มาตรฐานและความปลอดภัยทางไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า
(Electric Safety for Electric Vehicle)

ดร. ดนัย เผ่าหฤหรรษ์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า (Electric vehicle, EV) ได้มีการเปลี่ยนแปลงจากรถยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion vehicle, ICV) คือ มีการนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ในการขับเคลื่อนแทนเครื่องยนต์สันดาปภายใน ทำให้มีการนำอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังมาใช้งาน เช่น อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ดีซีเรคติไฟเออร์ (DC Rectifier) ดีซีเรกูเลเตอร์ (DC regulator) ระบบกักเก็บพลังงาน (Rechargeable Energy Storage System) เป็นต้น โดยความต่างศักย์ที่ใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าจะแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ 1. ระบบไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับจ่ายให้ต้นกำลังในระบบขับเคลื่อนและระบบปรับอากาศ ซึ่งตามข้อกำหนด UNECE R136 [1] ได้ระบุว่าความต่างศักย์สูง (High voltage, HV) สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า คือ ช่วงความต่างศักย์ 60-1500 โวลต์ สำหรับไฟฟ้ากระแสตรง และ 60-1000 โวลต์ สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับ 2. ระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำสำหรับระบบแสงสว่าง ระบบควบคุม และเป็นไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ต่างๆ จะอยู่ในช่วง 12-24 โวลท์ สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน เช่น นิสสันลีฟ และเทสล่าทุกโมเดล รถบัสไฟฟ้าเป็นต้น จะใช้ระบบไฟฟ้าแรงดันสูงอยู่ระหว่าง 200-800 โวลท์ [2] และรถจักรยานยนต์ไฟฟ้าอยู่ที่ 60-72 โวลต์ จะเห็นได้ว่าความต่างศักย์ใช้งานจะอยู่ในช่วงความต่างศักย์สูง ซึ่งต้องระมัดระวังในการใช้งานและซ่อมบำรุง

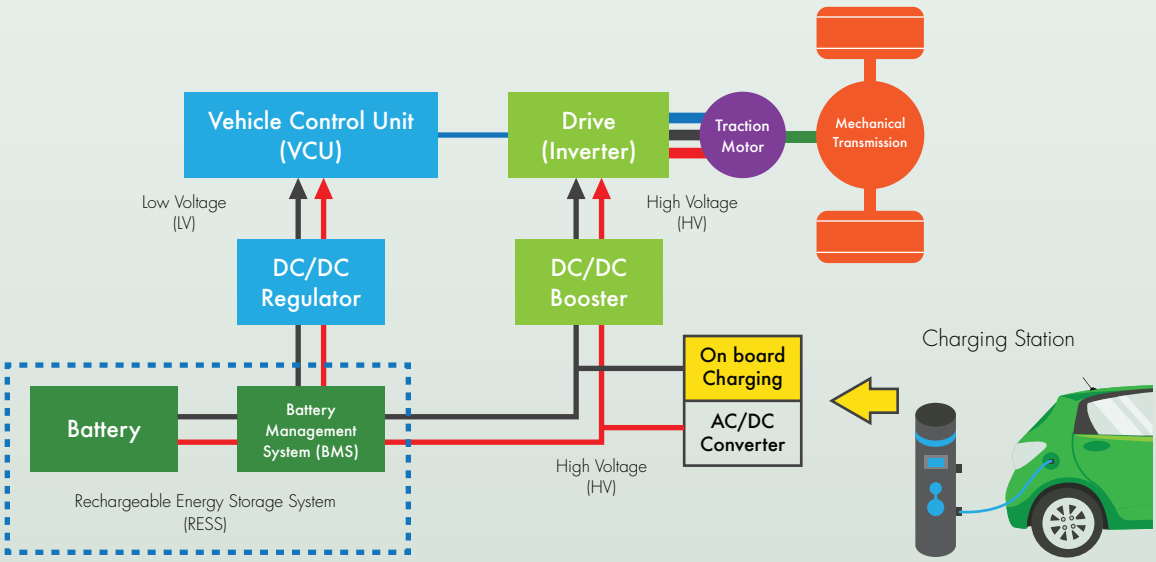
การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า

การทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าจะมีการชาร์จและจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกจากระบบกักเก็บพลังงาน โดยการต่ออุปกรณ์พื้นฐานในระบบยานยนต์ไฟฟ้าแสดงอยู่ในรูปที่ 1 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อยานยนต์ไฟฟ้ากำลังชาร์จไฟฟ้า อุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสผกผันเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC/DC Converter) เพื่อชาร์จไฟฟ้าเข้าสู่เซลแบตเตอรี่ ผ่านตัวจัดการแบตเตอรี่ (Battery management system, BMS) ที่จะจัดการบริหารให้เซลแบตเตอรี่แต่ละเซลได้รับกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่เหมาะสมในการชาร์จและจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเซลแบตเตอรี่แต่ละเซลอย่างสม่ำเสมอ โดยการจ่ายไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ จ่ายเพื่อใช้งานในระบบไฟฟ้าแรงดันสูง และระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันสูง จะใช้ DC Rectifier ทำหน้าที่ในการปรับความต่างศักย์ในแบตเตอรี่ที่จะลดลงตามการใช้งาน ให้มีค่าความต่างศักย์ที่ใช้งานเสมอ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของมอเตอร์ในการขับเคลื่อนและคอมเพรสเซอร์ในระบบปรับอากาศ

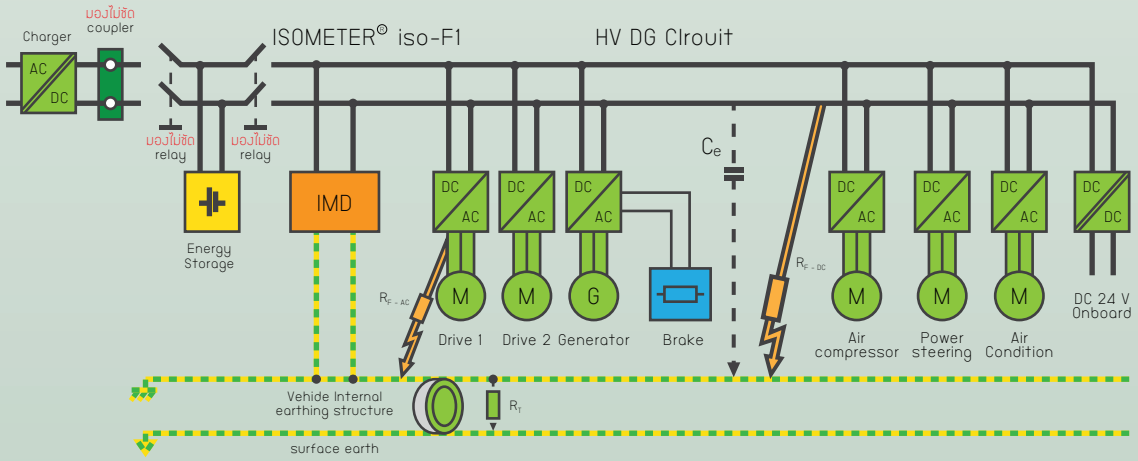
ส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำซึ่งทำงานที่ความต่างศักย์ 12 โวลท์ ไฟฟ้าแรงดันสูงในแบตเตอรี่จะถูกลดแรงดันลงด้วย DC Regulator แบบ Isolated ground เพื่อนำไปใช้ในตัวควบคุมยานยนต์ (Vehicle control unit, VCU) และเป็นไฟเลี้ยงในอุปกรณ์อื่นๆ การที่ต้องใช้ระบบต่อลงดินแบบ Isolated ground เนื่องจากสายดินของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำจะต่อกับโครงสร้างยานยนต์เพื่อลดสัญญาณรบกวนในอุปกรณ์ไฟฟ้า จากการเหนี่ยวนำในระบบไฟฟ้า แต่ระบบไฟฟ้าแรงดันสูงจะไม่มีเดินสายดินเข้ากับโครงสร้างยานยนต์ เพื่อความปลอดภัยจากการรั่วไหลของไฟฟ้า (Electric leakage) ที่จะทำอันตรายต่อผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า

ความปลอดภัยทางไฟฟ้า

จากการทำงานของระบบต่างๆ ในยานยนต์ไฟฟ้าจะเห็นว่าใช้ระบบไฟฟ้าแรงดันสูงในการทำงานและตัวโครงสร้างของยานยนต์สามารถนำไฟฟ้าได้ ความปลอดภัยทางไฟฟ้าจึงมีส่วนสำคัญมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดและมาตรฐานความปลอดภัย เช่น การรั่วไหลของไฟฟ้าแรงดันสูง มาตรฐานความปลอดภัยของแบตเตอรี่ เป็นต้น



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ภายในยานยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 2 ตัวอย่างการต่อเซนเซอร์วัดความเป็นฉนวน
ยี่ห้อ Bender IR155-3204 [6]

- ข้อกำหนดความปลอดภัยทางไฟฟ้า

ตามข้อกำหนด UNECE R100 [3] ได้กำหนดให้มีความเป็นฉนวนระหว่างระบบไฟฟ้าแรงดันสูงเทียบกับโครงสร้างรถ โดยความเป็นฉนวน 100 โอห์มต่อโวลท์ใช้งานสำหรับระบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง และ 500 โอห์มต่อโวลท์ใช้งานสำหรับระบบที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น ยานยนต์ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ที่ความต่างศักย์ 386 โวลท์ ความเป็นฉนวนต่ำสุดเท่ากับ 38,600 โอห์ม เป็นต้น โดยในการวัดนิยมติดตั้งเซนเซอร์วัดความเป็นฉนวน (Insulation monitoring detector, IMD) เพื่อการวัดความเป็นฉนวนตลอดเวลาและจะส่งข้อมูลไปสู่ตัวควบคุมยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อให้ตัดการจ่ายไฟเมื่อเกิดการรั่วไหลของไฟฟ้า โดยการต่อเซนเซอร์วัดความเป็นฉนวนแสดงในรูปที่ 2 นอกจากนี้ในการเดินสายไฟในยานยนต์ไฟฟ้าและการซ่อมบำรุงยานยนต์ไฟฟ้า คอนเนคเตอร์ที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน [4] จะอ้างอิงกับมาตรฐาน SAE J1772 CHAdeMo หรือ Tesla developed supercharger connector เป็นต้น

- มาตรฐานความปลอดภัยของแบตเตอรี่

ในการสร้างและประกอบแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าต้องมีความปลอดภัย เนื่องจากสภาวะที่ใช้งานต้องทนต่อความร้อน การกระแทกจากอุบัติเหตุ ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย โดยจะอ้างอิงกับเกณฑ์มาตรฐานตาม SAE J2464 [3] [5] เช่น การทดสอบกล่องแบตเตอรี่ ความสามารถในการทนอุณหภูมิ ระบบไฟฟ้า การรั่วไหลของไฟฟ้า เป็นต้น

- มาตรฐานความปลอดภัยในการชาร์ต

ในการชาร์จโดยทั่วไปจะมีอยู่ 4 โหมด [7] ตามมาตรฐาน DIN IEC 61851 โดยโหมด 1 จะเป็นการชาร์จแบบ slow charging สำหรับชาร์จตามบ้านทั่วไปหรือแบบพกพาด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ โหมด 2 และ 3 จะเป็นการชาร์จแบบช้า slow charging และ fast charging ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับตามลำดับ แต่จะมีการใช้สายไฟที่มีระบบป้องกัน โหมด 4 จะเป็นการชาร์จแบบ fast charging ด้วยไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้ยังมีการแบ่งประเภทของหัวชาร์จออกเป็น 3 แบบ ตามมาตรฐาน DIN IEC62196 ซึ่งในแต่ละประเทศก็จะมีข้อกำหนดในการเลือกใช้แตกต่างกันไปตามความเหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปภาพรวมของการชาร์จยานยนต์ไฟฟ้าในกลุ่มประเทศยุโรป

	อะแดปเตอร์ชาร์จ/ตัวแปลงไฟฟ้าแบบกระแสกลับ	สถานีชาร์จส่วนบุคคล (E-mobility socket)	สถานีชาร์จสาธารณะแบบไฟฟ้ากระแสสลับ	สถานีชาร์จสาธารณะแบบไฟฟ้ากระแสตรง
กำลัง	≤ 3.0 kw ≤ 3.7 kw 1 phase AC	≤ 22 kw	≤ 22kw	≤ 50 kw (Chademo)
หัวชาร์จ	ข้อกำหนดภายในประเทศ	Type 2 Type 3 (IEC 60309-25)	Type 2 Type 3	Yazaki (ChadeMo)
โหมดในการชาร์จ	Mode 2/3	Mode 2/3	Mode 2/3	Mode 4

แหล่งที่มา :

[1] UN R136 - Electric Motorcycle Power Train Safety, https:// www.unece.org/

[2] Matthias Kerler, Peter Burda, Michael Bau- mann, Markus Lienkamp, A concept of a high-en- ergy, low-voltage EV battery pack, 2014 IEEE In- ternational Electric Vehicle Conference (IEVC), DOI: 10.1109/IEVC.2014.7056185, Dec, 2014.

[3] UNECE R100 – Electric power trained vehi- cles, https://www.unece.org/

[4] Doug Kettles, Electric Vehicle Charging Technology Analysis And Standards, FSEC Report Number: FSEC-CR-1996-15

[5] Daniel H. Doughty and Chris C. Crafts, Free- domCAR Electrical Energy Storage System Abuse Test Manual for Electric and Hybrid Electric Vehi- cle Applications, SANDIA REPORT, SAND2005-3123, http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2005/053123.pdf

[6] Wolfgang Hofheinz, Harald Sellnar, Electri- cal safety on charging electric vehicles, www.bender.de

[7] Maria Carmen Falvo, Danilo Sbordone , I.Safak Bayram, Michael Devetsikiotis, EV Charging Stations and Modes: International Standards, 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, pp.1134- 1139, 2014.