รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ

“การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า”

ระยะเวลา 15 พฤศจิกายน 2559 – 15 กันยายน 2560

เสนอ

สถาบันยานยนต์

จัดทำโดย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน/กลุ่มเป้าหมาย 2

บทที่ 2 สถานการณ์ด้านความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า 3

2.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า 3

2.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ 6

2.2.1 ระบบไฟฟ้าแรงสูง 6

2.2.2 ช่วงแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงสูง 8

2.2.3 สายไฟแรงดันสูงในรถยนต์ 10

2.2.4 แบตเตอรี่ 10

2.2.5 โครงสร้างรองรับการชน 13

2.3 ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ 15

2.3.1 รูปแบบอันตรายจากไฟฟ้าแรงดันสูง 15

2.3.2 การป้องกันไฟรั่ว 16

2.3.3 ระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของไฟฟ้าแรงสูง-สำหรับช่างเทคนิค 19

2.4 มาตรฐานยานยนต์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูง 22

2.4.1 แนวคิดและความสำคัญของมาตรฐาน 22

2.4.2 หมวดของมาตรฐานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า 22

2.4.3 ตัวอย่างมาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกา 24

2.4.4 มาตรฐานในประเทศไทย 27

2.5 การใช้งานและการบำรุงรักษายานยนต์ไฟฟ้า 30

2.5.1 การวิ่งผ่านน้ำท่วม 30

2.5.2 การประจุไฟขณะฝนตก 30

2.5.3 การให้ยืมรถ 32

2.5.4 การซ่อมบำรุง 32

2.6 แนวทางการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุ 34
2.6.1 สถานการณ์ต่างๆ ของเหตุร้าย 34
2.6.2 ขั้นตอนการระงับเหตุยานยนต์ไฟฟ้า 35
2.6.3 การจัดการซากรถในกรณีเกิดอุบัติเหตุ 38
2.6.4 การจัดการซากรถในกรณีหมดอายุการใช้งาน 38
บทที่ 3 เทคโนโลยีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องต่ออุปกรณ์ประจุไฟฟ้า 40
3.1 เทคโนโลยีของการประจุไฟฟ้า 40
3.1.1 การประจุไฟฟ้า แบบปกติ 40
3.1.2 การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว 42
3.1.3 การประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย 43
3.1.4 การทำงานแบบ Vehicle-2-Grid Charging (V2G) และแบบ Vehicle-2-Home (V2H) 44
3.2 เทคโนโลยีและมาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า 46
3.2.1 เทคโนโลยีของสหภาพยุโรป : มาตรฐาน IEC 62196 47
3.2.2 เทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกา : มาตรฐาน SAE J1772 48
3.2.3 เทคโนโลยีของญี่ปุ่น : มาตรฐาน CHAdeMO 51
3.2.4 เทคโนโลยีของจีน : มาตรฐาน GB/T 52
3.2.5 สถานีประจุของ Tesla Supercharger 54
3.2.6 เปรียบเทียบมาตรฐานในต่างประเทศและประเทศไทย 55
3.2.7 เทคโนโลยีของการประจุไฟฟ้า แบบ Vehicle-2-Grid Charging (V2G) 56
3.2.8 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารในระบบประจุไฟฟ้า 56
3.3 ประเภทและมาตรฐานจุดให้บริการประจุไฟฟ้า 59
3.3.1 ระดับการประจุที่เหมาะสมของจุดให้บริการ 59
3.3.2 การติดตั้งสถานีประจุในสถานที่ทำงานและที่บ้าน 60
3.3.3 การระบุตัวตนและการคิดบัญชีค่าใช้จ่าย 62
3.4 การใช้งานและการบำรุงรักษา 62
3.5 แนวทางการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุ 63

4. ข้อสรุปถึงช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็นในการทำงานกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า 64

4.1 ประเด็นข้อสังเกตจากการศึกษา 64

4.2 สถานภาพของผู้ประกอบการไทย 65

4.3 สรุปช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็นและข้อแนะนำเพื่อดำเนินการ 68

4.4 ตัวอย่างหมวดของชุดความรู้และทักษะจำเป็น 69

5. ผลการดำเนินการอบรมเชิงปฏิบัติการ 72

5.1 เนื้อหาการประชาสัมพันธ์เพื่อรับสมัคร 72

5.2 ผู้เข้าร่วม 73

5.3 ภาพของการดำเนินการ 74

5.4 ความสัมฤทธิ์ผล ผ่านการทดสอบก่อนและหลังการอบรม 79

5.5 ความคิดเห็นต่อเนื้อหาและสิ่งที่ได้จากการอบรม 79

อภิทานศัพท์ 82

เอกสารอ้างอิง 84

บรรณานุกรม 86

ภาคผนวก ก : เนื้อหาการประชาสัมพันธ์เพื่อรับสมัคร 87

ภาคผนวก ข : ข้อสอบ ตรวจสอบความรู้ก่อนการอบรม 91

ภาคผนวก ค : ข้อสอบ ตรวจสอบความรู้หลังการอบรม 94

ภาคผนวก ง : แบบสอบถาม เพื่อทราบความต้องการของผู้เข้าร่วม 98

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้ตระหนักอย่างจริงจังถึงความสำคัญของการลดการใช้พลังงานและการปลดปล่อยมลพิษในภาคขนส่งเพิ่มมากขึ้น สำหรับประเทศไทยเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้กับภาคการขนส่งทางถนนและมีแนวโน้มที่ยานยนต์ไฟฟ้าจะขยายตัวในอนาคตอันใกล้ จากข้อได้เปรียบของประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และการปลดปล่อยสารมลพิษ ทั้งนี้แนวคิดพื้นฐานของการใช้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าคือ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดมาขับเคลื่อนยานยนต์ ซึ่งพลังงานสะอาดที่กล่าวถึงได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานนิวเคลียร์ ท้าให้มีการปลดปล่อยสารมลพิษใกล้เคียงศูนย์

ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่กำลังเข้ามามีบทบาทในประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีการเติบโตด้านอุตสาหกรรมยานยนต์มาอย่างต่อเนื่องและเข้มแข็ง ยานยนต์ไฟฟ้าจึงเป็นกลยุทธ์ที่ทางรัฐบาลต้องการให้มีการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายของประเทศในหมวดการต่อยอด 5 อุตสาหกรรมเดิมที่มีศักยภาพ ในแนวทางนี้ ถึงแม้ปัจจุบันจะมีผู้ที่สนใจเทคโนโลยียานยนต์ ที่สนใจทำงานด้านการผลิตหรือประกอบยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากประเด็นการพัฒนาเทคโนโลยีแล้ว แต่ประเด็นด้านความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูงยังเป็นสิ่งที่ทุกคนให้ความกังวล ทั้งในตัวยานยนต์ไฟฟ้าเอง และกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า การพิจารณาด้านความปลอดภัยสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องครอบคลุมตั้งแต่ผู้ออกแบบพัฒนายานยนต์ ผู้ผลิต ผู้ใช้งาน ต้องให้แน่ใจว่าทุกองค์ประกอบของไฟฟ้าแรงสูงนั้นมีระบบการทำงานที่มั่นคงและมีการปกป้องผู้ใช้และสาธารณะจากอันตรายที่จะมีได้จากระบบไฟฟ้าแรงสูง และยังรวมไปถึงกรณีเกิดอุบัติเหตุจากการชน,กระแทก, น้ำท่วม หรือไฟไหม้ ที่ผู้ซ่อมบำรุง และหน่วยงานที่ช่วยเหลือต้องทราบถึงวิธีการปฏิบัติที่ปลอดภัย ดังนั้นทางผู้ศึกษาจึงเล็งเห็นความสำคัญในการศึกษาด้านความปลอดภัยของยานยนต์ไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์

1. ได้แก่นความรู้และทักษะที่จำเป็นในการทำงานกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อยืนยันถึงความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงสำหรับผู้ทำงานด้านการผลิต ประกอบหรือซ่อมแซมยานยนต์ไฟฟ้า
2. ได้ชุดของบุคลากรที่มีความรู้และทักษะ รวมทั้งพร้อมในการส่งถ่ายความรู้สู่สาธารณะและวงการวิชาชีพต่างๆที่เกี่ยวข้อง

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน/กลุ่มเป้าหมาย

ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ทบทวนวรรณกรรมถึง (ก) สถานการณ์ด้านความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูง ทั้งจากผู้ผลิตยานยนต์ ผู้ผลิตอุปกรณ์ หน่วยงานรัฐ และผู้บริโภค (ข) เทคโนโลยีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องต่ออุปกรณ์ประจุไฟฟ้า และ (ค) สรุปถึงช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็นในการทำงานอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า รวมถึงด้านการผลิตหรือประกอบยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อยืนยันได้ถึงความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูง
2. จัดหาผู้เชี่ยวชาญเพื่ออบรมบุคลากรชุดแรก โดยมุ่งติดตั้งความรู้และทักษะที่จำเป็นในการทำงานด้านการผลิตหรือประกอบยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อยืนยันได้ถึงความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูง
3. จัดรูปแบบการอบรมเพื่อให้บุคลากรชุดแรก สามารถส่งถ่ายความรู้และทักษะ ผ่านคู่มือการอบรมที่จัดทำขึ้น ในลักษณะการอบรมเชิงปฏิบัติการ (Train the trainer) ให้ผู้ประกอบการจำนวน 5 ครั้ง

กลุ่มเป้าหมาย

ช่างเทคนิค วิศวกร นักประดิษฐ์ ที่สนใจทำงานด้านการผลิต ประกอบหรือซ่อมแซมยานยนต์ไฟฟ้า รวมถึงผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน

บทที่ 2 สถานการณ์ด้านความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า

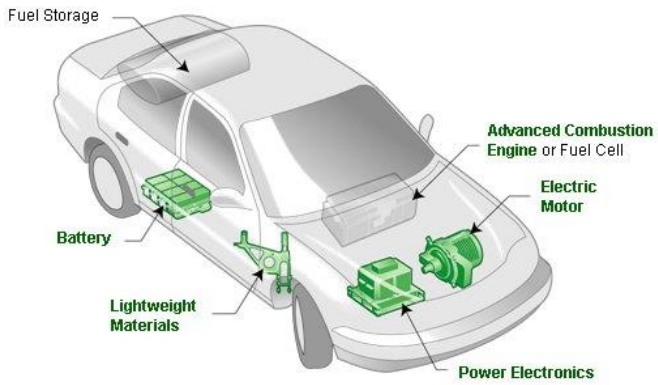
2.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า

โดยพื้นฐานแล้ว ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) หมายถึงยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ยานยนต์ไฟฟ้าก็มีได้หลายรูปแบบขึ้นกับว่าจะมีการผสมผสานการทำงานจากชุดขับเคลื่อนและหรือแหล่งเก็บกักพลังงานอื่นด้วยหรือไม่ แหล่งเก็บกักพลังงานโดยพื้นฐานก็หมายถึงแบตเตอรี่ แต่ก็สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์เก็บกักพลังงานไฟฟ้าอื่นก็ได้ เช่น Supercapacitor ในขณะที่การขับเคลื่อนล้อ โดยพื้นฐานก็จะขับเคลื่อนมาจากมอเตอร์ไฟฟ้าแต่อย่างเดียว แต่ก็สามารถผสมผสานแรงขับทั้งจากมอเตอร์และจากเครื่องยนต์ได้ หากจะจำแนกอย่างง่ายแล้ว ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.1.1 ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด

ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) ประกอบด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน พร้อมมีมอเตอร์ไฟฟ้าเสริมกำลังขับเคลื่อนและสนับสนุนการเบรกแบบผันกลับ (Regenerative braking) เพื่อเก็บสำรองพลังงานในรูปพลังงานไฟฟ้า จึงเป็นการผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์ กับมอเตอร์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 1 ซึ่งทำให้ระบบขับเคลื่อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ายานยนต์ปกติ กำลังที่ผลิตจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้อัตราเร่งของยานยนต์สูงกว่ายานยนต์ที่มีเครื่องยนต์ขนาดเดียวกัน โดยอาจใช้เครื่องยนต์รูปแบบพิเศษ เช่นเครื่องยนต์แบบ Atkinson เพื่อเน้นประสิทธิภาพการทำงาน หรือใช้วัสดุน้ำหนักเบา (Lightweight materials) ร่วมด้วยเพื่อลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอีกต่อหนึ่ง

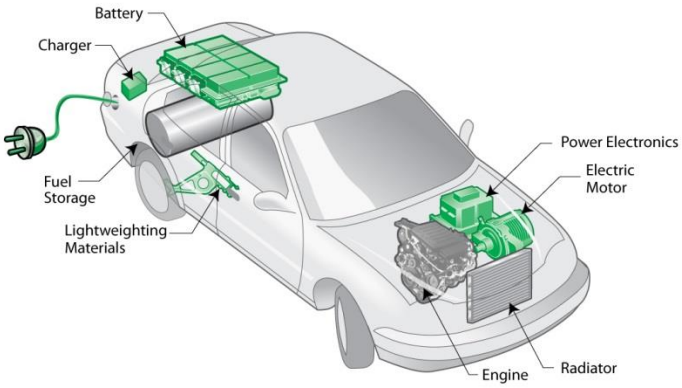
ในปัจจุบัน ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดในตลาดมีอยู่หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่นรูปแบบ Full Hybrid ที่สามารถมีกำลังขับทางไฟฟ้าได้ถึง 100% ในขณะที่รูปแบบ Mild Hybrid หมายถึงชุดส่งกำลังแบบไฮบริดที่มีสัดส่วนกำลังขับโดยเครื่องยนต์ ไม่เกิน 40%



รูปที่ 1 ตัวอย่างยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) [1]

2.1.2 ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด

ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด โดยสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งภายนอก (Plug-in) ทำให้ยานยนต์สามารถใช้พลังงานพร้อมกันจาก 2 แหล่ง ดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่ามีแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ขึ้นจากแบบไฮบริดธรรมดา จึงสามารถวิ่งในระยะทางที่ใช้พลังงานจากไฟฟ้าโดยตรงเพิ่มขึ้น ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV มีการออกแบบอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่รูปแบบ Extended Range EV หรือ (E-REV) ที่เน้นการทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักก่อน และรูปแบบ Blended PHEV ที่มีการทำงานผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า ดังนั้นยานยนต์ไฟฟ้าแบบ E-REV สามารถวิ่งด้วยพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวมากกว่าแบบ Blended PHEV



รูปที่ 2 ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) [1]

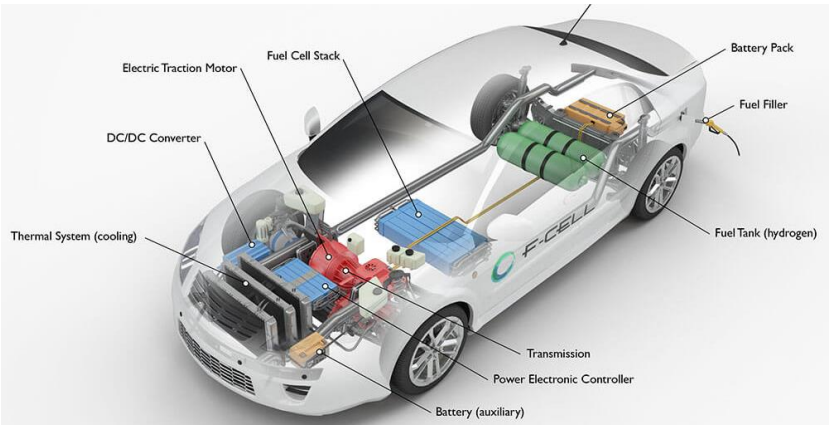
2.1.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่

ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ตามรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่ามีความเรียบง่ายในการจัดวางอุปกรณ์มาก ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบ ขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก อย่างไรก็ดีในปัจจุบันบริษัทรถยนต์ได้มีการผลิตและจำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ขึ้น ในประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ทั้งนี้เพราะเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่ดีขึ้นและราคาที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่มีความเป็นไปได้มากขึ้น

รูปที่ 3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) [2]

2.1.4 ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง

ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีชุดเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell stack) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้แหล่งพลังงานคือแก๊สไฮโดรเจนที่บรรจุในถัง (Fuel tank) ตามรูปที่ 4 โดยการขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric traction motor) ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงมีข้อดีหลายๆ ประการ ข้อดีที่สำคัญที่สุดคือ ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงถึง 60% และความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทรถยนต์เชื่อว่าเป็นคำตอบของพลังงานสะอาดในอนาคต อย่างไรก็ดียังมีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจนในปัจจุบันเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมที่ยังมีราคาแพง และโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการขนถ่ายและการจัดเก็บไฮโดรเจนที่ต้องใช้ต้นทุนสูง[4]



รูปที่ 4 ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) [3]

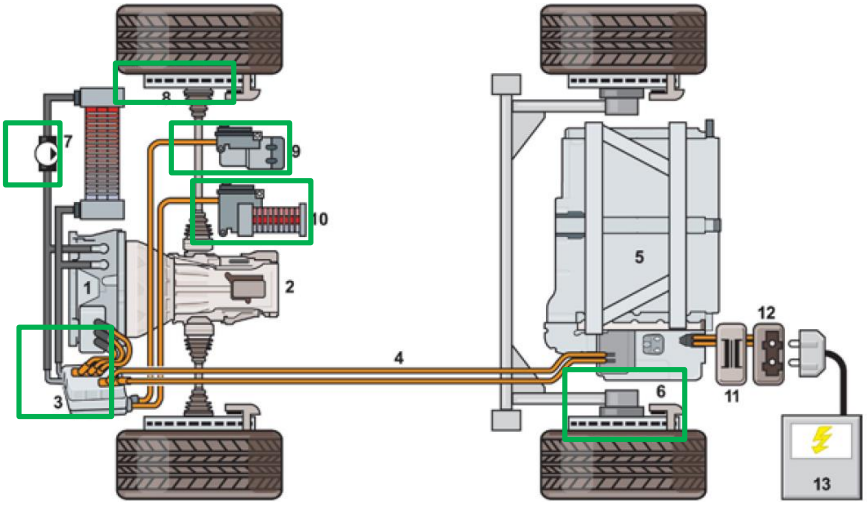
ในรายงานนี้จะเน้นยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) ในขณะที่ประเด็นหลักการทำงานส่วนมากก็ใช้ได้กับยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) และยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) ด้วย และด้วยเหตุที่ประเทศไทยยังไม่มีแผนด้านยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง รายงานจะไม่ครอบคลุมประเด็นเซลล์เชื้อเพลิงและยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง

2.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์

2.2.1 ระบบไฟฟ้าแรงสูง

ระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้าแสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 5 โดยจากรูปจะเห็นถึงการจัดวางส่วนประกอบไฟฟ้าแรงสูงในระบบ อันประกอบด้วยแบตเตอรี่ไฟฟ้าแรงสูง(5) ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลังหรือ Power Control Unit (PCU, 3) และชุดมอเตอร์ขับเคลื่อน (1) ที่ทำหน้าที่ทั้งในลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้า / เครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีข้อสังเกตว่าแบตเตอรี่ในภาพถูกระบุชื่อเฉพาะเป็นแบตเตอรี่ไฟฟ้าแรงสูง เพื่อแยกแยะกับแบตเตอรี่ 12 V ปกติ ที่ใช้ในรถโดยทั่วไป หรือบางครั้งก็จะเรียกแบตเตอรี่ชุดนี้ว่า แบตเตอรี่ขับเคลื่อน (Traction battery) เพื่อชี้ว่าทำงานจ่ายไฟฟ้าแรงสูง เพื่อให้กำลังเคลื่อนยานยนต์ ส่วนประกอบเหล่านี้ต้องมีการออกแบบและสร้างกล่องบรรจุแบตเตอรี่ที่ประกอบขึ้นอย่างรัดกุม เพื่อให้ส่วนฉนวนป้องกันการเชื่อมต่อระหว่างแบตเตอรี่กับไฟฟ้าแรงสูง ทั้งให้ความแข็งแรงคงทนต่อการกระแทกและกดทับ นอกจากนั้น ยังมีการออกแบบให้กล่องบรรจุแบตเตอรี่นั้นมีการใช้อากาศช่วยในการระบายความร้อนภายในแบตเตอรี่ออกสู่บรรยากาศภายนอกอีกด้วย

ในการทำงานขับเคลื่อน ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง (Power Control Unit, PCU) เป็นส่วนต่อเชื่อมระหว่างการจ่ายพลังงานขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากระแสตรงโดยแบตเตอรี่ไฟฟ้าแรงสูง กับการจ่ายกำลังขับทางกลโดยชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ทำงานกับไฟฟ้ากระแสสลับ โดยในกรณีรูปที่ 5 เป็นการทำงานของมอเตอร์ชุดเดียว และทำงานส่งกำลังขับผ่านชุดเกียร์ดิฟเฟอร์เรนเชียล ในการจัดวางในระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้านี้ ยังมีระบบเสริมอยู่ด้วย ไม่ว่าจะเป็น ระบบระบายความร้อนหรือระบบหล่อเย็น (Cooling System, 7) คอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้าแรงสูง (9) และฮีทเตอร์ไฟฟ้าแรงสูง (10) ซึ่งต่างเป็นระบบเสริมที่ใช้พลังงานสูงและแต่เดิมถูกขับด้วยเครื่องยนต์ เมื่อเป็นกรณียานยนต์ไฟฟ้า จึงต้องมีแยกมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ภายในเพื่อขับเคลื่อนการทำงาน สำหรับอุปกรณ์ที่มีความสำคัญ เช่น แบตเตอรี่ ชุดควบคุมมอเตอร์ หรือแม้แต่มอเตอร์เอง ทั้งหมดนี้ทำงานพร้อมเพรียงกันด้วยระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของไฟฟ้าแรงสูงที่ควบคุมระบบอยู่ ทั้งในส่วนของ Hardware และ Software ในส่วนประกอบของไฟฟ้าแรงสูงนั้น



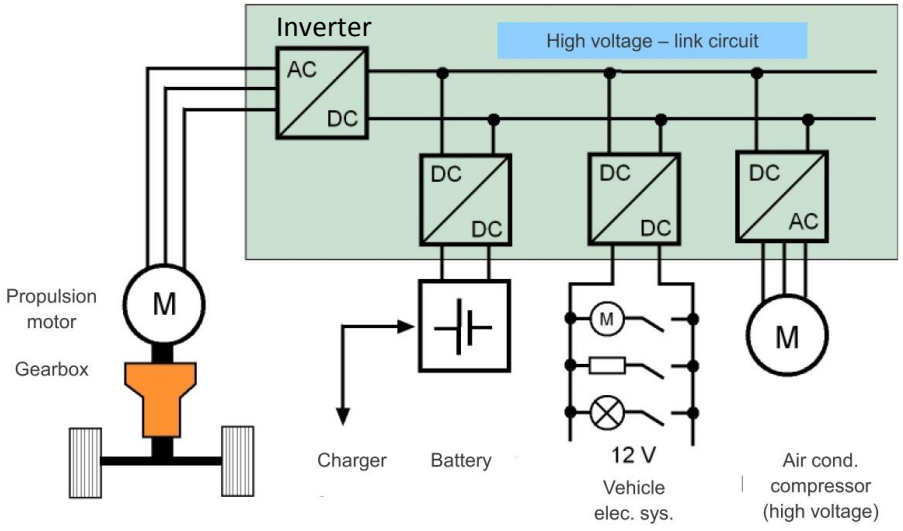
รูปที่ 5 การจัดวางระบบไฟฟ้าแรงสูง[5]

1. Electric motor/generator : มอเตอร์ไฟฟ้า / เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2. Transmission with differential : ระบบเกียร์ผ่านเฟืองท้าย 3. Power Control Unit: ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง 4. High-voltage lines : สายไฟฟ้าแรงสูง 5. High-voltage battery : แบตเตอรี่ไฟฟ้าแรงสูง 6. Electronics box with control unit for battery regulation : กล่องอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการใช้งานของแบตเตอรี่	7. Cooling system : ระบบระบายความร้อน หรือ ระบบหล่อเย็น 8. Brake system : ระบบเบรก 9. HV air conditioner compressor : คอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบไฟฟ้าแรงสูง 10. High-voltage heating : ฮีทเตอร์ไฟฟ้าแรงสูง 11. Battery charger : เครื่องประจุแบตเตอรี่ 12. Charging contact for external charging : เครื่องประจุแบตเตอรี่ภายนอก 13. External charging source : แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก

เพื่อแสดงการจัดวางระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น รูปที่ 6 แสดงแผนผังในรูปของการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าแรงสูง โดยจะเห็นมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ต่อเชื่อมกับแบตเตอรี่ผ่านชุดแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อเชื่อมการทำงานแบบไฟฟ้าสลับแบบสามเฟส (AC) ของมอเตอร์กับการทำงานแบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่ ซึ่งบางครั้งก็ถูกเรียกโดยตรงตามหน้าที่ว่า DC/AC Converter โดย Inverter นี้ไม่เพียงแต่จะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เพื่อขับเคลื่อนรถยนต์ แต่ในกรณี Regenerative braking ตัว Inverter ก็ต้องสามารถรับไฟฟ้ากระแสสลับมาปรับรูปและกรองให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ราบเรียบเหมาะแก่การจ่ายคืนแก่แบตเตอรี่เช่นเดียวกัน

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่ามีอุปกรณ์ย่อยจำนวนมากที่มีการต่อเชื่อมไฟฟ้าแรงดันสูงเข้าหากัน ซึ่งจะทำผ่านวงจรเชื่อมต่อแรงดันสูง (High voltage-link circuit) ที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า บัสแรงดันสูง (High voltage bus) โดยในการต่อเชื่อมนี้ พลังงานไฟฟ้าโดยหลักต่อเชื่อมมาจากแบตเตอรี่ไฟฟ้าแรงสูง ในขณะที่อุปกรณ์ย่อยในรถยนต์ที่ปกติทำงานกับแรงดัน 12 V เช่นไฟส่องสว่าง ชุด vacuum pump สำหรับระบบเบรกก็รับพลังงานมาจากบัสแรงดันสูงนี้เช่นกัน แต่ก็มี DC/DC converter กั้นอยู่ เพื่อปรับลดระดับแรงดันลงมาให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ย่อย อุปกรณ์ย่อยอื่นที่ใช้พลังงานสูงก็อาจต่อเชื่อมเข้าสู่บัสแรงดันสูงโดยตรง เช่นระบบปรับอากาศ หรือฮีทเตอร์ความร้อน ตัวอย่างในรูปที่ 6 คือ คอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศ ซึ่งในยานยนต์ไฟฟ้ามักใช้คอมเพรสเซอร์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ในตัว แทนที่จะต่อลูกรอก (Pulley) ขับผ่านสายพานดังรถยนต์แบบดั้งเดิม

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าการที่ส่วนประกอบหลักเหล่านี้เชื่อมต่อกันด้วยบัสแรงดันสูงซึ่งจะเป็นจุดรวมของวงจรในระบบไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งบนบัสนี้แรงดันสูงอาจส่งผ่านกระแสไฟฟ้าปริมาณมาก การยึดบัสบาร์ก็เป็นเรื่องที่สำคัญโดยเฉพาะการทำงานในยานยนต์ที่มีการสั่นสะเทือนสูง การหลวมคลอนจะหมายถึงแรงต้านทานทางไฟฟ้าที่สูง ความร้อนและอาจเกิดประกายไฟเป็นอันตรายขึ้นได้ วัสดุที่นำมาใช้ผลิตจึงต้องมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า และทางกลที่เหมาะสม และมีการประกอบที่มั่นคง



รูปที่ 6 แผนผังการจัดวางระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า[6]

2.2.2 ช่วงแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงสูง

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าแรงสูงสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า จะมีช่วงแรงดันที่แตกต่างกันไปตามแต่รูปแบบของระบบขับเคลื่อนและขนาดของยานยนต์ โดยตามมาตรฐานความปลอดภัย ISO 6469-3 ในกรณีไฟฟ้ากระแสตรง แรงดันเกิน 60 V ถือเป็นไฟฟ้าแรงสูงและต้องมีการออกแบบรองรับที่เหมาะสมเพื่อ

ความปลอดภัยตามตารางที่ 1 ระบุถึงช่วงแรงดันไฟฟ้าตามแต่ละรูปแบบของยานยนต์ โดยจะสังเกตได้ว่ายานยนต์ไฟฟ้า หากมีพิกัดกำลังสูงกว่า 12 kW จะทำงานอยู่กับช่วงแรงดันไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) ทั้งนี้เพื่อให้ระดับกระแสอยู่ที่ไม่เกิน 250 A ในขณะที่หากเป็นขนาดยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดส่วนบุคคลจะทำงานกับช่วงแรงดันไฟฟ้าราว 400 V และในกรณียานยนต์เชิงพาณิชย์ ช่วงแรงดันไฟฟ้าก็จะสูงขึ้นไปถึง 800 V ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ช่วงแรงดันไฟฟ้าตามแต่ละรูปแบบของระบบขับเคลื่อนและขนาดของยานยนต์ส่วนบุคคล[7]

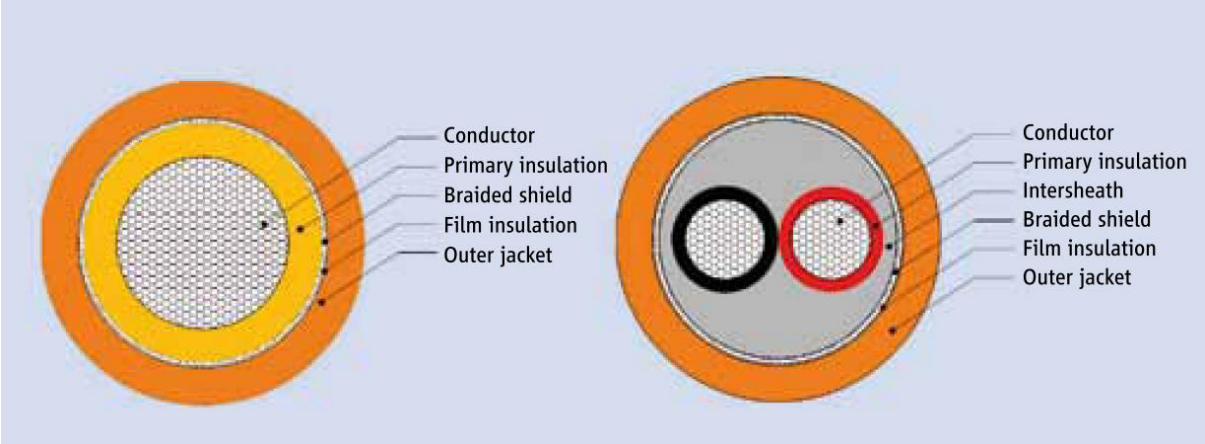
		Mild Hybrid			Hybrid/Plug-in		Battery Electric Vehicle			หน่วย
		12V	48V	HV	mid	Power	รถเล็ก	ขนาดกลาง	รถสปอร์ต	
พิกัดกำลังมอเตอร์ขับเคลื่อน		4	12	20	60	100	60	100	180	kW
พิกัดความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน		50	150	150	200	300	200	300	500	Nm
ระดับแรงดันกระแสตรง	สูงสุด(กรณี generator) ต่ำสุด(กรณีมอเตอร์)	15 12	60 36	200 120	400 300	450 250	400 300	400 300	450/800 300/600	V V
พิกัดกระแสที่มอเตอร์	DC AC	333 350	333 500	167 500	200 600	400 800	200 250	333 450	550/280 1000/500	A A
อัตราส่วนความเร็วมอเตอร์/แกนเพลาหรือความเร็วสูงสุดของมอเตอร์		3	1	1	1	1	10-15 k/min	Bis 20 k/min		
อัตราส่วนกำลังสูงสุด เทียบกับค่าพิกัด		2	2	2	2	2.5	1.5	1.5	2	

ตารางที่ 2 ช่วงแรงดันไฟฟ้าตามแต่ละรูปแบบของระบบขับเคลื่อนและขนาดของยานยนต์เชิงพาณิชย์[7]

		Mild Hybrid (สัดส่วนกำลังขับโดยเครื่องยนต์ ไม่เกิน 40%)				Plug-in Hybrid	Battery Electric Vehicle			หน่วย
		< 7.5t	7.5-12t	> 12t	Bus(18t)	7.5–12 t	< 7.5t	7.5-12t	Bus (18t)	
พิกัดกำลังมอเตอร์ขับเคลื่อน		50	65	450	120	90	100	120	2x 120	kW
พิกัดความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน		350	450	450	1000	500	350	450	2x 500	Nm
ระดับแรงดันกระแสตรง	สูงสุด(กรณี generator) ต่ำสุด(กรณีมอเตอร์)	400 280	420 300	420/800 300/600	420/800 300/600	420 300	420 300	420 300	800 600	V V
พิกัดกระแสที่มอเตอร์	DC AC	180 300	220 350	400/200 450/250	400/200 450/250	300 450	330 450	400 450	400 2x 250	A A
อัตราส่วนความเร็วมอเตอร์/แกนเพลาหรือความเร็วสูงสุดของมอเตอร์		1	1	1	1-1.6	1	10k/min	10k/min	10k/min	
อัตราส่วนกำลังสูงสุด เทียบกับค่าพิกัด		1.5	1.5	2	2	1.8	2	2	2	

2.2.3 สายไฟแรงดันสูงในรถยนต์

สายไฟเป็นส่วนประกอบสำคัญที่เชื่อมต่อแหล่งจ่ายพลังงาน คือ แบตเตอรี่เข้ากับแหล่งจ่ายกำลังในการขับเคลื่อน คือ มอเตอร์ โดยมีชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง Inverter บริหารจัดการอยู่ตรงกลาง สายไฟทำหน้าที่หลักในการส่งถ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง ในยานยนต์ไฟฟ้า จึงมีพื้นที่หน้าตัดได้ตั้งแต่ 16 – 70 mm^2 และด้วยค่ากระแสที่สูง (ในระดับหลายร้อยแอมป์) ทำให้ปัญหาด้านการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference, EMI) จึงเป็นปัญหาใหญ่ การห่อหุ้มสายจึงเป็นอีกเรื่องที่สำคัญมาก รูปที่ 7 ด้านซ้าย แสดงสายแบบ Single-Core ซึ่งเป็นสายในกรณีส่งผ่านกระแสไฟค่าสูง ในขณะที่สายแบบ Multi-Core ก็มีใช้ในกรณีค่ากระแสไฟไม่สูงนัก เช่นในการจ่ายคอมเพรสเซอร์แอร์ ขนาดสายก็จะเล็กตามไปด้วยพื้นที่หน้าตัดอยู่ที่ 2.5-6 mm^2



รูปที่ 7 แผนภาพตัดขวางของ Single-Core และ Multi-Core Shielded HV Cable[7]

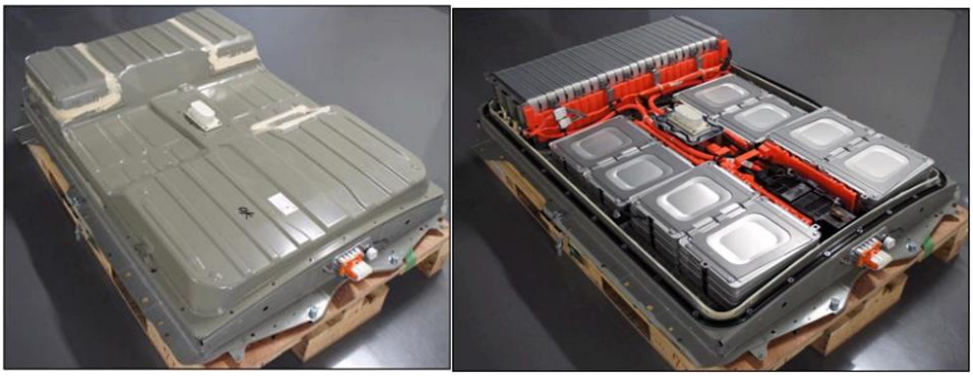
ข้อสังเกตหนึ่งจากรูปและจากการติดตั้งจริง คือสายไฟแรงดันสูงในยานยนต์จะเป็นสีส้ม ซึ่งโดยปกติแล้ว สายไฟแรงดันสูงจากแบตเตอรี่ที่จะวิ่งไปยังมอเตอร์ มักวิ่งไปในรางในโครงตัวถัง ซึ่งสายไฟเองก็ถูกออกแบบให้มีผิวทนทานต่อของมีคม แต่ตำแหน่งการลากสายไฟแรงดันสูงในรถคันหนึ่งๆ ก็ต้องสืบค้นได้โดยง่าย ทั้งนี้เพื่อให้หน่วยกู้ภัยตัดสินใจได้อย่างถูกต้องในตำแหน่งที่จะตัดโครงสร้างรถในกรณีฉุกเฉิน

2.2.4 แบตเตอรี่

2.2.4.1 กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ (Battery Pack)

ชุดแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่นับร้อยหรือบางครั้งนับพัน ดังรูปที่ 8 ที่แสดงถึงการจัดวางของโมดูลแบตเตอรี่ในกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ แต่ละโมดูลก็ประกอบด้วยเซลล์ย่อย เซลล์ย่อยแต่ละเซลล์ทำงานได้ด้วยการบรรจุสารอิเลกโทรไลท์ (Electrolyte) ที่ติดไฟได้อยู่ภายใน และเป็นที่รู้กันว่าการคายประจุหรือรับการอัดประจุในสภาวะที่ไม่เหมาะสมสามารถนำไปสู่กระบวนการ

Thermal runaway ได้ กล่าวคือ สภาวะการทำงานที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดความร้อนมากกว่าปกติ แล้วความร้อนนั้นนำไปสู่กระบวนการทางเคมีระหว่างเซลล์แบตเตอรี่ ที่นำไปสู่ความร้อนที่เพิ่มขึ้น จนในที่สุดปริมาณความร้อนมีมากจนเกิดการลุกติดไฟได้ในชุดแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันการติดไฟลุกไหม้ กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่จะมีการออกแบบระบบหล่อเย็นเพื่อป้องกันกระบวนการ Thermal runaway



รูปที่ 8 กล่องแบตเตอรี่ และการจัดวางของโมดูลแบตเตอรี่ในกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ [8]

การติดตั้งชุดแบตเตอรี่ ในปัจจุบันมีตำแหน่งปกติอยู่ที่พื้นของห้องโดยสาร กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่จึงต้องถูกออกแบบมาให้มีความแข็งแรงในหลายลักษณะ ตั้งแต่แข็งแรงเพื่อทนได้ต่อของมีคมที่อาจจะวิ่งเข้ามาทะลุทะลวงกล่องบรรจุได้เมื่อขับขี่ด้วยความเร็ว ซึ่งจะยกกรณีศึกษาที่เกิดขึ้นกับรถ Tesla model S ที่แม้ว่าจะมีกล่องบรรจุที่แข็งแรงและมีแผ่นปกป้องการเจาะทะลุอีกชั้นที่ด้านหน้าของตัวรถก็เกิดเหตุเศษโลหะที่อยู่บนถนนกระเด็นเจาะเข้าไปทำความเสียหายแก่ชุดแบตเตอรี่ และนำไปสู่เพลิงไหม้ได้ ซึ่งก็นำไปสู่แนวการออกแบบอีกส่วน ก็คือกล่องบรรจุนี้ต้องปกป้องการลุกลามของไฟได้ ไม่ให้เข้าสู่ห้องโดยสาร ซึ่งในกรณีดังกล่าว รถ Tesla model S ออกแบบในลักษณะนี้ไว้ได้ดี ทำให้ผู้โดยสารหนีออกจากห้องโดยสารได้แม้เกิดไฟไหม้กับชุดแบตเตอรี่โดยไม่มีอันตราย

นอกจากประเด็นความแข็งแรงแล้ว ทางผู้ผลิตต้องจัดทำระบบความปลอดภัยของแบตเตอรี่ กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ (Battery pack) ต้องมีการป้องกันการสัมผัสโดยตรง และมีการทำเครื่องหมายเพื่อให้ผู้ใช้ทราบถึงประเภทของกล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่ และจุดที่ห้ามสัมผัสภายในระบบไฟฟ้าภายในส่วนอุปกรณ์ภายในของแบตเตอรี่ ต้องมีเซนเซอร์วัดระดับอุณหภูมิทั้งในระดับเซลล์และระดับโมดูลย่อยเพื่อทำงานกับระบบป้องกันแบตเตอรี่ไหม้และลุกติดไฟของแบตเตอรี่ มีการแยกสีของสายไฟใช้สีส้มเพื่อแยกไฟฟ้าแรงสูงกับแรงต่ำ[7] นอกจากนั้น การแยกส่วนของระบบไฟฟ้าแรงสูงในกรณีอุบัติเหตุหรือกรณีฉุกเฉินต้องทำได้ด้วยอุปกรณ์เฉพาะที่เรียกว่าชุด Kill switch ที่ใช้ตัดแยกวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงได้อย่างฉับพลัน โดยต้องเข้าถึงได้ง่ายโดยช่างเทคนิคหรือหน่วยกู้ภัยในกรณีเกิดเหตุ

2.2.4.2 การออกแบบระดับเซลล์ของแบตเตอรี่

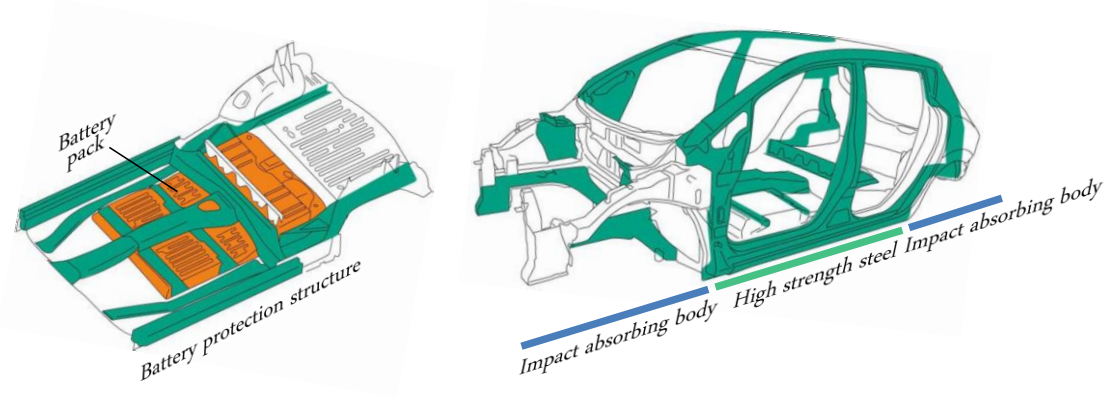
ในการออกแบบแบตเตอรี่ระดับเซลล์ มีการออกแบบหลายลักษณะเพื่อป้องกันการเสียสภาพของเซลล์แบตเตอรี่ที่จะนำไปสู่อันตราย การออกแบบที่สำคัญ เช่น การมีแผ่นกั้นขั้วไฟฟ้าแบบ Shutdown separator ที่จะปิดกั้นการทำงานทางเคมีในเซลล์ทันทีเมื่ออุณหภูมิเกินค่าที่กำหนด การมี Pressure relief device คืออุปกรณ์ที่จะเปิดคายความดันภายในออก ในกรณีเซลล์ที่ทำงานที่อุณหภูมิสูงและเกิดการสร้างแรงดันขึ้น

ด้วยความแตกต่างของการออกแบบเพื่อความปลอดภัยในระดับเซลล์กับระดับบรรจุภัณฑ์ การทดสอบแบตเตอรี่ จึงมีได้หลายระดับ การทดสอบระดับแรกมุ่งเน้นที่ระดับเซลล์ ซึ่งจะประกอบด้วยการทดสอบเชิงวัสดุและส่วนประกอบของเซลล์ โดยใช้การเพิ่มอุณหภูมิของเซลล์ภายใต้การทำงาน จนกระทั่งเกิด Thermal runaway การทดสอบระดับที่สองมุ่งที่ระดับเซลล์และโมดูล โดยโมดูลเป็นการประกอบเซลล์เข้าเป็นแพคขนาดเล็ก เพื่อสะดวกต่อการประกอบแต่ก็เล็กพอที่จะจัดการแยกโดยระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery management system, BMS) โดยง่าย การทดสอบระดับนี้มีทั้งการทดสอบทารุณ (Abuse test) ในเชิงไฟฟ้า โดยการประจุเกินพิกัดหรือต่อให้ลัดวงจร การทดสอบเชิงกล โดยการกดทับให้เสียรูปหรือเจาะให้ทะลุด้วยเข็มในขณะจ่ายไฟ ดังรูปที่ 9 การทดสอบทางความร้อน โดยดูที่เสถียรภาพในการทำงานภายใต้การอบที่ความร้อนสูง และการทดสอบระดับสุดท้ายมุ่งที่ระดับชุดแบตเตอรี่ โดยการกดทับให้เสียรูป การต่อลัดวงจร และการหาพฤติกรรมภายใต้เปลวไฟ ทั้งหมดนี้ เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่สุ่มเสี่ยงที่สุดในการทำงาน ว่าระดับใดจะเสียหายหรือเกิดอันตรายขึ้นก่อน ระดับเซลล์ โมดูล หรือระดับชุดแบตเตอรี่ พร้อมออกแบบการรองรับสถานการณ์ดังกล่าวให้เหมาะสม

รูปที่ 9 หนึ่งในรูปแบบการทดสอบเซลล์แบตเตอรี่ด้วยการเจาะด้วยตะปูในขณะจ่ายไฟฟ้า[8]

2.2.5 โครงสร้างรองรับการชน

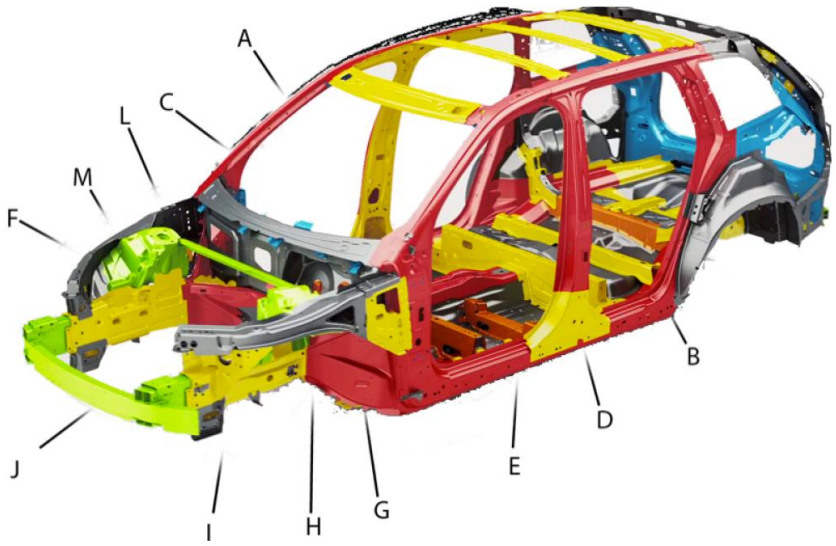
นอกจากการออกแบบเพื่อความปลอดภัยในแต่ละชิ้นส่วนประกอบของยานยนต์ไฟฟ้า ตัวโครงสร้างที่รองรับชิ้นส่วนเหล่านั้นต้องได้รับการออกแบบเพื่อความปลอดภัยในลักษณะรองรับการชนได้ด้วย (Crash worthiness) ในกรณียานยนต์แบบดั้งเดิม การออกแบบมีแนวทางที่ชัดเจน เช่น การออกแบบส่วนยุบตัวด้านหน้าส่งผลให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ หรือการออกแบบตำแหน่งและโครงสร้างล้อมรอบถังน้ำมันเพื่อลดอันตรายที่จะมีได้ต่อการรั่วไหลของน้ำมันให้มากที่สุด แต่ในกรณีของยานยนต์ไฟฟ้า การกระจายน้ำหนักของส่วนประกอบในตัวรถยนต์ต่างไปมากจากกรณีของรถยนต์ปกติ ที่มีเครื่องยนต์เป็นชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากและติดตั้งอยู่ในบริเวณหน้าของรถ ซึ่งในการชนเครื่องยนต์จะเป็นมวลขนาดหนักที่จะวิ่งเข้าถึงห้องโดยสาร ส่งผลให้เกิดอันตรายกับผู้โดยสารได้ ในกรณียานยนต์ไฟฟ้ามีความแตกต่างไป ในที่นี้คือการมีแบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักมากและปริมาตรสูงติดตั้งอยู่ในบริเวณใต้พื้นรถ ดังนั้นในกรณีเกิดการชน ต้องมีการออกแบบระบบรองรับแบตเตอรี่ซึ่งมีน้ำหนักสูงจะใช้เหล็ก High-Strength Steel ซึ่งมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ แสดงในรูปที่ 10 ที่เน้นด้วยสีเขียว เพื่อใช้โอบรับและป้องกันชุดแบตเตอรี่ไว้ในส่วนของห้องโดยสารจะใช้เหล็ก High strength steel เช่นเดียวกันเพื่อป้องกันผู้โดยสารในกรณีเกิดการชน ส่วนระบบโครงสร้างดูดซับแรงกระแทก (Impact Absorbing structure) จะถูกจัดวางไว้ที่ส่วนหน้าของตัวรถยนต์ เพื่อทำหน้าที่ดูดซับแรงกระแทกไปส่วนหนึ่งก่อนแรงกระแทกที่เหลือค่อยถูกดูดซับด้วยโครงสร้าง High-Strength Steel ไม่ยุบตัวได้ง่าย เพื่อป้องกันอันตรายไม่ให้เข้าถึงผู้โดยสารและระบบป้องกันความอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากความเสียหายที่จะมีได้กับชุดแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบเพื่อรองรับการชนจึงมีความสำคัญที่การออกแบบที่ดีจะยังส่งผลให้ความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่และลดอันตรายที่จะมีได้จากระบบไฟฟ้าแรงสูง รูปที่ 10 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของตัวยานยนต์ที่ได้รับการออกแบบมาเฉพาะเพื่อรองรับระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าในยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน



รูปที่ 10 ตัวอย่างโครงสร้างของตัวยานยนต์ที่ห่อหุ้มแบตเตอรี่ของรถยนต์ Nissan Leaf [9]

2.2.5.1 พื้นฐานการออกแบบโครงสร้างตัวถังเปล่า

โครงสร้างตัวถังเปล่า หรือ Body-in-white เป็นชื่อเรียกโครงสร้างของตัวถังของรถยนต์ที่ส่วนประกอบต่างๆ จะถูกยึดเข้ามาเป็นตัวรถยนต์ โดยรวม จะแยกได้ว่าโครงสร้างตัวถังเปล่านี้มีส่วนแท่นเครื่องด้านหน้า ส่วนห้องโดยสาร และส่วนกระโปรงท้าย ในปัจจุบัน โครงสร้างตัวถังผลิตขึ้นจากเหล็กแผ่นที่ถูกปั๊มขึ้นรูป โดยตัวถังถูกประกอบขึ้นในลักษณะ Monocoque ที่มีความซับซ้อนแต่ก็ให้ความแข็งแรงได้มาก รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างของโครงสร้างตัวถังเปล่าที่ต้องถูกออกแบบให้รองรับการชนได้



รูปที่ 11 ตัวอย่างของโครงสร้างตัวถังเปล่า [10]

A. Upper A-Pillar	H. Upper wing member, Motor compartment upper rail or shotgun
B. B-Pillar	I. Crash box
C. Cowl	J. Bumper
D. Sill	K. Firewall
E. Floor	L. Suspension tower
F. Longitudinal side rail or Side member	M. Inner wing panel or motor compartment side panel
G. Wheel house	N. Centre longitudinal tunnel or Tunnel

2.2.5.2 การออกแบบเพื่อรองรับการชน

การออกแบบโครงสร้างต้องมีเป้าหมายคือ ในกรณีอุบัติเหตุ โครงสร้างจะต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะกระจายแรงไปตาม Side rail จุดที่ F คือ Longitudinal side rail or Side member ของรูปที่ 11 ไปสู่โครงสร้างพื้นใต้ท้องและโครงสร้างหลังคา และปกป้องห้องโดยสารให้ความปลอดภัยแก่ผู้โดยสาร แต่

โครงสร้างอย่างเช่นส่วนแท่นเครื่องด้านหน้าก็ต้องทำหน้าที่บริเวณยุบตัว (Crumpling Zone) เพื่อดูดซับพลังงานจากการชน ทั้งนี้เพื่อให้ภาระการหน่วงตัวของรถมีไม่มากเกินไปจนทำให้เกินขีดจำกัดความอดทนของร่างกายของมนุษย์ โดยในปัจจุบัน การประเมินสมรรถนะการรองรับการชนจะทำในสี่ลักษณะ คือการชนด้านหน้า การชนด้านข้าง การชนท้าย และการพลิกคว่ำ

นอกจากเป้าหมายความแข็งแรงและการดูดซับพลังงานจากการชนแล้ว โครงสร้างยังต้องแข็งเกร็งกับรูปแบบการบิดตัวของรถยนต์ด้วยเพื่อให้สมรรถนะความนุ่มนวลในการขับขี่และการทรงตัวที่ดี โครงสร้างยังต้องลดโหมดการสั่นสะเทือนที่จะนำไปสู่ความกระด้าง (Harshness) ของการขับขี่ การออกแบบแผงประตูด้านข้าง นอกจากความแข็งแรง ยังต้องคำนึงถึงการปกป้องจากการทะลุทะลวงของชิ้นส่วนที่จะมีได้จากการชนด้านข้างด้วย

2.3 ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์

2.3.1 รูปแบบอันตรายจากไฟฟ้าแรงดันสูง

หากจะให้เฉพาะเจาะจงกับเรื่องไฟฟ้าแรงดันสูง ก็ต้องตอบคำถามแรกก่อนว่าแรงดันสูงนั้นหมายถึงระดับแรงดันที่เท่าไร คำว่าไฟฟ้าแรงดันสูงในบริบททางยานยนต์นั้น มักหมายถึงระดับแรงดันที่สูงกว่า 60 V ในกรณีของไฟฟ้ากระแสตรง ในขณะที่ในกรณีของไฟฟ้ากระแสสลับ จะหมายถึงระดับแรงดันที่สูงกว่า 25 V ซึ่งในกรณีของยานยนต์ไฟฟ้าแล้ว โดยเฉพาะในระบบขับเคลื่อนที่ต้องการกำลังขับเคลื่อนสูงด้วยค่ากระแสที่มักถูกจำกัดไว้ให้ไม่สูงมากเกินไปเพื่อลดการสูญเสียทางไฟฟ้า ระดับแรงดันจึงมักทำงานที่ค่าสูงมาก ซึ่งอาจสูงถึง 650 V ในปัจจุบัน

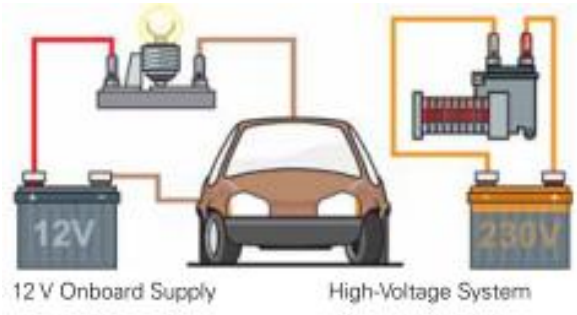
เมื่อรู้ถึงระดับของไฟฟ้าแรงดันสูงแล้ว หากจะมองในเรื่องลักษณะของอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูงที่จะมีผลต่อมนุษย์ เป็นอันตรายจากการสัมผัสโดยตรงกับไฟฟ้าแรงดันสูงที่เกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ ในขั้นแรกหากร่างกายมีการสัมผัสชิ้นส่วนที่มีแรงดันอยู่และเกิดการไหลของกระแส แม้เพียง 30 mA ก็สามารถส่งผลรบกวนจังหวะการเต้นของหัวใจได้ชั่วคราว ในขณะที่การไหลของกระแสผ่านเนื้อเยื่อที่เรียกว่าไฟฟ้าช็อตส่งผลให้เกิดความร้อนทำลายอวัยวะได้ โดยเฉพาะกับบริเวณที่กระแสเข้าและออกจะมีผลร้ายแรง อันตรายเหล่านี้ขึ้นกับทั้งปริมาณของกระแสที่ไหลผ่านและเวลาที่เกิดขึ้น ระบบที่ทั้งปกป้องจากการสัมผัสกับชิ้นส่วนที่มีไฟฟ้าแรงสูงและตัดวงจรโดยเร็วจากการสัมผัสนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญ รูปแบบอันตรายจากการสัมผัสโดยตรงอีกส่วนก็คือสารอิเลกโทรไลท์ที่บรรจุอยู่ในแบตเตอรี่ซึ่งอาจมีความเป็นพิษต่อร่างกายได้

นอกจากอันตรายจากการสัมผัสโดยตรง ยังมีรูปแบบอันตรายจากการสัมผัสโดยอ้อม ที่พบได้มาก คือประกายไฟในกรณีที่ขั้วไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแรงดันสูงมีโอกาสมาสัมผัสกัน ประกายไฟเช่นนี้มีผลได้ทั้ง การไหม้ผิวหนัง ความเสียหายต่อสายตาจากแสงจ้า (Electro-Ophthalmia) หรือการติดไฟของสิ่งของ หรือสถานที่

2.3.2 การป้องกันไฟรั่ว

การแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง

ในยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดโอกาสไฟรั่วไปสู่ตัวถัง ซึ่งหมายถึงโอกาสรั่วไหลไปถึงผู้โดยสารด้วย จะมีการออกแบบแยกวงจรระหว่างวงจรแรงดันสูง (230 V) และวงจรแรงดันต่ำ (12 V) ออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 12 ที่เรียกว่า การแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง (HV Isolation) โดยต้องเข้าใจก่อนว่าแต่ดั้งเดิม รถยนต์มีวงจรไฟฟ้าเพียงวงจรแรงดันต่ำที่ทำงานที่ 12 V เพื่อความสะดวกในการต่อสายไฟให้ครบวงจร เป็นสิ่งที่ทำกันมาก็คือจะต่อขั้วลบของแบตเตอรี่เข้าสู่ตัวถังที่เป็นโลหะ และถือว่าตัวถังรถเป็นจุดกราวด์ ลักษณะเช่นนี้ การต่ออุปกรณ์เสริมที่ใช้ไฟฟ้าจากแรงดัน 12 V ก็เพียงต่อสายไฟเส้นเดียวให้เข้าถึงขั้วบวก (ในชุด Wire harness) ในขณะที่การเข้าถึงขั้วลบก็เพียงต่อสายสั้นๆ เข้าสู่ตัวถัง ต่อมาในกรณีของยานยนต์ไฟฟ้า วงจรแรงดันสูงจะมีวงจรแยกเป็นของตัวเอง และโดยเฉพาะจุดกราวด์ ก็จะแยกออกจากตัวถัง ด้วยการแยกเช่นนี้ กรณีของการลัดวงจรแรงดันสูงลงสู่ตัวถังก็เป็นไปไม่ได้



รูปที่ 12 การแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง [5]

นอกจากนั้นแล้ว ยังมีเหตุผลเพิ่มเติมอีก กล่าวคือวงจรแรงดันสูงนี้มีเพื่อการขับเคลื่อนที่ใช้กำลังและกระแสสูงเช่นเดียวกัน ดังนั้นค่ากระแสที่สูงขนาดนี้ควรที่จะถูกออกแบบให้กระแสไหลเข้าไปในชุดสายไฟที่ถูกออกแบบเฉพาะ โดยค่ากระแสหลายร้อยแอมป์โดยทั่วไปจะผ่านโครงตัวถัง ค่ากระแสที่สูงมากๆ มีผลทำให้ได้ทั้งการเหนี่ยวนำแรงดันให้เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ รวมทั้งการสร้างปัญหาของสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กให้เกิดขึ้นได้ ส่งผลการควบคุมได้ยาก

การป้องกันไฟดูดและรูปแบบการตัดไฟ-สำหรับผู้ใช้งานรถทั่วไป

ในการใช้งานรถ อย่างง่ายแล้ว การตัดวงจรไฟฟ้าแรงสูงทำได้โดยบิดกุญแจไปที่ตำแหน่งปิด คือ OFF หรือหากในบางรุ่น ใช้เป็นปุ่มกดผ่าน Keyless entry ก็สั่งการ Engine OFF โดยใช้กดได้เช่นกัน การดำเนินการเหล่านี้จะสั่งไปยัง Protective relay ของวงจรไฟฟ้าแรงสูง เพื่อเปิดวงจรแยกออกจากระบบไฟฟ้าแรงดันสูงทันที แต่การตัดวงจรไฟฟ้าแรงสูงเช่นนี้ ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น แบตเตอรี่ก็ยังมีกระแสไฟอยู่

ขณะที่รถขับขี่อยู่ การลงกราวด์ของแชสซีของรถเป็นไปไม่ได้ ในขณะนี้ เรียกได้ว่าชุดขับเคลื่อน(แบตเตอรี่ ชุดอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์) อยู่เป็นวงจรแยก ดังนั้นหากเกิดการตรวจพบความเสียหายทางฉนวนไฟฟ้า หรือ Insulation fault ครั้งแรก ระบบควบคุมจะยินยอมให้การขับขี่ดำเนินต่อไป แต่ก็จะเตือนให้ผู้ขับขี่จอดรถลงอย่างเร็วที่สุด แต่หากมีการตรวจพบความเสียหายทางฉนวนไฟฟ้าครั้งที่สอง ระบบจะตัดตัวเองลงอย่างฉับพลัน

ตามมาตรฐาน ISO 6469-3 แล้ว การออกแบบระบบไฟฟ้าแรงสูงต้องปกป้องผู้ใช้จากทั้งการสัมผัสโดยตรงและทางอ้อมกับไฟฟ้าแรงสูง ในกรณีนี้คือระดับแรงดันในช่วง 60-1500 V DC ในเบื้องต้นการปกป้องจากการสัมผัสโดยตรง ได้แก่การปกป้องจากการแหย่นิ้วด้วยมาตรฐาน IP2xB และจากการใช้เครื่องมือด้วยมาตรฐาน IP3xD ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (ดูเพิ่มเติมที่หัวข้อ 2.5.2) ซึ่งส่วนหนึ่ง ก็หมายถึงการจะเปิดฝาหรือตัวล๊อคต่างๆ ก็ด้วยเครื่องมือที่เหมาะสมเท่านั้น

ข้อควรระวังอีกส่วนคือส่วนประกอบใดที่แยกวงจรออกจากระบบไฟฟ้าแรงสูง ต้องใช้เวลาในการคายประจุออกจากส่วนประกอบจนมีระดับแรงดันต่ำกว่า 60 V DC ก่อนจึงจะปลอดภัยต่อการเข้าถึง

รูปแบบการตัดไฟแบบที่ 1 - Manual Disconnect

อุปกรณ์ Manual Disconnect หรือ Manual Service Disconnect เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้เปิดวงจรแยกอุปกรณ์แรงดันสูงออกจากชิ้นส่วนยานยนต์ที่จะสัมผัสได้จากมนุษย์ โดยปกติ Manual Disconnect จะติดตั้งอยู่บริเวณใกล้ชุดแบตเตอรี่ไฟฟ้าแรงสูง โดยมักจะติดตั้งเพื่อเปิดวงจรที่ขั้วเดียว ทั้งบวกและลบ ถึงแม้การติดตั้งแบบที่เปิดวงจรทั้งสองขั้วพร้อมกันก็เป็นไปได้ แต่โดยทั่วไปจะไม่เป็นที่แนะนำในการออกแบบอุปกรณ์ ตัว Manual Disconnect จะถูกออกแบบให้ทำงานได้ด้วยแรงจากมือเปล่าโดยไม่ต้องการเครื่องมือหรือเครื่องผ่อนแรง และต้องมีการหุ้มฉนวนให้มั่นใจว่าผู้ทำงานจะไม่เข้าถึงวงจรแรงดันสูงได้

อุปกรณ์ Manual Disconnect ดังเช่นรูปที่ 13 เป็นอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อที่ใช้กับยานยนต์ไฟฟ้า หลักการทำงานจะยกคันโยก 2 ครั้ง เพื่อเปิดวงจรไฟฟ้าแรงสูงในรูปแบบอินเตอร์ล็อค (High Voltage Interlock) (ดูหัวข้อถัดไป) ใช้แยกการสัมผัสของไฟฟ้าแรงสูง และป้องกันจากไฟฟ้าลัดวงจร

รูปที่ 13 Manual Service Disconnect , Crash Switch และตำแหน่งติดตั้งของ MSD ที่ใต้เบาะหลัง [6]

รูปแบบการตัดไฟแบบที่ 2 - Interlocks

HVIL หรือ Hazardous Voltage Interlock Loop เป็นรูปแบบ Interlock ที่หมายถึงการมีวงจรที่ส่งสัญญาณกระแสค่าต่ำไปในวงจรอย่างต่อเนื่อง เพื่อตรวจสอบการต่อเชื่อมทางไฟฟ้า ณ ทุกขณะ หากขณะใดมีการขาดซึ่งการต่อเชื่อม เช่นด้วยการเปิดวงจร อุปกรณ์ Automatic disconnect จะตัดแรงดันสูงที่เป็นอันตรายได้ออกจากการเชื่อมต่อทันที เช่นเดียวกัน อุปกรณ์ Access Cover Interlock ก็เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กลไก Interlock สำหรับฝาครอบที่ปกป้องวงจรไฟฟ้าแรงดันสูง ในขณะที่ Charge Interlock ก็เป็นกลไกที่จะช่วยให้มั่นใจได้ว่าขณะประจุไฟ ช่างหรือเจ้าของรถจะเปิดเข้าถึงวงจรแรงดันสูงไม่ได้ และการขับเคลื่อนรถก็เป็นไปไม่ได้เช่นเดียวกัน

รูปแบบการตัดไฟแบบที่ 3 - Automatic Hazardous Voltage Disconnects

Automatic Hazardous Voltage Disconnects เป็นกลไกที่ตัดแยกวงจรแรงดันสูงออกจากวงจรทำงานโดยทันทีโดยไม่ต้องมีคำสั่งจากผู้ใช้ ซึ่งจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีสถานการณ์คับขันเกิดขึ้น สถานการณ์ที่จะนำมาสู่การตัดแยกวงจร เช่น สัญญาณบ่งชี้การชนจาก Vehicle Crash Sensor (ตามมาตรฐาน SAE J1766) หรือการตรวจพบการสูญเสียการแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง (High voltage isolation) หรือที่เรียกว่า Ground Fault แต่ก็หมายเหตุว่าการตัดแยกวงจรเช่นนี้จะยอมให้เกิดได้เฉพาะในขณะที่ไม่ได้ขับเคลื่อนอยู่

ส่วนของระบบ Crash Switch หรือ Crash Sensor (ดังรูปที่ 13 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งภายในรถยนต์ ซึ่งระบบการทำงานจะเชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้า หากเกิดการกระแทก, การสั่นสะเทือน หรือเกิดการชน ระบบนี้จะตัดวงจรไฟฟ้าทันที เป็นตัวช่วยหนึ่งที่จะทำให้เกิดความปลอดภัย และลดความเสี่ยงอาจจะเกิดจากการ การเกิดควัน ไฟไหม้ การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

การแก้ไข Fault

ถึงแม้จะมีการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์มากมาย แต่เหตุการณ์สุดวิสัยก็เกิดขึ้นได้ ตารางที่ 3 สรุปแนวทางการแก้ไขสถานการณ์การสูญเสียการแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง (Fault) ซึ่งเป็นการปกป้องความผิดปกติทั้งจากฉนวนไฟฟ้า ไฟฟ้าลัดวงจร ค่าแรงดันเกินพิกัดและจากการสัมผัสไฟฟ้าแรงสูง

ตารางที่ 3 สรุปแนวทางการแก้ไขสถานการณ์การสูญเสียการแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง (Fault) [6]

ความผิดปกติ	เหตุ	ผลกระทบ	มาตรการป้องกันทั่วไป	มาตรการป้องกันที่ใช้งานอยู่
ฉนวนไฟฟ้ามีความผิดปกติ	ความร้อนหรือเครื่องยนต์เสียหายทำให้เกิดอุบัติเหตุจากฉนวนไฟฟ้า,เกิดอุบัติเหตุ	เกิดไฟฟ้าช็อต, แบตเตอรี่ประจุไม่ได้	มีฉนวนไฟฟ้าสองชั้น, ตรวจสอบฉนวนไฟฟ้า	ตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงาน
ไฟฟ้าลัดวงจร	เครื่องยนต์ผิดปกติ ,เกิดอุบัติเหตุ	หน่วยควบคุมผิดปกติ	การหยุดฉุกเฉิน,ปฏิบัติตามระเบียบด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC), การเฝ้าระวังและตรวจสอบหน่วยควบคุม	ตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงาน
การสัมผัสไฟฟ้าแรงสูงโดยตรง (ยานยนต์ไม่ทำงาน)	เครื่องยนต์ผิดปกติ, การซ่อมบำรุง, ซ่อมแซม,การทำงานที่ผิดปกติ	เกิดไฟฟ้าช็อต		การคายประจุ,ตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงาน
การสัมผัสไฟฟ้าแรงสูงโดยตรง (ยานยนต์ทำงาน)	เครื่องยนต์ผิดปกติ		ตรวจสอบฉนวนไฟฟ้า	มีสัญญาณเตือน,ตัดการเชื่อมต่อแหล่งพลังงาน
ค่าแรงดันเกินพิกัด	เกิดไฟฟ้าสถิต,เกิดไฟกระชากระหว่างสับสวิตช์, คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	ส่วนประกอบมีเสียหาย	การป้องกันไฟแรงดันสูง	มีการเชื่อมต่อรถยนต์ลงสู่สายดินระหว่างเติมเชื้อเพลิงและประจุแบตเตอรี่

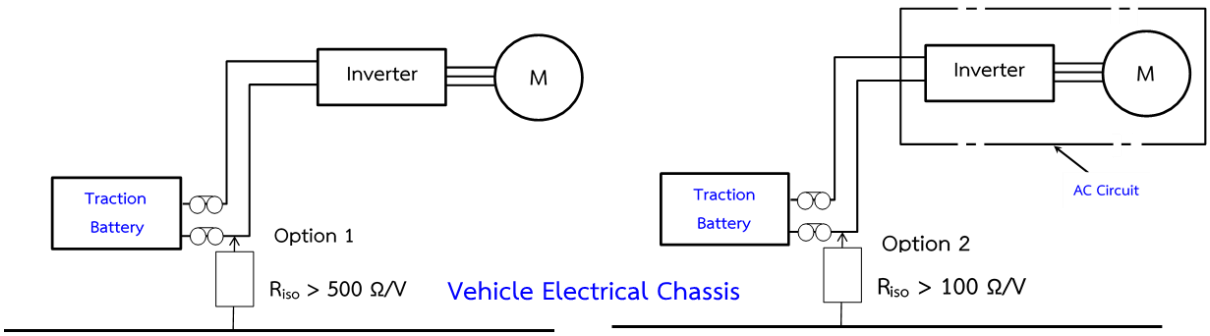
2.3.3 ระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของไฟฟ้าแรงสูง-สำหรับช่างเทคนิค

การบริหารจัดการอุปกรณ์ทั้งหมดจะทำโดยระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Safety Management System)[3] ระบบการจัดการนี้จะดูแลทั้งระบบ Hardware และ Software โดยวิเคราะห์ด้านความปลอดภัย วิเคราะห์ปัญหาทางเทคนิค รวมถึงดูการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์สำคัญในการทำงานผ่านมาตรฐาน Controlled Area Network หรือ CAN ในการทำงานของระบบการจัดการนี้จะมีการจำลองสถานการณ์และทดสอบระบบความปลอดภัยของยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งการควบคุมความร้อนแบตเตอรี่, การระบายความร้อน รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ภายในยานยนต์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์แจ้งเตือนเมื่อเกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า โดยเป็นการจัดการที่เป็นการป้องกันเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งาน

ข้อกำหนดความปลอดภัยสำหรับไฟฟ้าแรงดันสูง

ในการออกแบบทางไฟฟ้า ข้อกำหนดความปลอดภัยสำหรับไฟฟ้าแรงดันสูงคือการรั่วไหลของกระแส โดยค่ากระแสรั่วไหลต้องไม่เกิน 10 mA DC หรือ 2 mA AC เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ ค่ากระแสดังกล่าว ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าความต้านทานทางไฟฟ้าระหว่างวงจรกับแชสซีของรถที่ค่าเท่ากับ 500 หรือ 100 Ω/V สำหรับวงจรกระแสสลับและกระแสตรงตามลำดับ ซึ่งหมายถึงการออกแบบการแบ่งวงจรออกจากแชสซีในเชิงกายภาพ หรือรวมถึงการติดตั้งฉนวนไฟฟ้าต้องมีผลให้ได้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดนี้ ดังรูปที่ 14 หมายเหตุว่าการแบ่งแยกทางไฟฟ้านี้วัดจากทั้งขั้วลบและขั้วบวกเทียบกับแชสซีของรถ



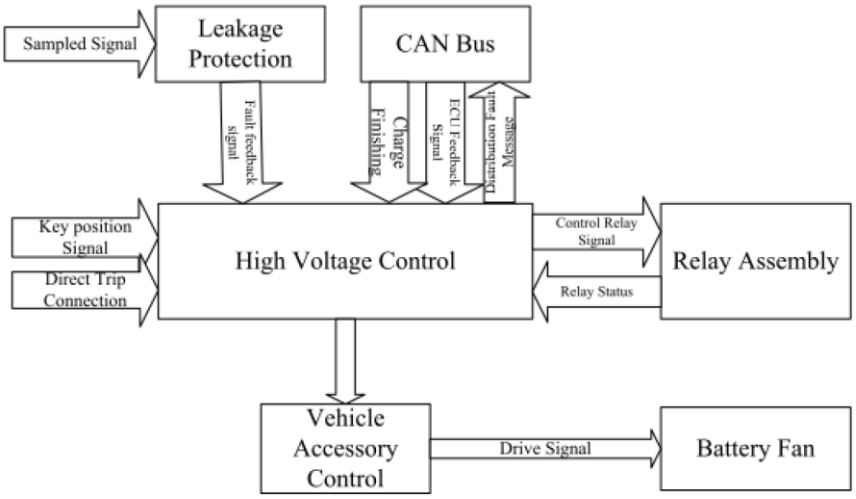
รูปที่ 14 ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าที่ต้องการเพื่อป้องกันไฟรั่ว [7]

(รูปซ้ายคือ option 1 – กรณีไฟฟ้ากระแสสลับ รูปขวาคือ option 2 – กระแสตรง)

รูปแบบการทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูงในฟังก์ชันหลักของยานยนต์ไฟฟ้า

ในที่นี้จะอธิบายกรณีศึกษาในการทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูงผ่านฟังก์ชันหลักของยานยนต์ไฟฟ้าตามรูปที่ 15 ฟังก์ชันแรกคือการทำงานส่วนของระบบ Power-on คือเสมือนการ“ติดเครื่อง”พร้อมออกตัว แต่ในกรณีนี้สำหรับรถไฟฟ้า การทำงานระบบ Power-on เป็นการไปเปิดสวิตช์ไฟฟ้าแรงสูง และสวิตช์การขับขี่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยระบบจะตรวจสอบการรั่วไหลของไฟฟ้าแรงสูงแยกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือส่วนของระบบจัดการแบตเตอรี่หรือ BMS ของชุดแบตเตอรี่จะแสดงการทำงานขึ้น จากนั้นเป็นขั้นตอนทดสอบความเป็นฉนวน ตามมาด้วยการเริ่มทำงานของ CAN (Controlled Area Network) เป็นการสื่อสารผ่าน Serial Data bus ของระบบสายไฟในรถยนต์ ซึ่งทำให้การสื่อสารระหว่างโมดูลต่างๆ ของระบบรถยนต์ เช่น ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน (Power train Control Module), ระบบเบรก ABS,

ระบบ SCS (Stability Control System)หรือ ESP (Electronic Stability Program) หรือระบบปรับสมดุลของชวงลางในสภาพถนนต่างๆ, ระบบถุงลมนิรภัยและ ระบบเกียร์อัตโนมัติ ซึ่งโมดูลต่างๆในระบบ CAN จะถูกจัดเป็น Node และมี Address ที่แน่นอน เมื่อในแต่ละ Node ได้สื่อสารกันก็จะรู้ว่ามาจาก Node ไหน ด้วยการส่ง Code ของ Node นั้นๆ ไปด้วย ทำให้แต่ละโมดูลหรือ Node รู้จักกัน จากนั้นชุดแบตเตอรี่จะเตรียมพร้อมรอรับคำสั่งต่อไป ถ้ามีไฟฟ้ารั่วตัวรีเลย์ (relays) จะทำหน้าที่ในการตัดวงจร สำหรับระบบไฟฟ้าแรงสูงส่วนที่สอง ที่ระบบต้องตรวจสอบการรั่วไหลคือส่วนของ HCU-Hybrid Control Unit ที่จะมีคำสั่งกลับมา สั่งให้ทดสอบตัวชุดแบตเตอรี่อีกครั้งในพารามิเตอร์สำคัญๆ เช่นระดับประจุของแบตเตอรี่ (Battery SOC), ความเสียหายทางฉนวนไฟฟ้า, การตรวจพบการลัดวงจร หากพารามิเตอร์ทั้งหมดผ่าน ก็จะสั่งต่อ precharge relay เพื่อทำหน้าที่จ่ายไฟ precharge ไปยังระบบวงจรไฟฟ้าแรงสูง วัตถุประสงค์หลักนี้ของการ precharge ระบบนี้คือการประจุไฟฟ้าแรงสูงเข้าระบบให้ได้ตามกำหนดความจุที่ตั้งค่าและกำหนดเวลาไว้ เมื่อเสร็จสิ้นการประจุ คำสั่งจะถูกส่งไประบบควบคุมแรงไฟฟ้าสูง หลังจากได้รับคำสั่งได้ตามกำหนด วงจรไฟฟ้าที่ประจุจะต่อระบบการทำงานทันที ซึ่งหมายถึงการบัสแรงดันสูง ตัวนำคำสั่งที่ส่งมาจากหลายๆระบบจะนำข้อมูลที่ได้ส่งไปยัง ระบบไฟฟ้าแรงสูงจะถูกเพิ่มข้อมูลไปยังตัวควบคุมมอเตอร์ กระบวนการ Power-on จึงจะเสร็จสมบูรณ์กำหนดไว้ และจะทำให้มีการไฟแจ้งเตือนขึ้น แต่ถ้าหากมีไม่มีการรั่วของระบบไฟฟ้า ตัวรีเลย์ (relays) ไฟฟ้าแรงสูงจะเริ่มทำงาน ค่าไฟฟ้าแรงสูงที่กำหนดไว้ก็จะแสดงผลบนหน้าหน้าปัด

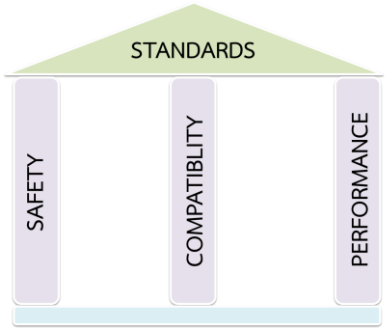


รูปที่ 15 แผนผังการทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูง [11]

2.4 มาตรฐานยานยนต์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูง

2.4.1 แนวคิดและความสำคัญของมาตรฐาน

ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ มาตรฐานเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์นั้น ไม่เพียงแต่ใช้งานได้ แต่ยังควรต้องให้สมรรถนะที่เพียงพอ รวมถึงให้ความปลอดภัยทั้งกับผู้ใช้และกับสาธารณะ และท้ายที่สุด ผลิตภัณฑ์นั้นต้องมีลักษณะที่สอดคล้องกับนโยบายและกฎหมายของประเทศนั้นๆ ด้วย รูปที่ 16 ระบุถึงประเด็นหลักทั้งสามที่รองรับความสำคัญของมาตรฐาน ได้แก่มาตรฐานเชิงความปลอดภัยที่จะครอบคลุมการปกป้องจากการถูกไฟฟ้าดูด รวมถึงการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic interference หรือ EMI) และการใช้งานยานยนต์ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ทารุณ มาตรฐานเชิงความเข้ากันได้ (Compatibility) ก็เป็นกุญแจสำคัญโดยเฉพาะกับหัวปลั๊กเชื่อมต่อของยานยนต์ไฟฟ้า รวมไปถึงรูปแบบการสื่อสาร และท้ายสุด มาตรฐานเชิงสมรรถนะก็ครอบคลุมทั้งในเชิงการจ่ายพลังงานและความทนทานของแบตเตอรี่ กับทั้งสามประเด็นนี้ ด้วยการกำหนดมาตรฐานให้ชัดแจ้ง มาตรฐานยังเป็นกลไกในการเปิดตลาดให้หลากหลายผู้ผลิตเข้าแข่งขันได้โดยยืนยันการทำงานร่วมกันได้ (Interoperability) แต่ก็ยังยอมให้แข่งกันตามสมรรถนะที่ทำได้



รูปที่ 16 รากฐานความสำคัญของมาตรฐาน

2.4.2 หมวดของมาตรฐานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า กล่าวได้ว่ามีหมวดของมาตรฐานสามหมวดใหญ่ๆที่จะช่วยแนะนำแนวทางการออกแบบและผลิต ได้แก่ หมวดด้านตัวยานยนต์ หมวดด้านอุปกรณ์ต่อเชื่อมและโครงสร้างพื้นฐาน และหมวดการให้ความรู้และระมัดระวัง โดยในการกำหนดมาตรฐาน มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับโลกและในระดับประเทศ ในระดับโลกแล้ว การกำหนดมาตรฐานสำหรับยานยนต์ขึ้นอยู่กับสองหน่วยงานหลัก คือ International Electrotechnical Commission (IEC) และ International Organization for Standardization (ISO) โดย ISO จะดูในภาพรวมของยานยนต์ ในขณะที่ IEC จะดูในเรื่องส่วนประกอบและอุปกรณ์โครงสร้างพื้นฐาน

(1) หมวดด้านตัวยานยนต์

VEHICLE ENERGY STORAGE SYSTEMS • Power Rating Method • Battery Safety • Battery Testing • Battery Storage, Packaging, Transport&Handling • Battery Recycling • Crash Testing	**VEHICLE COMPONENTS** • Internal High-voltage Cables, Wiring, Charging Accessories • Vehicle Diagnostics – Emissions • Audible Warning Systems **VEHICLE USER INTERFACE** • Graphical Symbols • Telematics – Driver Distraction • Fuel Efficiency, Emissions, and Labeling

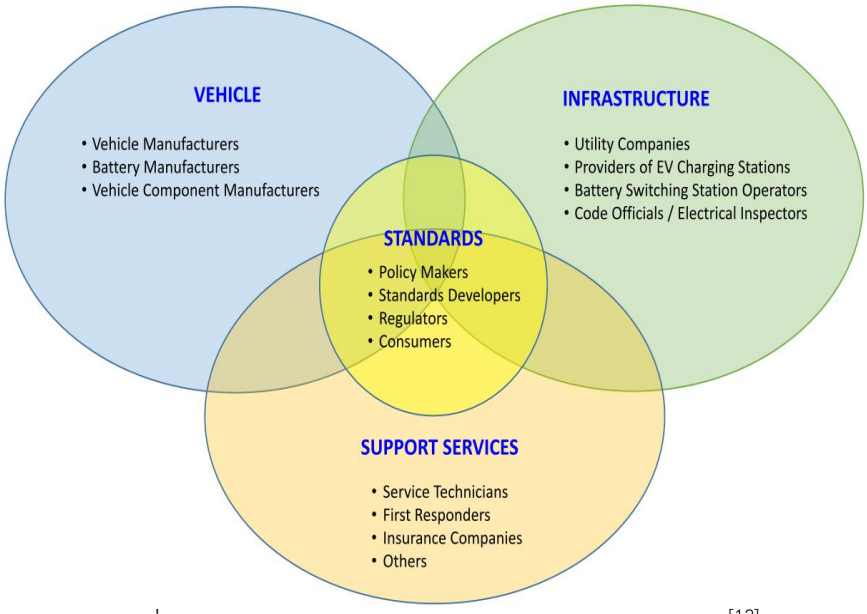
(2) หมวดด้านอุปกรณ์ต่อเชื่อมและโครงสร้างพื้นฐาน

INFRASTRUCTURE CHARGING SYSTEMS • Wireless Charging • Battery Swapping • Electric Vehicle Supply Equipment • Electromagnetic Compatibility • Vehicle as Power Source for Non-vehicle Applications • Use of Alternative Power Sources **INFRASTRUCTURE COMMUNICATIONS** • Communications Architecture for EV Charging • Communications Requirements for EV Charging Scenarios • Communication & Measurement of EV Energy Consumption • Cyber Security and Data Privacy • Telematics Smart Grid Communications	**INFRASTRUCTURE INSTALLATION** • Site Assessment / Power Capacity Assessment • EV Charging – Signage and Parking • Charging Station Permitting • Environmental and Use Conditions • Ventilation – Multiple Charging Vehicles • Physical and Security Protection • Accessibility for Persons with Disabilities • Cable Management • EV Supply Equipment Maintenance • Workplace Safety

(3) หมวดการให้ความรู้และระมัดระวัง

• EV Emergency Shut Off • Labeling for Emergency Situations • OEM Emergency Response Guides	• Battery Assessment and Safe Discharge • Emergency Evacuations Involving EVs • Workforce Training

โดยในการจำแนกหมวดของมาตรฐานเช่นนี้ สอดคล้องกับกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในอุตสาหกรรมและตลาดยานยนต์ไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 17 โดยในหมวดด้านตัวยานยนต์ (Vehicle) จะเกี่ยวข้องกับบริษัทผู้ผลิตและซัพพลายเชนที่เกี่ยวข้อง ในขณะที่หมวดด้านอุปกรณ์ต่อเชื่อมและโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) จะเน้นไปที่ความชำนาญแตกต่างไปกับฝั่งผู้ผลิตรถยนต์ คือเป็นด้านการส่งไฟฟ้า การกำหนดมาตรฐานต่างๆ ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ผลิตอุปกรณ์ต่อเชื่อมและผู้ให้บริการโครงสร้างพื้นฐาน ในขณะที่อุตสาหกรรมบริการที่สนับสนุน (Support services) ก็มีส่วนสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นบริษัทประกันภัย หน่วยกู้ภัยหรือช่างที่ทำการซ่อมบำรุง



รูปที่ 17 ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับมาตรฐานยานยนต์ไฟฟ้า [12]

2.4.3 ตัวอย่างมาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกา

สำหรับการกำหนดมาตรฐานในระดับประเทศนั้น อ้างอิงกับประเทศ(หรือภูมิภาค) ที่เป็นผู้ผลิตยานยนต์รายใหญ่ ซึ่งได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่นและจีน โดยแต่ละประเทศก็จะมีหน่วยงานที่แตกต่างหลากหลายที่จะดูมาตรฐานในด้านต่างๆ เพื่อเป็นตัวอย่าง ในที่นี้จะยกตัวอย่างการกำหนดมาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกา หน่วยงานกำหนดมาตรฐานด้านยานยนต์ไฟฟ้าสำหรับสหรัฐอเมริกาจะแยกส่วนระหว่างส่วนตัวรถ ส่วนการแจกจ่ายพลังงาน และส่วนโครงสร้างพื้นฐาน โดยในส่วนของตัวรถ มี Department of Transportation ร่วมกับ NHTSA ดูแลภาพรวมของการมีมาตรฐานความปลอดภัยเพื่อขึ้นทะเบียนได้ ในกรอบมาตรฐาน Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS ในขณะที่มี SAE หรือ The Society of Automotive Engineer ซึ่งเป็นสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นหน่วยงานกลางที่สนับสนุนรายงานทางเทคนิคที่ครอบคลุมทั้งข้อแนะนำเชิงปฏิบัติและ

มาตรฐาน จากข้อมูลมาตรฐานดังตารางที่แนบมา จะเห็นได้ว่ามีการอ้างอิงมาตรฐาน ISO อยู่บ้าง แต่มาตรฐาน SAE ที่ถูกกำหนดขึ้น ก็เป็นกรอบที่บริษัทผู้ผลิตยานยนต์ ถ้าจะนำเข้าไปขายในสหรัฐอเมริกา ก็ต้องดำเนินการให้ตอบมาตรฐาน SAE เหล่านี้ไปด้วย

(1) หมวดด้านตัวยานยนต์

SAE J-1715: Hybrid Electric Vehicle (HEV) and Electric Vehicle (EV) Terminology
SAE J-2344: Guidelines for Electric Vehicle Safety
SAE J-2464: Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage System (RESS) Safety and Abuse Testing
SAE J-2711: Recommended Practice for Measuring Fuel Economy and Emissions of Hybrid-Electric and Conventional Heavy Duty Vehicles
SAE J-2758: Determination of the Maximum Available Power from a Rechargeable Energy Storage System on a Hybrid Electric Vehicle
SAE J-2889: Measurement of Minimum Sound Levels of Passenger Vehicles
SAE J-2894 Part 1: Power Quality Requirements for Plug-In Vehicle Chargers - Requirements
SAE J-2894 Part 2: Power Quality Requirements for Plug-In Vehicle Chargers - Test Methods
SAE J-2907: Power Rating Method for Automotive Electric Propulsion Motor and Power Electronics Sub-System
SAE J-2908: Power Rating Method for Hybrid-Electric and Battery Electric Vehicle Propulsion
ISO/FDIS 6469-1:2009(E): "Electrically propelled road vehicles - Safety specification - Part 1: On-board rechargeable energy storage system (RESS)"
ISO/FDIS 6469-2:2009(E): "Electrically propelled road vehicles - Safety specification - Part 2: Vehicle Operational Safety Means and Protection against Failures"
ISO/CD 6469-3.3: "Electrically propelled road vehicles - Safety specification - Part 3: Protection of persons against electric shock"
ISO/WD 23274-2: "Hybrid-electric road vehicles - Exhaust emissions and fuel consumption measurements - Part 2: Externally chargeable vehicles"

(2) หมวดด้านอุปกรณ์ต่อเชื่อมและโครงสร้างพื้นฐาน

Batteries
SAE J-1797: Recommended Practice for Packaging of Electric Vehicle Battery Modules
SAE J-1798: Recommended Practice for Performance Rating of Electric Vehicle

Battery Modules
SAE J-2288: Life Cycle Testing of Electric Vehicle Battery Modules
SAE J-2289: Electric-Drive Battery Pack System: Functional Guidelines
SAE J-2380: Vibration Testing of Electric Vehicle Batteries
ISO/CD 12405-1: "Electrically propelled road vehicles - Test specification for lithium-ion traction battery packs and systems - Part 1 "High power applications"

Interface

SAE J-1772: SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler
SAE J-1773: SAE Electric Vehicle Inductively-Coupled Charging
SAE J-1850: Class B Data Communications Network Interface
SAE J-2293 Part 2: Energy Transfer System for EV Part 2: Communications

Requirements and Network Architecture

SAE J-2836 Part 1: Use Cases for Communications between Plug-In Vehicles and the Utility Grid
SAE J-2836 Part 2: Use Cases for Communications between Plug-In Vehicles and the Supply Equipment (EVSE)
SAE J-2836 part 3: Use Cases for Communications between Plug-In Vehicles and the Utility grid for Reverse Flow
SAE J-2847 Part 1: Communications between Plug-In Vehicles and the Utility Grid
SAE J-2847 Part 2: Communication between Plug-in Vehicles and the Supply Equipment (EVSE)
SAE J-2847 Part 3: Communication between Plug-in Vehicles and the Utility Grid for Reverse Power Flow

Infrastructure

SAE J-2293 Part 1: Energy Transfer System for EV Part 1: Functional Requirements and System Architecture
SAE J-2841: Utility Factor Definitions for Plug-In Hybrid Electric Vehicles Using 2001 U.S. DOT National Household Travel Survey Data
National Fire Protection Agency (NFPA) NFPA 70 National Electrical Code (NEC) Article 625: Electric Vehicle Charging System Equipment
National Fire Protection Agency (NFPA) NFPA 70 National Electrical Code (NEC) Article 626: Electrified Truck Parking Spaces

2.4.4 มาตรฐานในประเทศไทย

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 7 ด้าน [13] ซึ่งเป็นการอิงมาตรฐาน IEC และ ISO เป็นหลัก และแยกเป็นสามหมวดได้ดังระบุในหัวข้อ 2.4.2 เช่นกัน

	หมวดของมาตรฐาน	มาตรฐานชุดหลักที่อิง
1. ด้านสมรรถนะ	ด้านตัวยานยนต์	ISO 13064
2. ระบบสื่อสารของยานยนต์ไฟฟ้า		ISO 15118
3. แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	ด้านอุปกรณ์ต่อเชื่อมและโครงสร้างพื้นฐาน	IEC 61982/62660
4. หัวปลั๊กและเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า		IEC 62196
5. ระบบการประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (charging system)		IEC 61851
6. ความปลอดภัยในยานยนต์ไฟฟ้า	การให้ความรู้และระมัดระวัง	ISO 6469
7. ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)		CISPR

1. ด้านสมรรถนะ

1. ISO 13064-1:2012 Battery-electric mopeds and motorcycles --Performance -- Part 1: Reference energy consumption and range

2. ISO 13064-2:2012 Battery-electric mopeds and motorcycles --Performance -- Part 2: Road operating characteristics

3. ISO 8715:2001 Electric road vehicles -- Road operating characteristics

2. ระบบสื่อสารของยานยนต์ไฟฟ้า

1. ISO 15118-1:2013 Ed 1.0 Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface -- Part 1: General information and use-case definition

2. ISO 15118-2:2014 Ed 1.0 Road vehicles – Vehicle to Grid Communication Interface -- Part 2: Network and application protocol requirements

3. ISO 15118-3:2015 Ed 1.0 Road vehicles -- Vehicle to grid communication interface -- Part 3: Physical and data link layer requirements

3. แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

1. IEC 61982:2012 Secondary batteries (except lithium) for the propulsion of electric road vehicles - Performance and endurance tests

2. IEC 61982-4:2015 Secondary batteries (except lithium) for the propulsion of electric road vehicles - Part 4: Safety requirements of nickel-metal hydride cells and modules

3. IEC 62660 -1 Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 1: Performance testing

4. IEC 62660 - 2 Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 2: Reliability and abuse testing

5. IEC 62660 - 3 Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles - Part 3: Safety requirements

4. หัวปลั๊กและเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า

1. มอก. 2749 เล่ม 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหัวปลั๊ก เต้ารับ-จ่าย ตัวต่อยานยนต์ และเต้ารับยานยนต์ – การประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำของยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม 1 ข้อกำหนด (IEC 62196-1:2014)

2. มอก. 2749 เล่ม 2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหัวปลั๊ก เต้ารับ-จ่าย ตัวต่อยานยนต์ และเต้ารับยานยนต์ – การประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำของยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม 2 ข้อกำหนดความเข้ากันได้เชิงมิติ และการสับเปลี่ยนได้ สำหรับขาเสียบ และท่อหน้าสัมผัสของเต้าไฟฟ้ากระแสสลับ (IEC 62196-2:2016)

3. มอก. 2749 เล่ม 3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหัวปลั๊ก เต้ารับ-จ่าย ตัวต่อยานยนต์ และเต้ารับยานยนต์ – การประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำของยานยนต์ไฟฟ้า เล่ม 3 ข้อกำหนด ความเข้ากันได้เชิงมิติ และการสับเปลี่ยนได้ สำหรับขาเสียบ และท่อหน้าสัมผัสคู่เต้าต่อยานยนต์ไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ/กระแสตรง (IEC 62196-3:2014)

4. IEC/TS 62196-4 Ed 1.0 - Part 4: Dimensional compatibility and interchangeability requirements for a.c., d.c. and a.c./ d.c. vehicle couplers for Class II or Class III light electric vehicles (LEV)

5. ระบบการประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า

1. IEC 61851-1:2010 Ed 2.0 - Part 1: General requirements

2. IEC 61851-21:2001 Ed 1.0 - Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to an a.c./d.c. supply

3. IEC 61851-22:2001 Ed 1.0 - Part 22: AC electric vehicle charging station

4. IEC 61851-23:2014 Ed 1.0 - Part 23: DC electric vehicle charging station

5. IEC 61851-24:2014 Ed 1.0 - Part 24: Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging

6. IEC 61980-1:2015 Ed 1.0 Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems - Part 1: General requirements

6. ความปลอดภัยในยานยนต์ไฟฟ้า

1. มอก.2776-2560 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า – การเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก – ลักษณะที่ต้องการด้านความปลอดภัย (ISO 17409:2015)

2. ISO 13063:2012 Electrically propelled mopeds and motorcycles --Safety specifications

3. ISO 6469-1:2009 Electrically propelled road vehicles -- Safety specifications -- Part 1: On-board rechargeable energy storage system (RESS)

4. ISO 6469-2:2009 Electrically propelled road vehicles -- Safety specifications -- Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures

5. ISO 6469-3:2011 Electrically propelled road vehicles -- Safety specifications -- Part 3: Protection of persons against electric shock

6. ISO 6469-4:2015 Electrically propelled road vehicles -- Safety specifications -- Part 4: Post crash electrical safety

7. ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC)

1. CISPR 12:2007+AMD1:2009 CSV Ed 6.1 Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers

2. CISPR 25:2008 Ed 3.0 Vehicles, boats and internal combustion engines - Radio disturbance characteristics -Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers

2.5 การใช้งานและการบำรุงรักษายานยนต์ไฟฟ้า

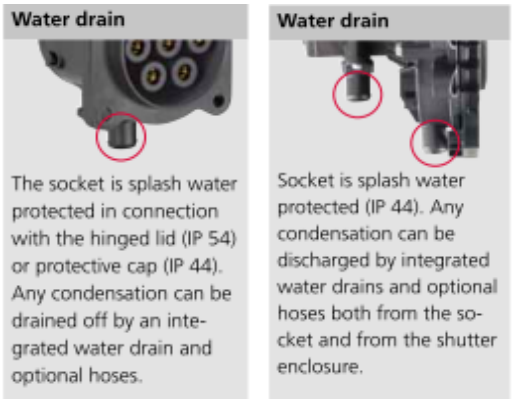
ยานยนต์ไฟฟ้าเป็นระบบที่มีหลักการทำงานจะแตกต่างจากรถยนต์ทั่วไป ผู้ใช้งานต้องทราบถึงระบบการทำงานภายในยานยนต์ไฟฟ้า รวมทั้งสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการซ่อมบำรุงเบื้องต้น ในหัวข้อนี้จะแนะนำแนวทางการปฏิบัติในกรณีการใช้งานที่มักจะมีความกังวลจากสาธารณะต่อการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า

2.5.1 การวิ่งผ่านน้ำท่วม

กรณีน้ำท่วมเป็นอีกสถานการณ์ที่ผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้ากังวล ทั้งนี้เพราะบางครั้งก็คาดเดาได้ยากว่าจะพบสถานการณ์น้ำท่วมเมื่อใดและจะขับผ่านไปได้หรือไม่ โดยไม่เป็นอันตรายกับทั้งผู้ขับขี่เองและกับตัวรถ โดยการออกแบบและผลิตแล้ว เป็นที่ทราบกันว่าระบบขับเคลื่อน โดยเฉพาะมอเตอร์ จะถูกออกแบบมาให้กันน้ำกันฝุ่น และในการใช้งานจริง พบว่าระบบการทำงานของรถยนต์ไม่พบปัญหาในการขับขี่ต่อเนื่องผ่านน้ำ (อย่างช้าๆ) ดังนั้นข้อแนะนำโดยทั่วไป คือยานยนต์ไฟฟ้าสามารถขับผ่านน้ำท่วมได้เหมือนรถแบบดั้งเดิม คือวิ่งผ่านน้ำท่วมระดับครึ่งล้ออย่างช้าๆ แต่ก็มีประสบการณ์จริงของผู้ใช้งานรถยนต์ Tesla Model S ที่ใช้ขับตอนน้ำท่วมสูงราว 60-70 ซม. ก็ขับผ่านได้อย่างไม่เป็นปัญหา แต่เมื่อขับผ่านบริเวณน้ำท่วมสูงมาแล้ว ผู้ขับขี่พบว่าหน้าจอแจ้งเตือนไฟหยุดทำงานชั่วคราว แม้ว่ารถจะยังคงขับเคลื่อนไปได้ต่อเนื่อง และมีข้อแนะนำว่า เมื่อผ่านบริเวณน้ำท่วม ผู้ขับขี่ควรมีเวลาตากอุปกรณ์ให้แห้ง ระบบจะกลับมาใช้งานได้เหมือนเดิม

2.5.2 การประจุไฟขณะฝนตก

กับเทคโนโลยีใหม่เช่นยานยนต์ไฟฟ้ายังไม่เป็นที่คุ้นเคย และอีกทั้งระบบการทำงานเกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าที่สูง ส่งผลให้การประจุไฟขณะฝนตกจึงเป็นกรณีที่หลายคนกังวล แต่โดยการออกแบบแล้วโดยมาตรฐานแท่นประจุถูกออกแบบมาให้ทำงานได้ทั้งกับฝนและหิมะโดยไม่ต้องมีระบบป้องกันหรือที่ครอบเป็นพิเศษ ตามรูปที่ 18 จะสังเกตได้ว่าที่หัวประจุ Socket มีการออกแบบให้มีช่องระบายน้ำในขณะที่แป้นประจุที่ตัวรถ ก็จะมีช่องระบายน้ำเช่นเดียวกัน โดยออกแบบเพื่อรองรับกรณีฝนตกน้ำขังที่เต้ารับ น้ำจึงไม่ขังอยู่ในบริเวณที่หัวประจุ โดยหัวประจุจะยึดประกบเข้ากับแป้นประจุ ตามรูปที่ 18 ด้านซ้าย นอกจากนั้นแล้ว ในการเสียบเข้ายึดประกบกัน ไฟฟ้าจะยังไม่จ่ายในทันที เมื่อยึดประกบกัน ซีลกันน้ำมี IP Ratingที่ 54 : ป้องกันฝุ่นและน้ำสาดจากรอบด้าน จะป้องกันน้ำฝนที่จะเข้าไปโดนขั้วไฟฟ้าเพิ่มเติม อุปกรณ์สำคัญคือ Ground Fault Interrupter (GFI) โดยอุปกรณ์นี้จะคอยตรวจจับกระแสไฟฟ้าในวงจรในการไหลไป หากการไหลกลับมีการสูญเสียไปของกระแสไฟฟ้า GFI จะตัดกำลังไฟฟ้าสู่วงจรนั้นทันที ต่อเมื่อไม่พบการรั่วไหลของกระแส การจ่ายไฟฟ้าเพื่อประจุจึงเกิดขึ้นได้



รูปที่ 18 ช่องระบายน้ำออกที่ Socket [28]

ในส่วนของความหมายของ IP Rating (Ingress Protection) ที่กล่าวมาจากข้างต้นนั้น จะหมายถึง ดัชนีที่แสดงถึงความสามารถการป้องกัน สิ่งแปลกปลอม ที่จะเข้าไปในอุปกรณ์นั้นๆได้ แบ่งเป็นของแข็งและของเหลว ของแข็งเช่น ฝุ่น ผง เศษไม้ เศษเหล็ก และวัสดุต่างๆที่จะเล็ดลอดเข้าไปในอุปกรณ์ ของเหลวก็เช่น น้ำ ฝน ละอองฝน ตัวเลขที่กำกับอยู่ด้านหลัง IP นั้น มีสองตัว คือ ตัวแรกจะบอกถึงระดับความสามารถที่จะป้องกันของแข็ง ส่วนตัวที่สองจะบอกถึงระดับความสามารถป้องกันของเหลว ส่วนระดับความสามารถในการป้องกันต่างๆนั้น แสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความหมายของตัวเลขที่กำกับอยู่ด้านหลัง IP

รหัส	รหัสตัวแรก - แสดงความสามารถในการป้องกันวัตถุ(ของแข็ง)เล็ดลอดเข้าภายใน	รหัสที่สอง – แสดงความสามารถในการป้องกันของเหลวเข้าไปทำให้เสียหาย
0	ไม่มีการป้องกัน	ไม่มีการป้องกัน
1	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 50 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำที่ตกลงมาในแนวดิ่งได้
2	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 12 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำที่ตกลงมาในแนวดิ่งและในแนวทำมุม 15 องศากับแนวดิ่งได้
3	สามารถป้องกันของแข็งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 2.5 มม. ที่มากระทบไม่ให้ผ่านลอดเข้าไปข้างในได้	สามารถป้องกันน้ำฝนที่ตกลงมาในแนวทำมุม 60 องศากับแนวดิ่งได้
4	สามารถป้องกันฝุ่นได้	สามารถป้องกันหยดน้ำ หรือน้ำที่สาดเข้ามาจากทิศทางได้
5	สามารถป้องกันฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์	สามารถป้องกันน้ำที่ฉีดมากระทบในทุกทิศทางได้
6	ไม่ระบุข้อมูล	สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำฉีดอย่างรุนแรงเข้าทุกทิศทางได้
7	ไม่ระบุข้อมูล	สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมได้
8	ไม่ระบุข้อมูล	สามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำท่วมได้อย่างถาวร

2.5.3 การให้ยืมรถ

สำหรับการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน หากผู้ไม่ใช่เจ้าของจะมาขับยานยนต์ไฟฟ้า ในกรณีขับแบบชั่วคราว เช่น การฝากจอดรถ (valet parking) ในลักษณะนี้ความระมัดระวังก็เป็นสิ่งจำเป็น กรณีสำคัญคือผู้ที่ไม่คุ้นเคยไม่ทราบถึงข้อควรระวัง หรือข้อมูลพิเศษเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าค่อนข้างจะเงียบกว่ารถยนต์ทั่วไป ทำให้ผู้ที่ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าและผู้ที่เดินทางบนท้องถนนอาจจะไม่ทราบถึงข้อควรระวังนี้ได้ สิ่งที่ตามมาคืออุบัติเหตุจากการถูกเฉี่ยวหรือชนจากยานยนต์ไฟฟ้าได้ ดังตารางที่ 5 แสดงตารางเปรียบเทียบระดับความดังของเสียงของยานยนต์ไฟฟ้ากับรถยนต์ทั่วไป ซึ่งจะทำให้ผู้ที่ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าตระหนักถึงวิธีการใช้งานให้รถระมัดระวังเป็นพิเศษ

จากปัญหาดังกล่าวส่งผลให้ทางหน่วยงานกำกับดูแลความปลอดภัยบนทางหลวงของสหรัฐอเมริกา หรือ National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ได้กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของระดับเสียงของยานยนต์ไฟฟ้าและรถยนต์ไฮบริดขึ้น โดยในสถานการณ์ที่ไม่ว่ารถจะเดินหน้าหรือถอยหลังจะต้องมีเสียงดังขึ้น ในขณะที่ความเร็วยังไม่เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง และต้องมีเสียงดังพอที่จะแจ้งเตือนคนเดินเท้าหรือนักปั่นจักรยานที่อยู่บริเวณนั้นได้ยิน[15] โดยกำหนดให้ต้องใช้เสียงเตือนภายนอกรถ หรือ Acoustic Vehicle Alerting Systems (AVAS) ซึ่งระบบจะส่งเสียงเตือนให้ผู้ที่อยู่ภายนอกรถรับรู้ว่ามีรถกำลังเคลื่อนตัวเข้ามาในระยะใกล้[16] โดยจะบังคับใช้ภายในปี 2019

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบระดับความดังของเสียงของยานยนต์ไฟฟ้ากับรถยนต์ทั่วไป [14]

ระดับความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	ระดับเสียง (เดซิเบลเอ) ของยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก (รุ่น GEM)	ระดับเสียง (เดซิเบลเอ) ของรถกระบะ Ford F-150
8	5	5.7
16	5.5	13.2
24	10.9	15.8
32	15.7	19.7

2.5.4 การซ่อมบำรุง

ในด้านของการซ่อมบำรุงนั้น ระบบ High Voltage interlock เป็นอีกหนึ่งระบบที่สร้างขึ้นมาเพื่อเป็นการป้องกันไฟฟ้าช็อตเพื่อความปลอดภัยในกรณีที่ทางช่างเข้ามาซ่อมแซมแบตเตอรี่ ส่วนระบบ Manual Service Disconnect จะป้องกันคนหรือช่างมาสัมผัสกับไฟฟ้าที่อาจจะช็อตได้ ในที่นี้ทางช่างซ่อมต้องผ่านการอบรมการทำงานเกี่ยวกับหลักการทำงานของแหล่งจ่ายพลังงานและไฟฟ้าแรงดันสูงแบบพิเศษที่ผ่านการยอมรับจากทางผู้ผลิต เนื่องจากระบบภายในของรถยนต์แต่ละยี่ห้อมีความแตกต่างกัน ดังนั้นหากเกิดอุบัติเหตุขึ้น ควรนำยานยนต์ไฟฟ้าไปซ่อมที่ศูนย์บริการเท่านั้น

ข้อควรระวังในการซ่อมบำรุงประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

1. การซ่อมบำรุงที่ยังไม่เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าแรงสูง ต้องมีการตรวจสภาพสายไฟแรงดันสูงก่อนเป็นอันดับแรก และหากมั่นใจว่ายังมีไฟฟ้าแรงดันสูงทำงานอยู่ และควรปิดสวิทช์ไฟแรงดันสูงทันทีก่อนดำเนินการซ่อมบำรุง

2. การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าแรงสูง ข้อแนะนำแรกคือให้อ้างอิงถึงคู่มือหรือข้อแนะนำจากผู้ผลิตก่อนเป็นอันดับแรก ในเรื่องการตัดวงจรไฟฟ้าแรงสูงให้มีปลอดภัย โดยไม่มีเหตุการณ์ที่เกิดจากวงจรไฟฟ้าโดยไม่ตั้งใจได้ในระหว่างซ่อมบำรุง

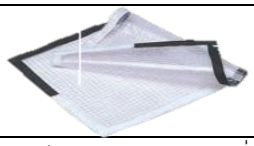
นอกจากนั้นถึงแม้ว่าจะทราบกันดีว่าแบตเตอรี่มีทั้งอันตรายจากแรงดันสูง และอันตรายของมอเตอร์ที่เกิดจากแรงบิดสูง รวมถึงชุด Inverter ก็มีศักยภาพก่อให้เกิดอันตรายได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะ Inverter จะมีตัวเก็บประจุขนาดใหญ่มากเพื่อกรองความไม่ราบเรียบของกระแสไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน ข้อควรระวังก็คือ ถึงแม้รถจะหยุดหรือปิดสวิตช์แล้ว แต่ชิ้นส่วนใน Inverter ยังสามารถมีแรงดันไฟฟ้าที่สูงได้อย่างเป็นอันตราย

ในการซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าแรงสูง การมีอุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสกับไฟฟ้าแรงสูงมีความสำคัญ ผู้ผลิตจะมีข้อแนะนำสำหรับอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE) ตามตารางที่ 6 ระบุอุปกรณ์ความปลอดภัยที่ต้องสวมใส่ขณะที่มีการทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูง ยังมีข้อแนะนำให้ติดตั้งป้ายเตือนให้ทราบถึงการทำงานกับระบบไฟฟ้าแรงสูงในบริเวณนั้นด้วย

ตารางที่ 6 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่ใช้กรณีเข้าช่วยเหลือเมื่อเกิดอุบัติเหตุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า[17]

อุปกรณ์ความปลอดภัย	รูปภาพ	มาตรฐาน
Face Shield : กระบังหน้า ใช้สวมใส่ระหว่างการทำงานกับไฟฟ้าแรงสูง โดยไม่ต้องสวมหมวกนิรภัย สามารถป้องกันประกายไฟที่เกิดจากลัดวงจรได้ ถึง 1000V ** ห้ามใช้สำหรับงานเชื่อม		EN 166/EN 170
Undergloves : ถุงมือผ้า (ใส่ชั้นที่1) ใช้สวมใส่เพื่อเป็นฉนวน ทำให้ใช้งานได้สะดวกขณะปฏิบัติงาน		-

ตารางที่ 6 (ต่อ) อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่ใช้กรณีเข้าช่วยเหลือเมื่อเกิดอุบัติเหตุสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า[17]

อุปกรณ์ความปลอดภัย	รูปภาพ	มาตรฐาน
Overgloves : ถุงมือป้องกันไฟฟ้า (ใส่ชั้นที่ 2) ใช้สวมใส่ขณะปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้าแรงสูง สามารถป้องกันไม่ให้ถุงมือกันไฟฟ้าภายในฉีกขาด และป้องกันประกายไฟจากการลัดวงจรได้ด้วย		EN 388/ IEC388/EN420
Insulating Latex Gloves : ถุงมือยาง ใช้สวมใส่ก่อนสวมใส่ถุงมือหนังก่อนปฏิบัติงาน สามารถป้องกันไฟฟ้าแรงสูง ตั้งแต่ ≤1000V AC และ ≤1500V DC		EN60903/EN60903
Insulating mats : เสื่อฉนวนกันไฟ ใช้ปูก่อนปฏิบัติกับไฟฟ้า สามารถป้องกันไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า สูงถึงกว่า 26 kV		EN61111/IEC61111
Bag for insulating mats : ถุงใส่แผ่นรองกันไฟฟ้าแรงสูง		-
Insulating flexible cover : ฉนวนไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น		-

* IEC (International Electrotechnical Commission) : เป็นองค์กรระหว่างประเทศที่ร่างมาตรฐานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

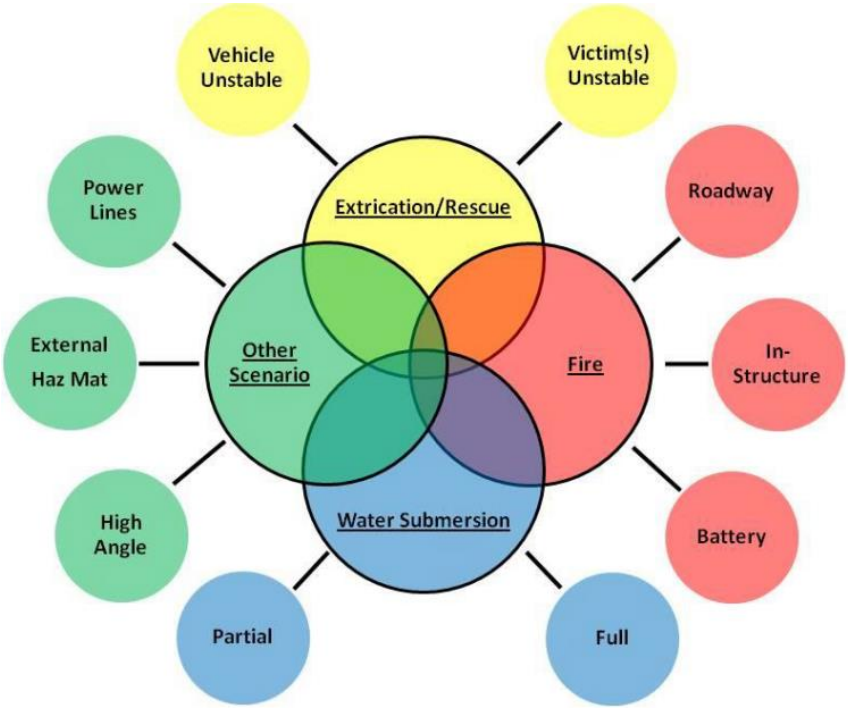
* EN (European Standard) : เป็นมาตรฐานทางไฟฟาของยุโรป

2.6 แนวทางการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

สำหรับการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้านั้น นอกจากผู้ใช้งานแล้วทางทีมช่างซ่อมบำรุง และทีมหน่วยกู้ภัย ก็ต้องทราบและตระหนักถึงแนวปฏิบัติในด้านความปลอดภัยเช่นกัน

2.6.1 สถานการณ์ต่างๆ ของเหตุร้าย

สำหรับพื้นฐานการฝึกฝนเพื่อพร้อมกับการประสบเหตุ จะแบ่งสถานการณ์ต่างๆ ออกเป็น 4 สถานการณ์ ได้แก่ น้ำท่วม ไฟไหม้ การกู้ภัยและนำผู้โดยสารออกจากซากรถและสถานการณ์อื่นๆหลังเกิดเหตุ ซึ่งเมื่อพบเหตุเหล่านี้แล้ว หน่วยกู้ภัยก็จะวิเคราะห์จำแนกกรณีของเหตุร้ายได้ดังรูปที่ 19 ซึ่งจะนำไปสู่การจัดการสถานการณ์ที่แตกต่างกันไป ตามที่ทีมหน่วยกู้ภัยได้เรียนรู้และฝึกฝนกันมาแล้ว



รูปที่ 19 การจำแนกกรณีของเหตุร้ายสำหรับหน่วยกู้ภัย [17]

2.6.2 ขั้นตอนการระงับเหตุยานยนต์ไฟฟ้า

ข้อปฏิบัติของผู้ขับขี่

ในขั้นแรกของการเกิดเหตุ ผู้ขับขี่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ในเบื้องต้นเช่นกัน นอกจากจะต้องรอหน่วยกู้ภัยในกรณีที่เหตุไม่เกิดความเสียหายมากนักต่อตัวรถ โดยหากเกิดการชน ในเบื้องต้น ให้ลดกระจกลง และปิดระบบไฟฟ้า และออกไปพื้นที่ที่ปลอดภัย ในขณะที่หากเกิดไฟไหม้ ในเบื้องต้น ให้รีบออกจากรถทันที และหลีกเลี่ยงสิ่งที่จะทำให้เกิดประกายไฟ และสุดท้าย หากเกิดน้ำท่วมหรือวิ่งไปแล้วพบน้ำท่วมขังในพื้นที่สัญจร ในกรณีนี้ ในเบื้องต้น ให้ออกจากรถยนต์ และแจ้งเจ้าหน้าที่ทันที

ข้อปฏิบัติของหน่วยกู้ภัย

ไม่เพียงแต่สำหรับผู้ใช้ยานยนต์เท่านั้น ที่ต้องมีความรู้ต่อการปฏิบัติในกรณีเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน หน่วยกู้ภัยต้องมีความรู้เฉพาะในกรณียานยนต์ไฟฟ้าเช่นกัน เช่นหากในกรณีรถยนต์ทั่วไป การปฏิบัติเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขณะเข้ากู้ภัย ก็คือมุ่งไปที่การป้องกันอันตรายที่จะมีได้จากแหล่งสะสมพลังงาน ซึ่งในกรณีนี้คือถังน้ำมัน หรือถังแก๊ส ซึ่งทั้งนี้ความคุ้นเคยกับรูปแบบ และลักษณะที่มองเห็นหรือสัมผัสกลิ่นได้ หน่วยกู้ภัยจึงมีทักษะในการจัดการได้อยู่แล้ว หากแต่ในกรณียานยนต์ไฟฟ้า แหล่งสะสมพลังงาน

คือแบตเตอรี่ในกรณีนี้ ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยการมองเห็นหรือสัมผัสกลิ่น แนวปฏิบัติจึงต้องมีความชัดเจนและต้องการการอบรมความรู้และทักษะที่แตกต่างไปจากเดิม

เมื่อรถถูกชนและระบบแบตเตอรี่เสียหาย

- ถ้าแบตเตอรี่เสียหายอาจปล่อยสารที่เป็นอันตรายและอาจติดไฟได้
- ผู้ช่วยเหลือต้องใส่ชุดกันไฟและหน้ากากกันสารพิษ และมีการตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนใช้งานทุกครั้ง
- ถ้าพบของเหลวไหลออกมาหรือมีควัน ให้เปิดหน้าต่างระบายอากาศ และเคลื่อนย้ายคนเจ็บออกทันที และทำการปฐมพยาบาลเบื้องต้นทันที ก่อนนำส่งโรงพยาบาล
- ห้ามตัดสายของแบตเตอรี่สีส้ม และใช้เครื่องมือทำลายตัวแบตเตอรี่ และดำเนินการตรวจสอบก่อนปฏิบัติงานทุกครั้ง
- ติดต่อบริษัทรถยนต์เพื่อแก้ไขเรื่องแบตเตอรี่รั่ว

เมื่อรถถูกชนและเกิดไฟไหม้

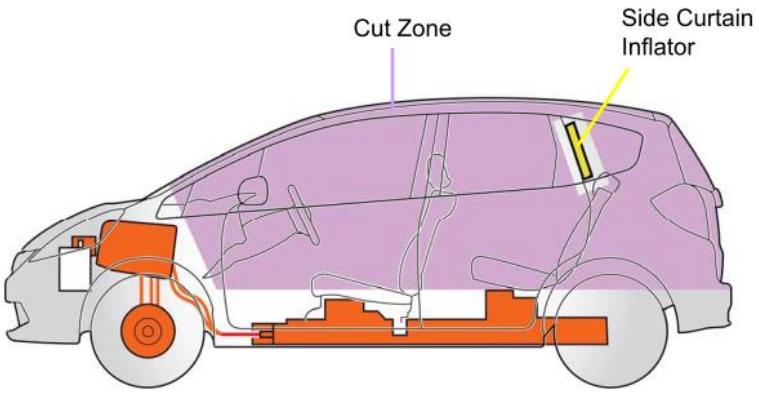
- ใช้น้ำหรือสารดับเพลิงแบบที่ใช้สำหรับรถยนต์ทั่วไปในการดับ
- การใช้น้ำดับไฟไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับเจ้าหน้าที่แต่อย่างใด แต่ควรใช้น้ำดับในปริมาณที่มาก เพราะหากใช้เพียงเล็กน้อยอาจจะเกิดก๊าซพิษได้
- ถ้าแบตเตอรี่ติดไฟ จะต้องใช้สารดับเพลิงจำนวนมากดับ และอาจใช้ระยะเวลานาน
- ห้ามถอดแบตเตอรี่ หรือสัมผัสกับแบตเตอรี่โดยตรง ควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายทุกครั้ง

เมื่อรถจมน้ำ

- ระบบถูกออกแบบมาให้หยุดทำงานเมื่อรถจมน้ำ
- ระบบจะตรวจจับเมื่อพบไฟฟ้ารั่วลัดวงจร แบตเตอรี่จะหยุดจ่ายไฟ
- ถ้ามีคนติดอยู่ด้านใน ให้ทุบกระจกด้านข้างแล้วทำการช่วยเหลือ
- หลีกเลี่ยงการถอดแบตเตอรี่ หรือสัมผัสกับแบตเตอรี่โดยตรง
- เมื่อนำรถขึ้นมาแล้ว ควรรอให้น้ำไหลออกให้หมดก่อนแล้วค่อยทำการตัดระบบไฟ
- อาจมีฟองเกิดขึ้นที่ตัวแบตเตอรี่ ไม่ก่อให้เกิดไฟช็อตแต่อย่างใด อย่างไรก็ตามควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายทุกครั้งที่มีการสัมผัส

การนำผู้โดยสารออกจากซากรถ

ในกรณีต้องนำผู้โดยสารออกจากตัวรถ ก่อนทำการตัดถ่างให้เช็คระบบถุงลมนิรภัย แบตเตอรี่ และสายเคเบิล และหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับสายเคเบิลเป็นส่วนหนึ่งของไฟฟ้าแรงสูง จากรูปที่ 20 แสดงกรณีที่ต้องตัดตัวรถโดยใช้อุปกรณ์ตัดถ่างในการช่วยชีวิตผู้โดยสารภายในรถ กรณีเช่นนี้ หน่วยกู้ภัยต้องแน่ใจว่าการตัดถ่างจะต้องอยู่ภายใน Cut Zone ที่ได้กำหนดไว้ตามรูป เพื่อความปลอดภัย โดยการอบรมและติดตั้งข้อมูลแก่หน่วยกู้ภัยมีความสำคัญมาก กรณีนี้เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่ง ที่ชี้ให้เห็นว่าระบบสารสนเทศมีความจำเป็นในความฉุกเฉินของการกู้ภัย ระบบข้อมูลนี้ครอบคลุมถึงการระบุรุ่น ประเภทของรถยนต์ ตำแหน่งของจุดอันตรายต่างๆ รวมไปถึงขั้นตอนและข้อควรระวังในการจัดการกับสถานการณ์ ดังเช่นการเข้าถึงได้ของฐานข้อมูลดังรูปที่ 21 ทำให้หน่วยกู้ภัยสามารถทราบถึงตำแหน่งต่างๆ ของระบบไฟฟ้าแรงสูงได้แม่นยำ รวดเร็ว ด้วยข้อมูลที่ทันสมัยที่สุด ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้โดยสารเองของสาธารณะและยังรวมไปถึงความปลอดภัยของพนักงานกู้ภัยเองด้วยเป็นสำคัญ ยิ่งไปกว่านั้น รถบางรุ่นอาจประกอบด้วยเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง อาจใช้เครื่องมือตัดถ่างไม่ได้ เนื่องจากเครื่องมือตัดถ่าง ไม่ได้ออกมาเพื่อใช้กับเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง ทำให้มีคำแนะนำเพิ่มเติมให้ทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีการตรวจสอบความสามารถของอุปกรณ์ตัดถ่างว่าสามารถใช้งานกับเหล็กที่มีความแข็งแรงสูง เพื่อรองรับในการใช้งาน หากเกิดเหตุการณ์จริง



รูปที่ 20 ตำแหน่งของ Cut Zone ของยานยนต์ไฟฟ้า (ตัวอย่างในยานยนต์ไฟฟ้า รุ่น Jazz EV) [2]

รูปที่ 21 สถานการณ์การนำฐานข้อมูลรถยนต์มาใช้ในการกู้ภัย [32]

2.6.3 การจัดการซากรถในกรณีเกิดอุบัติเหตุ

ในขั้นแรก หน่วยกู้ภัยต้องตรวจสอบความเสียหายที่อาจเกิดได้ต่อสายไฟแรงสูง ซึ่งสังเกตได้จากปลอกสีส้มของสายไฟ จากนั้นสังเกตไปสู่ชุดแบตเตอรี่ว่ายังอยู่ในสภาพดีหรือไม่ ในกรณีรถเสียและดูสภาพของแบตเตอรี่และสายไฟปลอดภัย ให้แยกระบบไฟฟ้าแรงสูงออกโดยใช้อุปกรณ์ตัดไฟที่หาตำแหน่งได้จากคู่มือของผู้ผลิต

ในช่วงเวลาการลากจูงเคลื่อนย้าย ให้ระวังถึงกุญแจอัจฉริยะที่อาจทำให้รถเคลื่อนตัวได้ระหว่างการเตรียมเคลื่อนย้าย ข้อแนะนำคือควรเก็บกุญแจให้ปลอดภัยและห่างจากตัวรถ รวมทั้งตัดวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน 12V ออกด้วย ในการลากจูง ให้ปรึกษาคู่มือของผู้ผลิตเสียก่อนว่าทำได้หรือไม่ ทั้งนี้เพราะในบางกรณี การลากจูงหมายถึงการหมุนของล้อที่จะส่งผลให้เกิดแรงดันกลับจากมอเตอร์ได้ที่ระดับสูงจนเป็นอันตรายแก่ผู้ที่ไม่ได้ระวังได้

2.6.4 การจัดการซากรถในกรณีหมดอายุการใช้งาน

ในปัจจุบัน สำหรับประเด็นการกำจัดซากรถในกรณีหมดอายุการใช้งาน ข้อพิจารณาสำคัญจะอยู่ที่แบตเตอรี่ ทั้งนี้เพราะเป็นชิ้นส่วนที่มีมูลค่าสูง และมีส่วนประกอบของโลหะที่มีมูลราคาและมีผลต่อสุขภาพของสาธารณะได้ ในขณะที่ชิ้นส่วนอื่นของรถไฟฟ้า ถ้าไม่ได้ต่างไปจากรถแบบดั้งเดิม ก็ประกอบด้วยวัสดุหรือชิ้นส่วนที่ใช้การจัดการซากได้เหมือนรถแบบดั้งเดิม เช่นมอเตอร์ไฟฟ้า สำหรับแบตเตอรี่แล้ว (ดังรูปที่ 22) หากมีความจุที่เสื่อมลงเหลือความจุน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ก็จะถือว่าหมดอายุจากการใช้งานในยานยนต์ แนวโน้มปัจจุบันคือการนำกลับมาใช้ใหม่หรือ Reuse โดยนำไปใช้เก็บ

พลังงานแบบติดตั้งอยู่กับที่ เช่นรองรับระบบผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะยังให้สมรรถนะที่เพียงพอและนับเป็นต้นทุนที่ถูกกว่าการซื้อแบตเตอรี่เฉพาะมาใหม่ หลังจากการนำกลับมาใช้ใหม่แล้ว จะเป็นการ Refabricate คือแยกชุดออกเป็นโมดูล เพื่อจะใช้งานในรูปแบบที่หลากหลายได้กว่าเดิม ทั้งในขนาดและความจุ เมื่อเป็นเช่นนี้แล้ว ก็สามารถมีการ Resell คือขายหน่วยย่อยให้ผู้ที่ต้องการแบตเตอรี่ความจุเพียงพอ ด้วยราคาถูก นำไปให้ได้ หากเกินขั้นตอนนี้ ก็จะเป็นการรีไซเคิล เพื่อเอาวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ มาใช้ประโยชน์

รูปที่ 22 การจัดการซากแบตเตอรี่จากการใช้งานในยานยนต์ [33]

บทที่ 3 เทคโนโลยีและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องต่ออุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

3.1 เทคโนโลยีของการประจุไฟฟ้า

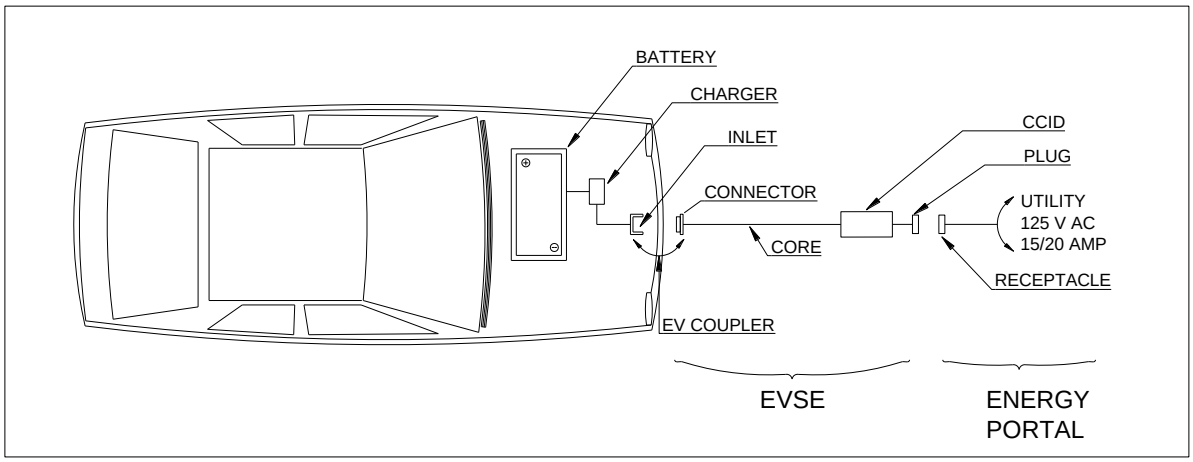
เทคโนโลยีการประจุไฟฟ้าแบ่งตามระดับพลังงานที่ใช้ในการประจุ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

3.1.1 การประจุไฟฟ้า แบบปกติ

การประจุไฟฟ้า แบบปกติ (Normal Charging) แบ่งเป็น 2 ระดับ

การประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1 (AC level 1 charging) เป็นการประจุในแบบมาตรฐานสำหรับประจุในที่อยู่อาศัย เป็นระดับที่ 1 จากสามระดับที่ระบุโดยมาตรฐาน SAE J1772 ซึ่งจะใช้ไฟกระแสสลับขนาด 120 V AC (VAC) เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด[19] การประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1 จะกำหนดระดับของกำลังไฟฟ้าเทียบเท่ากับการใช้พลังงานในเครื่องปิ้งขนมปัง[14] การประจุไฟฟ้า ระดับ 1 นั้นเป็นรูปแบบที่มีการใช้กันมากที่สุด ใช้เวลาในการประจุประมาณ 20 ชั่วโมง ซึ่งการประจุ 1 ชั่วโมงสามารถเทียบเท่ากับการใช้ขับขี่ได้ ประมาณ 6.5 กิโลเมตร[14] ตามรูปที่ 23 พบว่าการประจุไฟฟ้า ระดับที่ 1 มีการติดตั้ง Charge Circuit Interrupting Device หรือ CCID ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยลดความเสี่ยงจากการถูกไฟฟ้าดูด โดยอุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ป้องกันการกระชากของไฟที่อาจจะเกิดขึ้นขณะทำการประจุไฟฟ้า

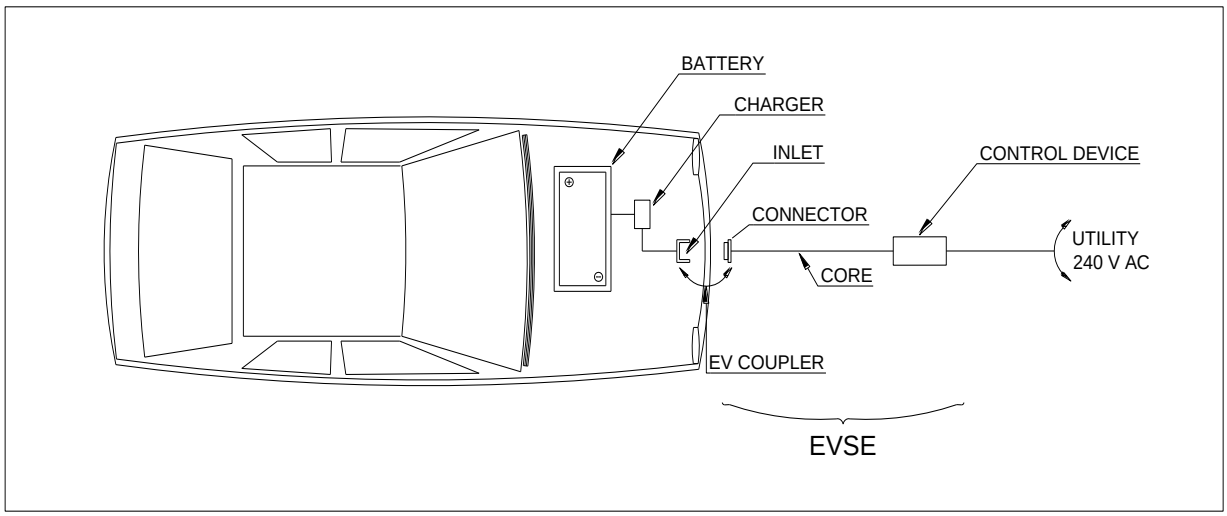
เต้ารับ (Receptacle) ที่ใช้งานมี 2 ขนาด คือขนาด 15 และขนาด 20 แอมป์ โดยที่เต้ารับขนาด 15 แอมป์จะใช้เวลาในการประจุไฟฟ้า ช้ากว่า เต้ารับขนาด 20 แอมป์ 2 เท่า[19] ตัวอย่างสายประจุไฟฟ้าสำหรับ level 1 เป็นดังรูปที่ 24 ซึ่งมีขนาดกะทัดรัดพกพาไปได้ในตัวรถ



รูปที่ 23 ตัวอย่างการประจุไฟฟ้า แบบ AC level 1 charging [19]

รูปที่ 24 ตัวอย่างสายประจุสำหรับ Level 1[14]

การประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2 (AC Level 2 Charging) การประจุในระดับที่ 2 นี้ จ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 80 แอมป์ AC (วงจรรับกระแสไฟขนาด 100 แอมป์)[19] โดยจะมีชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์โดยผ่านอุปกรณ์ on-board charger ที่จะแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เพื่อจ่ายเข้าไปในแบตเตอรี่ [14] การประจุนี้จะระบุถึงการใช้ไฟฟ้า แบบ 1 เฟส (single phase) ด้วยระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 220-240 V ด้วยกำลังไฟฟ้าเทียบเท่าเครื่องอบเสื้อผ้า ตัวเชื่อมต่อนี้ที่ผ่านการรับรองจาก J1772 ตามรูปที่ 25 แสดงถึงตัวอย่างการประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2



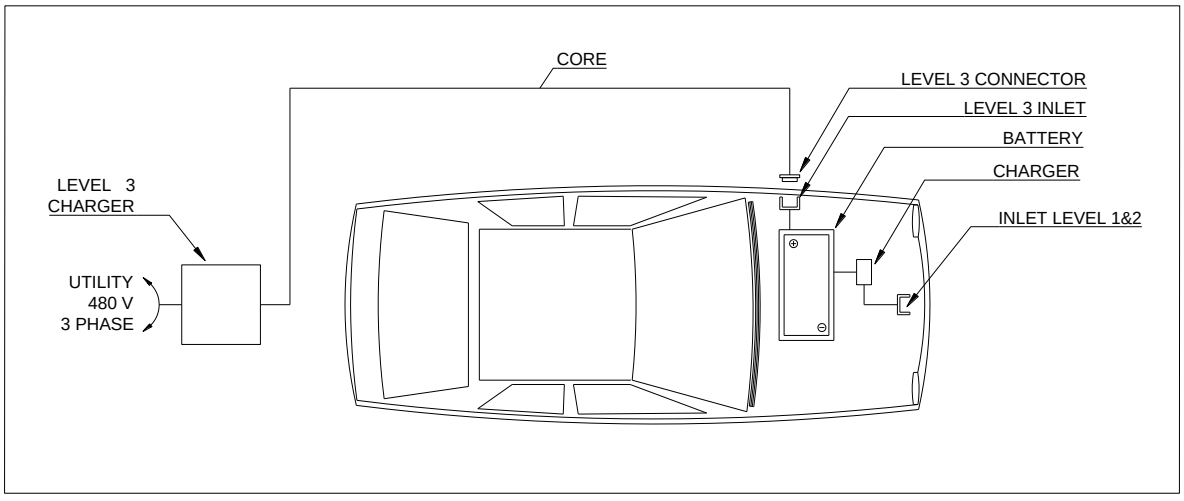
รูปที่ 25 ตัวอย่างการประจุไฟฟ้า แบบ AC level 2 charging[19]

ตามมาตรฐานทั่วไปของการประจุไฟฟ้า ในระดับ 2 จะใช้เวลาในการประจุประมาณ 7 ชั่วโมงและการประจุ 1 ชั่วโมงสามารถใช้ขับขี่ได้ประมาณ 24 กิโลเมตร[14] หากใช้เครื่องประจุขนาด 3.3 กิโลวัตต์ หรือประมาณ 48 กิโลเมตรของการประจุสำหรับเครื่องประจุขนาด 6.6 กิโลวัตต์ ส่วนรูปที่ 26 จะเป็นตัวอย่างเครื่องประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2 หากติดตั้งต้องดำเนินการจากช่างไฟฟ้าที่มีความชำนาญเฉพาะด้านวงจรไฟฟ้าเท่านั้น[19]

รูปที่ 26 ตัวอย่างเครื่องประจุไฟฟ้า ระดับที่ 2 [20]

3.1.2 การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว

การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charging) หรือ DC Fast Charging (DCFC) เทียบได้กับการประจุไฟฟ้าระดับที่ 3 ตามมาตรฐาน SAE กรณีนี้ช่วยให้อัตราการประจุไฟฟ้า เร็วขึ้นประมาณ 75% - 80% และใช้เวลาในการประจุเพียง 20 - 30 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ด้วย แต่ก็ด้วยค่ากระแสที่สูง จึงเป็นอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า แบบ Off board (ต่างกับแบบ On board ในสองกรณีที่ผ่านมา) ทั้งนี้เพราะด้วยค่ากระแสที่สูง และจะมีความร้อนเกิดขึ้นจากการสูญเสียพลังงานทางไฟฟ้าในปริมาณมาก อุปกรณ์จึงต้องเป็นแบบ Off board อุปกรณ์ประจุไฟฟ้า แบบ DC Fast charging ทำงานกับระบบไฟฟ้า แบบ 3 เฟส ขนาด 208 V หรือ 480 V[19] ตามรูปที่ 27 แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างในการประจุไฟฟ้าแบบ DC charging เป็นการแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง เพื่อประจุแบตเตอรี่โดยตรง



รูปที่ 27 ตัวอย่างการประจุไฟฟ้า แบบ DC Fast charging[19]

3.1.3 การประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย

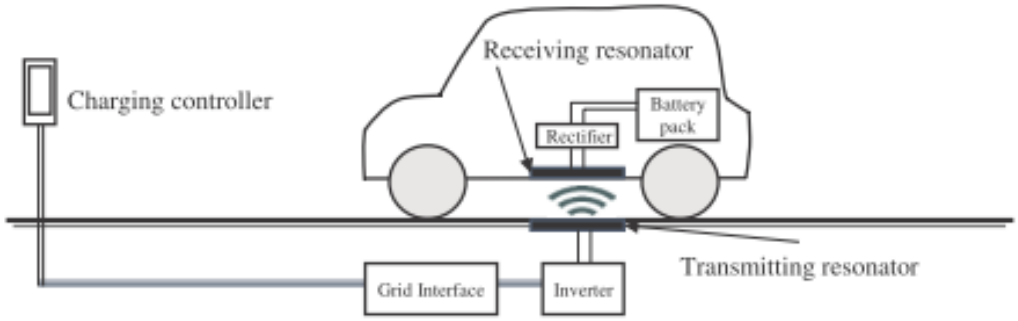
การประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย (Wireless Charging) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ช่วยสำหรับประจุไฟฟ้าแก่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยไม่ต้องใช้สายไฟหรือสายเคเบิลในการเชื่อมต่อ เพื่อความสะดวกและลดปัญหาในการเสียบสายประจุเข้า-ออก ซึ่งรูปแบบการประจุไฟฟ้า นี้ใช้หลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้า โดยมีเพียงแผ่นประจุที่ติดตั้งบนพื้นพร้อมสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อรถยนต์ขับเข้ามาจอดบนแผ่นประจุที่มีสนามแม่เหล็ก จึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น และกระแสไฟฟ้านั้นจะส่งไปยังแบตเตอรี่ที่อยู่บนรถยนต์ เพื่อทำการประจุไฟฟ้า

การทำงานของการประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย

ระบบการส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายนี้ แสดงให้เห็นถึงการทำงานของประจุตามรูปที่ 28 การทำงานเริ่มโดยเมื่อนำรถเข้ามาจอดถึงพื้นที่สำหรับประจุไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ไฟฟ้าความถี่สูงจะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำให้เป็นพลังงานไฟฟ้าแบบกระแสสลับซึ่งมีความถี่สูง สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเรโซแนนซ์ (Receiving resonator) ที่ถูกสร้างขึ้นจากเครื่องส่งสัญญาณ (Transmitting resonator) จะส่งพลังงานไปที่ตัวสำรองพลังงาน (Rectifier) และพลังงานนั้นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการประจุเก็บไว้ที่ชุดแบตเตอรี่ ส่วนตัวแปลงพลังงาน (Invertor) ที่ใช้สำหรับการส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. ตัวแปลงไฟฟ้าทางอ้อม จะทำการแปลงจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงและแปลงเป็นกระแสสลับอีกครั้ง (AC-DC-AC)

2. ตัวแปลงพลังงานโดยตรง เป็นการแปลงพลังงานโดยตรงจากคลื่นความถี่ต่ำไปเป็นความถี่สูงในระยะเดียว โดยระบบประจุไฟฟ้า นี้ สามารถใช้งานได้ในพื้นที่เขตเมือง เช่น ลานจอดรถและป้ายรถเมล์

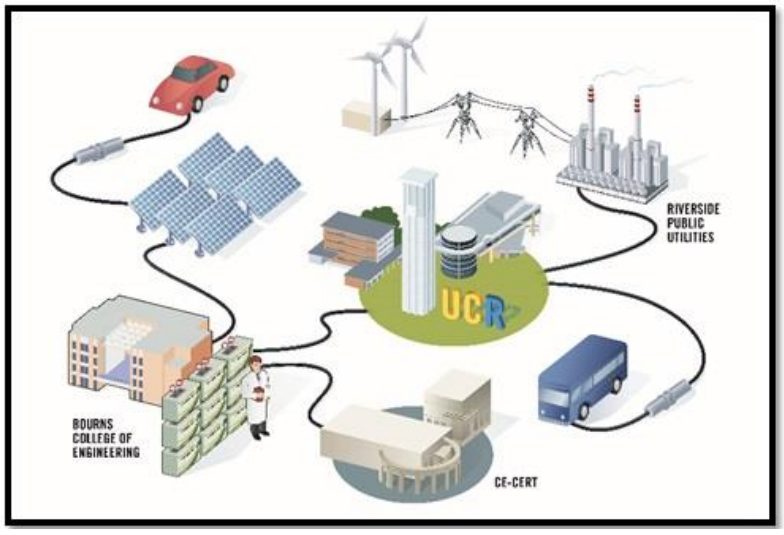


รูปที่ 28 การทำงานของการประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย[21]

ทางด้านผู้ผลิตอุปกรณ์สำหรับยานยนต์ไฟฟ้านี้ ไม่ว่าจะเป็น Delphi, Magna, Maxwell และ Panasonic ต่างกำลังพัฒนาระบบประจุไฟฟ้าแบบไร้สายนี้ ถึงแม้ว่าการออกแบบระบบการประจุแบบไร้สายนี้จะถูกพัฒนาขึ้นจากความซับซ้อนจากระบบการประจุแบบดั้งเดิม ที่อาจมีอันตรายจากเดินสะดุดสายประจุ หัวปลั๊กมีราคาสูงและเสียหายได้ตามระยะเวลา หรือกระแสไฟฟ้ารั่วที่อาจเกิดขึ้นจากเสียบประจุ ปัญหาเหล่านี้จะถูกตัดออกไปเมื่อใช้ระบบการประจุแบบไร้สาย แต่ประเด็นปัญหาที่สำคัญตามมา คือ ระยะเวลาในการประจุที่ช้า ทำให้ความสะดวกสบายลดลง

3.1.4 การทำงานแบบ Vehicle-2-Grid Charging (V2G) และแบบ Vehicle-2-Home (V2H)

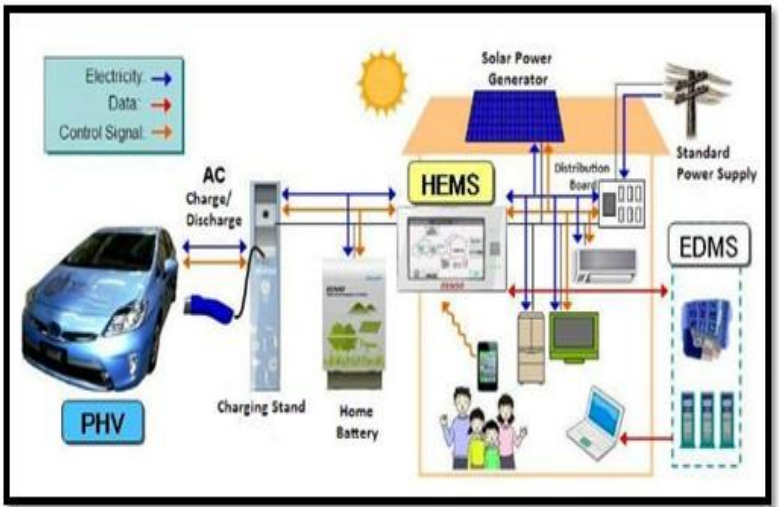
ในการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากยานยนต์ไฟฟ้าจะได้เก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่เพื่อขับเคลื่อนแล้ว หากในขณะหนึ่งๆ มีพลังงานเหลือ ยานยนต์ไฟฟ้าก็สามารถทำงานผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หากระบบได้ทำการเชื่อมต่อเพื่อให้กระแสไฟฟ้านี้ไหลจากรถยนต์ผ่านไปยังโครงข่ายไฟฟ้า การทำงานรูปแบบนี้เรียกว่า ระบบพลังงานแบบ"ยานพาหนะไปยังโครงข่ายไฟฟ้า" หรือ Vehicle to Grid (V2G) โดยระบบ V2G นี้ จะควบคุมยานพาหนะให้จ่ายหรือรับกระแสไฟฟ้าได้ผ่านระบบสายส่งไฟฟ้า โดยจะจัดส่งตามความต้องการของระบบพลังงาน[22] -เช่นดังรูปที่ 29 ที่แสดงให้เห็นโหมดการทำงานของระบบ Vehicle-2-Grid Charging (V2G) ที่แหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าสามารถต่อเชื่อมกับระบบไฟฟ้าในลักษณะที่มีส่วนร่วมในการขายไฟฟ้าหรือการให้กำลังการผลิตไฟฟ้าสำรองและบริการเสริมอื่นๆ เช่นรองรับโซลาร์ฟาร์ม[23]



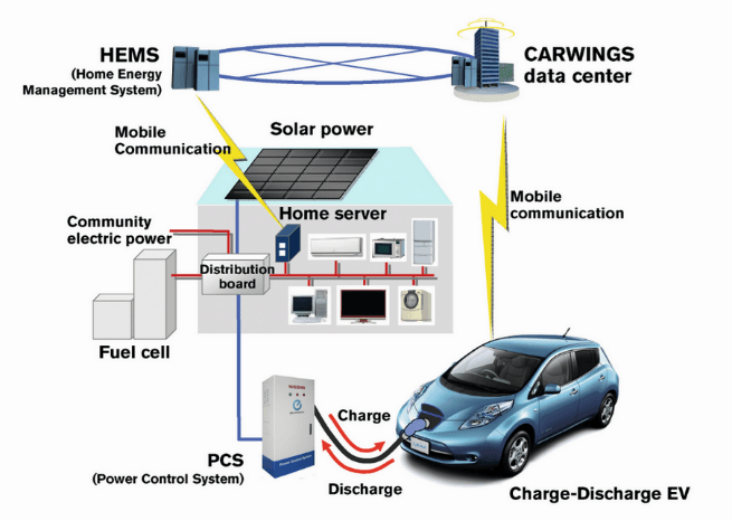
รูปที่ 29 รูปแบบการทำงานสำหรับในโหมดที่เชื่อมต่อกริด (V2G) [23]

ส่วนระบบพลังงานแบบ Vehicle-2-Home Charging หรือ V2H เป็นการนำพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองในเวลาที่ขาดแคลนไฟฟ้าหรือไฟดับสำหรับ

บ้านพักอาศัย ตามรูปที่ 30 แสดงให้เห็นการที่กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้าเสริมกำลังไฟฟ้าจากกริดและแผงโซลาร์บนหลังคา โดยการควบคุมให้ส่วนประกอบต่างๆ ทำงานประสานกันได้ ทำงานผ่าน HEMS (Home Energy Management System) ความสำคัญของระบบ V2G และ V2H นั้นมีความแตกต่างกัน คือ V2G จะเน้นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าหรือออกกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ส่วน V2H จะเน้นให้ยานยนต์ไฟฟ้าทำงานร่วมกับระบบพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ หรือจากแผงโซล่าร์ โดยมีแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งเก็บกักพลังงานหลัก ตามรูปที่ 31 สิ่งที่สำคัญตามมาคือชุดคำสั่ง (Software) และระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่า Power Control System (PCS) จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันไป ระบบนี้มีความสามารถในการตัดสินใจว่าการใช้ไฟฟ้าในบ้าน ควรใช้จากแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าหรือระบบสายส่งจะทำการประเมินและตัดสินใจว่าการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอร์รี่ของยานยนต์ไฟฟ้านั้นนำมาจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือระบบสายส่ง[24] นอกจากนี้ระบบ V2G และ V2H ยังช่วยให้ระบบพลังงานในท้องถิ่นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการนำกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้าเสริมระบบแหล่งพลังงานทดแทนในท้องถิ่น เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาและกังหันลม



รูปที่ 30 รูปแบบการทำงานโหมด Stand-alone หรือยานพาหนะไฟฟ้าสู่บ้านเรือน V2H [23]

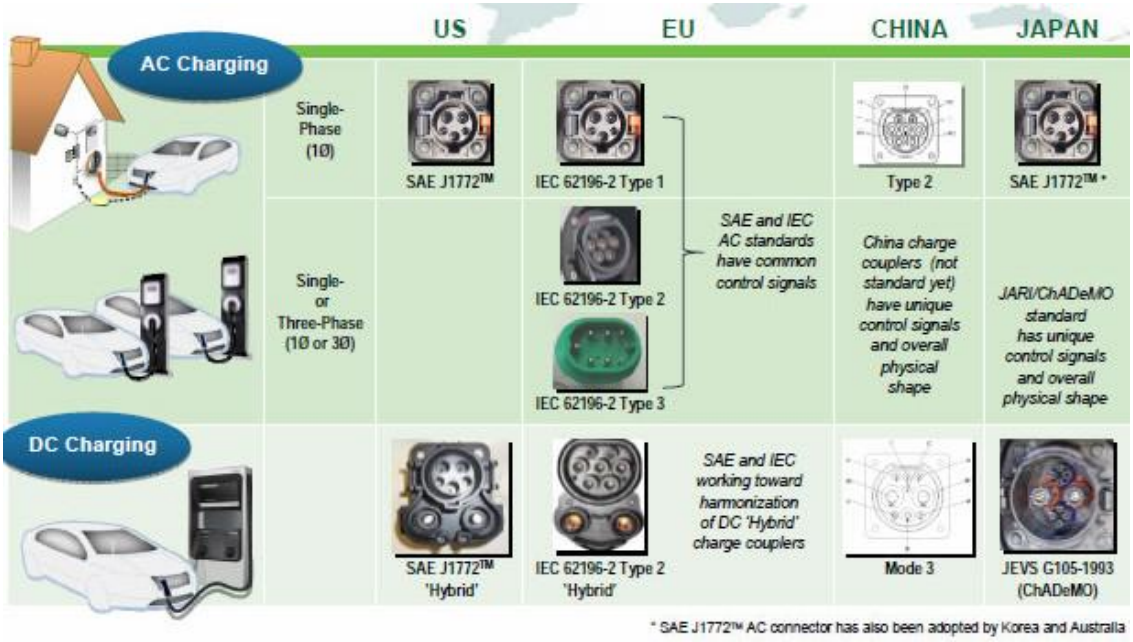


รูปที่ 31 ระบบขนส่งไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าโดยระบบ V2G และ V2H[23]

3.2 เทคโนโลยีและมาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

เมื่อสถานีประจุไฟฟ้ามีการขยายตัวเพิ่มขึ้น สิ่งที่ต้องพิจารณาตามมา คือ อุปกรณ์ประจุไฟฟ้า หรือ Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อจากระบบไฟฟ้าไปยังรถยนต์ และตามด้วยแนวทางในการติดตั้งสถานีประจุไฟฟ้า โดยสถานตำแหน่งที่ทำการติดตั้งต้องเป็นสถานที่ที่ประชาชนสามารถเข้าถึงและใช้งานได้ เช่น ที่อยู่อาศัย(บ้านเรือน), ที่จอดรถสาธารณะหรือศูนย์การค้า

ทางด้านมาตรฐานของสถานีประจุไฟฟ้า ในต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็น ยุโรป อเมริกา ญี่ปุ่น และจีน มีการกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดตามการใช้งาน เนื่องจากแต่ละประเทศมีมีความแตกต่างด้านระดับแรงดันของไฟฟ้า, รูปแบบของเครื่องมือและอุปกรณ์จึงมีส่วนทำให้มาตรฐานและการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆของยานยนต์ไฟฟ้าแตกต่างกันไป โดยตามรูปที่ 32 ค่ายหลักๆ ของมาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าประกอบด้วยสหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และจีน และจะมีลักษณะของอุปกรณ์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละประเภทของการประจุไฟฟ้า ทางผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าต้องพิจารณาถึงมาตรฐานและระดับแรงดันไฟฟ้าในการประจุ เพื่อนำมากำหนดการใช้งานของเต้าเสียบและรูปแบบของสถานีประจุไฟฟ้าก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์นั้นออกจำหน่ายในประเทศนั้นๆ ดังนั้นทางผู้ผลิตควรนำเรื่องดังกล่าวมาพิจารณาเพื่อจะนำมาพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้พร้อมใช้งาน



รูปที่ 32 มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า[7]

3.2.1 เทคโนโลยีของสหภาพยุโรป : มาตรฐาน IEC 62196

มาตรฐานสากลยานยนต์ไฟฟ้าในยุโรป IEC62196 เป็นมาตรฐานที่ควบคุมในส่วนของหัวปลั๊ก(และเต้ารับ), เพลารถยนต์, ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเต้ารับการประจุ มาตรฐานนี้โดยเบื้องต้นกล่าวถึง โหมดการประจุ การกำหนดค่าการเชื่อมต่อและข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจงซึ่งรวมถึงในส่วนของความปลอดภัย ของทั้งยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า (EVSE) เช่น ไฟจะไม่เข้าระบบ (ประจุไม่เข้า) หากการต่อสายยังไม่เรียบร้อยและขณะประจุ รถจะต้องไม่มีการเคลื่อนที่

มาตรฐาน IEC 62196 ประกอบด้วย

1. ข้อกำหนดทั่วไป (IEC-62196-1)
2. การทำงานร่วมกันและการสับเปลี่ยนทดแทน มีข้อกำหนดสำหรับ a.c. pin และ contact-tube accessories (IEC-62196-2)
3. การทำงานร่วมกันและการสับเปลี่ยนทดแทน มีข้อกำหนดสำหรับ a.c./d.c. pin และ contact-tube vehicle couplers (IEC-62196-3)

มาตรฐานอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Charging modes) ที่ใช้ในสภาพยุโรป

1. SAE J1772 (Northern America) ชื่อหัวปลั๊ก Yazaki connector
2. VDE-AR-E 2623-2-2 (Europe) ชื่อหัวปลั๊ก Mennekes connector
3. JEVS G105-1993 (Japan) ชื่อหัวปลั๊ก CHAdeMO
4. Scame connector (Italy)

3.2.2 เทคโนโลยีของสหรัฐอเมริกา : มาตรฐาน SAE J1772

SAE J1772 (IEC ประเภท 1) เป็นมาตรฐานของอเมริกาเหนือ สำหรับหัวปลั๊กไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าดูแลโดย SAE International ที่ชื่ออย่างเป็นทางการว่า "SAE Surface Vehicle Recommended Practice J1772, SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler" ซึ่งตามรูปที่ 33 เป็นมาตรฐานที่ครอบคลุมในเรื่องของข้อมูลทั่วไปด้านกายภาพ,ด้านไฟฟ้า,การสื่อสารและข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพสำหรับระบบประจุไฟฟ้า และอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า รวมไปถึงข้อกำหนดลักษณะของระบบการประจุยานยนต์ไฟฟ้า ข้อกำหนดในตัวฟังก์ชันและส่วนประกอบของหัวปลั๊กไฟฟ้า

SAE International — SAE Charging Configurations and Ratings Terminology

AC level 1 (SAE J1772™)	PEV includes on-board charger	*DC Level 1	EVSE includes an off-board charger
	120V, 1.4 kW @ 12 amp 120V, 1.9 kW @ 16 amp		200-450 V DC, up to 36 kW (80 A)
	Est. charge time:		Est. charge time (20 kW off-board charger):
	PHEV: 7hrs (SOC* - 0% to full)		PHEV: 22 min. (SOC* - 0% to 80%)
	BEV: 17hrs (SOC – 20% to full)		BEV: 1.2 hrs. (SOC – 20% to 100%)
AC level 2 (SAE J1772™)	PEV includes on-board charger (see below for different types)	*DC Level 2	EVSE includes an off-board charger
	240 V, up to 19.2 kW (80 A)		200-450 V DC, up to 90 kW (200 A)
	Est. charge time for 3.3 kW on-board charger		Est. charge time (45 kW off-board charger):
	PEV: 3 hrs (SOC* - 0% to full)		PHEV: 10 min. (SOC* - 0% to 80%)
	BEV: 7 hrs (SOC – 20% to full)		BEV: 20 min. (SOC – 20% to 80%)
	Est. charge time for 7 kW on-board charger		
	PEV: 1.5 hrs (SOC* - 0% to full)	*DC Level 3 (TBD)	EVSE includes an off-board charger
	BEV: 3.5 hrs (SOC – 20% to full)		200-600V DC (proposed) up to 240 kW (400 A)
	Est. charge time for 20 kW on-board charger		Est. charge time (45 kW off-board charger):
	PEV: 22 min. (SOC* - 0% to full)		BEV (only): <10 min. (SOC* - 0% to 80%)
	BEV: 1.2 hrs (SOC – 20% to full)		
*AC Level 3 (TBD)	> 20 kW, single phase and 3 phase		

*Not finalized
Voltages are nominal configuration voltages, not coupler ratings
Rated Power is at nominal configuration operating voltage and coupler rated current
Ideal charge times assume 90% efficient chargers, 150W to 12V loads and no balancing of Traction Battery Pack

Notes:
1) BEV (25 kWh usable pack size) charging always starts at 20% SOC, faster than a 1C rate (total capacity charged in one hour) will also stop at 80% SOC instead of 100%
2) PHEV can start from 0% SOC since the hybrid mode is available.

Developed by the SAE Hybrid Committee ver. 031611

รูปที่ 33 ตารางระดับการประจุของมาตรฐาน SAE[25]

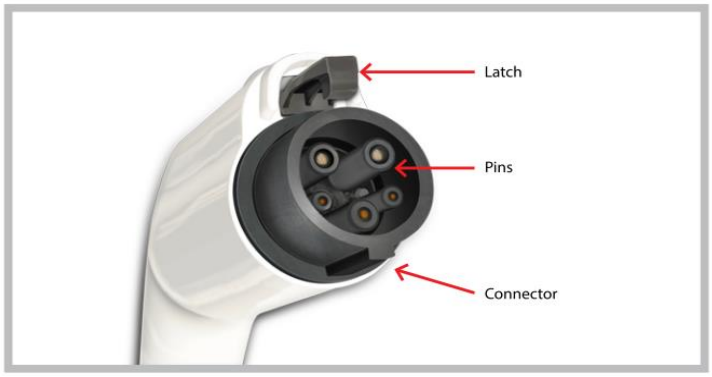
มาตรฐาน J1772 ของเต้ารับและหัวปลั๊ก

ในส่วนมาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า ในมาตรฐานนี้จะพูดถึงการเชื่อมต่อจากสถานีประจุไฟฟ้า จากโครงข่ายไฟฟ้าและบ้านอยู่อาศัย เน้นความปลอดภัยสูงขณะประจุมีการตั้งค่าในการประจุอยู่ที่ 80A ใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 240 V โดยจะแบ่งการใช้งานออกเป็น 2 ระดับคือ

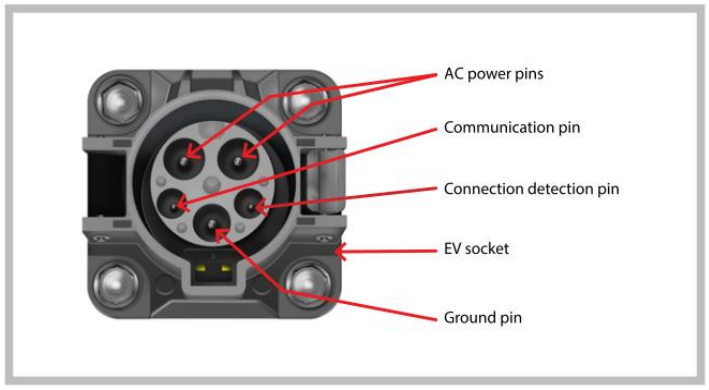
ระดับที่ 1 : 20 VAC charging (ค่ากระแสน้อยกว่า 16A)

ระดับที่ 2 : 240 VAC charging (ค่ากระแสน้อยกว่า 32A)

ในปัจจุบันพบว่าการใช้งานอยู่ในการประจุไฟฟ้า ระดับ 1 แต่การใช้งานจริงน้อยกว่า 30 A และมาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าใช้ไปทั่วโลกนิยมใช้ รูปที่ 34 และ 35 แสดงหัวปลั๊กและเต้ารับตามมาตรฐาน J1772 ตามลำดับ



รูปที่ 34 รายละเอียดของ J1772 connector [26]

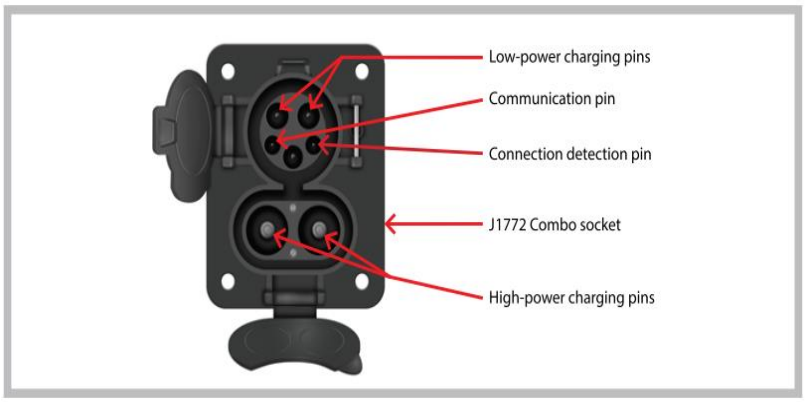


รูปที่ 35 รายละเอียดของ J1772 EV Socket[26]

มาตรฐาน J1772 Combo (AC/DC)

ข้อกำหนดสำหรับ J1772 Combo ตามรูปที่ 36-37 มีความซับซ้อนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น สายเคเบิลที่ใช้ในการจ่ายพลังงานที่ใช้ DC ให้กับยานยนต์ไฟฟ้า และต้องมีฉนวนไฟฟ้าสำหรับการแยกแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำสุด 1.25 MΩ นอกจากนี้การโปรโตคอลการสื่อสารสถานีและการประจุของยานยนต์ไฟฟ้า และต้องได้รับได้รับการปกป้องการลัดวงจรและการปล่อยไฟฟ้าสถิตที่อาจจะเกิดขึ้นได้ มาตรฐาน J 1772 Combo socket ที่ทำงานร่วมกันได้ดังรูปที่ 38 ที่แสดงถึงปลั๊กมาตรฐาน J1772 (AC) และ ปลั๊กแบบ Combo (AC/DC) ว่าเสียบเข้าได้กับเต้ารับที่กำหนด

รูปที่ 36 รายละเอียดของ J1772 Combo connector[26]

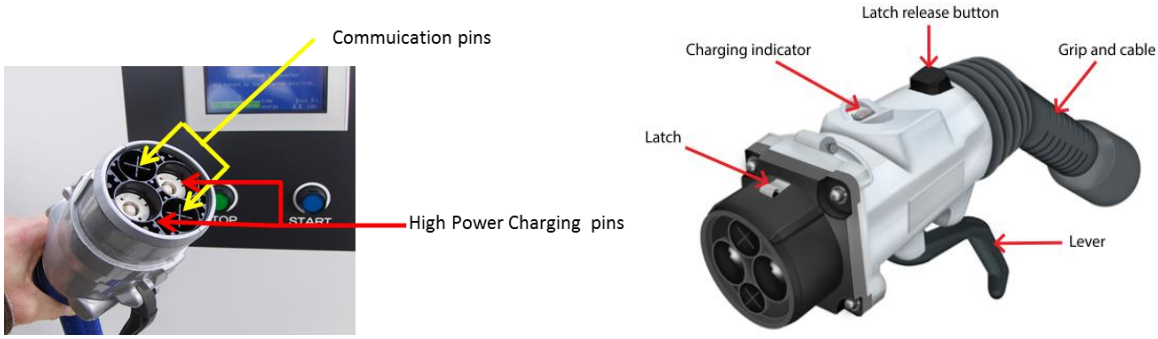


รูปที่ 37 รายละเอียดของ J1772 Combo EV connector[26]

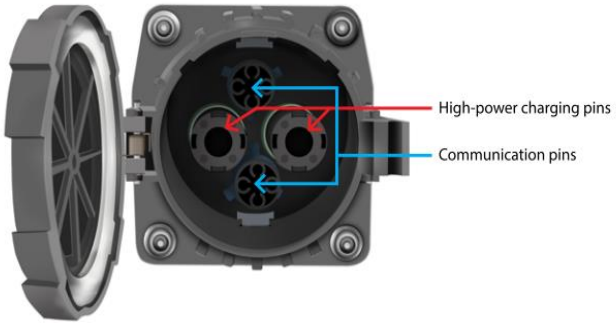
รูปที่ 38 การทำงานร่วมเข้ากันได้ของมาตรฐานของ Combo socket และ Combo connectors[26]

3.2.3 เทคโนโลยีของญี่ปุ่น : มาตรฐาน CHAdeMO

CHAdeMO เป็นมาตรฐานที่ถูกสร้างขึ้นโดยบริษัท The Tokyo Electric Power Company, Nissan, Mitsubishi และบริษัท Fuji Heavy Industries (The Manufacturer of Subaru vehicles) ซึ่งเป็นผู้ผลิตอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบรวดเร็วของยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศญี่ปุ่น ลักษณะหัวปลั๊กเป็นตามรูปที่ 39 ในส่วนของ Communication pins จะเป็นตัวเชื่อมต่อสัญญาณ ผ่านโปรโตคอล CAN bus ส่วน High Power Charging pins จะเป็นตัวรับพลังงานระดับสูงที่ใช้ในการประจุ โดยถูกออกแบบมาเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าสูงถึง 62.5 กิโลวัตต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงผ่านขั้วไฟฟ้าพิเศษ ทำให้ในการผลิตและออกแบบอุปกรณ์เชื่อมต่อนั้น มุ่งเน้นในการติดตั้งเครื่องประจุไฟฟ้าและอุปกรณ์เชื่อมต่อที่มีความรวดเร็ว ตัวเต้ารับก็มีลักษณะเดียวกันดังรูปที่ 40



รูปที่ 39 หัวปลั๊กเชื่อมต่อของ CHAdeMO [26]



รูปที่ 40 รายละเอียดของ ChAdeMO EV Socket[26]

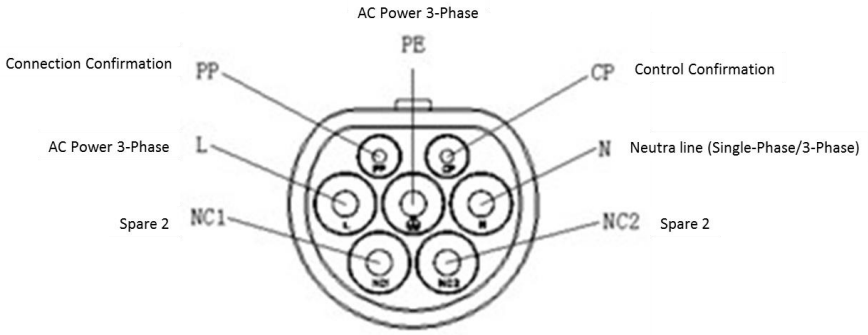
ในส่วนของอุปกรณ์เชื่อมต่อของ CHAdeMO นั้น CHAdeMO จริงๆ แล้วเป็นรูปแบบของ DC Fast charging ที่มีไฟฟ้าแรงสูง มีขนาดมากกว่า 500 VDC และมีกระแสไฟฟ้าสูงถึง 125 แอมป์ อุปกรณ์จึงต้องใช้มาตรฐานทั้ง 2 รูปแบบ กล่าวคือใช้มาตรฐาน DC Fast charging ของญี่ปุ่นคือ CHAdeMO และมาตรฐาน AC Level 2 ของ SAE J1772

3.2.4 เทคโนโลยีของจีน : มาตรฐาน GB/T

มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าของจีน เป็นมาตรฐานระดับชาติที่ออกโดย Standardization Administration of China (SAC) และคณะกรรมการแห่งชาติจีนของ ISO และ IEC มีชื่อว่า GB ซึ่งย่อมาจาก Guobiao ถูกมาตรฐานที่จีนใช้บังคับมีคำนำหน้า "GB" มาตรฐานที่แนะนำมีคำนำหน้า "GB / และตามด้วยหมายเลขของมาตรฐานนั้น เช่น "GB-XXXX" หรือ "GB/T-XXXX" ซึ่งมาตรฐาน GB เป็นพื้นฐานที่ใช้สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ต้องได้รับการรับรองจากประเทศจีน หรือ China Compulsory Certificate (CCC) ถ้าไม่มีมาตรฐาน GB ที่สอดคล้องกับการรับรองของ China Compulsory Certificate (CCC) จะไม่อนุญาตให้ใช้งาน

ข้อกำหนดของมาตรฐานของจีน

ในส่วนของ GB/T 20234 ตามรูปที่ 41 ที่เกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานของหัวปลั๊กและมาตรฐาน EV ในประเทศจีนจะมีลักษณะคล้ายกับหัวปลั๊กของมาตรฐาน IEC 62196 จากเยอรมนี ซึ่งมาตรฐานของ GBT นั้นจะสนับสนุนทั้ง AC Charging ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 รวมถึงการสนับสนุน AC แบบสามเฟสและรองรับแรงดันไฟฟ้า 250 Vและ 400 V DC ในขณะที่รูปแบบพินมีลักษณะคล้ายกับตัวเชื่อมต่อของมาตรฐาน IEC แต่ฟังก์ชันการทำงานจะไม่เหมือนกัน ส่วนข้อแตกต่างประการหนึ่ง คือ ช่องเสียบ GBT ของจีนใช้สัญญาณ CAN BUS ในการควบคุมมากกว่าโปรโตคอลควบคุม PLC

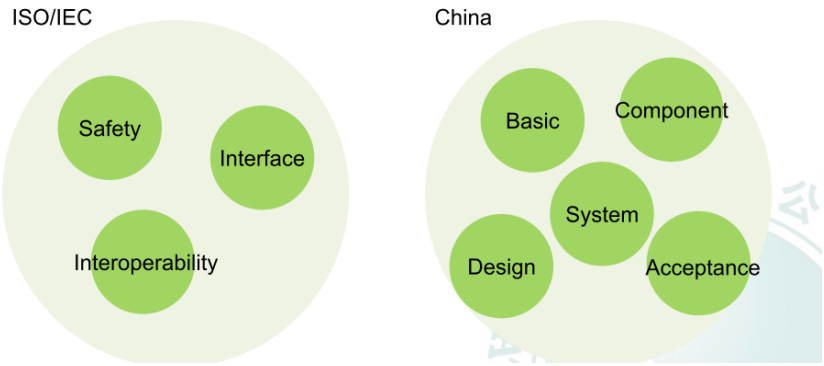


รูปที่ 41 รายละเอียดของ GB/T 20234.2-2001

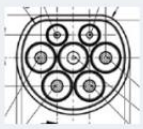
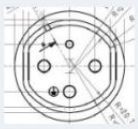
ส่วนนี้ของ GB / T 20234 ระบุข้อกำหนดทั่วไปข้อกำหนดฟังก์ชันประเภทโครงสร้างและขนาดของ DC coupler การประจุเพื่อนำไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า ส่วนนี้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าในโหมดการประจุ 4 และโหมดการเชื่อมต่อ C (DC) และกระแสไฟฟาที่กำหนดไว้จะต่องไมเกิน 250A (DC)

การเปรียบเทียบโครงสร้างมาตรฐาน IEC-SAE-CHAdeMO และ GB

สำหรับโครงสร้างมาตรฐานนี้เป็นโครงสร้างมาตรฐานระหว่าง ISO/IEC จะเน้นในเรื่องความปลอดภัย ระบบการเชื่อมต่อการทำงาน Interface และการทำงานร่วมกัน ในส่วนของมาตรฐานจีนนั้นจะเน้นในเรื่องพื้นฐาน การออกแบบ ระบบการใช้งาน การยอมรับและส่วนประกอบ ตามรูปที่ 42 และจะทำการเปรียบเทียบทั้งมาตรฐานของอุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่าง ISO/IEC และมาตรฐานของจีนและการเปรียบเทียบอุปกรณ์เชื่อมต่อกับ DC Charging ตามรูปที่ 43 และ 44



รูปที่ 42 การเปรียบเทียบมาตรฐานของ ISO/IEC กับ CHINA[25]

	IEC 62196-2:2010			GB 20234.2-2011
	Type1-U.S	Type 2-Germany	Type 3-Italy	China
Phase	Single phase	Single/Three phase	Single phase	Single phase (Three phase reserved)
Current	32A(80A U.S)	70A/63A	16A,32A/32A	16A,32A
Voltage	250V	480V	250V,250V/500V	250V/400V
Pin & interlock	5-pin, mechanical lock	7-pin, electronic lock	4-pin, 5-pin	7-pin, mechanical lock (optional electronic lock)
Control pilot pin	Two short pins	One short pin, one long pin		Two short pins
Male & female pin		Plug: male Vehicle connector: female		Plug: male Vehicle connector: male
Dimensions				

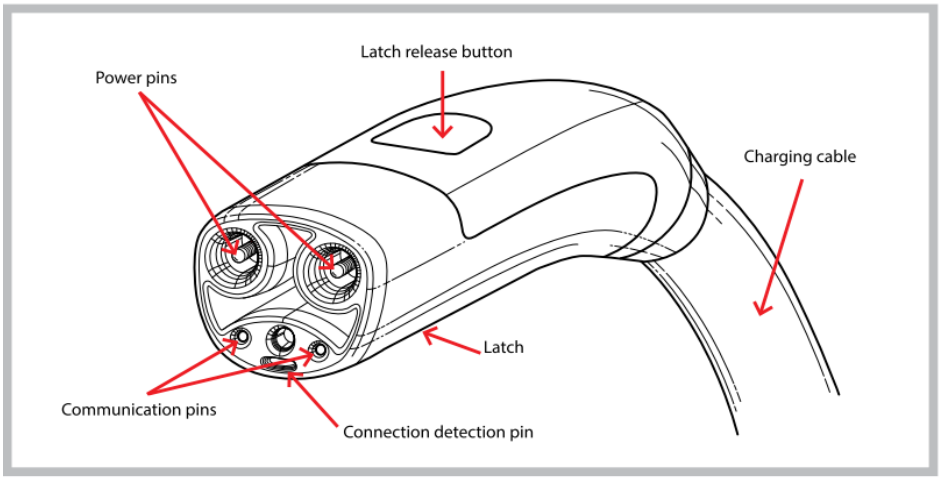
รูปที่ 43 ตารางเปรียบเทียบโครงสร้างมาตรฐานของ IEC 62196-2 เวอร์ชั่น2010 และ GB 20234.2-2011

3.2.5 สถานีประจุของ Tesla Supercharger

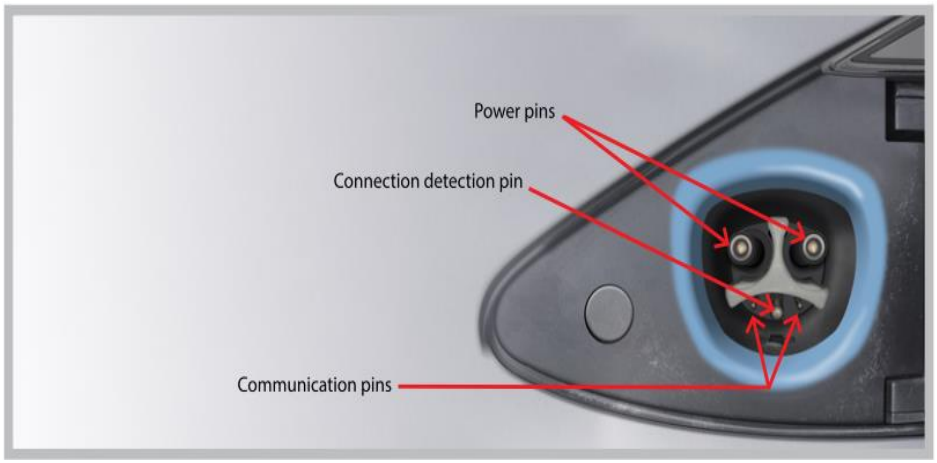
บริษัท Tesla ถือได้ว่าบริษัทหน้าใหม่ในธุรกิจยานยนต์ และมีรูปแบบธุรกิจที่แตกต่างไปจากค่ายรถยนต์แต่ดั้งเดิมอื่นๆ อยู่มาก ทางด้านบริษัท Tesla มีการติดตั้งสถานีประจุไฟฟ้า Supercharger ตามรูปที่ 44 ที่มีการรับรองการใช้งานให้กับผู้ที่ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าของ Tesla เท่านั้น เนื่องจากมีการออกแบบอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าหรือระบบการใช้งานเฉพาะ โดยรับความร่วมมือกับหุ้นส่วนในการติดตั้งสถานีประจุไฟฟ้าในพื้นที่ต่างๆ

รูปที่ 44 สถานีประจุไฟฟ้าของ Tesla[28]

ในกรณีนี้ สถานีประจุไฟฟ้าซูเปอร์ชาร์จเจอร์เรียกได้ว่าเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัทนี้บริษัทเดียว จึงไม่มีการระบุมาตรฐานออกมา มีเพียงคำอธิบายโดยสรุปคุณลักษณะความแตกต่างของ Tesla connectors ตามรูปที่ 45 โดยรองรับการประจุทั้งแบบ AC และ DC ซึ่งสถานีประจุ Tesla จะเริ่มต้นปล่อยของกระแสไฟเฉพาะเมื่อมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับรถยนต์เรียบร้อยแล้ว ระบบจึงจะทำงาน



รูปที่ 45 รายละเอียดของ Tesla Supercharger connector[26]



รูปที่ 46 รายละเอียดของ Tesla Supercharger EV socket [26]

3.2.6 เปรียบเทียบมาตรฐานในต่างประเทศและประเทศไทย

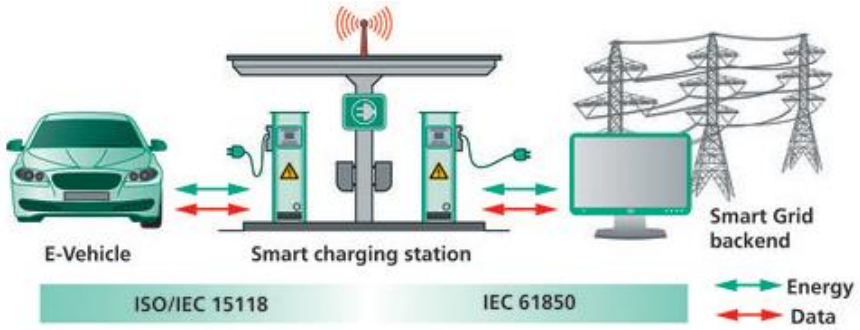
ในปัจจุบัน ความแตกต่างในมาตรฐานยังมีอยู่สำหรับหัวปลั๊กไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 7 โดยโฟกัสในปัจจุบันมุ่งไปยังมาตรฐานสำหรับการประจุไฟฟ้าแบบเร็ว มาตรฐาน CHAdeMO ที่เป็นสมาคมจากประเทศญี่ปุ่นได้มีการปรับในปี พ.ศ. 2559 เพื่อเพิ่มพิกัดการประจุไฟฟ้าขึ้นไปเป็น 150 kW โดยมุ่งเป้าสู่ค่า 350 kW ในอีกไม่นาน ในขณะที่ค่ายตะวันตกก็ได้มีการตั้งสมาคมขึ้นในลักษณะคล้ายกัน ชื่อว่า CharIN มีเป้าหมายเพื่อชูมาตรฐาน CCS Combo เพื่อให้ใช้ทั่วสหภาพยุโรปและสหรัฐฯ ซึ่งก็มีผลเพิ่มพิกัดการประจุไฟฟ้าขึ้นไปเป็น 200 kW โดยมุ่งเป้าสู่ค่า 350 kW ในอีกไม่นาน และด้วยการเข้าร่วมของ Tesla ในสมาคมนี้เมื่อปี พ.ศ. 2559 ก็เชื่อว่าจะทำให้มาตรฐาน CCS Combo ได้รับความนิยมและอาจเกิดการรวมมาตรฐานในไม่ช้า สำหรับประเทศไทยเอง ทาง สมอ.ก็ได้ระบุถึงมาตรฐานการประจุไฟฟ้าโหมด AC คือ IEC 62196 Type 2 และโหมด DC คือ CCS Combo 2

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบมาตรฐานหัวปลั๊กไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในต่างประเทศและประเทศไทย

ระดับ	โหมด	สหภาพยุโรป	สหรัฐฯ	ญี่ปุ่น	จีน	Tesla	ไทย
ระดับ 2	AC	IEC 62196 Type 2	SAE J1772 Type 1	SAE J1772 Type 1	GB/T 20234 AC	Tesla	IEC 62196 Type 2
ระดับ 3	DC	CCS Combo 2 (IEC 62196 Type 2 & DC)	CCS Combo 1 (SAE J1772 Type 1 & DC)	CHAdeMO	GB/T 20234 DC	Tesla	CCS Combo 2 (IEC 62196 Type 2 & DC)

3.2.7 เทคโนโลยีของการประจุไฟฟ้า แบบ Vehicle-2-Grid Charging (V2G)

ในปัจจุบัน รูปแบบการประจุไฟฟ้า แบบ V2G ยังถือเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ และกำลังอยู่ในการพัฒนา ทางด้านมาตรฐานของการประจุไฟฟ้า แบบ V2G มาตรฐานจะเป็นตามโปรโตคอล คือ ISO/IEC 15118 V2G ซึ่งใช้สำหรับการควบคุมการประจุไฟฟ้า ของยานยนต์ไฟฟ้า ในขณะที่ในการทดสอบระบบการทำงานร่วมกันของทั้งสถานีประจุไฟฟ้าและกริดไฟฟ้า จะประสานกันระหว่างมาตรฐานของ ISO / IEC 15118 และ IEC 61850 ตามรูปที่ 47 ที่ใช้ร่วมกันสำหรับการประจุไฟฟ้า แบบ Vehicle-2-Grid Charging (V2G)



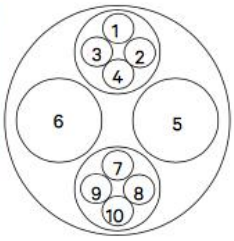
รูปที่ 47 การใช้มาตรฐานของ ISO 15118 และ IEC 61850 ร่วมกันสำหรับการประจุไฟฟ้า แบบ V2G

3.2.8 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารในระบบประจุไฟฟ้า

จากการติดตั้งที่มากขึ้นของสถานีประจุไฟฟ้า โดยการสนับสนุนจากรัฐบาลในประเทศต่างๆ ความแตกต่างของมาตรฐานการประจุไฟฟ้าจึงทำให้เกิดปัญหา โดยในด้านหนึ่งคือมาตรฐาน CHAdeMO ที่ใช้โดยอุตสาหกรรมยานยนต์ของญี่ปุ่น ในขณะอีกด้านหนึ่งคือมาตรฐาน CCS ที่ใช้โดยค่ายยุโรปและสหรัฐอเมริกา ซึ่งโดยความแพร่หลายในตลาดโลกแล้ว มาตรฐาน CHAdeMO มีจำนวนมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด แต่ระหว่างสองมาตรฐานนี้ ความแตกต่างไม่ได้มีเพียงที่ข้อระบุของค่ากำลังสูงสุดและรูปแบบการออกแบบหัวจ่ายไฟ แต่ความแตกต่างที่สำคัญที่ทำให้การผนวกรวมของมาตรฐานหรือการทำหัวแปลงระหว่างมาตรฐานเป็นไปได้ยาก คือมาตรฐานการสื่อสารที่ใช้ระหว่างตัวรถกับสถานีประจุไฟฟ้า

มาตรฐาน CHAdeMO ใช้ controller area network (CAN) ในการสื่อสาร โดยรูปแบบ CAN นี้เป็นสิ่งที่ใช้อยู่ในการสื่อสารระหว่างส่วนประกอบต่างๆในตัวรถอยู่แล้ว ทางสมาคมผู้ออกแบบเห็นว่าการประจุแบบ DC quick charge เป็นทำงานที่ระดับแรงดันและค่ากระแสที่สูง ความเชื่อมั่นในระดับสูงมีความจำเป็นสำหรับมาตรฐานที่จะถูกเลือกมาใช้ เพราะมาตรฐานการสื่อสารต้องทนได้ต่อคลื่นรบกวนระหว่างการทำงานที่สูง ความผิดพลาดไม่เพียงอาจนำไปสู่การเสียหายต่อตัวรถ แต่ยังอาจหมายถึงการสูญเสียของชีวิตได้ และด้วยที่ว่าระบบ CAN ถือว่ามีประวัติการใช้งานที่ให้ความเชื่อมั่นอย่างสูงมาก กับ

ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์มายาวนาน สมาคมผู้ออกแบบระบบ CHAdeMO จึงเลือกใช้รูปแบบ CAN แต่ผลลัพธ์ที่ตามมาก็คือระบบนี้โดยมาตรฐานเริ่มแรกแล้วไม่ได้ถูกออกแบบให้เอื้อต่อฟังก์ชันอื่นๆ นอกเหนือ เช่นระบบการจ่ายค่าไฟ รูปแบบการทำงานแบบ V2G หรือ V2H และต้องการระบบควบคุมและข้อกำหนดในมาตรฐานเพิ่มเติมเพื่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ชาร์จและรถ ให้ทำงานฟังก์ชันนอกเหนือเหล่านั้น รูปที่ 48(a) แสดงรูปแบบการสื่อสารที่ pin ต่างๆของมาตรฐาน CHAdeMO ซึ่งจะเห็นได้ว่า pin 8 และ 9 ถูกกำหนดให้มีหน้าที่ด้านการสื่อสารอย่างชัดเจน ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อระบบออกสู่การใช้งาน ผู้บริโภคก็มีข้อติถึงความใหญ่เทอะทะของหัวจ่าย และข้อจำกัดของกำลังสูงสุดที่จะจ่ายได้ที่สูงสุด 62.5 kW (125A and 500 V)

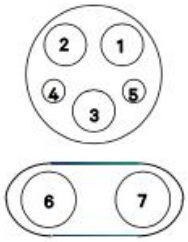


Pin	Function
1	Reference GND
2	Control EV Relay 1
3	not assigned
4	Ready-to-Charge Control
5	DC -
6	DC +
7	Proximity Detect
8	Communication +
9	Communication -
10	Control EV Relay 2

(a)

J1772 Charging Connectors

J1772 AC/DC Combo Vehicle Receptacle



Pin	Function
1	L1
2	L2 / N
3	Equipment Ground*
4	Control Pilot
5	Proximity Detect*
6	DC -
7	DC +

(b)

รูปที่ 48 ลักษณะหัวจ่าย (a) CHAdeMO และ (b) CCS กับรูปแบบของ pin ต่างๆ [31]

กับอีกมาตรฐานหนึ่ง คือ CCS นั้น โดยความตั้งใจในการออกแบบ คณะกรรมการมาตรฐาน J1772 มุ่งให้มาตรฐาน CCS ใช้โปรโตคอลของระบบโครงข่ายอัจฉริยะ (Smart grid) เพื่อควบคุมการประจุ มาตรฐาน CCS จึงใช้ power-line-communication (PLC) ในการสื่อสาร ทำให้สามารถผสานสัญญาณควบคุมในลักษณะ multiplex เข้าไปกับขั้ว control pilot และ equipment ground ได้ดังรูปที่ 48(b) นอกจากการประจุจากโครงข่ายเพื่อเติมแบตเตอรี่แล้ว การทำงานในรูปแบบอื่นเช่นรูปแบบ V2G ก็ไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ กับระบบการประจุอีก ไม่ต้องการขั้วต่อเพิ่มเติมใดๆ โดยช่วงการทำงานที่ความถี่ 2-28 MHz จะอยู่เหนือช่วง switching noise ที่จะมีได้จากอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า ในที่นี้อาจไม่ได้ลงรายละเอียดมากนักกับรูปแบบการสื่อสารของมาตรฐาน GB/T ของประเทศจีน แต่เป็นที่ควรรู้ว่ามาตรฐาน GB/T มีรูปร่าง pin ที่คล้ายกับ CCS อยู่มาก แต่ใช้การสื่อสารแบบ CAN ในขณะที่มาตรฐาน GB/T ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าโดยใช้การตรวจจับกระแส ในขณะที่มาตรฐาน CCS อิงกับการตรวจจับแรงดัน

จากการหยิบโปรโตคอล PLC มาใช้ หมายถึงการใช้โปรโตคอลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์อยู่แล้ว เช่น TCP, UDP, IPv6, DNS และ DHCP ซึ่งก็หมายถึงมาตรฐาน CCS จะให้การสื่อสารแบบ IP-based ได้ระหว่างตัวรถ โครงข่ายไฟฟ้า มิเตอร์ไฟ หรือแม้แต่เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ และยังทำงานกับการสื่อสารแบบไร้สายได้ในตัวเอง และยังหมายถึงการมีรูปแบบการสื่อสารที่มีช่วง bandwidth ที่กว้าง พร้อมรองรับฟังก์ชันต่างๆ ในอนาคตได้โดยสะดวก ในที่นี้ได้สรุปการเปรียบเทียบมาตรฐาน CHAdeMO และ CCS ไว้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบมาตรฐาน CHAdeMO และ CCS

มาตรฐาน CHAdeMO	มาตรฐาน CCS
อิงกับการสื่อสารแบบ CAN	อิงกับการสื่อสารแบบ PLC
พิกัดสูงสุด 125 A/ 500 V	พิกัดสูงสุด 125 A/ 500 V
กลไกล๊อกหัวจ่าย ควบคุมที่หัวจ่าย กลไกอยู่ที่หัวจ่าย	กลไกล๊อกหัวจ่าย ควบคุมที่ตัวรถ กลไกอยู่ในตัวรถ
ข้อกำหนดนิยามโดยสมาคม CHAdeMO ไม่สาธารณะ	นิยามโดยมาตรฐาน IEC เป็นสาธารณะ
มาตรฐานเริ่มแรกไม่รองรับฟังก์ชันเพิ่มเติม ต้องการระบบควบคุมเพิ่มเติม	รองรับฟังก์ชัน เช่น V2G การกำหนดเวลาประจุล่วงหน้า

3.3 ประเภทและมาตรฐานจุดให้บริการประจุไฟฟ้า

3.3.1 ระดับการประจุที่เหมาะสมของจุดให้บริการ

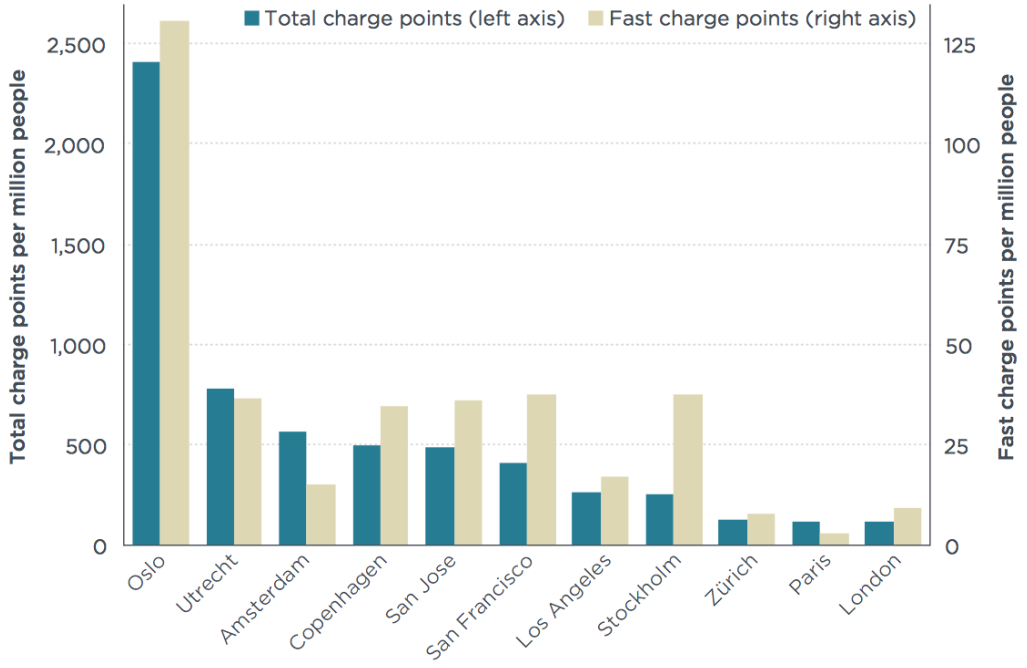
ถึงแม้จะเป็นที่ทราบกันว่าการประจุไฟฟ้าแบบเร็ว จะให้ความสะดวกในระยะเวลาการประจุไฟฟ้าที่สั้น แต่อย่างไรก็ดี ในความเป็นจริงของการติดตั้งเครือข่ายของจุดให้บริการประจุไฟฟ้า (Charging point) ก็ต้องเป็นการจัดสรรระหว่างเครื่องประจุไฟฟ้าในลักษณะต่างๆ เช่นการประจุไฟฟ้าระดับ 1 ตามบ้านเรือน และระดับ 2 ตามห้างสรรพสินค้า และการประจุไฟฟ้าแบบเร็วในตำแหน่งที่เป็นจุดต่อเพื่อเดินทางไกล

ในการพิจารณาระดับการประจุที่เหมาะสมควรพิจารณาจากองค์ประกอบของเวลาในการประจุยานยนต์ไฟฟ้าที่มีหลายระดับของการประจุ โดยไม่เน้นตำแหน่งของที่ตั้งโครงสร้างของสถานีประจุไฟฟ้า แต่เน้นในการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในสถานีประจุไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ ในการใช้งานประจุไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่าจะใช้ในบริเวณร้านอาหารหรือห้างสรรพสินค้า ผู้ใช้มีความต้องการประจุไฟฟ้าประมาณ 1-2 ชั่วโมง สำหรับพื้นที่ดังกล่าวสถานีประจุไฟฟ้าที่มีการประจุระดับที่ 2 จึงจะเหมาะสมที่สุด เพราะเป็นการประจุไฟฟ้าแบบปกติ อย่างไรก็ตามที่จอดรถในสนามบิน, ลานจอดรถสาธารณะและทางเดินรถ ที่เป็นพื้นที่ที่ผู้ใช้งานต้องจอดรถยนต์ทิ้งไว้เป็นเวลานาน การประจุไฟฟ้าระดับ 1 ยังเป็นสิ่งที่ผู้ใช้งานต้องการ และยังคงมีอีกหลายๆสถานที่ เช่น สถานที่ทำงาน และมหาวิทยาลัย ที่สามารถมาประยุกต์ใช้การประจุได้ทั้ง 2 แบบ ทั้งการประจุไฟฟ้าระดับ 1 และการประจุไฟฟ้าระดับ 2

สำหรับการประจุไฟฟ้าแบบ Quick Charging เหมาะกับสำหรับผู้ใช้งานต้องการความรวดเร็วในการประจุ ในการสนับสนุนให้ยานยนต์ไฟฟ้าเกิดขึ้นแพร่หลายในปัจจุบัน สถานี Quick Charging ถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญ โดยเฉพาะกับช่วงเวลาที่ต้องเดินทางระยะไกล แต่ราคาต้นทุนของสถานีระดับนี้ก็มีราคาสูงมาก สิ่งที่ตามมาคือการวางแผนและการขยายระบบไฟฟ้าต้องได้รับการวิเคราะห์อย่างถ้วนถี่มากกว่าการประจุไฟฟ้าระดับอื่น รวมถึงต้องการการมีส่วนร่วมของการไฟฟ้ามากไปด้วย ด้วยการใช้กำลังไฟฟ้าในระดับที่สูง ตัวอย่างรูปลักษณ์ของสถานีประจุไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 49 ซึ่งรูปแบบของสถานีประจุไฟฟ้า นั้นมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับการใช้งานทั้งรูปแบบและประเภทที่ใช้ในการประจุ

ความพร้อมของสถานีประจุไฟฟ้า ทั้งในระดับ 2 หรือการประจุไฟฟ้าแบบเร็วเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนการเติบโตของตลาดยานยนต์ไฟฟ้า ให้ รูปที่ 49 แสดงสัดส่วนของสถานีประจุไฟฟ้าเทียบกับจำนวนประชากร (หน่วยล้านคน) เพื่อให้เห็นว่าหากมีการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อเป็นทางเลือกของการเดินทางสัญจรได้สำหรับประชาชนในเมืองนั้นๆ จำนวนสถานีประจุไฟฟ้าจะเพียงพอต่อความต้องการ จากข้อมูลนี้ จะเห็นได้ว่าสำหรับเมือง Oslo ประเทศนอร์เวย์ ซึ่งในปัจจุบัน กว่า 40% ของการจดทะเบียนใหม่เป็นยานยนต์ไฟฟ้า นับเป็นเมืองที่ล้ำหน้าในการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าอย่างแท้จริง ในกรณีนี้ ตัวเลขอยู่ที่

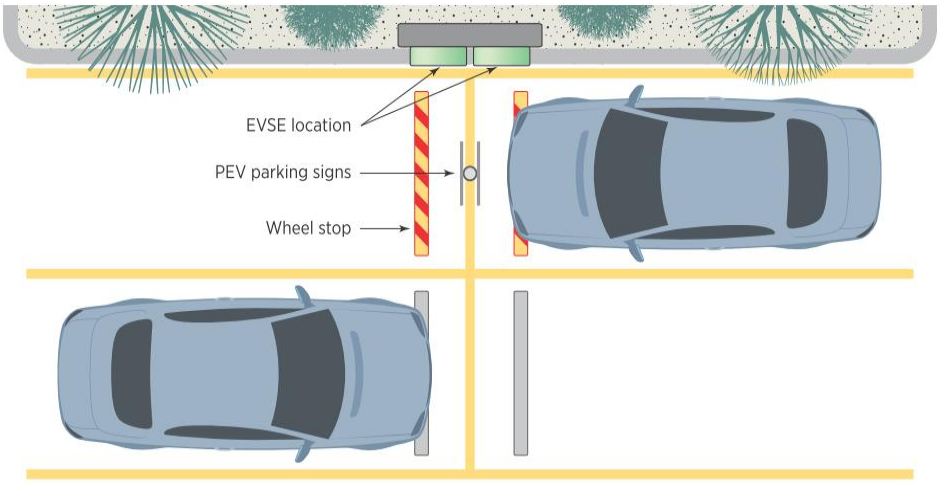
2400 สถานีต่อประชากรล้านคน แต่ถ้าจะเทียบกับเมืองที่ตอบรับยานยนต์ไฟฟ้าอย่างจริงจังแต่มีตัวเลขที่พอประมาณมากกว่า ก็จะเห็นได้ว่าในโคเปนฮาร์เกน ซานฟรานซิสโกหรือสตอคโฮล์ม ตัวเลขจะอยู่ที่ 300-400 สถานีต่อประชากรล้านคน ในขณะที่ตัวเลขของสถานีประจุไฟฟ้าแบบเร็วจะอยู่ที่ราว 35 สถานีต่อประชากรล้านคน ซึ่งหากเทียบกับจำนวนประชากรของกรุงเทพมหานครที่แปดล้านคน ก็เทียบได้ว่าต้องการสถานีประจุไฟฟ้าราว 2800 สถานี โดยในนี้ เป็นสถานีประจุไฟฟ้าแบบเร็วราว 280 สถานี



รูปที่ 49 สัดส่วนของสถานีประจุไฟฟ้าเทียบกับจำนวนประชากร (หน่วยล้านคน) [34]

3.3.2 การติดตั้งสถานีประจุในสถานที่ทำงานและที่บ้าน

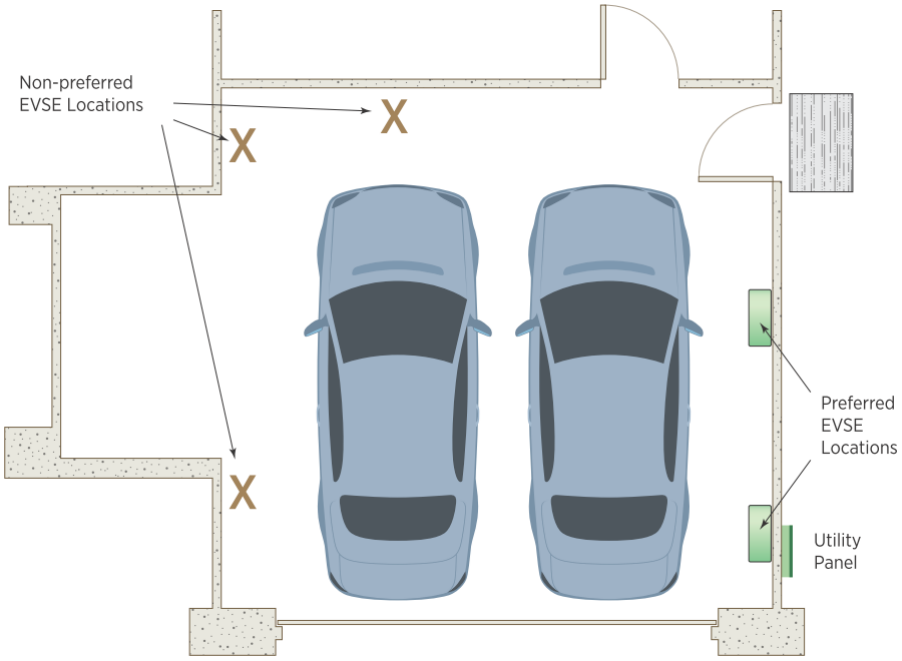
การติดตั้งสถานีประจุในสถานที่ทำงาน มีข้อแนะนำในการกำหนดตำแหน่งติดตั้งดังรูปที่ 50 กรณีติดตั้งกลางแจ้ง ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่ามีการระบายอากาศที่ดี ส่วนการดูแลรักษาต้องมีเก็บสายประจุให้ปลอดภัย ตรวจสอบเครื่องเป็นระยะจากช่างไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัย ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์ประจุไฟฟ้านิยมใช้แบบ AC Charging ระดับ 2 เนื่องจากระยะเวลาในการประจุเหมาะสมกับผู้ที่ทำงาน ทางด้านระบบความปลอดภัยในการติดตั้งเครื่องประจุไฟฟ้ามีระบบการป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร รวมถึงติดตั้งเสาเพื่อป้องกันชนหรือกระแทก ตามรูปที่ 51



รูปที่ 50 ตัวอย่างการออกแบบสถานีประจุในสถานที่ทำงาน [29]

รูปที่ 51 ภาพการติดตั้งเสาป้องกันการกระแทกบริเวณสถานีประจุไฟฟ้า[30]

ส่วนการติดตั้งในที่บ้าน มีข้อแนะนำในการกำหนดตำแหน่งติดตั้งดังรูปที่ 52 โดยต้องมีการออกแบบให้สายประจุให้มีความแข็งแรง รถยนต์สามารถเหยียบ/ทับได้ โดยสายประจุไม่เกิดความเสียหายและยังสามารถประจุขณะที่ฝนตกได้ การติดตั้งดังแสดงตามรูปที่ 20 จะช่วยป้องกัน/ลดการสะดุดระหว่างประจุได้ และสายประจุก็ควรเก็บไว้ที่เครื่องให้เป็นระเบียบ และตรวจสอบเครื่องเป็นประจำตามคำแนะนำของผู้ผลิต ส่วนการติดตั้งเครื่องประจุไฟฟ้า AC charging ระดับ 1 แบบติดตั้งที่ผนัง หรือที่เรียกว่า Wallbox คือเป็นอุปกรณ์ประจุพลังงานที่สามารถติดตั้งบนกำแพงที่บ้านหรือโรงจอดรถ สามารถติดตั้งได้ด้วยตนเอง ส่วนระบบความปลอดภัยของ Wallbox จะมีการติดตั้งระบบป้องกันกระแสเกินและป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจรอีกด้วย



รูปที่ 52 ตัวอย่างการออกแบบติดตั้งเครื่องประจุไฟฟ้าในบ้านเรือน [30]

3.3.3 การระบุตัวตนและการคิดบัญชีค่าใช้จ่าย

ในการควบคุมการใช้งานสถานีประจุไฟฟ้า ต้องการระบบสองส่วนได้แก่ระบบระบุตัวตน (Identification) และระบบคิดบัญชีค่าใช้จ่าย โดยในการใช้งานส่วนบุคคล วิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด ได้แก่การใช้กุญแจ ในขณะที่การใช้งานกับสาธารณะ ระบบมาตรฐานคือใช้เป็นบัตร RFID ในการยืนยันตัวตน จากนั้นการคิดค่าใช้จ่าย มักใช้การเชื่อมต่อแบบ Open Charge Point Protocol หรือ OCPP ซึ่งเป็นโปรโตคอลกลางที่ยอมให้จุดให้บริการประจุไฟฟ้าจากต่างผู้ให้บริการทำงานด้วยกันได้ ในขณะที่ยังป้องกันการใช้งานโดยผู้ไม่มีสิทธิ์ใช้งานได้

3.4 การใช้งานและการบำรุงรักษา

ตัวอย่างข้อแนะนำในการบำรุงรักษา ตามคู่มือของทางผู้ผลิตได้กำหนด มีดังนี้ [14]

- การตรวจสอบลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์เชื่อมต่อประจุ
- การตรวจสอบสายประจุ (ค้นหาร่องรอยของการสึกหรอ)
- การตรวจสอบการเชื่อมต่อ (มองหาส่วนที่เป็นรอยแตกหัก)
- การตรวจสอบซองเก็บหัวปลั๊ก (Holster) (เชื่อมต่ออย่างแน่นหนาและแข็งแรง)
- การทดแทนในส่วนของตัวกรอง (Filters) (เฉพาะสถานีประจุไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น)

3.5 แนวทางการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุ

สำหรับสถานีประจุไฟฟ้า กรณีของอุบัติเหตุที่มีข้อแนะนำในการระมัดระวังประกอบด้วยสองเรื่อง คือการชนของรถกับตัวสถานี และการเกิดไฟลุกไหม้ ในกรณีแรก ถ้าสถานีประจุไฟฟ้าถ้าถูกชนจนเกิดความเสียหาย ก็จะมีกรณีของไฟรั่วได้ ข้อแนะนำขั้นต้นก็คือให้ตามหาเจ้าของสถานีและแจ้งให้ตัดไฟที่จะวิ่งมาสู่สถานีโดยเร็ว โดยในหลายกรณี ด้วยแอพพลิเคชั่นในมือถือที่ใช้จองเข้าใช้สถานีประจุไฟฟ้า ก็สามารถติดต่อเจ้าของสถานีได้อย่างรวดเร็ว

ในกรณีการเกิดไฟลุกไหม้ที่สถานีประจุไฟฟ้า ก็แนะนำให้ทำเช่นเดียวกันคือให้ตามหาเจ้าของสถานีและแจ้งให้ตัดไฟที่จะวิ่งมาสู่สถานีโดยเร็ว เมื่อไฟฟ้าได้ถูกตัดลงแล้ว ให้จัดการดับเพลิงในลักษณะเดียวกันกับเปลวไฟที่มีไฟฟ้าอยู่ด้วย ในกรณีที่มีรถเสียบสายต่ออยู่กับสถานี ก็ให้ถอดปลั๊กออกหากทำได้ด้วยความปลอดภัย แต่ข้อแนะนำเบื้องต้นก็คือควรจะตัดไฟฟ้าที่ตัวสถานีก่อน และสายต่อพ่วงเพื่อประจุไฟนั้น ถูกออกแบบให้ละลายและหลุดร่วงออกจากตัวรถ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยโดยตัวเอง แต่หากสายไฟได้ละลายหลุดออกแล้ว ก็ให้ระวังถึงการมีแรงดันไฟฟ้าได้อยู่ในตัวสายไฟ

4. ข้อสรุปถึงช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็นในการทำงานกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า

4.1 ประเด็นข้อสังเกตจากการศึกษา

ในรายงานฉบับนี้ได้กล่าวถึง สถานการณ์ด้านความปลอดภัยของไฟฟ้าแรงสูง การออกแบบระบบความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าแรงสูง อันตรายจากไฟฟ้าแรงสูง การป้องกันไฟรั่ว โครงสร้างรองรับการชน มาตรฐานของความปลอดภัยเกี่ยวกับยานยนต์ การออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้า รวมถึงการใช้งานและการบำรุงรักษา และเทคโนโลยีและมาตรฐานของการต่ออุปกรณ์ประจุไฟฟ้า นอกจากสิ่งที่ได้รายงานไว้แล้ว พบว่ามีหลายประเด็นที่เป็นเรื่องใหม่ และต้องนำข้อมูลต่างๆมาพิจารณามาปรับใช้ให้เข้ากับประเทศไทย ดังนี้

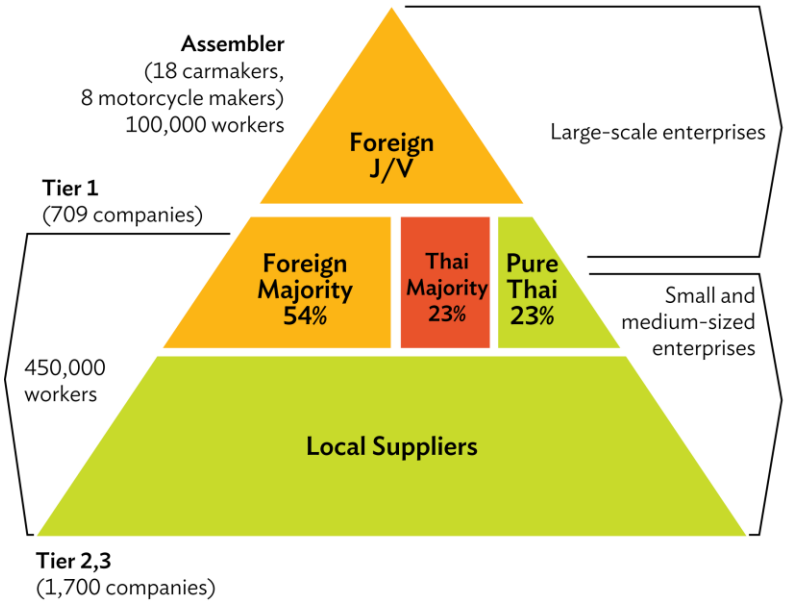
1. ขั้นตอนหรือแนวทางปฏิบัติในการใช้งานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นคู่มือการใช้งาน การจัดฝึกอบรมการให้ความรู้ความเข้าใจ ทั้งผู้ใช้งาน ผู้ผลิตและช่างติดตั้งและซ่อมอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า เนื่องจากข้อมูลต่างๆ อ้างอิงมาจากต่างประเทศ ซึ่งปัจจัยหลายด้านยังต้องมาปรับใช้ให้เข้ากับประเทศไทย โดยในหลายส่วน ต้องอ้างอิงกับกฎหมายหรือระเบียบข้อบังคับที่มีในประเทศ ซึ่งก็ต้องหารือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
2. การออกแบบระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้ามีหลายขั้นตอนที่ช่วยดูแลความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าแรงสูงอยู่แล้ว (หัวข้อ 2.4) แต่กับความเป็นเทคโนโลยีใหม่ การใช้รถไฟฟ้าก็มาพร้อมกับความเสี่ยงใหม่ (หัวข้อ 2.3.1 และ 2.9) ซึ่งการเข้าใจบริบทเพื่อกำหนดความรู้และทักษะ และการมีกลไกสื่อสารไปยังสาธารณะเป็นสิ่งสำคัญที่ยังขาดอยู่มาก ส่วนมาตรฐานและระดับแรงดันไฟฟ้าในการประจุได้รับการกำหนดโครงสร้างที่ครอบคลุม (หัวข้อ 2.6.2) ทั้งด้านยานยนต์ อุปกรณ์ต่อเชื่อมและการให้ความรู้ แต่การกำหนดมาตรฐานรวมถึงการบังคับใช้ก็มีการรับผิดชอบข้ามหลายหน่วยงานได้แม้ในต่างประเทศ (หัวข้อ 2.6.3) ดังนั้น การบริหารการกำหนดมาตรฐานรวมถึงการบังคับใช้ในประเทศไทย ก็เป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการ
3. โครงสร้างของสถานีประจุไฟฟ้า ขั้นตอนในการติดตั้งและสถานที่ติดตั้งตามมาตรฐานและท้ายที่สุดการรับรองคุณภาพของสถานีประจุไฟฟ้า จำเป็นต้องมีกฎหมายอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับสถานีน้ำมัน
4. นอกจากในมุมมองของผู้บริโภค แนวปฏิบัติในกรณีเกิดเหตุร้ายก็มีความสำคัญ ซึ่งถึงแม้โดยปกติ ผู้ผลิตที่จะนำรถไฟฟ้าเข้าสู่ตลาด จะมีแนวปฏิบัติในการอบรมบุคลากรของตนเองและหน่วยกู้ภัย แต่การประสานข้อมูลและแชร์ทักษะเหล่านี้สู่หน่วยงานนอกขอบเขตที่ผู้ผลิตจะคิดเอาไว้ ก็เป็นสิ่งจำเป็น

อนึ่ง ข้อสรุปในส่วนนี้ จะได้ถูกสอบทวนกับเนื้อหาในการอบรมเชิงปฏิบัติการ ซึ่งจะมีทั้งกรอบเนื้อหาและความก้าวหน้าล่าสุดในเทคโนโลยียานยนต์ และมีทั้งการให้ข้อมูลจากช่างเทคนิค วิศวกร นัก

ประดิษฐ์ รวมถึงผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อสรุปช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็นที่ชัดเจนขึ้นไปอีกในขั้นต่อไป

4.2 สถานภาพของผู้ประกอบการไทย

โครงสร้างของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยประกอบด้วยผู้ประกอบการในหลายส่วน ดังรูปที่ 53 ในส่วนของโรงประกอบรถยนต์เป็นลักษณะของกิจการร่วมค้า โดยส่วนประกอบต่างๆจะถูกสนับสนุนโดยบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน Tier 1, Tier 2 และ Tier 3 [35] โดยบริษัท Tier 1 มักจะถูกควบคุมโดยบริษัทข้ามชาติ ดังมีสัดส่วนของกิจการร่วมค้าในส่วนนี้กว่า 54% ในขณะที่บริษัทที่เหลือเป็นกิจการร่วมค้าที่ไทยมีสัดส่วนเป็นใหญ่อีกราว 23% แต่บริษัทเหล่านี้ก็พึ่งเทคโนโลยีจากบริษัทแม่เป็นหลัก จะมีบริษัท Tier 1 ที่พัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมาโดดเด่นก็มีอยู่บ้าง เช่น AAPICO Hitech หรือบริษัทในเครือซัมมิท แต่นอกเหนือจากนั้นแล้ว บริษัท Tier 2 ถึง Tier 3 ส่วนมากจะเป็นการรับคำสั่งการผลิตมาเป็นทอดๆ โดยมีการร่วมพัฒนาหรือการสร้างนวัตกรรมภายในบริษัทเองน้อยมาก และบริษัทต้นน้ำเองก็ใส่ความพยายามในการถ่ายทอดหรือพัฒนาเทคโนโลยีกับบริษัทของไทยน้อยมาก และกับข้อมูลอีกส่วนที่สำคัญก็คือผู้ประกอบการทั้งหมดนี้ ราว 75% เกี่ยวเนื่องกับอุปกรณ์ตกแต่งหรือโครงสร้างตัวถัง [36] ซึ่งเกี่ยวข้องน้อยมากกับเทคโนโลยีของยานยนต์สมัยใหม่



รูปที่ 53 โครงสร้างของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย [35]

ลักษณะของผู้ประกอบการที่เป็นลักษณะหยิบยืมเทคโนโลยีจากบริษัทต้นน้ำและมีธุรกิจที่ห่างไกลกับชิ้นส่วนที่สนับสนุนเทคโนโลยีของยานยนต์สมัยใหม่นี้สะท้อนในตัวเลขสถิติในด้านการวิจัยและพัฒนาของประเทศงบวิจัยและพัฒนาของประเทศไทย (ปี พ.ศ. 2558) เมื่อเทียบเป็นสัดส่วนกับ GDP แล้วอยู่ที่ 0.25% ซึ่งน้อยกว่าประเทศคู่แข่งเพื่อนบ้านเช่นมาเลเซีย จีนและเกาหลี ที่อยู่ที่ 1.7%, 1.98% และ4.04% ตามลำดับ หรือแม้แต่เมื่อ

เทียบกับในธุรกิจของบริษัทนั้นเอง ก็พบว่าสัดส่วนการลงทุนด้านการวิจัยและพัฒนาเป็นสัดส่วนเพียง 8% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด [37] ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและอุตสาหกรรมอาหารที่อยู่ที่ 23% และ 16% ตามลำดับ ไม่เพียงเท่านั้น ในเงินที่ได้ลงไป ก็เป็นการจัดซื้อเปลี่ยนเครื่องจักรให้ทันสมัยขึ้นมากกว่าจะใช้ในการพัฒนานวัตกรรม

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น การพัฒนาของผู้ประกอบการไทยที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานนี้ ถ้าจะมีได้ ก็ยังขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตบริษัทแม่เป็นหลัก การที่บริษัท Tier 2 ถึง Tier 3 จะพัฒนาเทคโนโลยีโดยไม่ทำร่วมกับบริษัทแม่ หรือจะพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่แยกคู่ค้าออกไปถือเป็นความเสี่ยงต่อความสัมพันธ์ในห่วงโซ่อุปทาน ที่บริษัทแม่อาจหันไปทำธุรกิจกับผู้ผลิตรายอื่นแทน รวมทั้งการที่ห่วงโซ่อุปทานในปัจจุบันเป็นลักษณะโลกาภิวัฒน์ ทางเลือกนอกประเทศก็เป็นไปได้ด้วย ด้วยเหตุนี้ ดังตัวอย่างของบริษัท Tier 1 ที่พัฒนาเทคโนโลยีขึ้นมาโดดเด่น ก็เห็นได้ ชัดว่าบริษัทเหล่านี้เอง ต้องมองหาคู่ค้าหรือลูกค้าในต่างประเทศได้เอง[36] ในปริมาณคู่ค้าที่พร้อมรองรับความเสี่ยงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่จะเกิดขึ้น

อย่างไรก็ดี ด้วยการมาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า ก็ได้ทำให้เกิดธุรกิจใหม่ๆ ในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์ และการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนของรัฐบาลในการสนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตยานยนต์ไฟฟ้า [38] ที่ก็ได้สร้างความสนใจให้แก่บริษัทต่างๆ ทั้งที่ปรับเปลี่ยนมาจากธุรกิจอื่นและเกิดขึ้นใหม่จากโอกาสที่เปิดขึ้นของตลาดยานยนต์ไฟฟ้า กล่าวคือในห่วงโซ่อุปทานเดิม ถึงแม้จะเห็นชัดว่าชิ้นส่วนรถยนต์บางชิ้นอาจลดความสำคัญลง เช่นท่อพักท่อไอเสีย หรือระบบเชื้อเพลิง แต่ชิ้นส่วนสำคัญเช่นชุดแบตเตอรี่ก็หมายถึงโอกาสธุรกิจใหม่ที่เกิดขึ้น ในขณะที่ธุรกิจบริการหลังการขายก็เปลี่ยนไปมาก เช่นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญของการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าก็คือการประจุไฟฟ้าที่ซึ่งเป็นตลาดใหม่ที่มีมูลค่าสูงและมีผลต่อเนื่องได้ในระยะยาวระหว่างช่วงชีวิตการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้า

การเปิดกว้างของตลาดยานยนต์ไฟฟ้าก็เปลี่ยนไปมากในช่วงสามปีที่ผ่านมา ในช่วงหลายปีก่อนการประกาศนโยบายผลักดันให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางผลิตยานยนต์ไฟฟ้า บริษัทน้อยใหญ่ในห่วงโซ่อุปทานหรือแม้แต่ภาครัฐเอง [39] มองว่าประเทศต้องการเวลาที่ต้องใช้ในการพัฒนาตลาดและอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า บริษัทผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าเองก็รอการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานคือสถานีประจุไฟฟ้า ในขณะที่ธุรกิจการติดตั้งหรือขายอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าก็รอถึงมาตรฐาน และตัวรุ่นรถที่จะมีขายจริงในตลาดผู้บริโภค แต่การมาของยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริดในปลายปี พ.ศ. 2558 ก็เปิดตลาดและความต้องการของรถไฟฟ้าในวงกว้าง แม้แต่การตอบรับของผู้บริโภคต่อเทคโนโลยีที่ดูเหมือนเป็นสิ่งใหม่ก็ถือว่าเป็นไปทางด้านบวกและขยายวงของการตอบรับอย่างรวดเร็วมาก [40] ดังนั้นจึงไม่แปลกที่ธุรกิจแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและธุรกิจที่เกี่ยวเนื่องกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าจะได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก

กับความชัดเจนของนโยบายและการผลักดันจากกระทรวงต่างๆ และความสนใจอย่างจริงจังจากธุรกิจใหม่ๆ กลุ่มบริษัทที่น่าได้รับการสนับสนุนคือบริษัทที่มุ่งพัฒนานวัตกรรมในกรณีที่มีผลิตภัณฑ์ในห่วงโซ่อุปทานและบริษัทที่มุ่งพัฒนาบริการต่อเนื่อง เช่นธุรกิจการติดตั้งหรือขายอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า ทั้งนี้เพราะสถานการณ์ที่บริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน Tier 1, Tier 2 และ Tier 3 ถูกควบคุมโดยบริษัทข้ามชาติหรือไม่ก็พึ่งพาเทคโนโลยีจากบริษัทแม่ ก็ด้วยลักษณะการพัฒนาธุรกิจ ที่กว่า 99.5% ของ SME เป็นแต่ Small Enterprise [35] การขาดไปซึ่ง Medium Enterprise ที่มีสายป่านทางธุรกิจ สามารถรวมทีมบุคลากรทางเทคนิคได้มากพอ และพร้อมในการพัฒนาและปรับปรุงต่อยอดเทคโนโลยีมากกว่า เป็นจุดอ่อนที่สำคัญภายในโครงสร้างของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ในขณะที่ตัวเลขสัดส่วนของ Medium Enterprise ในกลุ่ม SME เป็น 2.0%, 6.4% และ 10.2% ในสหรัฐฯ, เกาหลีและญี่ปุ่นตามลำดับ

การมุ่งสนับสนุนกลุ่ม Medium Enterprise นี้เป็นกลไกสำคัญ ที่จะทำให้การลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานที่รัฐบาลเดินหน้าไปแล้ว ได้รับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ กรณีตัวอย่างก็เช่นการพัฒนาศูนย์ทดสอบ ยานยนต์และยางล้อรถยนต์แห่งชาติที่มีเป้าเพื่อผลักดันให้ผู้ประกอบการไทยพัฒนาเทคโนโลยีในอุสาหกรรมยานยนต์ได้อย่างรวดเร็วและได้ผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศของประเทศให้มาตรฐานที่ปลอดภัยสำหรับประเทศในเขตร้อนมากขึ้น แต่หากขาดซึ่งธุรกิจกลุ่ม Medium Enterprise ก็ยากที่ศูนย์ทดสอบจะได้รับการใช้งานได้อย่างคุ้มค่าและได้ประโยชน์ การให้ความรู้ทั้งในเชิงลึกถึงประเด็นความรู้ที่ต้องการเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และนวัตกรรมรวมถึงในเชิงกว้างถึงสถานการณ์ของเทคโนโลยี ตลาดและระบบนิเวศน์ของยานยนต์ไฟฟ้าที่ดำเนินโดยหน่วยงานภาครัฐ เช่นสถาบันยานยนต์จึงเป็นกลไกสำคัญในบทบาทของการสนับสนุนธุรกิจกลุ่ม Medium Enterprise นี้

ในโครงการนี้ ได้สอบถามผู้เข้าอบรมอบรมหลักสูตร “ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า” จากแบบสอบถามทั้งหมด 16 ฉบับ พบว่ามีผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า 1 ราย ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า 3 ราย โดยเป็นผู้ขายและติดตั้งเครื่องประจุไฟฟ้า จะเรียกรวมว่า”ผู้ผลิตรถและอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า”และอีก 12 รายเป็นผู้มีธุรกิจด้านเทคโนโลยีที่อยากขยายมาสู่ธุรกิจยานยนต์ไฟฟ้า เช่นธุรกิจแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์อิเลิกทรอนิกส์ ธุรกิจพลังงานแสงอาทิตย์ ธุรกิจชิ้นส่วนรถยนต์และซ่อมบำรุง ในที่นี้จะเรียกว่า” ผู้ทำธุรกิจเกี่ยวเนื่อง” จากผลของแบบสอบถาม ยังได้มีการหารือโดยการพูดคุยเพื่อระบุช่องว่างที่ผู้ประกอบการไทยยังขาด และข้อแนะนำในการปิดช่องว่างนั้น ได้ผลดังนี้

<u>คำถาม:</u> เข้าใจขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้า หรือไม่

<u>คำตอบ:</u> ผู้ผลิตรถและอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้าให้ความเห็นว่า ทางผู้ผลิตมีความเข้าใจในเรื่องการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถยนต์ เช่น ต้องมีการติดตั้ง อุปกรณ์ Electrical protective ด้วย เช่น Breaker, ตู้ MDB และหากมีการติดตั้งต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเท่านั้น

ในขณะที่ผู้ทำธุรกิจเกี่ยวเนื่อง ยังไม่ค่อยเข้าใจระบบการทำงานของการประจุไฟฟ้า แต่เข้าใจเพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งเข้าใจเกี่ยวกับระบบการประจุไฟฟ้าแต่ยังไม่เข้าใจถึงระบบการทำงานเท่าที่ควร ยังคงต้องการให้ผู้ผลิตหรือผู้ที่เกี่ยวข้องชี้แจงทำความเข้าใจให้กับผู้ใช้งาน และยังคงกังวลถึงมาตรฐานในการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในรถ

คำถาม: มาตรฐานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าในไทย ที่มีอยู่ครอบคลุมและเพียงพอต่อการใช้งานปัจจุบันหรือไม่

คำตอบ: ผู้ผลิตรถและอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้าระบุว่ามาตรฐานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในไทยยังไม่ครอบคลุม ต้องกำหนดมาตรฐานให้ชัดเจน โดยอ้างอิงกับมาตรฐานสากล

ผู้ทำธุรกิจเกี่ยวเนื่อง ทราบถึงมีความจำเป็นมากในการวางรูปแบบหรือโครงสร้างในการติดตั้งสถานีประจุไฟฟ้าเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า ยังไม่มั่นใจในระบบการจัดการอุปกรณ์ในการติดตั้ง ยังคงกังวลถึงระบบโครงสร้างพื้นฐานของไทย เพราะยังไม่มีมาตรฐานกำหนดชัดเจน

คำถาม: ระบบความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้า กรณีที่เกิดอุบัติเหตุ เพียงพอหรือไม่

คำตอบ: ผู้ผลิตรถและอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้าให้ความเห็นว่า ระบบความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีอยู่ยังคงไม่เพียงพอ เนื่องจากยังไม่มีข้อกำหนดและการทดสอบที่ชัดเจน ยังไม่สามารถบอกหน้าที่ของช่างซ่อมรถยนต์ไฟฟ้าได้ว่าจะต่างไปจากรถแบบดั้งเดิมอย่างไร

ในขณะที่ผู้ทำธุรกิจเกี่ยวเนื่อง มีความมั่นใจในระบบความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้า แต่มั่นใจในความปลอดภัยของบริษัทที่มีชื่อเสียงและได้มีการทดสอบตามมาตรฐานเท่านั้น แต่หากเป็นรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาดัดแปลง ผลิตหรือประกอบเอง ทางผู้ใช้งานยังไม่มั่นใจในระบบความปลอดภัย

คำถาม: เข้าใจถึงบทบาทหน้าที่ ของทีมช่วยเหลือผู้ได้รับบาดเจ็บ หลังเกิดอุบัติเหตุจากรถยนต์ไฟฟ้า หรือไม่

คำตอบ: ผู้ผลิตรถและอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้าทราบเบื้องต้นว่า ผู้ที่ช่วยเหลือผู้บาดเจ็บนั้น ต้องได้รับการรับรองจากผู้เชี่ยวชาญ แต่ยังไม่ทราบรายละเอียดอื่นๆ เช่น การตัดระบบไฟฟ้าก่อนที่จะเข้าไปช่วยเหลือ

ผู้ทำธุรกิจเกี่ยวเนื่อง ยังไม่เข้าวิธีการปฏิบัติที่ชัดเจน กรณีเกิดอุบัติเหตุ แต่เชื่อว่ายังมีโอกาสที่จะเกิดไฟลุกไหม้ได้

4.3 สรุปช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็นและข้อแนะนำเพื่อดำเนินการ

จากการสอบถามผู้เข้าอบรมอบรมข้างต้น สามารถสรุปช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็น และข้อแนะนำได้ดังนี้

ก) ขั้นตอนหรือแนวทางปฏิบัติในการใช้งานของอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า รวมทั้งโครงสร้างของสถานีประจุไฟฟ้า ขั้นตอนในการติดตั้ง รวมทั้งการรับรองคุณภาพของสถานีประจุไฟฟ้า ยังต้องมาปรับใช้ให้เข้ากับประเทศไทย และมีกฎหมายรองรับอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับสถานีน้ำมัน

ในปัจจุบัน มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าในไทยเริ่มถูกกำหนดให้ครอบคลุมมากขึ้นแล้ว แต่น่าจะยังมีความกำกวมในการสื่อสารกับสาธารณะและธุรกิจที่เกี่ยวข้อง

ข้อแนะนำ: ก) จัดทำเอกสารที่ย่อยข้อมูลที่คร่อมอยู่กับหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า (การไฟฟ้าสามหน่วยงาน กพช กระทรวงพลังงาน ฯลฯ) ให้ตอบคำถามตรงประเด็นกับธุรกิจที่เกี่ยวข้อง

ข) การออกแบบระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้ามีหลายขั้นตอนและอุปกรณ์ที่ช่วยดูแลความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าแรงสูงอยู่ ผู้ผลิตรถและอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้ามีความเข้าใจอยู่ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่ถึงระดับการออกแบบ มาตรการระบบความปลอดภัยเหล่านี้ หากเป็นในบริษัทผู้ผลิตยานยนต์ จะครอบคลุมและชัดเจนมาก ในขณะที่ผู้ประกอบการไทย ยังเห็นระบบความปลอดภัยเป็นส่วนๆ ไม่เห็นภาพที่ครอบคลุมและวิธีการพัฒนาและทดสอบระบบที่ชัดเจน ด้วยระบบเหล่านี้เป็นมาตรฐานอยู่แล้ว จึงควรแชร์กันได้ระหว่างบริษัทโดยไม่ต้องกังวลในเรื่องทรัพย์สินทางปัญญา ในขณะที่ผู้ทำธุรกิจเกี่ยวเนื่องเห็นถึงความสำคัญของการมีกลไกสื่อสารไปยังสาธารณะที่ยังขาดอยู่มาก

ข้อแนะนำ: ข1) จัดทำข้อกำหนดมาตรฐานระบบความปลอดภัยในยานยนต์ไฟฟ้า ที่ครอบคลุมรถยนต์ไฟฟ้าที่นำมาดัดแปลง ผลิต หรือประกอบเองด้วย

ข2) ควรมีการจัดอบรมเชิงลึกในการพัฒนาความปลอดภัยในอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้าในแนวการออกแบบเชิงระบบ

ข3) มีข้อแนะนำด้านศูนย์ทดสอบที่ชัดเจน เพื่อให้เห็นถึงต้นทุนที่จำเป็นต่อการพัฒนาระบบความปลอดภัยให้ตอบระดับคุณภาพแบบสากลได้

ข4) มีเอกสารแนะนำการออกแบบเชิงระบบด้านความปลอดภัยในอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในรถยนต์ไฟฟ้าอย่างง่ายสำหรับผู้ใช้รถ

ค) ในมุมมองของผู้บริโภค แนวปฏิบัติในกรณีเกิดเหตุก็มีความสำคัญ รูปแบบความอันตรายหลังเกิดเหตุยังไม่เป็นที่ทราบกันดี มีภาพลักษณ์ที่คุ้นเคยตามข่าว และยังไม่ทรายวิธีปฏิบัติที่ชัดเจนที่ต่างไปจากกรณีรถยนต์แบบดั้งเดิม

ข้อแนะนำ: ค) ผู้ประกอบการไทยต้องการข้อกำหนดและข้อแนะนำด้านการปฏิบัติหลังเกิดอุบัติเหตุที่ชัดเจนเพื่อยืนยันกับลูกค้าได้ถึงความปลอดภัยในทุกกรณี

4.4 ตัวอย่างหมวดของชุดความรู้และทักษะจำเป็น

บุคลากรที่จะทำงานในด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ จำเป็นต้องมีความรู้และทักษะพื้นฐานที่เพียงพอ เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ทั้งต่อตัวเองและบุคคลรอบข้าง รายละเอียดดังตารางที่ 7 เป็นตัวอย่างของชุดความรู้และทักษะที่ช่างเทคนิคที่จะทำงานกับยานยนต์ไฟฟ้าต้องรู้ โดยอ้างอิงมาจาก Electronics Technicians Association ของสหรัฐอเมริกา ตารางที่ 9 นี้ระบุถึง 10 หมวดของชุดความรู้และทักษะจำเป็น จึงสามารถถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการแนะนำหัวข้อการอบรมอย่างเป็นระบบเทียบกับช่องว่างในความรู้และทักษะที่จำเป็นดังระบุในหัวข้อที่แล้วได้ โดยในการอบรมที่ผ่านมา ได้ครอบคลุมเนื้อหาหมวดที่ 1.0, 2.0, 4.0, 7.0 และ 8.0 แล้ว

ตารางที่ 9 หมวดของชุดความรู้และทักษะจำเป็นสำหรับบุคลากรสำหรับงานด้านไฟฟ้าแรงสูง

1.0 Safety Requirements : ข้อกำหนดด้านความปลอดภัย	1.1. Personal Protection Equipment (PPE) 1.2. OSHA Requirements on High Voltage 1.3. Electrical Shock Prevention 1.4. Electrical Shock Response 1.5. High Voltage Safety 1.6. Fire Safety 1.7. Explain Emergency Response Guides (ERG), overview familiarization 1.8. Battery Safety
2.0 Electric Vehicle Fundamentals : ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า	2.1 History 2.2 EV Operations 2.3 Basic wiring systems 2.4 EV Conversions/hybrids
3.0 Electrical Theory : ทฤษฎีทางไฟฟ้า	3.1. Mathematics for Electronics 3.2. Ohm's Law 3.3. Voltage drop meter measurements 3.4. Series circuits 3.5. Parallel circuits 3.6. Principles of Alternating Current (AC)
4.0 Electronic Systems Components : องค์ประกอบของระบบอิเล็กทรอนิกส์	4.1 DC and AC isolation detection 4.2 Isolation fault circuit 4.3 Voltage sensing stages 4.4 Logic / Digital output stages 4.5 Voltage regulator circuits 4.6 Motor Power Control strategies IM /PM power inverter 4.7 Instrumentation
5.0 Motor Theory : ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์	5.1 Basic DC Motor theory 5.2 DC motor types and usages 5.3 DC Motor Math 5.4 Output torque/speed-motor basics 5.5 No load rule 5.6 Controls 5.7 P/M machine stator design 5.8 Windings 5.9 Motor phase

ตารางที่ 7 (ต่อ) หมวดของชุดความรู้และทักษะจำเป็นสำหรับบุคลากรสำหรับงานด้านไฟฟ้าแรงสูง

6.0 EV Electronics and Testing Fundamentals : พื้นฐานอิเล็กทรอนิกส์และการทดสอบ	6.1 Test Equipment 6.2 CAT I electronics 6.3 Transformer high voltage winding-resistance 6.4 CAT II electronics 6.5 Receptacle-connected loads 6.6 CAT III electronics 6.7 Equipment in fixed installations 6.8 CAT IV electronics 6.9 Utility connection between pole and meter 6.10 Ground paths through meters
7.0 Batteries : แบตเตอรี่	7.1 Batteries 7.2 Battery Ratings: 7.3 Service Disconnects 7.4 Voltage Isolation Faults 7.5 Battery construction 7.6 Charge and discharge characteristics 7.7 Battery Management Systems
8.0 Energy Delivery Systems : ระบบการถ่ายโอนพลังงาน	8.1. AC and DC Motor controls 8.2 Inverter Controls 8.3 DC/DC converters 8.4 Transaxle design, (gears, torque)
9.0 Charging : การประจุ	9.1 DC/DC Converters 9.2 Charging Levels 9.3 On-board chargers 9.4 Off vehicle chargers 9.5 Off Grid chargers (zero carbon footprint) 9.6 Vehicle to Grid 9.7 Mini-EV Charging controls 9.8 Regeneration
10.0 BEV Maintenance and Troubleshooting : การบำรุงรักษาและการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น	10.1 CAN bus 10.2 Generic system controls 10.3 Cooling system 10.4 Thermal Battery Controls and Monitoring

5. ผลการดำเนินการอบรมเชิงปฏิบัติการ

5.1 เนื้อหาการประชาสัมพันธ์เพื่อรับสมัคร

ด้วยวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้และงานวิจัยเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าให้กับประชาชนทั่วไป ผู้ประกอบการด้านยานยนต์ไฟฟ้า และหน่วยงานภาครัฐ และเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยการสนับสนุนให้เกิดการวิจัยและพัฒนาแก่ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง โครงการนี้ได้จัดการอบรมเชิงปฏิบัติการ ที่มีกลุ่มเป้าหมายคือช่างเทคนิค วิศวกร นักประดิษฐ์ รวมถึงผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมชิ้นในการอบรมเชิงปฏิบัติการนี้ ได้ใช้ชื่อการอบรมว่า “การฝึกอบรมทักษะและมาตรฐานความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า” โดยได้ประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทางต่างๆ เช่น facebook, เวปเพจ และการส่งอีเมลโดยตรงไปยังผู้ที่น่าจะสนใจ ดังรูปที่ 54 (รายละเอียดในภาคผนวก ก) การอบรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ภายใต้โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า โดยสถาบันยานยนต์ สนับสนุนโดยกระทรวงอุตสาหกรรม

รูปที่ 54 เอกสารประชาสัมพันธ์โครงการ

5.2 ผู้เข้าร่วม

จากการประชาสัมพันธ์และรับสมัคร มีผู้ได้รับเลือกเข้าร่วมโครงการอบรมรวม 19 คน จาก 13 บริษัท และเมื่อเริ่มการอบรม มีผู้เข้าอบรมรวม 14 คน จาก 11 บริษัท ดังตารางที่แสดง ซึ่งในจำนวนนี้ ผู้เข้าร่วมได้เข้าร่วมครบทั้งสามวัน และผ่านการทดสอบข้อสอบทบทวนความรู้หลังการอบรมครบทุกคน จึงมีผู้เข้าอบรมรวมจำนวน 14 คนที่ได้รับประกาศนียบัตรจากทางสถาบันยานยนต์

ลำดับ	คำนำหน้า	ชื่อ	นามสกุล	ชื่อบริษัท	ประเภทธุรกิจ
1	นาย	สมบูรณ์	อ่อนน้อม	บริษัท โทริยาม่า(ประเทศไทย)จำกัด	ประกอบผลิตจำหน่ายอุปกรณ์สื่อสาร
2	นาย	สุรพล	เพชรพร้อมนาค	บริษัท อีซี่ ทรานสปอร์เตอร์(ไทยแลนด์)จำกัด	ประกอบซ่อมแซมบำรุงรักษายานพาหนะ
3	นาย	วีรพงษ์	ทิพย์ธารทอง	บริษัท อีซี่ ทรานสปอร์เตอร์(ไทยแลนด์)จำกัด	ประกอบซ่อมแซมบำรุงรักษายานพาหนะ
4	นาย	ประทีป	สุธีพิเชฐภัณฑ์	นวโลหะไทย	โรงงานชิ้นส่วนรถ
5	นาย	วรวุฒิ	หล้าเต็น	EVF THAILAND CO.,LTD.	อุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
6	นาย	พูนพัฒน์	โลหารชุน	EVolt technology	อุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า
7	นาย	สมชาย	ศรีพสุวัตร	ร้านกูดมอร์นิ่งโซล่า	ติดตั้งสถานีประจุยานยนต์ไฟฟ้าและโซล่าเซลล์
8	นาย	สมยศ	เรืองรักเรียน	บริษัท ออลวัน โซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด	ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (พลังงานแสงอาทิตย์)
9	นาย	สังคม	ทองอ่อน	บริษัท ออลวัน โซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด	ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (พลังงานแสงอาทิตย์)
10	นางสาว	กาญจนิดา	กิตติสุบรรณ	Teletronics Co., Ltd.	Electronics Design
11	นาย	จักรกฤษณ์	เวศย์วรุตม์	CleanSolarEnergy Co.,Ltd.	Solar PV
12	นาย	นิกข์	เลาหะกุล	CleanSolar Energy Co.,Ltd.	Solar PV
13	นาย	สุภณัฏฐ์	สาระเกษตริน	บริษัท พลังยานยนต์ จำกัด	จำหน่ายอุปกรณ์ ติดตั้ง รถยานยนต์ไฟฟ้า
14	นาย	อัศวิน	สำลี	บริษัท ปตท จำกัด (มหาชน)	บริษัท ปตท จำกัด (มหาชน)

5.3 ภาพของการดำเนินการ

12 กรกฎาคม 2560

การกล่าวเปิดงานโดย ดร. พีรพงษ์ เกียรติศักดิ์ศรี

การบรรยายโดย รศ.ดร.อังคีร์ ศรีภคากร ในหัวข้อ ยานยนต์ไฟฟ้า - ก้าวต่อไปของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย

การทดสอบกับข้อสอบตรวจสอบความรู้ก่อนการอบรม

การบรรยายโดย Mr. Christophe Moure ในหัวข้อ การออกแบบระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้า

การให้ข้อมูลเรื่องกระบวนการทดสอบรถไฟฟ้าโดยคุณสุรเดช วรณัฐสุนทร ตัวแทนจากบริษัท IDIADA

การตอบข้อซักถามโดย รศ.ดร.อังคีร์ ศรีภคากร

13 กรกฎาคม 2560

การบรรยายโดย Mr. Christophe Moure ในหัวข้อ ระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า

บรรยากาศการซักถามโดยผู้เข้าอบรม

การสรุปประเด็นคำตอบโดย รศ.ดร.อังคีร์ ศรีภคากร

การทดสอบข้อสอบ ตรวจสอบความรู้หลังการอบรม

การอธิบายการใช้เครื่องประจุไฟฟ้า DC Quick Charger

การอธิบายลักษณะของหัวจ่ายไฟฟ้า DC Quick Charge

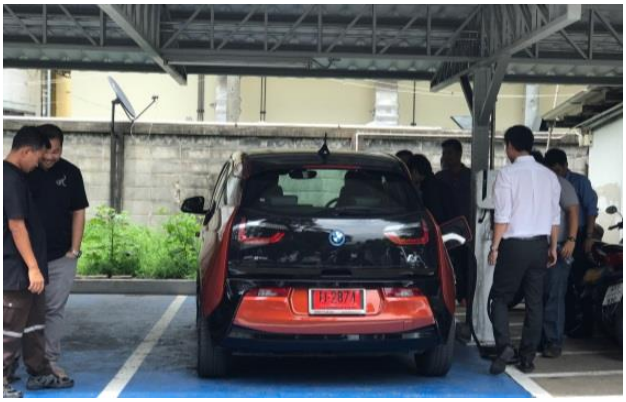
14 กรกฎาคม 2560

การอธิบายสมรรถนะและการตอบสนองการขับขี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

รถไฟฟ้าที่ได้ใช้ในการอบรม BMW i3

การทดสอบสมรรถนะยานยนต์ไฟฟ้า

การทดสอบการตอบสนองการขับขี่ของยานยนต์ไฟฟ้า



การใช้งานสถานีอัดประจุไฟฟ้า

การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้า

14 กรกฎาคม 2560

การใช้งานสถานีอัดประจุไฟฟ้า

รถไฟฟ้าที่ได้ใช้ในการอบรม BMW i3

การสัมภาษณ์ Focus group โดยทีมสถาบันยานยนต์

การมอบวุฒิบัตรกับผู้ผ่านการอบรมและผ่านการทดสอบ

เอกสารประกอบการสัมมนา เข้าเล่ม เคลือบปกสีอาบมัน จำนวนหน้า 125 หน้า

ภาพหมู่ผู้เข้าร่วมการอบรม

5.4 ความสัมฤทธิ์ผล ผ่านการทดสอบก่อนและหลังการอบรม

ในการอบรมเชิงปฏิบัติการนี้ ที่ปรึกษาจะเตรียมข้อสอบตรวจสอบความรู้ก่อนการอบรม และหลังการอบรมดังภาคผนวก ข และ ค ตามลำดับ โดยข้อกำหนดของการได้รับวุฒิบัตรโดยสถาบันยานยนต์คือผู้เข้าอบรมต้องได้คะแนนสำหรับข้อสอบตรวจสอบความรู้หลังการอบรม ไม่ต่ำกว่า 80% ซึ่งในการอบรม พบว่าในการทำข้อสอบรอบแรก ผู้เข้าอบรมไม่ผ่านข้อกำหนดเป็นจำนวนมาก ทางที่ปรึกษาจึงได้จัดช่วงการทบทวนเนื้อหา เพื่อให้ผู้เข้าอบรมได้ซักถามข้อสงสัยในเนื้อหาเป็นกรณีเพิ่มเติม ท้ายที่สุดแล้ว ผู้เข้าอบรมทั้ง 14 ท่านได้ผ่านการทดสอบอย่างครบถ้วน

5.5 ความคิดเห็นต่อเนื้อหาและสิ่งที่ได้จากการอบรม

ในการอบรมเชิงปฏิบัติการนี้ ที่ปรึกษาได้เก็บข้อมูลผ่านแบบสอบถามกับผู้เข้าอบรม (ภาคผนวก ง) ได้ข้อมูลที่ประมวลแล้วดังตาราง 10 และ 11 จากตาราง 10 เนื้อหาที่ผู้เข้าอบรมให้ความสำคัญ(ใน 5 อันดับแรก) และให้คะแนนเรื่องความรู้และทักษะ(ใน 5 อันดับแรก) ที่สอดคล้องกันคือ ยานยนต์ไฟฟ้า – ก้าวต่อไปของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย และ ระบบการประจุไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกันกับลักษณะธุรกิจของผู้เข้าอบรมดังระบุในหัวข้อ 5.2 ดังนั้นจึงเป็นข้อสนับสนุนว่าเนื้อหาในส่วนนี้ ตอบโจทย์การอบรมได้อย่างเพียงพอ

อีกเนื้อหาที่ผู้เข้าอบรมให้ความสำคัญและได้คะแนนความสำคัญเป็นอันดับสูงสุดคือหัวข้อ ระบบไฟฟ้าแรงดันสูง ข้อสังเกตก็คือ หัวข้อนี้ได้คะแนนเรื่องความรู้และทักษะจากการอบรมที่อันดับรองลงมา เมื่อพิจารณาลงไปในเนื้อหาแล้ว พบว่าบทนี้จะมุ่งอธิบายไปใน มาตรฐานทางอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับด้านไฟฟ้าแรงสูงมากกว่าที่จะอธิบายถึงประเด็นในการออกแบบ ผลิต หรือทดสอบ ซึ่งเมื่อได้สอบถามกับวิทยากรจากต่างประเทศแล้วได้รับการยืนยันว่าในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์จริงในอุตสาหกรรม ประเด็นเหล่านั้นถูกพิจารณาแยกไปในส่วนต่างๆ ทั้งในแบตเตอรี่ ในระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้า และเนื้อหาเหล่านี้ก็ได้สอดแทรกอยู่ในการอบรมอยู่แล้ว ดังสามารถแจกแจงได้ดังนี้ (อ้างอิงหน้าในเล่มเอกสารการอบรม)

บทที่ 1 เรื่อง ความปลอดภัยในระบบไฟฟ้าแรงดันสูงของแบตเตอรี่ หน้า 17

บทที่ 2 เรื่อง รูปแบบความเสียหายของมอเตอร์และแบตเตอรี่ หน้า 44

บทที่ 4 เรื่อง ระบบจัดการแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าแรงดันสูง หน้า 48

บทที่ 5 เรื่อง สถานการณ์การทำงานของระบบไฟฟ้าแรงสูง หน้า 61

บทที่ 7 เรื่อง การทดสอบแบตเตอรี่

ซึ่งเมื่อดูการตอบรับในบทเหล่านี้แล้ว เนื้อหาในบทที่ 1,4 และ 5 ก็ได้รับคะแนนเรื่องความรู้และทักษะจากการอบรมใน 5 อันดับแรก ดังนั้น จะได้ปรับเนื้อหาในเอกสารการอบรม ให้รวมเนื้อหาในส่วนการออกแบบ ผลิต หรือทดสอบ ทั้งในแบตเตอรี่ ในระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้ามาให้อยู่ในบทเดียวกัน พร้อมปรับแนวทางการอธิบายให้ผู้เข้าอบรมเข้าใจได้ง่ายขึ้น

ในขณะที่อีก 2 หัวข้อของเนื้อหาที่ผู้เข้าอบรมให้ความสำคัญใน 5 อันดับแรก เป็นเรื่อง สถานการณ์ตลาดยานยนต์ไฟฟ้า และแนวโน้มการสัญจรในอนาคต ในสองหัวข้อนี้ ด้วยความที่อยู่ในลำดับท้ายๆ ของการอบรม และในการจัดการอบรมจริง มีกิจกรรมทั้งการทดสอบรถไฟฟ้าและสถานีประจุ รวมทั้งการสอบวัดความรู้ จึงมีโอกาสอธิบายในสองหัวข้อนี้ได้อย่างจำกัดมาก ดังนั้น จะคงเนื้อหาส่วนนี้ไว้ หรืออาจปรับให้ทันสมัยขึ้นในช่วงเวลาถัดไป

ตาราง 10 ความคิดเห็นต่อเนื้อหาและสิ่งที่ได้จากการอบรม

ความสำคัญของเนื้อหาส่วนนี้ต่อธุรกิจของท่าน 1-น้อยมาก 3-ปานกลาง 5-มากที่สุด						ท่านได้ความรู้และทักษะในเรื่องนี้จากการอบรม 1-น้อยมาก 3-ปานกลาง 5-มากที่สุด				
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
		8	31	**62**	A – ยานยนต์ไฟฟ้า - ก้าวต่อไปของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย			8	31	**62**
7		33	20	40	1 – การออกแบบระบบส่งกำลังของรถไฟฟ้า			13	31	**56**
7		40	27	27	2 – การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะและจำลอง			38	19	44
		33	27	40	3 – ระบบควบคุม			19	38	44
	7	27	20	47	4 – ข้อระบุของ BMS		6	6	31	**56**
		20	33	47	5 – ความต้องการด้านฟังก์ชันของระบบแบตเตอรี่			6	38	**56**
		7	27	**67**	6 – ระบบไฟฟ้าแรงดันสูง			25	31	44
		27	33	40	7 – การทดสอบแบตเตอรี่			33	27	40
7	7	40	27	20	8 – การประกอบรวมตัวรถและการทดสอบยืนยัน			25	31	44
		20	13	**67**	9 – ระบบการประจุไฟฟ้า			19	31	**50**
7	7	27	20	40	10 – การจัดการความร้อนและการปรับอากาศ		6	13	38	44
	7	13	13	**67**	11 – สถานการณ์ตลาดยานยนต์ไฟฟ้า			25	44	31
		15	31	**54**	– แนวโน้มการสัญจรในอนาคต			8	**50**	42

ตาราง 11 ความเหมาะสมการฝึกอบรม

	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
วิทยากรมีความรู้เพื่อตอบความต้องการของท่านจากการอบรม				5	11	**4.69**
วิทยากรให้ความใส่ใจต่อความต้องการของท่านจากการอบรม		1		3	12	**4.5**
เนื้อหาโดยรวมของการอบรม			2	4	10	4.13
เอกสารประกอบการอบรม			3	6	7	3.69
สถานที่ และอุปกรณ์เพื่อการอบรม			2	3	11	4.19
ระยะเวลาการอบรม			4	4	8	3.5

ผู้เข้าอบรมได้ให้ความเห็นถึงความเหมาะสมของการฝึกอบรม ตาราง 11 ซึ่งบ่งชี้ว่าผู้เข้าอบรมให้การยอมรับถึงความรู้และความใส่ใจของวิทยากรต่อการอบรม ในขณะที่สถานที่-อุปกรณ์-และเนื้อหาของการอบรมได้คะแนนระดับรองลงมา-ในขณะที่ระยะเวลาการอบรมและเอกสารประกอบการอบรมได้คะแนนรองลงมาตามลำดับ-ซึ่งในการอบรมก็ได้รับข้อคิดเห็นจากผู้เข้าอบรม ถึงระยะเวลาการอบรมจำนวนสามวันซึ่งค่อนข้างบริหารจัดการได้ยาก

โดยสรุปแล้ว จากความสัมฤทธิ์ผล และความคิดเห็นข้างต้น ได้สรุปเป็นข้อควรปรับปรุง และทางที่ปรึกษาได้ปรับแก้คู่มือคู่มือการอบรมที่ถูกต้องและเหมาะสมตามมาตรฐานความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า พร้อมด้วยชุดของบุคลากรที่พร้อมอบรมให้แก่ผู้ที่สนใจในอนาคตได้ต่อไปดังแนบมาในสิ่งที่ส่งมาด้วย

อภิทานศัพท์

Authentication	การระบุตัวตน
Battery Electric Vehicle	ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่
Battery management system	ระบบจัดการแบตเตอรี่
Battery pack	กล่องบรรจุชุดแบตเตอรี่
Body-in-white	โครงสร้างตัวถังเปล่า
Charging equipment	อุปกรณ์ประจุไฟฟ้า
Charging point	จุดให้บริการประจุไฟฟ้า
Charging station	สถานีประจุไฟฟ้า
Compatibility	ความเข้ากันได้
Connector	หัวปลั๊ก
Cooling System	ระบบหล่อเย็น
Crash worthiness	การรองรับการชน
Crumpling Zone	บริเวณยุบตัว
Electric traction motor	มอเตอร์ไฟฟ้า
Electric vehicle	ยานยนต์ไฟฟ้า
Electric Vehicle Supply Equipment	อุปกรณ์ประจุไฟฟ้า
Electrolyte	สารอิเลกโทรไลท์
ElectroMagnetic Compatability, EMC	ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า
Electromagnetic Interference	การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า
Electro-Ophthalmia	ความเสียหายต่อสายตาจากแสงจ้า
EV car	รถยนต์ไฟฟ้า
Fuel Cell Electric Vehicle	ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง
Fuel cell stack	ชุดเซลล์เชื้อเพลิง
Ground Fault	การสูญเสียการแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง
Harshness	ความกระด้าง
High voltage	ไฟฟ้าแรงสูง
High voltage battery	แบตเตอรี่ไฟฟ้าแรงสูง
High voltage bus	บัสแรงดันสูง
High voltage Isolation	การแบ่งแยกวงจรแรงดันสูง

High Voltage Safety Management System	ระบบการจัดการด้านความปลอดภัยไฟฟ้าแรงสูง
High voltage system	ระบบไฟฟ้าแรงสูง
Home charger/Wall charger	เครื่องประจุไฟฟ้า
Hybrid Electric Vehicle	ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด
Impact Absorbing structure	โครงสร้างดูดซับแรงกระแทก
Insulation fault	ความเสียหายทางฉนวนไฟฟ้า
Interoperability	การทำงานร่วมกันได้
Inverter	ชุดแปลงกระแสไฟฟ้า
Lightweight materials	วัสดุน้ำหนักเบา
Normal Charging	การประจุไฟแบบปกติ
Personal Protective Equipment	อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล
Plug-in Hybrid Electric Vehicle	ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด
Power Control Unit	ชุดควบคุมไฟฟ้ากำลัง
Power train Control Module	ชุดควบคุมระบบขับเคลื่อน
Pulley	ลูกรอก
Quick Charging	การประจุไฟฟ้าแบบเร็ว
Receptacle/Socket	เต้ารับ
Regenerative braking	การเบรกแบบผันกลับ
Supercapacitor	ตัวเก็บประจุความจุสูง
Traction battery	แบตเตอรี่ขับเคลื่อน
Transmission with differential	ชุดเกียร์ดิฟเฟอร์เรนเชียล
Wallbox	เครื่องประจุไฟฟ้าติดผนัง
Wireless Charging	การประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย

เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC), การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า และผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย Assessment of Electric Vehicle Technology Development and Its Implication in Thailand, พฤษภาคม, 2016

[2] HONDA , HONDA FIT EV Emergency Response Guide, 2013

[3] U.S. Department of Energy, http://www.afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work สืบค้น วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2017

[4] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, เชื้อเพลิงไฮโดรเจน พลังงานทางเลือกใหม่ทดแทนน้ำมัน แหล่งที่มา http://www.erdi.cmu.ac.th/index.php/news/1254?category=11 สืบค้น 19 เมษายน 2017

[5] Basics of electric Vehicle Design and Function, Volkswagen Group ,2013 : 14,41

[6] Bender Group, Power Electrical Safety, Germany,2009 : 9

[7] German Electrical and Electronic Manufacturers‘ Association, Voltage Classes for Electric Mobility,2013 : 11-12

[8] 20th APEC Automotive Dialogue,Beijing, China

[9] CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Gothenburg, Sweden, 2016 ; หน้า 6

[10] Amphenol PCD Shenzhen reserves the right to clarify this catalog, China

[11] EMSD, Technical Guidelines on Charging Facilities for Electric Vehicles, 2015

[12] http//www.e-transportation.eucatalogproduct.phpid_product=30

[13] แผนการจัดทำมาตรฐานยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย สถาพร รุ่งรัตนาอุบล 9 มีนาคม 2560

[14] David L.Fender, Electric Vehicle Noise Are They Too Quiet?, Emerging Hazards Peer-Reviewed, ProfessionalSafety, January, 2011

[15] Gizmag is now New Atlas, Michael Irving, “Quiet Car" safety standard calls for EVs and hybrids to make some noise [ออนไลน์], แหล่งที่มาhttp://newatlas.com/quiet-car-ev-safety-standard/46428/ สืบค้นวันที่ 14 พฤษภาคม 2017

[16] Checkraka, เจาะลึกระบบและการใช้งาน Lane Keeoing Assist System ใน Honda Sensing , [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.checkraka.com/knowledge/%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C%E0%B9%83%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%88-14-

158/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89/1668477/ วันที่สืบค้น 14 พฤษภาคม 2017

[17] US Department of Energy, Plug-In Electric Vehicle Handbook for Consumer Host, February, 2015

[18] Wikimedia Commons, the free media repository, Electric vehicle warning sounds, [ออนไลน์], แหล่งมา https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_warning_sounds, วันที่สืบค้น14 พฤษภาคม 2017

[19] The Massachusetts Department of Energy Resources, INSTALLATION GUIDE FOR ELECTRIC VEHICLE SUPPLY EQUIPMENT (EVSE), 2014

[20] Zach McDonald, Nissan Dealer Warns Customers: Using GE's WattStation Charger Can Damage Your LEAF [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.plugincars.com/nissan-dealer-warns customers-using-ges-wattstation-charger-can-damage-your-leaf-123121.html,วันที่ 8 มีนาคม 2017

[21] Section Green Technology, [ออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.motortrivia.com/section-green-tech-02/222-sae-j1772-combo/sae-j1772-combo-fast-charge.html วันที่ 7 มีนาคม 2017

[22] A. Zidan ,H.A. Gabbar, Design and control of V2G , University of Ontario Institute of Technology (UOIT), Oshawa, ON, Canada Assiut University, Assiut, Egypt,2017

[23] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคดนโลยีมหานคร [ออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.eng.mut.ac.th/article_detail.php?id=136, วันที่ 1 พฤษภาคม 2017

[24] Vehiclegarage,[ออนไลน์],แหล่งที่มา http://ienergyguru.com/2015/09/volt-utility-vehicles-garage-based-grid/,วันที่ 5 มีนาคม 2017

[25] https://greentransportation.info/ev-charging/range-confidence/chap8-tech/ev-dc-fast-charging-standards-chademo-ccs-sae-combo-tesla-supercharger-etc.html

[26] Hydro quebec ,ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS Technical Installation Guide,2015.

[27] Charging Standard, [ออนไลน์] แหล่งที่มา https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station,10 มกราคม 2017

[28] Teslacharger,Gressvillaasvocate[ออนไลน์] ,แหล่งที่มา http://www.greenvilleadvocate.com/2015/01/27/charge-em-up/สืบค้นวันที่ 1มีนาคม 2017

[29] US Department of Energy, Plug-In Electric Vehicle Handbook for Public Charging Host, April, 2012

[30] US Department of Energy, Plug-In Electric Vehicle Handbook for Workplace Charging Host, April, 2013

[31] Zyren, J. EV Combined Charging system featureing HomePlug Green PHY, Qualcomm(2015)

[32] www.moditech.com/rescue

[33] http://www.nissan-global.com/EN/ENVIRONMENT/CAR/RECYCLE/

[34] Electric Vehicle Capitals of the World, www.theicct.org

[35] Thailand: Industrialization and Economic catch-up, Asian Development Bank, 2015.

[36] SME ไทยก้าวทันกระแสยานยนต์ยุค 4.0 แล้วหรือยัง, K SME Analysis ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, มกราคม 2560

[37] Auto Technopolis: new engine for the Thai auto industry, SCB Economic Intelligence Center, June 2016

[38] การประชุมคณะกรรมการพัฒนาระบบนวัตกรรมของประเทศ (คพน.) ครั้งที่ 2/58 เมื่อ 11 พ.ค. 2558

[39] การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า และผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับประเทศไทย, รายงานฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.) และ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC), (ฉบับปรับปรุง 8 กุมภาพันธ์ 2558)

[40] ผู้บริโภคปัจจุบันสนใจรถยนต์ Plug-In Hybrid เป็นอันดับหนึ่ง, ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, พฤษภาคม 2017

บรรณานุกรม

- Basics of electric Vehicle Design and Function, Volkswagen Group ,2013 : 14,41
- German Electrical and Electronic Manufacturers‘ Association,Voltage Classes
- for Electric Mobility, Germany,2013
- ETA®International ,ELECTRIC VEHICLE TECHNICIAN (EVT), Electric Vehicle Technician Committee, 2012
- National Renewable Energy Laboratory ,Electric Vehicle and Infrastructure Codes and Standards Citations,2010
- BlogEngine.NET , Electromagnetic Compatibility for Electric Vehicles. [ออนไลน์]2017
- http://www.flexautomotive.net/EMCFLEXBLOG/post/2015/10/04/ev-fire-safety [22 มกราคม 2560]
- 20th APEC Automotive Dialogue,Beijing, China,2014

ภาคผนวก ก : เนื้อหาการประชาสัมพันธ์เพื่อรับสมัคร

แผนการฝึกอบรม “ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า”
โครงการ “การศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์นั่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า”
ภายใต้โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

หลักการและเหตุผล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้และงานวิจัยเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าให้กับประชาชนทั่วไป ผู้ประกอบการด้านยานยนต์ไฟฟ้า และหน่วยงานภาครัฐ
2. เพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยการสนับสนุนให้เกิดการวิจัยและพัฒนาแก่ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มเป้าหมาย

1. บุคลากรของสถานประกอบการในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน และอุตสาหกรรมสนับสนุน
2. บุคลากรของหน่วยงานภาคราชการและการศึกษาที่เกี่ยวข้องและมีความสนใจในเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า

หัวข้อและกำหนดการฝึกอบรม

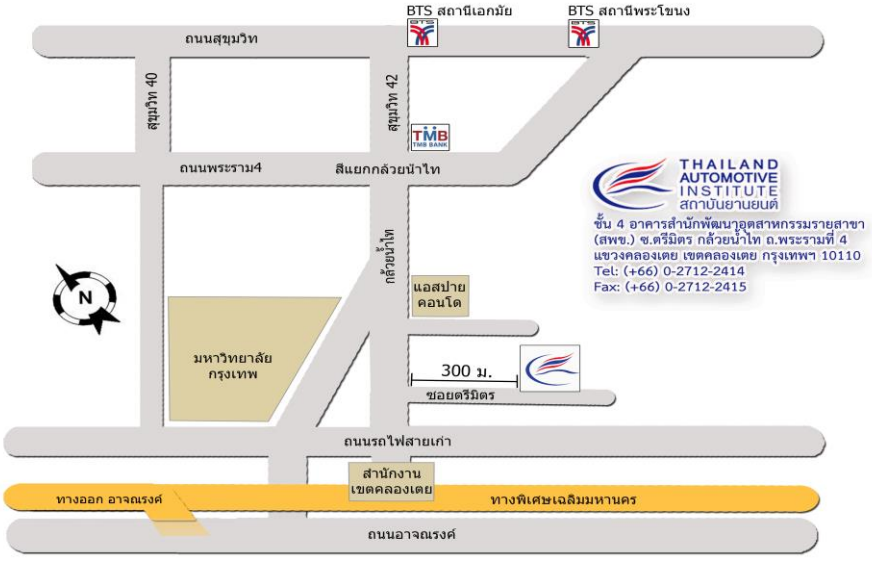
ครั้งที่	หัวข้อการฝึกอบรม	วัน เวลา ฝึกอบรม
1	**หัวข้อ** แนวคิดและการออกแบบระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้า **โดย** Mr. Christophe Moure **หัวข้อย่อย** ● การควบคุมแรงบิดและการจัดการพลังงานในการขับเคลื่อน	12 กรกฎาคม 2560 เวลา 8.30 – 16.00

ครั้งที่	หัวข้อการฝึกอบรม	วัน เวลา ฝึกอบรม
	• หน้าที่และข้อกำหนดทางเทคนิคของชุดแบตเตอรี่และ BMS • ระบบการประจุ มาตรฐาน รูปแบบหัวต่อและการทำงานร่วมกันได้	
2	**หัวข้อ** ระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า **โดย** Mr. Christophe Moure **หัวข้อย่อย** • การทดสอบความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ชุดต่างๆ • การเลือกอุปกรณ์ EVSE • ระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า ขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย • การทดสอบชุดแบตเตอรี่	13 กรกฎาคม 2560 เวลา 8.30 – 16.00
3	**หัวข้อ** สมรรถนะและการตอบสนองการขับขี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า **โดย** รศ.ดร.อังคีร์ ศรีภคากร **หัวข้อย่อย** • กรณีศึกษาด้านการใช้งานและบำรุงรักษา • แนวการปฏิบัติกรณีเกิดเหตุ • การใช้งานสถานีอัดประจุไฟฟ้า • อัพเดทแนวโน้มของยานยนต์ไฟฟ้าในวันนี้	14 กรกฎาคม 2560 เวลา 8.30 – 16.00

สถานที่ฝึกอบรม

ห้องอบรม 305 ชั้น 3 สถาบันยานยนต์ (กล้วยน้ำไท)

แผนที่



การรับสมัคร

ช่วงเวลารับสมัคร วันนี้ ถึง 14 มิย 2560

ประกาศผลการพิจารณา 16 มิย 2560

จำนวนที่รับ ผู้ประกอบการเอกชน 8 ราย (รายละไม่เกิน 2 คน) รวม 16 คน

ค่าใช้จ่ายในการรับสมัคร มัดจำค่าฝึกอบรมคนละ 4,500 บาท และจะได้รับคืนเต็มจำนวนหลังจากเข้ารับการฝึกอบรมครบทั้งสามวัน

คุณสมบัติของหน่วยงานที่สามารถเข้าร่วมโครงการ (จำกัดหน่วยงานละ 2 คน)

หน่วยงานเอกชน

1. เป็นผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน และอุตสาหกรรมสนับสนุน
2. มีความสนใจในเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า หรือ อาจได้รับผลกระทบโดยตรงจากกรณีการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้า
3. ยินดีเข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการตลอดทั้งโครงการ
4. ต้องมีแผนการนำไปถ่ายทอดองค์ความรู้ต่อยอดแก่อุตสาหกรรม เช่น การเป็นวิทยากรในอุตสาหกรรม นำไปออกแบบการผลิต หรือผลิตผลงานเชิงวิชาการ
5. ยินดีให้ความร่วมมือในด้านการฝึกอบรมแก่สถาบันยานยนต์ เช่น เป็นวิทยากร

หลักฐานประกอบการสมัคร
1. สำเนาบัตรประจำตัวประชาชน
2. สำเนาบัตรพนักงาน หรือ บัตรข้าราชการ
3. หนังสือยินยอมจากหน่วยงานให้เข้าร่วมการฝึกอบรม ลงนามโดยผู้มีอำนาจ
4. หนังสือ ภพ 20

ขั้นตอนการรับสมัคร
1. ส่งใบสมัครพร้อมหลักฐานประกอบการสมัคร
2. คณะกรรมการพิจารณาคุณสมบัติของผู้สมัคร
3. แจ้งผลการพิจารณาไปยังผู้สมัคร
4. ผู้สมัครยืนยันเข้าร่วมการฝึกอบรมและชำระเงินมัดจำ

เงื่อนไขการฝึกอบรม ผู้เข้าอบรมจะต้องเข้าฝึกอบรมตามวันและเวลาที่กำหนดตลอดการฝึกอบรม หากผู้เข้าอบรมขาดการเข้าร่วมการอบรมโดยไม่แจ้งให้ผู้ดำเนินโครงการทราบล่วงหน้า ทางผู้ดำเนินโครงการขอสงวนสิทธิ์ในการคืนเงินมัดจำค่าฝึกอบรม

ติดต่อสอบถามและส่งใบสมัครได้ที่

คุณดนัย ฤกษ์ศิริพงษ์ โทร 02-2186636 โทรสาร 02-2186617 อีเมล danai.lerksiripong.cu@gmail.com

โปสเตอร์ประชาสัมพันธ์การอบรม

ฟรี !! ไม่มีค่าใช้จ่าย

รับจำนวน 16 ท่าน
(2ท่านต่อบริษัท)
หมดเขตรับสมัคร
ภายใน 14 มิถุนายน 2560

การอบรมทักษะและมาตรฐานความปลอดภัย ด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า

สถาบันยานยนต์ ร่วมกับ ศูนย์วิจัยยานยนต์และระบบขนส่ง อัจฉริยะ จุฬาฯจัดสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่อง ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าภายใต้โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

ในปัจจุบัน เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าได้รับความสนใจมากขึ้น ทั้งจากช่างเทคนิค วิศวกร นักประดิษฐ์ ที่สนใจทำงานด้านการผลิตหรือประกอบยานยนต์ไฟฟ้า แต่ประเด็นด้านความปลอดภัยในด้านไฟฟ้าแรงสูงยังเป็นสิ่งที่ทุกคนให้ความกังวล ทั้งในตัวยานยนต์ไฟฟ้าเอง และกับอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า ความรู้และทักษะด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ที่ถูกต้องและสอดคล้องตามมาตรฐานความปลอดภัยเป็นส่วนสำคัญยิ่งที่จะทำให้งานพัฒนาด้านยานยนต์ไฟฟ้าเป็นไปได้อย่างกว้างขวาง ปลอดภัยและให้ความมั่นใจต่อสังคม

วันที่ 12–14 กรกฎาคม
เวลา 08.30–16.00 น.
สถานที่ ณ สถาบันยานยนต์ ชั้น 3 ห้องอบรม 305
อาคารสำนักพัฒนาอุตสาหกรรมราบสาขา (สพข.)
ซ.ตรีมิตร กลัวบน้ำไท ถ.พระรามที่ 4 เขตคลองเตย กรุงเทพฯ

HIGHLIGHT

- เรียนรู้แนวคิดการออกแบบยานยนต์ไฟฟ้า ชุดแบตเตอรี่ และสถานีประจุไฟฟ้า
- เรียนรู้อุปกรณ์ไฟฟ้าและการต่อเชื่อม รวมถึงมาตรฐานยานยนต์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง
- ฝึกปฏิบัติด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ ผ่านอุปกรณ์จริง
- อัพเดทแนวโน้มของยานยนต์ไฟฟ้าในวันนี้

วันที่ 1 **แนวคิดและการออกแบบระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้า**
การควบคุมแรงบิดและการจัดการพลังงานในการขับเคลื่อน
หน้าที่และข้อกำหนดทางเทคนิคของชุดแบตเตอรี่และ BMS
ระบบการชาร์จ มาตรฐาน รูปแบบหัวต่อและการทำงานร่วมกันได้

วันที่ 2 **ระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า**
การทดสอบความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ชุดต่างๆ
การเลือกอุปกรณ์ EVSE
ระบบไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้า ขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย
การทดสอบชุดแบตเตอรี่

วันที่ 3 **สมรรถนะและการตอบสนองการขับขี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า**
กรณีศึกษาด้านการใช้งานและบำรุงรักษา
แนวการปฏิบัติกรณีเกิดเหตุ
การใช้งานสถานีจัดประจุไฟฟ้า
อัพเดทแนวโน้มของยานยนต์ไฟฟ้าในวันนี้

วิทยากร รศ.ดร. อังคีร์ ศรีภคากร และ Mr. Christophe Moure

หมายเหตุ:
- ขอความร่วมมือกับผู้ได้รับการคัดเลือกเข้าอบรม ในการให้ความร่วมมือกับสถาบันยานยนต์และจุฬาฯ ในการเป็นวิทยากรร่วม หากมีการจัดฝึกอบรมในหัวข้อที่เกี่ยวข้องในอนาคต
- ขอสงวนสิทธิ์สำหรับบุคลากรในหน่วยงาน/ธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์เกี่ยวเนื่อง หากมีหน่วยงานวิจัยและพัฒนา หรือแผนการออกแบบหรือผลิตจะได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษ
- ผู้ที่เข้าอบรม ต้องเข้าอบรมครบ 3 วัน

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ คุณ ดนัย ฤกษ์ศิริผงษ์
โทร. 0-2218-6636 โทรสาร 0-2218-6617
อีเมล danai.lerksiripong.cu@gmail.com

ภาคผนวก ข : ข้อสอบ ตรวจสอบความรู้ก่อนการอบรม

ชื่อ-นามสกุล .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

ข้อสอบ ตรวจสอบความรู้ก่อนการอบรม

สำหรับการอบรมหลักสูตร

“ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า”

ชื่อ-นามสกุล .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

ส่วนที่ 1 : ให้กากบาท X ทับข้อที่ถูกต้อง

1. ข้อใด **มิใช่** ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้า
   ก. BEV ข. PHEV ค. NGV ง. Extended-Range EV

2. หน้าที่ของระบบ Manual Service Disconnect คือ
   ก. แยกวงจรไฟฟ้าแรงสูงที่ออกจากแบตเตอรี่ และป้องกันจากไฟฟ้าลัดวงจร
   ข. ใช้ตัดวงจรไฟฟ้า
   ค. ป้องกันการเชื่อมต่อระหว่างแบตเตอรี่กับไฟฟ้าแรงสูง
   ง. เชื่อมการทำงานแบบไฟฟ้าสลับแบบสามเฟสของมอเตอร์

3. รถแต่ละคัน โดยทั่วไปในปัจจุบัน มี ECU ราวกี่ตัว
   ก. 1 ข. 2 ค. 100 ง. 20,000

4. ตามมาตรฐาน ISO 6469-3 คลาสแรงดัน B คือวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีค่าแรงดันทำงานสูงกว่ากี่โวลต์ : ในกรณีกระแสตรง
   ก. 4.2 V ข. 60 V ค. 110 V ง. 1500 V

5. Torque vectoring ทำหน้าที่ใดของระบบขับเคลื่อน
   ก. เพิ่มความปลอดภัยเมื่อทำงานร่วมกับ ESP
   ข. ควบคุมค่ากระแส ตามแต่ปัจจัยต่างๆ
   ค. ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
   ง. คำนวณสถานการณ์ของการชาร์จ

6. ส่วนอุปกรณ์ภายในของแบตเตอรี่ มีการแยกสีของสายไฟโดยใช้สีใด ในการแยกไฟฟ้าแรงสูงกับแรงต่ำ
   ก. สีแดง-ดำ ข. สีน้ำเงินเข้ม ค. สีเหลือง-ดำ ง. สีส้ม

7. ข้อใด **มิใช่** รูปแบบการตัดไฟของรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ปกป้องผู้ใช้จากทั้งการสัมผัสโดยตรงและทางอ้อมกับไฟฟ้าแรงสูง
   ก. Manual Disconnects
   ข. Interlock
   ค. Automatic Hazardous Voltage Disconnects
   ง. High Voltage bus

8. ข้อใดเป็นสาเหตุในการออกแบบแผ่นกั้นขั้วไฟฟ้าแบบ shutdown separator ที่ใช้ในการปิดกั้นการทำงานทางเคมีในเซลล์ห้แ
   ก. ป้องกันการเสียสภาพของเซลล์แบตเตอรี่
   ข. ป้องการการเกิดประกายไฟ
   ค. ป้องกันการระเบิด
   ง. ป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานสัมผัส

9. ข้อใดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบการรั่วไหลลงดิน
   ก. Abuse test
   ข. IMD (Isolation Monitoring Device)
   ค. High Voltage Cable
   ง. ถูกทุกข้อ

ชื่อ-นามสกุล .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

10. ข้อใดเป็นมาตรการป้องกันเมื่อไฟฟ้าลัดวงจร
    ก. เฝ้าระวังและตรวจสอบสายไฟ
    ข. มีสัญญาณเตือนภัยดังขึ้นเมื่อระบบผิดปกติ
    ค. ตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงาน
    ง. ถูกทุกข้อ

ส่วนที่ 2: ให้ตอบคำถามโดยเติมคำในช่องว่าง

1. การออกแบบระบบส่งกำลังของรถยนต์ไฟฟ้าได้รับผลกระทบจากตัวบทกฎหมายในลักษณะใด ให้ยกตัวอย่างสักหนึ่งตัวอย่างในประเทศต่างๆ

_____

_____

2. ค่าประสิทธิภาพรวม ที่เรียกว่า well-to-wheel efficiency ในกรณีรถไฟฟ้า คำว่า "well" ในที่นี้หมายถึงอะไร

_____

3. ข้อได้เปรียบสำคัญหนึ่งของรถไฟฟ้าคือกำลังขับสูงสุดมีได้อย่างทันที แต่ข้อได้เปรียบนี้ก็ส่งผลกระทบได้ต่อส่วนประกอบทางกลได้อย่างไรบ้าง

_____

4. ให้ยกตัวอย่างชิ้นส่วนสำคัญสามชิ้นส่วนที่การระบายความร้อนมีความสำคัญมาก หากระบบระบายความร้อนเสียหาย จะเกิดความเสียหายได้อย่างฉับพลัน

_____

5. สำหรับแบตเตอรี่ในยานยนต์ ในการใช้งาน จะมีการเสื่อมสภาพไปอย่างต่อเนื่อง โดยปกติ จะถือว่าเสื่อมเกินการใช้งานเมื่อค่าความจุลดลงต่ำกว่ากี่ % ของค่าความจุตั้งต้น

_____

6. การทดสอบเพื่อตรวจรับได้ (Homologation test) คืออะไร

_____

7. รูปแบบหนึ่งของการปรับอากาศในรถเรียกว่า การเตรียมห้องโดยสารไว้ก่อน (Pre-conditioning) คืออะไร

_____

_____

<u>ภาคผนวก ค : ข้อสอบ ตรวจสอบความรู้หลังการอบรม</u>

ชื่อ-นามสกุล .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

ข้อสอบ ทบทวนความรู้หลังการอบรม

สำหรับการอบรมหลักสูตร

“ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูงในยานยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ประจุไฟฟ้า”

ชื่อ-นามสกุล .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

<u>ส่วนที่ 1 : ให้กากบาท X ทับข้อที่ถูกต้อง</u>

1. ข้อใด **มิใช่** ประเภทของรถยนต์ไฟฟ้า
   ก. BEV
   ข. PHEV
   ค. NGV
   ง. Extended-Range EV

2. หน้าที่ของระบบ Manual Service Disconnect คือ
   ก. แยกวงจรไฟฟ้าแรงสูงที่ออกจากแบตเตอรี่ และป้องกันจากไฟฟ้าลัดวงจร
   ข. ใช้ตัดวงจรไฟฟ้า
   ค. ป้องกันการเชื่อมต่อระหว่างแบตเตอรี่กับไฟฟ้าแรงสูง
   ง. เชื่อมการทำงานแบบไฟฟ้าสลับแบบสามเฟสของมอเตอร์

3. รถแต่ละคัน โดยทั่วไปในปัจจุบัน มี ECU ราวกี่ตัว
   ก. 1
   ข. 2
   ค. 100
   ง. 20,000

4. ตามมาตรฐาน ISO 6469-3 คลาสแรงดัน B คือวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงที่มีค่าแรงดันทำงาน<u>สูงกว่ากี่โวลต์</u> : ในกรณีกระแสตรง/กระแสสลับ
   ก. 4.2 V / 3.8 V_{rms}
   ข. 60 V / 30 V_{rms}
   ค. 110 V / 220 V_{rms}
   ง. 1500 V / 1000 V_{rms}

5. Torque vectoring ทำหน้าที่ใดของระบบขับเคลื่อน
   ก. เพิ่มความปลอดภัยเมื่อทำงานร่วมกับ ESP
   ข. ควบคุมค่ากระแส ตามแต่ปัจจัยต่างๆ
   ค. ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า
   ง. คำนวณสถานการณ์ของการชาร์จ

6. ส่วนอุปกรณ์ภายในของแบตเตอรี่ มีการแยกสีของสายไฟโดยใช้สีใด ในการแยกไฟฟ้าแรงสูงกับแรงต่ำ
   ก. สีแดง-ดำ
   ข. สีน้ำเงินเข้ม
   ค. สีเหลือง-ดำ
   ง. สีส้ม

7. ข้อใด **มิใช่** รูปแบบการตัดไฟของรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ปกป้องผู้ใช้จากทั้งการสัมผัสโดยตรงและทางอ้อมกับไฟฟ้าแรงสูง
   ก. Manual Disconnects ข. Interlock
   ค. Automatic Hazardous Voltage Disconnects ง. High Voltage bus

ชื่อ-นามสกุล .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

8. ข้อใดเป็นสาเหตุในการออกแบบแผ่นกั้นขั้วไฟฟ้าแบบ shutdown separator ที่ใช้ในการปิดกั้นการทำงานทางเคมีในเซลล์ห้แ
   ก. ป้องกันการเสียสภาพของเซลล์แบตเตอรี่
   ข. ป้องการการเกิดประกายไฟ
   ค. ป้องกันการระเบิด
   ง. ป้องกันไม่ใช้ผู้ใช้งานสัมผัส

9. ข้อใดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบการรั่วไหลลงดิน
   ก. Abuse test
   ข. IMD (Isolation Monitoring Device)
   ค. High Voltage Cable
   ง. ถูกทุกข้อ

10. ข้อใดเป็นมาตรการป้องกันเมื่อไฟฟ้าลัดวงจร
    ก. เฝ้าระวังและตรวจสอบสายไฟ
    ข. มีสัญญาณเตือนภัยดังขึ้นเมื่อระบบผิดปกติ
    ค. ตัดการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงาน
    ง. ถูกทุกข้อ

<u>ส่วนที่ 2 : ให้ตอบคำถามโดยเติมคำในช่องว่าง</u>

1. การออกแบบระบบส่งกำลังของรถยนต์ไฟฟ้าได้รับผลกระทบจากตัวบทกฎหมายในลักษณะใด ให้ยกตัวอย่างสักหนึ่งตัวอย่างในประเทศต่างๆ

_____

_____

2. ค่าประสิทธิภาพรวม ที่เรียกว่า well-to-wheel efficiency ในกรณีรถไฟฟ้า คำว่า “well” ในที่นี้หมายถึงอะไร

_____

_____

3. ตามเอกสารอบรม ค่าประสิทธิภาพรวม ที่เรียกว่า well-to-wheel efficiency ในกรณีรถไฟฟ้าดีกว่ารถที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ราวกี่เท่า

_____

4. แผนภาพที่แสดงกระบวนการออกแบบระบบส่งกำลังของรถไฟฟ้า ที่แสดงถึงการออกแบบแนวคิด การพัฒนาส่วนประกอบ การตรวจสอบยานยนต์ แสดงได้ในลักษณะรูปร่างของตัวอักษรใด (ตัวเลือก Z, T, V, M, C)

_____

ชื่อ-นามสกุล .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

5. ข้อได้เปรียบสำคัญหนึ่งของรถไฟฟ้าคือกำลังขับสูงสุดมีได้อย่างทันที แต่ข้อได้เปรียบนี้ก็ส่งผลกระทบได้ต่อส่วนประกอบทางกลได้อย่างไรบ้าง

_____

_____

6. เซลล์แบตเตอรี่แบบแท่งทรงกระบอกมีข้อดีคือความเสถียรเชิงกลที่ดี, ความหนาแน่นเชิงพลังงานสูง แต่ก็มีข้อเสียเปรียบคืออะไร

_____

7. ให้ยกตัวอย่างชิ้นส่วนสำคัญสามชิ้นส่วนที่การระบายความร้อนมีความสำคัญมาก หากระบบระบายความร้อนเสียหาย จะเกิดความเสียหายได้อย่างฉับพลัน

_____

8. สำหรับแบตเตอรี่ในยานยนต์ จากการเสื่อมสภาพในการใช้งาน จะถือว่าเสื่อมเกินการใช้งานเมื่อค่าความจุลดลงต่ำกว่ากี่ % ของค่าความจุตั้งต้น และผู้ผลิตในปัจจุบันมีแผนจะนำแบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพไปทำอะไรต่อ

_____

9. การทดสอบเพื่อตรวจรับได้(Homologation test) คืออะไร

_____

_____

10. รูปแบบของการปรับอากาศในรถที่เรียกว่า การเตรียมห้องโดยสารไว้ก่อน (Pre-conditioning) มีผลเพิ่มหรือลดระยะขับขี่ของรถไฟฟ้าอย่างไร เพราะเหตุใด

_____

_____

11. ในชุดแบตเตอรี่ มีทั้งโมดูลและเซลล์แบตเตอรี่ โมดูลและเซลล์แบตเตอรี่ต่างกันอย่างไร

_____

12. ระบบ Vehicle-to-Home คืออะไร มีไว้เพื่ออะไร

_____

_____

ภาคผนวก ง : แบบสอบถาม เพื่อทราบความต้องการของผู้เข้าร่วม

ชื่อ-นามสกุล ..... หน่วยงาน/องค์กร ..... ตำแหน่ง .....

☐ ผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ☐ ผู้ผลิตอุปกรณ์รถยนต์ไฟฟ้า ☐ อื่นๆ .....

แบบสอบถาม

วัตถุประสงค์ : เพื่อทราบความต้องการของผู้เข้าร่วม และการตอบความต้องการจากเนื้อหาของการอบรม

กากบาทลงในช่องที่เหมาะสม

ความสำคัญของเนื้อหาส่วนนี้ต่อธุรกิจของท่าน 1-น้อยมาก 3-ปานกลาง 5-มากที่สุด						ท่านได้ความรู้และทักษะในเรื่องนี้จากการอบรม 1-น้อยมาก 3-ปานกลาง 5-มากที่สุด					
						* หากหัวข้อใดไม่ได้บรรยาย ให้ประเมินจากเอกสารประกอบแทน					
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
					– ยานยนต์ไฟฟ้า - ก้าวต่อไปของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย						
					1 – การออกแบบระบบส่งกำลังของรถไฟฟ้า						
					2 – การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะและจำลอง						
					3 – ระบบควบคุม						
					4 – ข้อระบุของ BMS						
					5 – ความต้องการด้านฟังก์ชันของระบบแบตเตอรี่						
					6 – ระบบไฟฟ้าแรงดันสูง – ขั้นตอนด้านความปลอดภัยและการออกแบบระบบ						
					7 – การทดสอบแบตเตอรี่						
					8 – การประกอบรวมตัวรถและการทดสอบยืนยัน						
					9 – ระบบการชาร์จไฟฟ้า						
					10 – การจัดการความร้อนและการปรับอากาศ						
					11 – สถานการณ์ตลาดยานยนต์ไฟฟ้า						
					– แนวโน้มการสัญจรในอนาคต						

ความเหมาะสมของการจัดการฝึกอบรม : 1-น้อยมาก 3-ปานกลาง 5-มากที่สุด	1	2	3	4	5
วิทยากรมีความรู้เพื่อตอบความต้องการของท่านจากการอบรม					
วิทยากรให้ความใส่ใจต่อความต้องการของท่านจากการอบรม					
เนื้อหาโดยรวมของการอบรม					
เอกสารประกอบการอบรม					
สถานที่ และอุปกรณ์เพื่อการอบรม					
ระยะเวลาการอบรม					