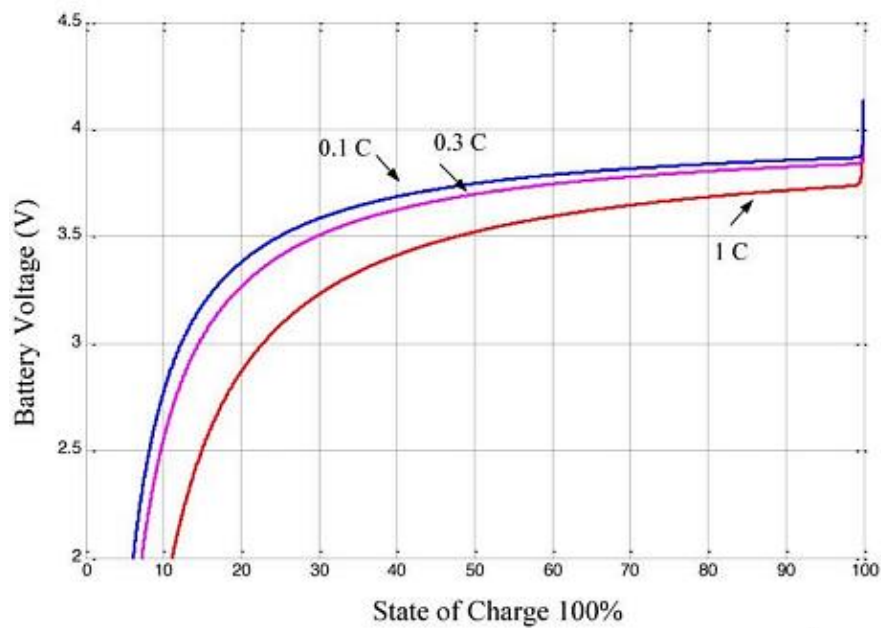
รูปที่ 5.13 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาของการอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1C, 0.3C และ 1C



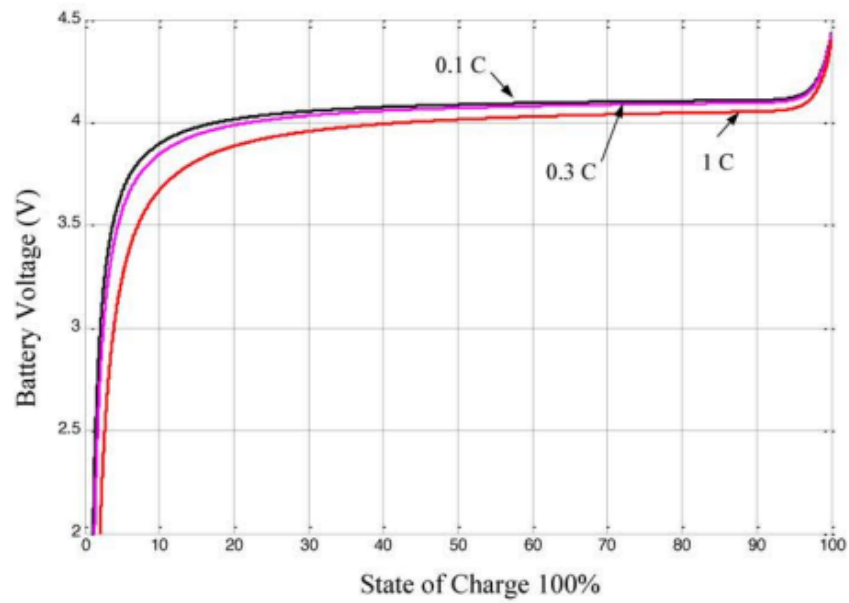
รูปที่ 5.14 การอัดประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแบบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่

5.3.2 ควบคุมการคายประจุ

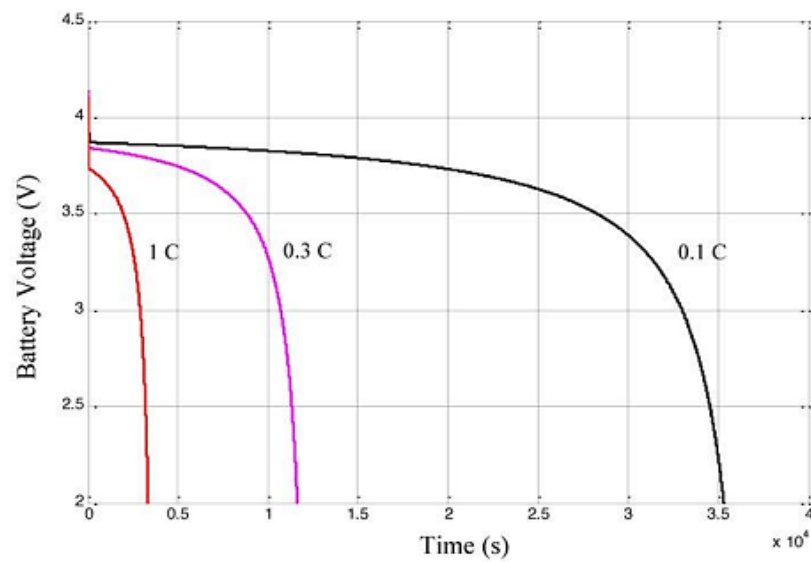
หน้าที่หลักของระบบจัดการแบตเตอรี่อีกหน้าที่หนึ่ง คือการควบคุมให้เซลล์แบตเตอรี่คายประจุ (Discharging Control) ให้อยู่ภายในขอบเขตการใช้งานที่ปลอดภัย เช่น เซลล์ลิเทียมทั่วไปมีการทำงานที่ระดับของแรงดันไฟฟ้าปกติที่ 3 V ถึงประมาณ 4.2V ดังนั้นระบบจัดการแบตเตอรี่ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีเซลล์ใดในแพ็คแบตเตอรี่คายประจุออกมาต่ำกว่า 3 V เป็นต้น



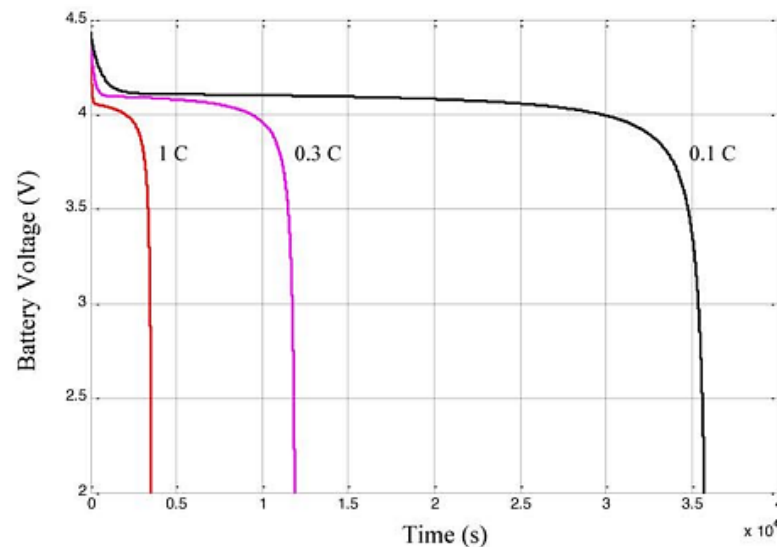
รูปที่ 5.15 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่า SOC ของการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่ กระแสไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 5.16 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและค่า SOC ของการคายประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ที่กระแสไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 5.17 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาการคายประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่กระแสไฟฟ้าคงที่



รูปที่ 5.18 ค่าระหว่างแรงดันไฟฟ้าและเวลาการคายประจุแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่กระแสไฟฟ้าคงที่

5.4 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV Charging Infrastructures) ประกอบด้วย ประเภทของเครื่องการอัดประจุแบตเตอรี่ผ่านตัวนำและแบบเหนี่ยวนำ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบ่งออกเป็น modes, cases and types ตามมาตรฐานที่กำหนด มีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 ประเภทของเครื่องการอัดประจุแบตเตอรี่

การอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่การอัดประจุผ่านตัวนำ (Conductive Charging) และการอัดประจุแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Charging)

5.4.1.1 การอัดประจุผ่านตัวนำ

การอัดประจุผ่านตัวนำ (Conductive Charging) เป็นการอัดประจุจากแหล่งจ่ายไฟไปยังยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิล เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความซับซ้อนน้อย ทำให้การอัดประจุผ่านตัวนำเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน สำหรับการอัดประจุผ่านตัวนำนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) การอัดประจุแบบปกติ (Normal Charge)) ซึ่งเป็นการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Current) ผ่านอุปกรณ์อัดประจุที่ถูกติดตั้งไว้ภายในยานยนต์ไฟฟ้า (On-Board Charger) โดยทั่วไปมีขนาด 3.3 kW และ 6.6 kW สำหรับระบบอัดประจุแบบ 1 เฟส และขนาด 11 kW และ 22 kW สำหรับระบบอัดประจุแบบ 3 เฟส ซึ่งการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับที่ 22 kW เรียกว่าการอัดประจุแบบถึงเร็ว (AC Semi-Quick Charge) และผ่านอุปกรณ์ Inverter เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่ออัดประจุแบตเตอรี่ต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปรองรับกระแสไฟฟ้าที่ 16-32 A ดังนั้นการอัดประจุไฟฟ้าในรูปแบบนี้จึงเหมาะสำหรับการอัดประจุที่ทำงานหรือที่สาธารณะ

2) การอัดประจุแบบเร็ว (Quick Charge) ซึ่งเป็นการอัดประจุไฟฟ้าด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current) เข้าสู่แบตเตอรี่โดยตรง การอัดประจุแบบนี้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุได้สูง เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดของ On-Board Charger โดยทั่วไปสามารถอัดประจุได้ในระยะเวลาเพียง 10-30 นาที จึงต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส ที่พิกัดกระแสสูง การอัดประจุแบบเร็วมักมีการใช้งานในที่สาธารณะซึ่งต้องการความเร็วในการอัดประจุไฟฟ้า

5.4.1.2 การอัดประจุแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Charging)

คือการอัดประจุแบบไร้สาย (Wireless Charging) เป็นการอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า จึงทำให้การอัดประจุในรูปแบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สายเคเบิลในการอัดประจุเพื่อความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการใช้งาน สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากการอัดประจุ อย่างไรก็ตามการอัดประจุแบบไร้สายยังคงอยู่ในขั้นตอนของการพัฒนาเพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระหว่างการประจุให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้การอัดประจุแบบเหนี่ยวนำเป็นการอัดประจุไฟฟ้าแบบกระแสสลับเท่านั้นจึงจำเป็นต้องใช้ On-Board Charger ในการประจุเข้าแบตเตอรี่

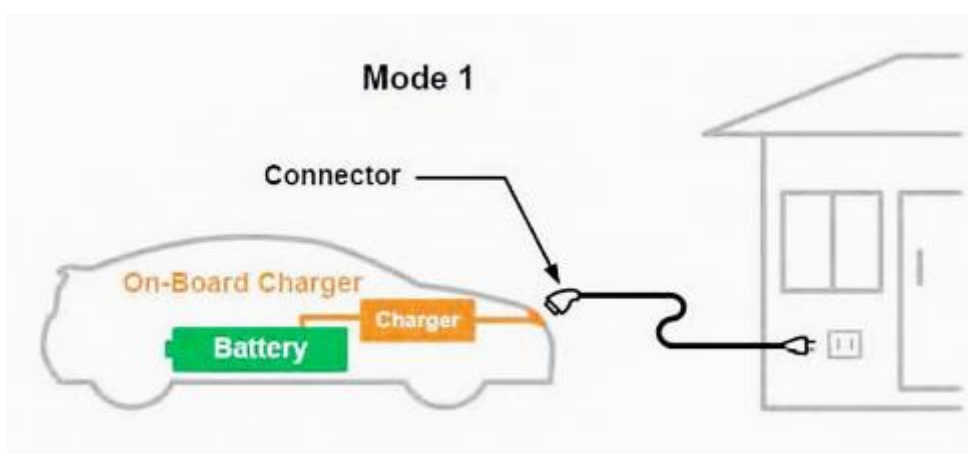
5.4.2 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุ modes, cases and types

สำหรับการสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า สิ่งที่สำคัญระบบไฟฟ้าที่มีศักยภาพรองรับยานยนต์ไฟฟ้าได้ สถานที่แรกที่พิจารณาสำหรับสถานีอัดประจุแบตเตอรี่คือบ้านพักอาศัยและที่ทำงาน สถานที่ที่มีศักยภาพอื่น ๆ ที่มีการใช้งานสูงได้แก่ สถานีบริการน้ำมัน ศูนย์การค้า ร้านอาหาร สถานบันเทิง พื้นที่พักผ่อน ทางหลวง สถานที่ปฏิบัติงานเทศบาลและโรงเรียน ซึ่งต้องมีมาตรฐานต่าง ๆ การเชื่อมต่อและการสื่อสารสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า

1) แบ่งการอัดประจุโดย Mode

มาตรฐาน Electro technical commission หรือ IEC ได้กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อสำหรับการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC 61851-1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 แบบดังนี้

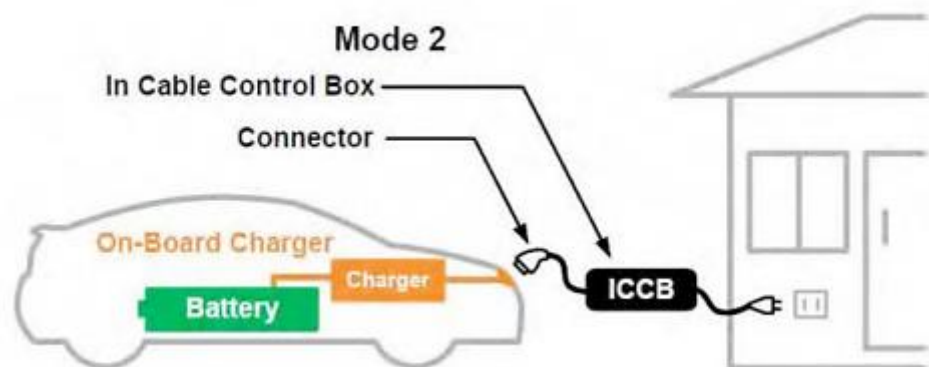
Mode 1 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเต้ารับไฟฟ้ามาตรฐานตามบ้านหรืออาคารโดยตรง กำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 16 A และขนาดแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250V (สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส) และไม่เกิน 480V (สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส) โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบสายดินและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน (Circuit Breaker) และสายเคเบิลที่ใช้ต้องมีสายดินด้วยเช่นกัน เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้า Mode 1 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับเต้ารับไฟฟ้าตามบ้านหรืออาคารโดยตรง โดยไม่มีอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม ดังนั้น จึงไม่มีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) อีกทั้งเต้ารับตามบ้านหรืออาคารหลายแห่งไม่มีระบบสายดิน จึงอาจเกิดอันตรายได้ต่อผู้ใช้งานได้หากเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วหรือลัดวงจร บางประเทศจึงห้ามใช้การอัดประจุไฟฟ้า Mode 1 เช่น สหรัฐอเมริกา



รูปที่ 5.19 การอัดประจุไฟฟ้า Mode 1

Mode 2 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเต้ารับไฟฟ้ามาตรฐานตามบ้านหรืออาคารโดยตรง กำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 32 A และขนาดของแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 Vac (สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส) และไม่เกิน 480 Vac (สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส) โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบสายดินและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน (Circuit Breaker) และสายเคเบิลที่ใช้ต้องมีสายดินด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ ใน Mode 2 สายเคเบิลจะต้องมีฟังก์ชันควบคุม

การอัดประจุ (Control Pilot Function) และระบบป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว (Residual Current Device: RCD) ซึ่งอาจติดตั้งอยู่ภายในกล่องควบคุมในสายเคเบิล (In-cable Control Box: ICCB) โดย ICCB จะต้องมียุทธศาสตร์ห่างจาก Plug ไม่เกิน 0.3 เมตร หรือติดตั้งอยู่ภายใน Plug Control Pilot Function มีหน้าที่ในการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและตรวจสอบระบบป้องกันใน ระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า เช่น ตรวจสอบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีการต่อสายดินอยู่หรือไม่ หรือสั่งให้ลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุเมื่อแบตเตอรี่เกิดความร้อนสูง เป็นต้น โดย Control Pilot Function จะทำการสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)

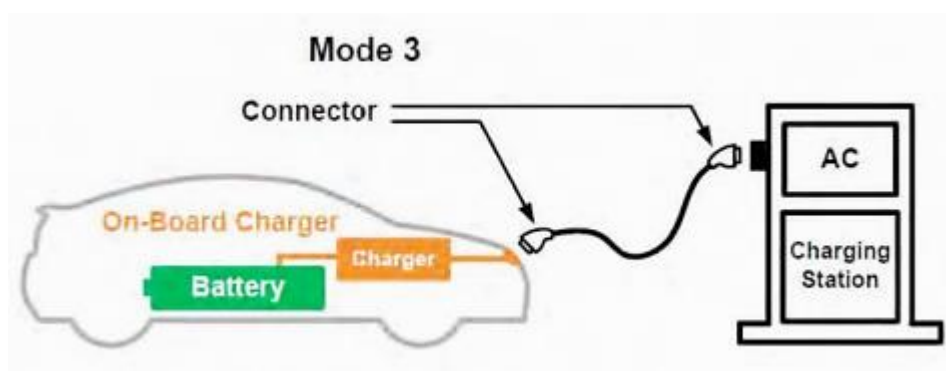


รูปที่ 5.20 การอัดประจุไฟฟ้า Mode 2

Mode 3 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV) เช่น สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยที่ EV จะเชื่อมต่ออย่างถาวรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ และมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้การอัดประจุไฟฟ้า Mode 3 เป็นรูปแบบที่เห็นทั่วไปในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะที่สามารถจอดเป็นระยะเวลาอันยาวนานได้ เช่น ที่ทำงาน ห้างสรรพสินค้า รวมถึงเครื่องอัดประจุไฟฟ้ารูปแบบ Wall Charge ในบ้านอยู่อาศัย

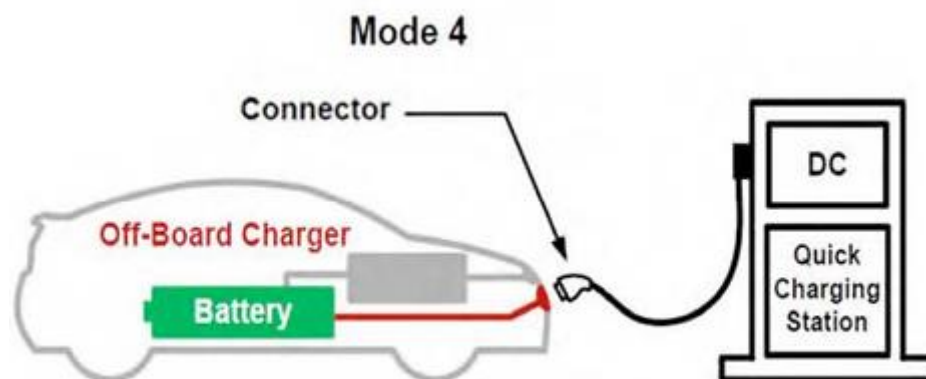
การอัดประจุไฟฟ้า Mode 3 ยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน เช่น อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Circuit Breaker) อุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่ว (Earth Leakage Circuit Breaker) และอุปกรณ์สำหรับตัดต่อการจ่ายไฟฟ้า (Contactor) และต้องมีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) เพื่อควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและตรวจสอบระบบป้องกันในระหว่างการอัดประจุ

ไฟฟ้า เช่น ตรวจสอบว่าขณะนี้นยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับ EVSE อยู่หรือไม่ ตรวจสอบว่ามีการเชื่อมต่อระบบป้องกันอยู่หรือไม่ รวมทั้งการสื่อสารเพื่อควบคุมระดับกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุโดย Control Pilot Function จะสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) เช่นเดียวกับ Mode 2



รูปที่ 5.21 การอัดประจุไฟฟ้า Mode 3

Mode 4 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV) เช่น สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยที่ EVSE จะเชื่อมไฟฟ้ากระแสสลับและมี Off-board Charger เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้า ขนาดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ และมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ การใช้งานการอัดประจุไฟฟ้า Mode 4 ส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะเท่านั้น ยานยนต์ไฟฟ้าของการอัดประจุไฟฟ้า Mode 4 จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเช่นเดียวกับ Mode 3 แต่การควบคุมการอัดประจุและการสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าใน Mode 4 จะซับซ้อนกว่า Mode 3 มาก และมีรูปแบบของการควบคุมและการสื่อสารที่แตกต่างไปตามรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ และมาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ข้อกำหนดเกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงกับยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน IEC 61851-23 และ IEC 61851-24



รูปที่ 5.22 การอัดประจุไฟฟ้า Mode 4

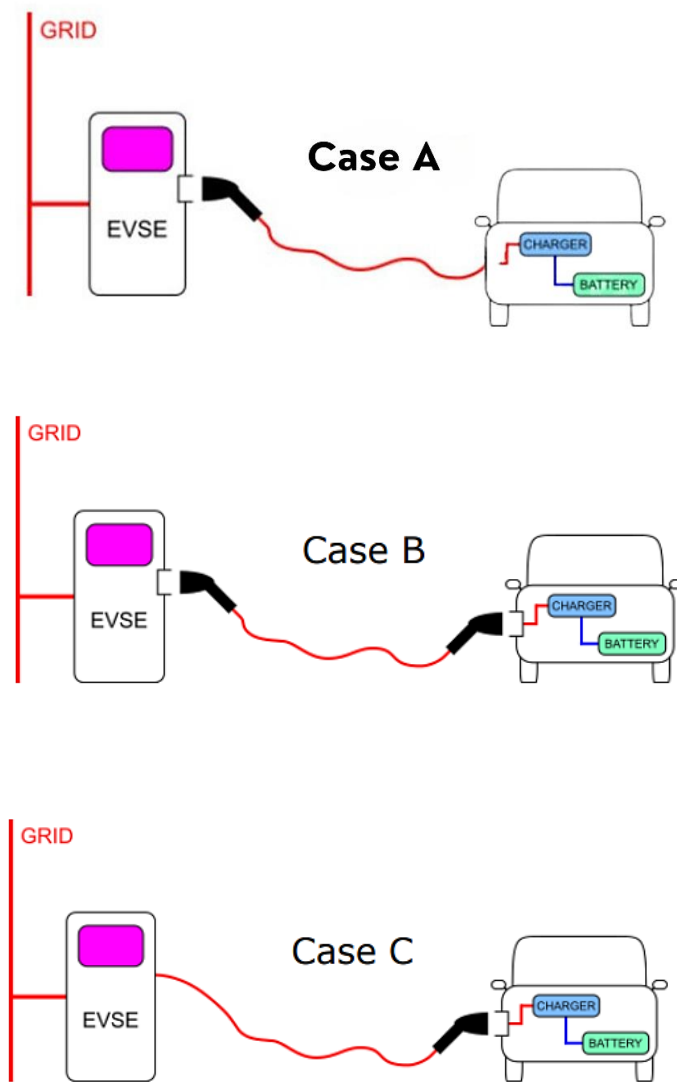
2) แบ่งการอัดประจุโดย Case

โครงสร้างพื้นฐานและการเชื่อมต่อเคสขึ้นอยู่กับวิธีการอัดประจุแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ Case A,B และ C

Case A : สายเติมประจุไฟฟ้ายึดติดกับตัวยานยนต์ไฟฟ้า ปลายสายเป็นเต้าเสียบ ส่วนที่ตู้เติมประจุไฟฟ้าเป็นเต้ารับ โดยทั่วไปแล้วจะใช้กับการอัดประจุโหมด 1 และ 2

Case B: สายเติมประจุไฟฟ้าจะแยกจากตัวยานยนต์ไฟฟ้า และตู้เติมประจุไฟฟ้า ปลายสายทั้งสองด้านเป็นเต้าเสียบ ส่วนที่ตู้เติมประจุไฟฟ้าและตัวรถเป็นเต้าเสียบ โดยทั่วไปแล้วการเชื่อมต่อ Case B ใช้กับการอัดประจุโหมด 3

Case C: สายเติมประจุไฟฟ้าจะยึดติดกับตู้เติมประจุไฟฟ้า ปลายสายเป็นเต้าเสียบ ตัวยานยนต์ไฟฟ้าเป็นเต้ารับอนุญาตเฉพาะ Case C สำหรับการอัดประจุโหมด 4



รูปที่ 5.23 การเชื่อมต่อเต้าเสียบและเต้ารับยานยนต์ไฟฟ้าแบ่งตาม Case A, Case B, Case C

3) แบ่งการอัดประจุโดย Type

การแบ่งแบบ Type เป็นการกำหนดรูปแบบของเต้ารับเต้าเสียบของการอัดประจุ สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้าทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรงดังนี้

Type 1 เต้าเสียบที่นำเสนอโดย Yazaki (SAE J1772) สำหรับการอัดประจุ แบตเตอรี่จากแหล่งจ่ายไฟ 1 เฟส ขนาดพิกัด 250 V, 32 A



รูปที่ 5.24 ลักษณะเต้าเสียบ Type 1

Type 2 เต้าเสียบที่แนะนำโดย Menneskes (IEC 62196) สำหรับอัดประจุ แบตเตอรี่จากแหล่งจ่ายไฟ 1 เฟส ขนาดพิกัด 250 V, 70 A และแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส ขนาดพิกัด 480 V, 63 A



รูปที่ 5.25 ลักษณะเต้าเสียบ Type 2

Type 3 เต้าเสียบที่แนะนำโดย EV Plug Alliance EV Plug Alliance: Scame / Schneider (IEC 62196) สำหรับอัดประจุจากอุปกรณ์จ่ายไฟ 1 เฟส และ 3 เฟส ดังนี้

- Single-phase charging at up to 16 A, without control pilot contact,
- Single-phase charging at up to 32 A,
- Three-phase charging at up to 63 A.



รูปที่ 5.26 ลักษณะเต้าเสียบ Type 3

Type 4 เป็นหัวที่ใช้กับไฟ DC เพื่อความรวดเร็วซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐาน (IEC 61851) เรียกว่า CHAdeMO แต่ปัจจุบันมีมาตรฐานแบบ Combo Type 1 และแบบ Combo Type 2 ที่เป็นหัวอัดประจุที่ใช้ได้ทั้งไฟ AC และ DC ดังรูปที่ 5.27 สามารถรองรับ CAN และ Power Line Communication (PLC) โดยใช้กันอย่างแพร่หลายในรถยนต์ยุโรป เช่น Audi, BMW, Ford, GM, Porsche เป็นต้น สามารถรองรับเอาต์พุต DC สูงสุด 400 kW และเอาต์พุต AC 43 kW



Combo Type 1



Combo Type 2

รูปที่ 5.27 CHAdemo แบบ Combo Type 1 และ Type 2

สำหรับประเทศไทยสำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับเต้าเสียบและเต้ารับยานยนต์ไฟฟ้าแล้วจำนวน 3 เล่ม ได้แก่ มาตรฐาน มอก. 2749 เล่ม 1-2559 มอก. 2749 เล่ม 2-2559 และ มอก. 2749 เล่ม 3-2559 โดยกำหนดรูปแบบเต้าเสียบและเต้ารับแบบ Type 2 โดยยินยอมให้ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเต้ารับเป็นแบบอื่น ๆ สามารถให้อุปกรณ์เสริมเพื่อปรับมาใช้กับ Type 2 ได้ และกำหนดรูปแบบเต้าเสียบและเต้ารับกระแสดตรงสำหรับรถโดยสารไฟฟ้าเป็นแบบ Configuration FF (Combo Type 2) ส่วนยานยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลนั้นยังไม่มีกำหนดรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับกระแสดตรง

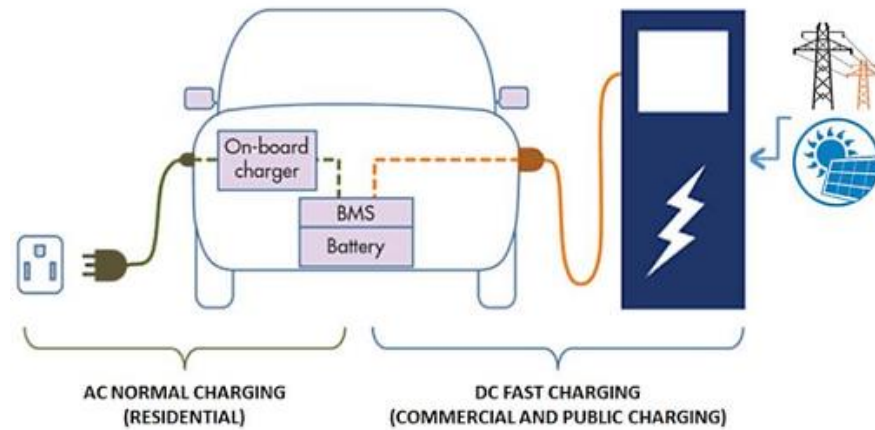
ตารางที่ 5.3 มาตรฐานระบบประจุไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

Configuration	ขนาดพิกัด	ภาพตัวอย่าง	ประเทศที่ใช้งาน
Configuration AA (CHAdeMO)	600 VDC, 200 A		ญี่ปุ่น
Configuration BB	750 VDC, 250 A		จีน
Configuration EE (Combo Type 1)	กระแสตรง: 600 VDC, 200 A กระแสสลับ: Type 1		สหรัฐอเมริกา
Configuration FF (Combo Type 2)	กระแสตรง: 1000 VDC, 200 A กระแสสลับ: Type 2		ยุโรป

ที่มา: คู่มือประกอบกิจการสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (EV), คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.), 2561

5.5 ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

สถานีอัดประจุกระแสสลับหมายถึงการใช้ระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นระบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟส กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 250 A ซึ่งในประเทศไทยใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 1 เฟส ที่ 230V กระแสไฟฟ้าสูงสุด 16 A กำลังไฟฟ้า 3.7 kW และที่แรงดันที่ 3 เฟส ที่ 400V กระแสไฟฟ้าสูงสุด 32 A กำลังไฟฟ้า 3x7.3 kW สถานีอัดประจุแบบกระแสสลับจ่ายไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับออกมาเป็น 1 เฟส หรือ 3 เฟส ตามผู้ติดตั้งเลือกมาติดตั้งซึ่งเชื่อมต่อกับยานยนต์ไฟฟ้าที่รองรับกับระบบไฟฟ้างกล่าวผ่านทาง AC Socket ซึ่งกำลังไฟฟ้าของตู้สถานีอัดประจุไฟฟ้าสามารถจ่ายออกมาได้ 22 kW



รูปที่ 5.28 ระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ตัวอย่างการคำนวณของรถยนต์ Mitsubishi รุ่น iMiEV BEV Battery มีความจุ 16 kWh, มีพิกัด AC On-Broad Charger 3.76 kW (Max Charging Power) การคำนวณระยะเวลาการประจุไฟฟ้าโดยประมาณได้ดังนี้

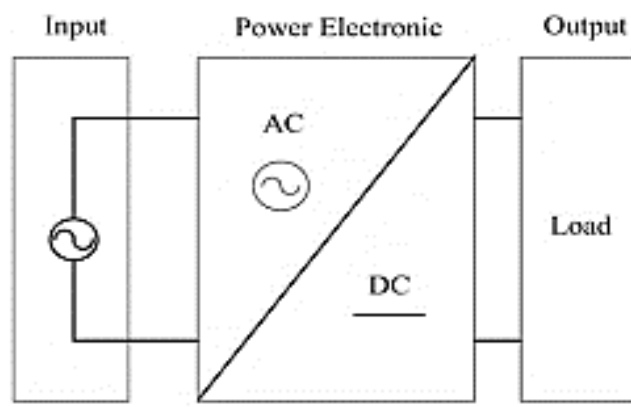
$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลา (Hr)} &= \frac{\text{Battery Size (kWh)}}{\text{Max Charging Power (kW)}} \\
 &= \frac{16 \text{ (kWh)}}{3.76 \text{ (kW)}} \\
 &= 4.32 \text{ ชม.}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ : จากตัวอย่างเป็นค่าคำนวณโดยไม่ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นค่าประมาณการเท่านั้น ระยะเวลาในการประจุไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณระยะเวลาในการประจุไฟฟ้าความจุแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น Ah (Battery capacity in Ah) และ C RATE ของ Charger เป็นค่าในการตั้งกระแสประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมการประจุไฟฟ้า ซึ่งค่า C RATE มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่และความเร็วในการประจุไฟฟ้า การออกแบบ AC On-Broad Charger จะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้ายี่ห้ออื่น ๆ

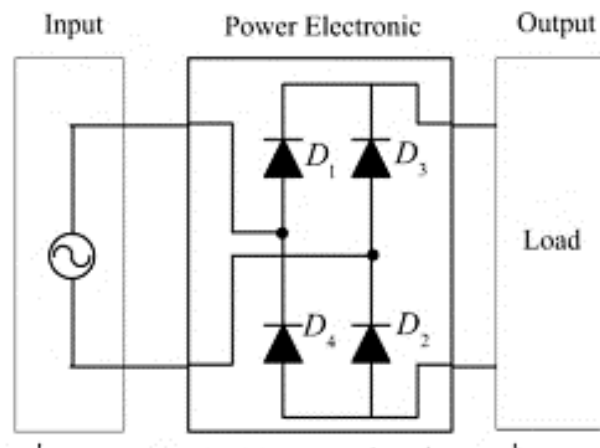
5.5.1 วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่

หลักการของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในระบบการอัดประจุแบตเตอรี่ประกอบด้วย วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าสองวงจรคือ วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง AC-DC และ วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC-DC ทั้งสองวงจรมีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกันตามการออกแบบการทำงานของวงจร AC-DC คอนเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 5.27 ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น โดยใช้ไดโอด 4 ตัวเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลังงานไฟฟ้า การทำงานของวงจรคือ

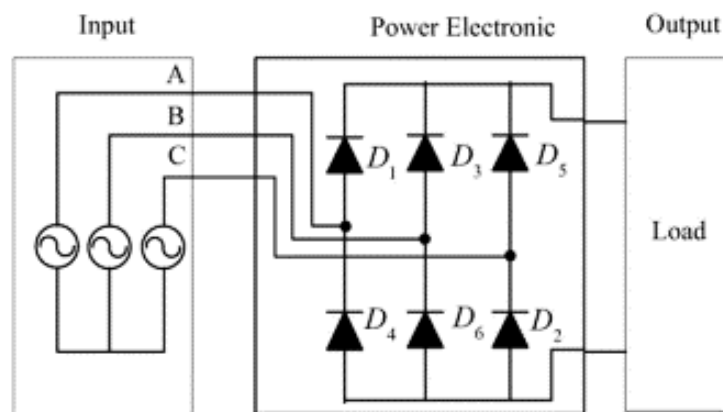
เมื่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็นบวกไดโอด และทำงาน และเมื่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าเป็นลบไดโอด และทำงานทำให้ได้ผลของแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกเหมือนกันโดยหลักการการทำงานของวงจรเอชทูดี ซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งเฟสรูปที่ 5.28 วงจรเรียงกระแสเฟสเดียวแบบเต็มคลื่น โดยใช้ไดโอด 6 ตัวเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลังงาน ไฟฟ้าดังรูปที่ 5.29 โดยการทำงานของวงจรทำให้ไดโอดทำงานพร้อมกัน ดังนี้ ไดโอด D_1 ทำงานพร้อมไดโอด D_2 , ไดโอด D_2 ทำงานพร้อมไดโอด D_3 ไดโอด D_3 ทำงานพร้อมไดโอด D_4 , ไดโอด D_4 ทำงานพร้อม ไดโอด D_5 , ไดโอด D_5 ทำงานพร้อมไดโอด D_6 และไดโอด D_6 ทำงานพร้อมไดโอด D_1



รูปที่ 5.29 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)

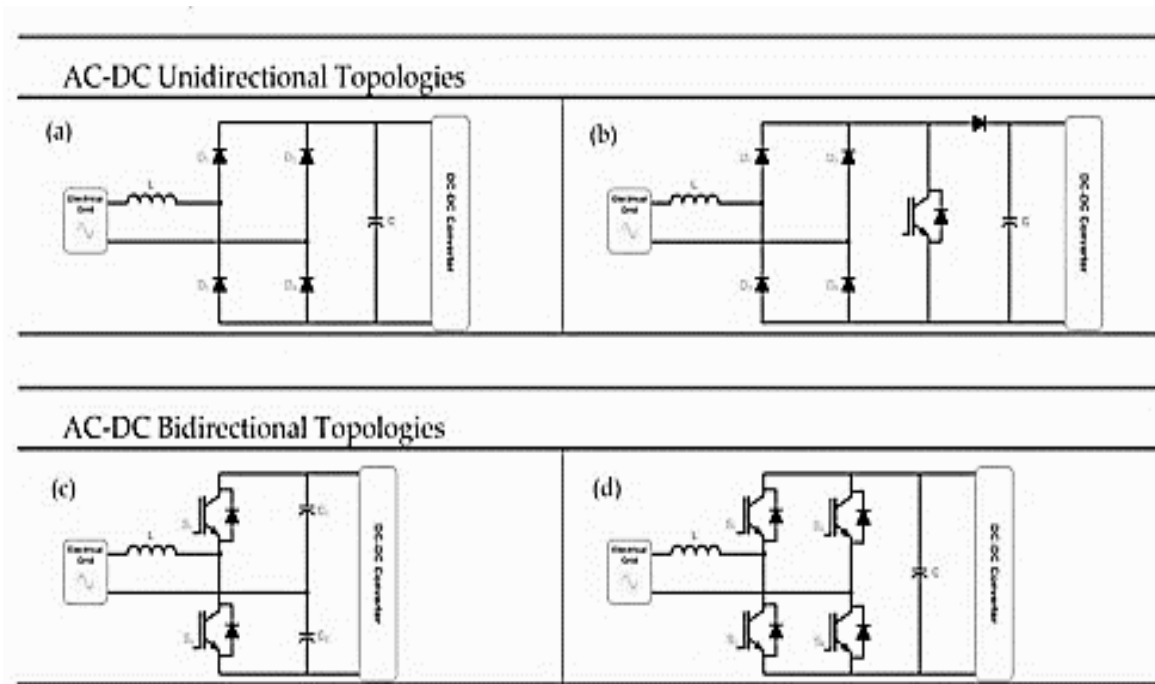


รูปที่ 5.30 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งเฟส (1 Phase DC-DC Converter)



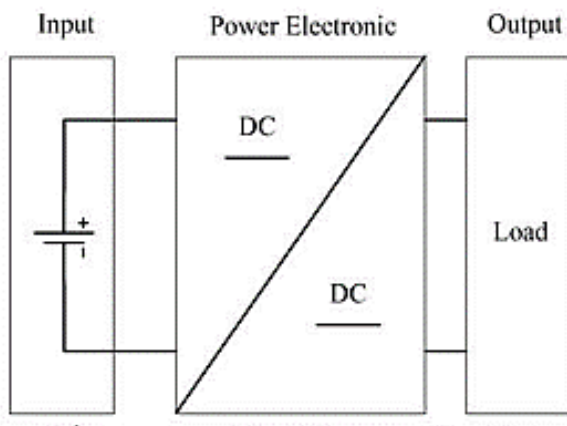
รูปที่ 5.31 วงจรเอชทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส (3 Phase DC-DC Converter)

การทำงานของวงจร AC-DC คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทำงานของระบบการอัดประจุสำหรับ ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นไปรูปที่ 5.30

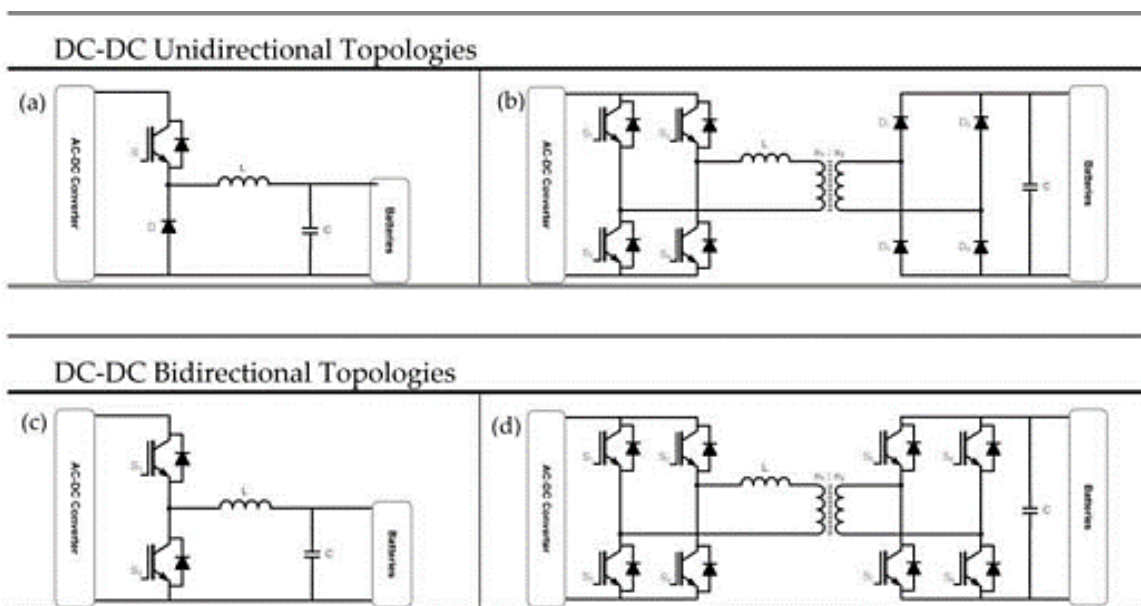


รูปที่ 5.32 ประเภทของวงจร AC-DC คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้ในการทำงานของระบบการอัดประจุสำหรับ ยานยนต์ไฟฟ้า

(a) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมไม่ได้ทิศทางเดียว (b) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมไม่ได้ทิศทางเดียวร่วมกับบัสคอนเวอร์เตอร์ (c) วงจรฮาร์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมได้สองทิศทาง (d) วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมได้สองทิศทาง วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูปที่ 5.31 และหลักการทำงานของวงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์ใช้เพื่อปรับระดับของแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่และเพื่อควบคุมกระบวนการประจุแบตเตอรี่ แสดงการทำงานของวงจร DC-DC



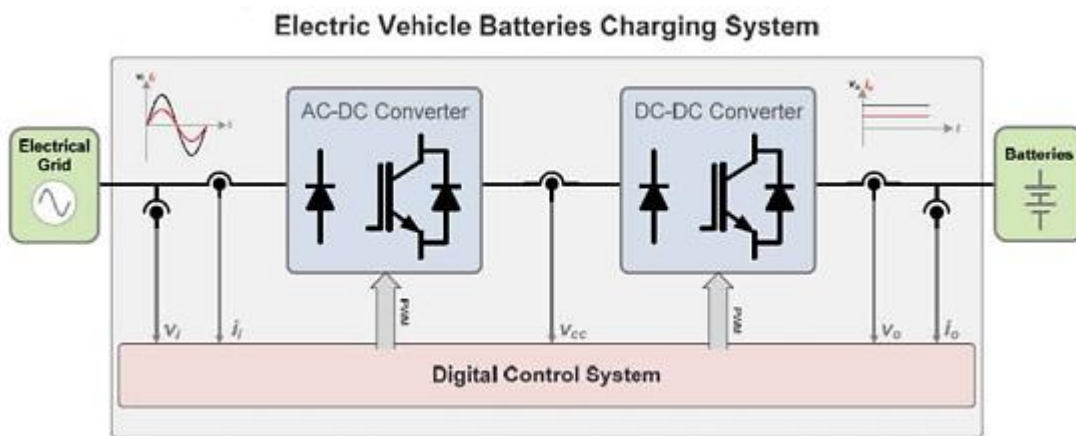
รูปที่ 5.33 วงจรซีพียูซีคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.34 ประเภทของวงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทำงานของระบบการอัดประจุ สำหรับ ยานยนต์ไฟฟ้า

- (a) วงจรบักคอนเวอร์เตอร์แบบทิศทางเดียว
- (b) วงจรฟูลบริดจ์ดีซีฟูลดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบทิศทางเดียว
- (c) วงจรบักบูสคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง
- (d) วงจรฟูลบริดจ์ดีซีฟูลดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง

โครงสร้างทั่วไปของระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเป็นผลมาจากการรวมกันของวงจร AC-DC และ DC-DC โดยมีการควบคุมแบบดิจิทัลสำหรับการควบคุมที่เหมาะสม ควรวัดค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านระบบกริด แรงดันไฟฟ้าเชื่อมโยง DC และแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่ดังแสดงดังรูปที่ 5.35

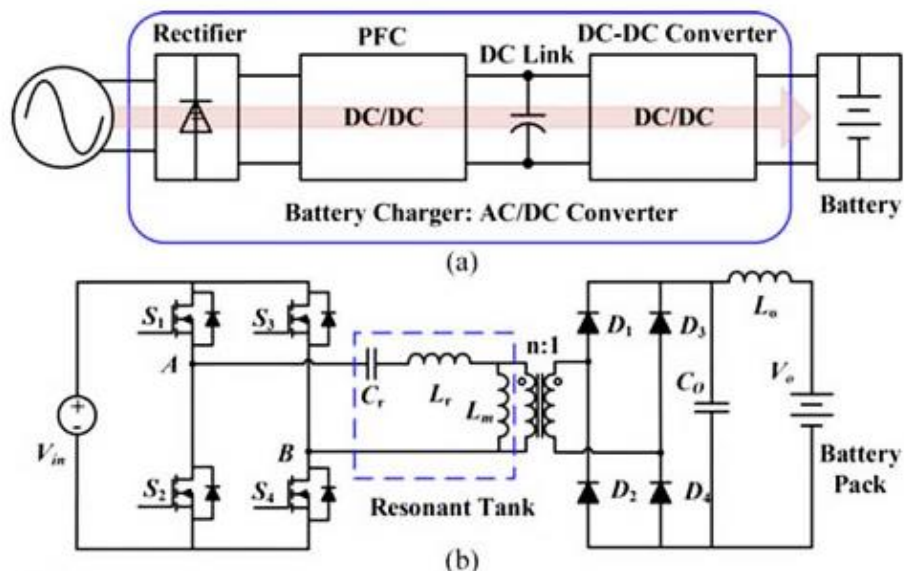


รูปที่ 5.35 โครงสร้างของระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

5.5.2 หลักการทำงานของระบบอัดประจุแบบออนบอร์ด

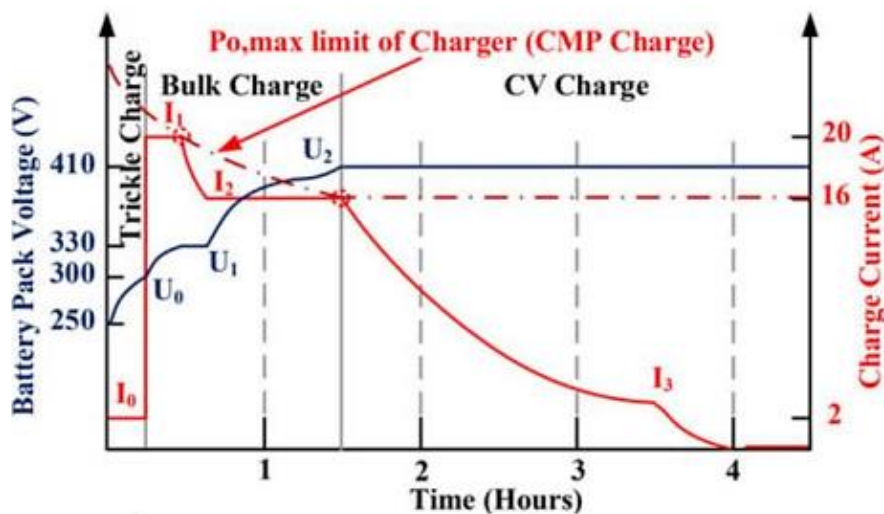
ในปัจจุบันอุปกรณ์การอัดประจุที่เชื่อมต่อกับยานยนต์ไฟฟ้ามาพร้อมกับเครื่องอัดประจุแบบออนบอร์ด (On-Board Chargers) และผู้ผลิตรยานยนต์ไฟฟ้าในอุตสาหกรรมมีการติดตั้งที่อัดประจุร่วมกับยานยนต์ไฟฟ้าอีกด้วย อุปกรณ์การอัดประจุพร้อมกับเครื่องอัดประจุแบบออนบอร์ดสามารถใช้งานเพื่ออัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าจากเต้าเสียบไฟฟ้าที่บ้านพัก โดยหลักการทำงานของระบบอัดประจุแบบออนบอร์ดที่อยู่ภายในยานยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือเรียกว่าวงจร Rectifier และผ่านวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC Converter) ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบปรับค่าได้ และผ่านวงจรป้องกันออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV) และกระแสไฟฟ้าคงที่ (CC) และประจุเข้าแบตเตอรี่ (Battery Storage) ซึ่งแบตเตอรี่มีความจุในเก็บประจุมีขนาดไม่เท่ากัน และแบตเตอรี่แรงดันไม่เท่ากันตามผู้ผลิตรยานยนต์ไฟฟ้าค่ายต่าง ๆ EV Charge นี้ขึ้นอยู่กับยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีระบบการจัดการแบตเตอรี่ซึ่งจะส่งข้อมูลไปยัง Power Control Unit สั่งให้ DC-DC Converter แปลงแรงดัน

คงที่ (CV) ตามแรงดันของแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และกระแสคงที่ (CC) อัดประจุเข้าแบตเตอรี่ (Battery Storage)



รูปที่ 5.36 วงจรฟูลบริดจ์ LLC คอนเวอร์เตอร์ (a) ระบบอัดประจุ EV / PHEV แบบทั่วไป
(b) วงจร LLC DC-DC คอนเวอร์เตอร์สำหรับการอัดประจุ EV/PHEV

วงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดพิกัด 6.6 kW ดังรูปที่ 5.35 ซึ่งโดยอัตราการอัดประจุของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ได้รับการควบคุมตามรูปแบบของแบตเตอรี่ดังรูปที่ ปกติมีสามขั้นตอนในคุณสมบัติของการอัดประจุทั่วไปของแพ็คแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น ขั้นตอนแรกคือการอัดประจุแบบ trickle charge ที่มีกระแสคงที่ที่ 10% (I_0) เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดลึกมาก การอัดประจุแบบ Bulk charge ใช้หลังจากแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงกว่าเกณฑ์การอัดประจุแบบ trickle charge (U_0) กระแสคงที่ที่แตกต่างกันในช่วง 20% -100% ของกระแสที่กำหนด ขั้นตอนการอัดประจุอาจมีอยู่ในระยะการอัดประจุจำนวนมากเนื่องจากข้อจำกัดด้านพลังงานของเครื่องอัดประจุ จากนั้นมีการใช้แรงดันไฟฟ้าคงที่เมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ถึงค่าที่กำหนด นอกจากนี้การดำเนินการอัดประจุอาจถูกปรับเปลี่ยนเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแบตเตอรี่ได้ตลอดเวลา



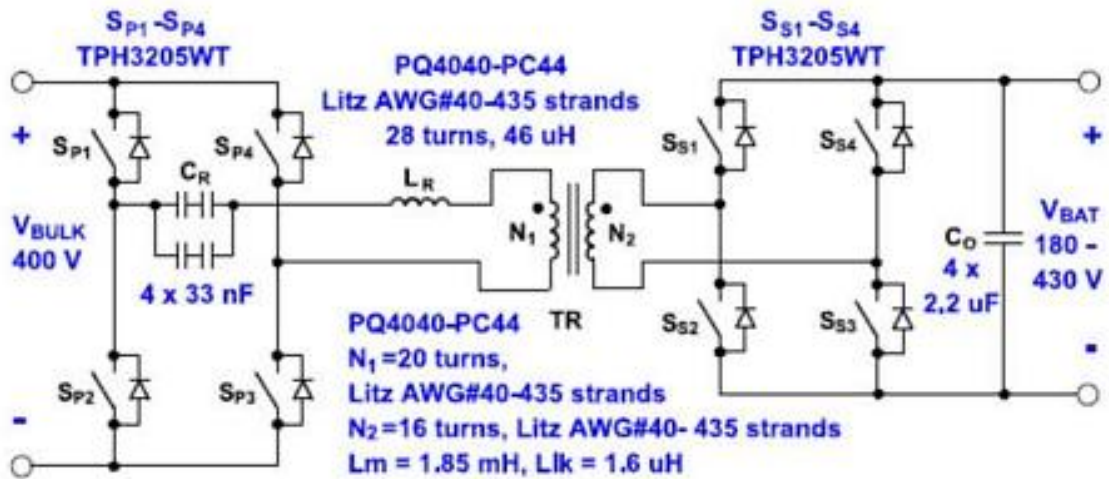
รูปที่ 5.37 การอัดประจุของแพ็คแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 410V

วงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับเครื่องอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดพิกัด 3.3kW ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้นโดยมีข้อกำหนดที่สำคัญดังตารางที่ 5.4

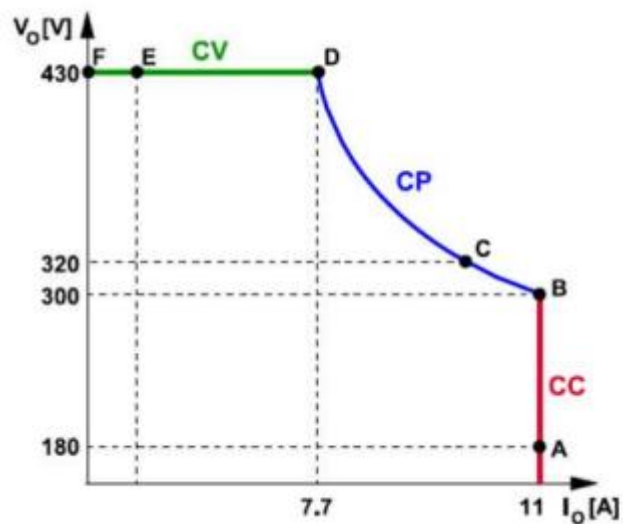
ตารางที่ 5.4 ข้อกำหนดที่สำคัญสำหรับการออกแบบวงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์

Key Specifications	
Input voltage V_{IN} : Output voltage V_{IN}	400 V_{DC}
Output voltage V_O	180–430 V_{DC}
Maximum output current $I_{O,MAX}$	11A
Maximum output power $P_{O,MAX}$	3.3kW
Efficiency	$\eta > 96\%$ above 50% load
Dimension:	250 mm × 180 mm × 75 mm.

สำหรับรูปที่ 5.38 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้งานทั้งหมดของวงจรเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับวงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์

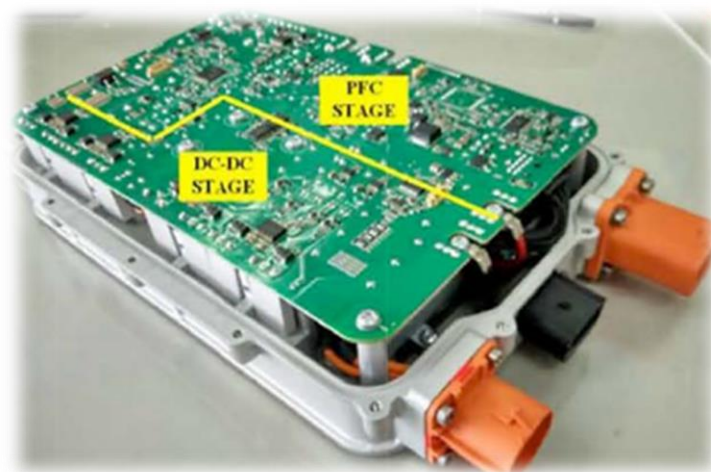


รูปที่ 5.38 วงจรเครื่องอัดประจุของยานยนต์ไฟฟ้า



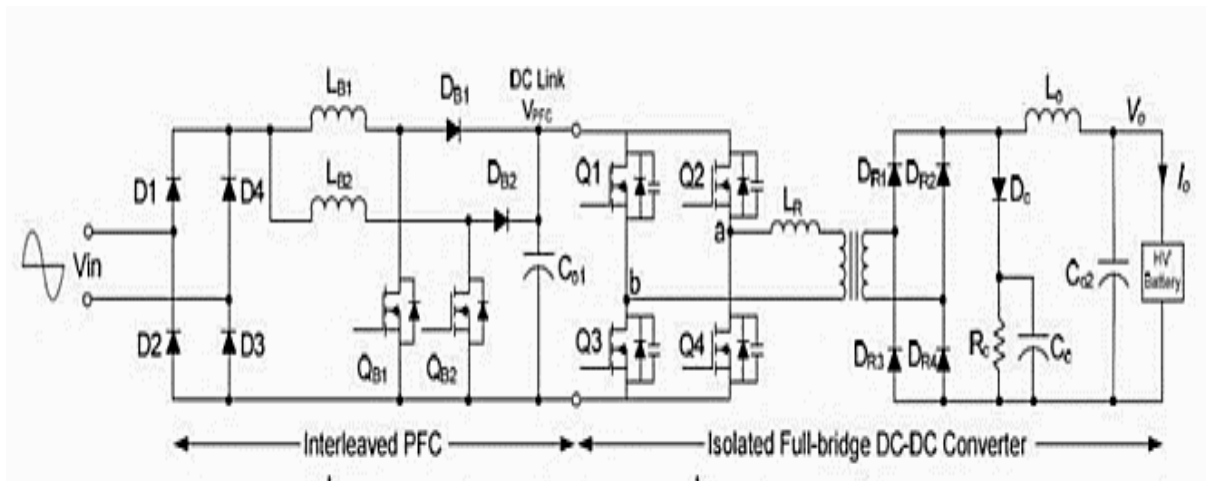
รูปที่ 5.39 การอัดประจุของแพ็คแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

สำหรับวิธีการอัดประจุแบตเตอรี่วัตถุประสงค์หลักคือ การออกแบบเครื่องอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่ช่วยลดเวลาในการอัดประจุ สำหรับรูปแบบในการอัดประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดตามข้อมูลคุณสมบัติการอัดประจุของวงจรต้นแบบดังรูปที่ 5.38 การประเมินจะถูกกำหนดโดยพล็อตที่แสดงในรูปที่ 5.39 เมื่อแบตเตอรี่คายประจุจนแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 180-300 V (อยู่ในช่วงระหว่างจุด A และ B) กระบวนการอัดประจุอยู่ในโหมดกระแสไฟฟ้าคงที่ (CC) ในที่นี้ใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุคือ 11 A จากนั้นแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึง 300 V การอัดประจุจะเปลี่ยนโหมดการอัดไปเป็นแบบกำลังไฟฟ้าคงที่ (Constant power :CP) ที่กำลังไฟฟ้า 3.3 kW จนแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่า 430 V กระบวนการอัดประจุอยู่ในโหมดแรงดันไฟฟ้าคงที่ (CV)



รูปที่ 5.40 ลักษณะออนบอร์ดชาร์จเจอร์ (OBCM) ที่รวมวงจรทำงาน DC-DC และ AC-DC อยู่ด้วยกัน

จากรูปที่ 5.40 แสดงมุมมองของ OBCM ที่ใช้งานจริงเมื่อถอดฝาครอบออก โดยวงจรการทำงานรวมทั้งหมดของเครื่องอัดประจุแบบออนบอร์ดที่ประกอบด้วยส่วนของวงจร DC-DC คอนเวอร์เตอร์และส่วนของวงจร AC-DC คอนเวอร์เตอร์ พร้อมวงจรปรับค่า PF ซึ่งรายละเอียดของวงจรการทำงานเป็นไปตามรูปที่ 5.41




รูปที่ 5.41 วงจรการอัดประจุแบตเตอรี่แบบออนบอร์ด

ตารางที่ 5.5 การอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าของ MG ZS EV

Key Specifications	
Battery Capacity	44.5 kWh
Charge Port	Type 2
Port Location	Front Middle
Charge Power	6.6 kW AC
Charge Time (0->230 km)	8 hours
Charge Speed	29 km/h

ตารางที่ 5.6 การอัดประจุทุกแบบของ MG ZS EV

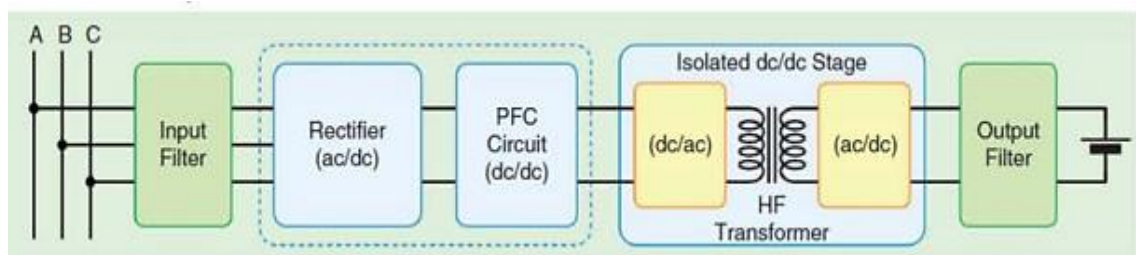
Type 2 (Mennekes - IEC 62196)				
				
Charging Point	Max. Power	Power	Time	Rate
Wall Plug (2.3 kW)	230V / 1x10A	2.3 kW	22h45m	10 kW/h
1-phase 16A (3.7 kW)	230V / 1x16A	3.7 kW	14h15m	16 kW/h
1-phase 32A (7.4 kW)	230V / 1x29A	6.6 kW	8 hours	29 kW/h
3-phase 16A (11 kW)	230V / 1x16A	3.7 kW	14h15m	16 kW/h
3-phase 32A (22 kW)	230V / 1x29A	6.6 kW	8 hours	29 kW/h

Home and Destination Charging (0 -> 100%) สามารถทำการอัดประจุได้โดยใช้ปลั๊กผนังหรือสถานีอัดประจุ การอัดประจุไฟสาธารณะต้องผ่านสถานีอัดประจุเสมอ ความเร็วในการอัดประจุ EV ขึ้นอยู่กับสถานีอัดประจุ (EVSE) ที่ใช้และความจุการอัดประจุสูงสุดของ EV ตารางที่ 5.6 แสดงตัวเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับการอัดประจุ MG ZS EV แต่ละตัวเลือกแสดงให้เห็นถึงแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุได้จาก 0-100%

5.6 การอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสตรงชนิดเต็มเร็ว

สถานีอัดประจุแบบกระแสตรงได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากกริดและแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง DC ที่สถานีอัดประจุเพื่อใช้อัดประจุแบตเตอรี่ได้โดยตรงโดยไม่ผ่านอุปกรณ์อัดประจุแบตเตอรี่แบบออนบอร์ด (OBS) โดยทั่วไปอุปกรณ์อัดประจุแบตเตอรี่นี้มีแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 600V และกระแสไฟฟ้าสูงถึงซึ่งทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถอัดประจุไฟได้ภายใน 30 นาทีเมื่อเทียบกับ 8-16

ชั่วโมง เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ DC Fast Chargers (DCFC) หรือ Super chargers ข้อดีของเครื่องอัดประจุชนิดนี้คือเวลาในการอัดประจุที่รวดเร็วในขณะที่ข้อเสียคือการออกแบบวงจรที่ซับซ้อนและจำเป็นต้องการสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อการอัดประจุอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ระบบการอัดประจุ DC ทั่วไปแสดงไว้ดังรูปที่ 5.42 ในขณะที่อุปกรณ์ ไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า EVSE ให้แรงดันไฟฟ้า DC โดยตรงกับแพ็คแบตเตอรี่ผ่าน OBS EVSE ซึ่งมีการทำงานจัดเรียงเป็นแบบขั้นสแต็กเพื่อให้กระแสสูงขึ้น เนื่องจากสแต็กเดียวไม่สามารถให้กระแสไฟฟ้าสูงได้ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 5.42 ผังการทำงานของเครื่องอัดประจุแบบกระแสตรงชนิดเดิมเร็ว

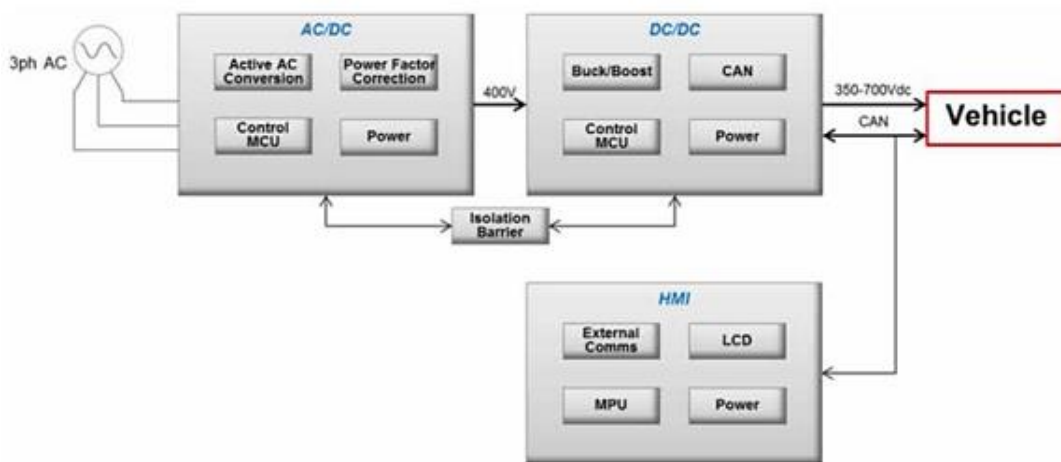
การคำนวณของรถยนต์ไฮดรเจน Mitsubishi รุ่น iMiEV BEV Battery มีความจุ 16 kWh มีพิกัดตู้อัดประจุ DC Charger 50 kW การคำนวณระยะเวลาการประจุไฟฟ้าโดยประมาณได้ดังนี้

5.6.1 หลักการทำงานของสถานีอัดประจุแบบกระแสตรง

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลา (Hr)} &= \frac{\text{Battery Size (kWh) Max}}{\text{Charging Power}} \\
 &= \frac{16 \text{ (kWh)}}{50 \text{ (kW)}} \\
 &= 0.32 \text{ ชม. หรือ ประมาณ 19.2 นาที}
 \end{aligned}$$

5.6.1 หลักการทำงานของสถานีอัดประจุแบบกระแสตรง

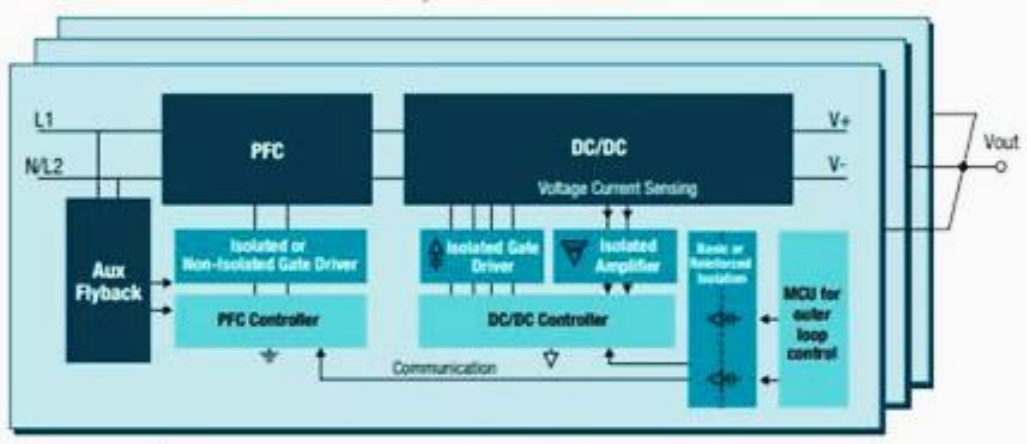
สถานีอัดประจุแบบกระแสตรงนั้นมีหลักการทำงานที่ซับซ้อน เนื่องจากต้องใช้วงจรจร DC/DC สำหรับอัดประจุของแพ็คแบตเตอรี่ที่ต้องดำเนินการโดยสถานีอัดประจุ EVSE เนื่องจาก DC EVSE มีการส่งไฟฟ้ากระแสตรงไปยังยานยนต์ไฟฟ้าโดยตรง โดยส่งข้ามเครื่องอัดประจุ on-board charger ดังนั้นควรรู้พารามิเตอร์ที่สำคัญทั้งหมดของแพ็คแบตเตอรี่เพื่อทำการอัดประจุอย่างปลอดภัย ดังนั้น CAN หรือ PLC (การสื่อสารผ่าน สายไฟ) ควรมีการสื่อสารระหว่าง EVSE และ ระบบจัดการแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า เครื่องอัดประจุโดยปกติมีการใช้ซ็อกเก็ตของเครื่องอัดประจุ CHAdeMO แต่ช่องเสียบอื่น ๆ ขั้วต่อการอัดประจุแบบรวมขั้วต่อ Tesla ก็ถูกตัดแปลงโดยผู้ผลิตหลายราย เครื่องอัดประจุเหล่านี้สามารถส่งกระแสไฟฟ้าได้มากถึง 200A ได้โดยตรงไปยังชุดแพ็คแบตเตอรี่เพื่ออัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าในเวลาน้อยกว่า 30 นาที บล็อกไดอะแกรมทั่วไปของสถานีอัดประจุแบบ DC แสดงได้ดังรูปที่ 5.43



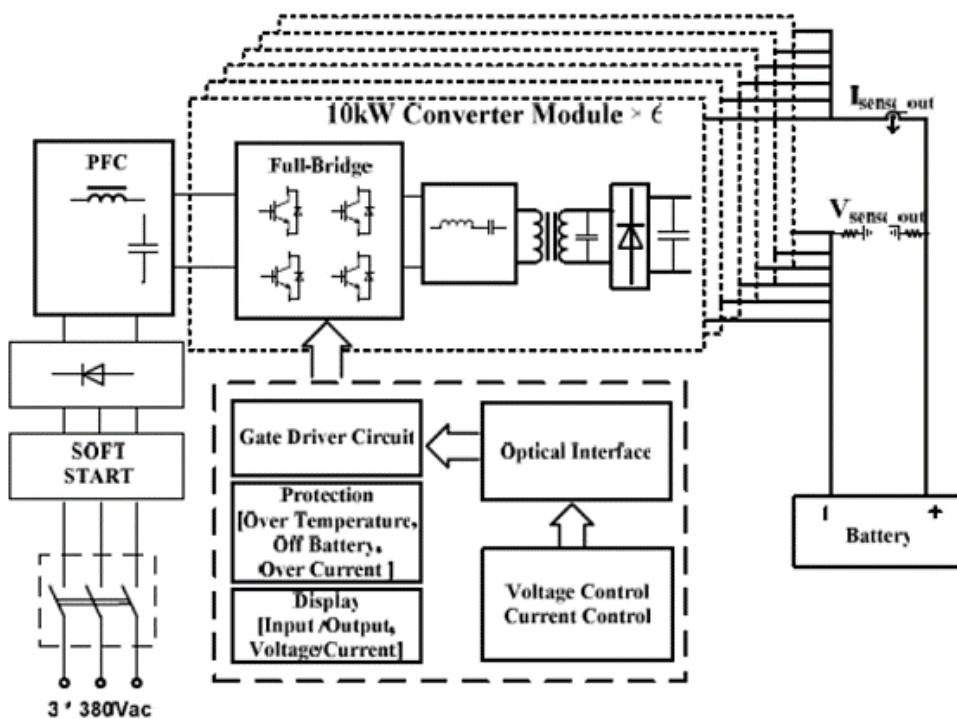
รูปที่ 5.43 บล็อกไดอะแกรมทั่วไปของสถานีอัดประจุแบบกระแสตรง

ความท้าทายด้านเทคโนโลยีอยู่กับวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ AC / DC และระบบย่อยวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบ DC / DC แบบโมดูล เนื่องจากอุปกรณ์อัดประจุใช้กระแสไฟฟ้าสูงจึงจำเป็นต้องมีการใช้ระบบแก้ไขตัวประกอบกำลังที่เหมาะสม วงจรคอนเวอร์เตอร์มีกระแสที่สูงมากและใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น MOSFET และ IGBT จึงไม่สามารถจัดรวมเป็นโมดูลเดียวกันได้ ดังนั้นโดย

ปกติวงจรคอนเวอร์เตอร์แบ่งออกเป็นโมดูลย่อย ๆ ซึ่งต่อร่วมกันในแบบขนานเพื่อให้ได้กระแสสูงขึ้นดังรูปที่ 5.44 และโครงสร้างของอัดประจุแบบกระแสตรงชนิดเต็มรีวขนาดพิกัด 60kW ดังรูปที่ 5.45



รูปที่ 5.44 วงจรคอนเวอร์เตอร์ DC / DC แบบโมดูล

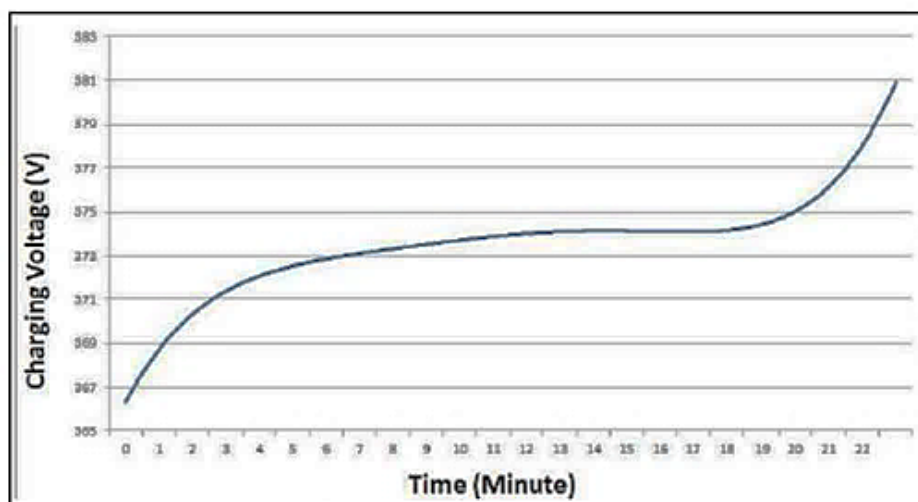


รูปที่ 5.45 โครงสร้างของอัดประจุแบบกระแสตรงชนิดเต็มรีว 60 kW

ตารางที่ 5.7 พารามิเตอร์การออกแบบคอนเวอร์เตอร์สำหรับโมดูล 10 kW

Design Parameters	
DC Link Voltage, V_d	513 V $d_{c+10\%}$
Output Voltage, V_o	0~500V
Output Current, I_o	0~25A
Output Power, P_o	10kW
Resonant Inductance, L_r	115uH
Resonant Capacitance, C_r	3uF
Second Resonant Capacitance, C_s	0.204uF
Transformer Turn Ratio, N	17:14
Switching Frequency, f_s	24kHz-77kHz
Snubber Capacitance, $C_1\sim C_4$	33nF

แบตเตอรี่ขนาดพิกัด 20 kWh ชนิด LiFePo, นั้นอัดประจุด้วยเครื่องอัดประจุแบบเร็วสำหรับ EV 60 kW รูปที่ 5.46 แสดงแรงดันไฟอัดประจุตามเวลาในการอัดประจุ จาก SOC 10% ถึง 90% โดยใช้เวลา 17 นาที ใช้ได้สำหรับเครื่องอัดประจุเร็ว EV

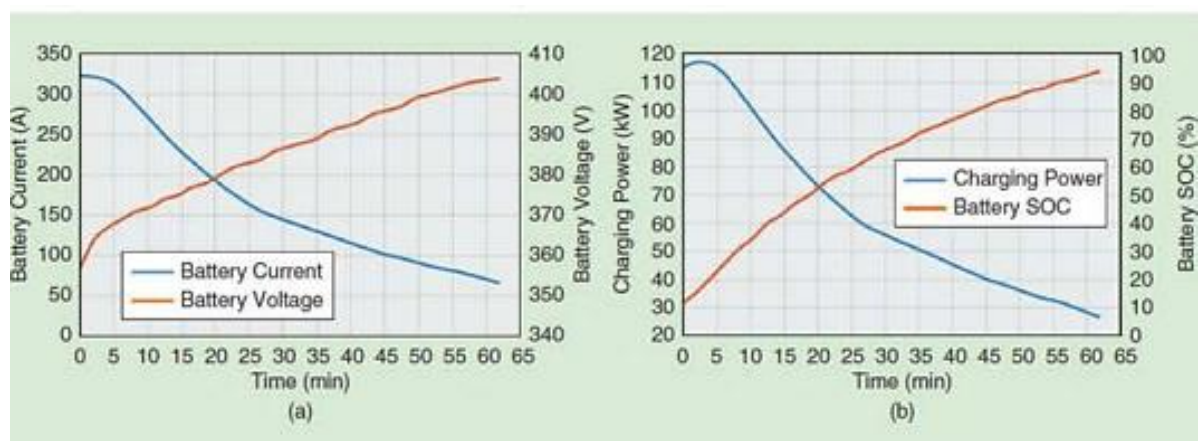


รูปที่ 5.46 กราฟของแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุของแบตเตอรี่ 320V 60Ah LiFePO4

อุปกรณ์อัดประจุแบบเร็วที่มีวางจำหน่ายทั่วไปที่มีข้อกำหนดต่างดังตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.47 แสดงการอัดประจุของ Tesla รุ่น S85 โดยแสดงค่า SOC ของแบตเตอรี่และพลังงานในการอัดประจุ

ตารางที่ 5.8 ข้อกำหนดทางเทคนิคของอุปกรณ์อัดประจุแบบเร็วที่มีวางจำหน่ายทั่วไป

TABLE 1. Technical specifications of commercially available dc fast chargers.					
Manufacturer and Model	ABB Terra 53	Tritium Veefil-RT	Tesla Supercharger	EVTEC espresso&charge	ABB Terra HP
Rated power	50 kW	50 kW	135 kW	150 kW	350 kW
Supported standards	CCS Type 1 CHAdeMO 1.0	CCS Types 1 and 2 CHAdeMO 1.0	Supercharger	SAE Combo 1 CHAdeMO 1.0	SAE Combo 1 CHAdeMO 1.2
Input voltage	480 Vac	380–480 Vac 600–900 Vdc	200–480 Vac	400 Vac \pm 10%	400 Vac \pm 10%
Output dc voltage	200–500 V 50–500 V	200–500 V 50–500 V	50–410 V	170–500 V	150–920 V
Output dc current	120 A	125 A	330 A	300 A	375A
Peak efficiency (charger only)	94%	>92%	92%	93%	95%
Volume	758 L	495 L	1,047 L	1,581 L	1,894 L
Weight	880 lb (400 kg)	364 lb (165 kg)	1,320 lb (600 kg)	880 lb (400 kg)	2,954 lb (1,340 kg)



รูปที่ 5.47 Tesla รุ่น S85 (a) การอัดประจุ (b) SOC ของแบตเตอรี่และพลังงานในการอัดประจุ

Fast Charging (10 -> 80%) การอัดประจุอย่างรวดเร็วช่วยให้การเดินทางใช้เวลานานขึ้นโดยเพิ่มระยะไกลให้มากที่สุดในระยะเวลาที่สั้นที่สุด พลังงานในการอัดประจุจะลดลงอย่างมากเมื่อถึง 80% ของ SOC โดยการอัดประจุอย่างรวดเร็วทั่วไปจึงเกิน 80% SOC อัตราการอัดประจุไฟที่รวดเร็วของ EV ขึ้นอยู่กับเครื่องอัดประจุที่ใช้และกำลังการอัดประจุสูงสุดที่ EV ดังแสดงได้ตารางที่ 5.9 และสามารถรองรับค่าพิกัดต่างๆ ได้ตารางที่ 5.10 โดยแสดงรายละเอียดทั้งหมดสำหรับการอัดประจุ MG ZS EV อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 5.9 การอัดประจุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าของ MG ZS EV แบบเร็ว

Key Specifications	
Battery Capacity	44.5 kWh
Fastcharge Port	CCS
FC Port Location	Front Middle
Fastcharge Power (max)	80 kW DC
Fastcharge Time (23->184 km)	36 min
Fastcharge Speed	260 km/h

ตารางที่ 5.10 รายละเอียดทั้งหมดสำหรับการอัดประจุ MG ZS EV อย่างรวดเร็ว

Combined Charging System (CCS Combo 2)				
				
Charging Point	Max. Power	Avg. Power	Time	Rate
CCS (50 kW DC)	50 kW	40 kW	49 min	190 kW/h
CCS (100 kW DC)	80 kW	55 kW	36 min	260 kW/h
CCS (150 kW DC)	80 kW	55 kW	36 min	260 kW/h

บทสรุป

เทคโนโลยีการอัดประจุไฟแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่ช่วยให้ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถประจุเต็มพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับขับเคลื่อนได้ระยะทางเพิ่มขึ้นและมีประสิทธิภาพ โดยสรุปเทคโนโลยีนี้ได้ดังนี้

1. **การชาร์จแบตเตอรี่** เทคโนโลยีการอัดประจุไฟแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่ใช้เครื่องชาร์จเพื่อส่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ เพื่อเพิ่มพลังงานให้แก่แบตเตอรี่เมื่อมีความจำเป็น
2. **ความสำคัญของประสิทธิภาพ** เทคโนโลยีการอัดประจุไฟแบตเตอรี่มีความสำคัญในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้า การพัฒนาเทคโนโลยีเชิงนวัตกรรมที่ช่วยให้การชาร์จแบตเตอรี่เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นสิ่งสำคัญ
3. **การพัฒนาของอุปกรณ์ชาร์จ** อุปกรณ์ชาร์จที่มีคุณภาพและเทคโนโลยีที่ทันสมัยมีบทบาทสำคัญในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของการชาร์จแบตเตอรี่ การพัฒนาให้อุปกรณ์ชาร์จสามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เร็วขึ้นมีความสำคัญ เพื่อลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการชาร์จและเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า
4. **การชาร์จอัจฉริยะ** เทคโนโลยีนี้ช่วยให้การชาร์จเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยอาจรวมการจัดการการชาร์จให้เป็นไปอย่างเชื่อถือได้ และการใช้งานอย่างปลอดภัย
5. **ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม** การใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่ชาร์จด้วยพลังงานที่มีการผลิตอย่างยั่งยืนสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษจากการใช้งานรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง

