รายงานฉบับสมบูรณ์

# โครงการศึกษาวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า

ภายใต้ โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรม
เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า ปี 2561

เสนอ

สถาบันยานยนต์ อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ

จัดทำโดย

บริษัท สิขร จำกัด

# สารบัญ

หน้า

**สารบัญ** ..... ก
**สารบัญตาราง** ..... ง
**สารบัญรูปภาพ** ..... จ
**บทสรุปผู้บริหาร** ..... ซ
**Executive summery** ..... ญ

**บทที่ 1 บทนำ** ..... **1-1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ ..... 1-1
1.2 วัตถุประสงค์ ..... 1-2
1.3 กลุ่มเป้าหมาย ..... 1-2
1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน ..... 1-2
1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน ..... 1-3
**บทที่ 2 ส่วนประกอบหลักรถยนต์ไฟฟ้า** ..... **2-1**
2.1 ระบบการทำงานรถยนต์ไฟฟ้า ..... 2-1
2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า ..... 2-6
2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ..... 2-7
2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ..... 2-11
2.2.3 การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท ..... 2-15
2.3 หน่วยกักเก็บพลังงาน ..... 2-17
2.3.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี ..... 2-17
2.3.2 โครงสร้างแบตเตอรี่ ..... 2-20
2.3.3 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่แต่ละประเภท ..... 2-22
**บทที่ 3 มอเตอร์และแบตเตอรี่นิสสันลีฟ** ..... **3-24**
3.1 ข้อมูลทั่วไปรถยนต์นิสสันลีฟ ..... 3-24
3.2 หลักการทำงานรถยนต์นิสสันลีฟ ..... 3-26
3.3 มอเตอร์ไฟฟ้าของนิสสันลีฟ ..... 3-27
3.3.1 ส่วนประกอบและโครงสร้างระบบส่งกำลังของนิสสันลีฟ ..... 3-27
3.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้า (Traction Motor) ..... 3-30
3.3.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ..... 3-33

3.3.4 การถ่ายเทความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า ....3-34
3.3.5 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้า....3-36
3.3.6 แผนภูมิการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า ....3-38
3.4 ชุดแบตเตอรี่ของนิสสันลีฟ....3-41
3.4.1 เซลล์แบตเตอรี่ โมดูล และชุดแบตเตอรี่ ....3-41
3.4.2 โครงสร้างแบตเตอรี่ของรถยนต์นิสสันลีฟ ....3-43
3.4.3 ผู้ผลิตแบตเตอรี่....3-45
3.4.4 การชาร์จแบตเตอรี่....3-46
3.4.5 รายการชิ้นส่วนแบตเตอรี่....3-48
3.4.6 แผนภูมิการทำงานของแบตเตอรี่....3-52
3.5 ผู้ผลิตชิ้นส่วนของระบบหลักในรถยนต์นิสสันลีฟ ....3-54
3.6 ผลการทดสอบรถยนต์นิสสันลีฟ ....3-55
3.6.1 ทดสอบการขับขี่....3-55
3.6.2 ทดสอบแบตเตอรี่....3-56
3.6.3 ทดสอบมอเตอร์ ....3-60
**บทที่ 4 การปรับตัวของอุตสาหกรรมไทยต่อยานยนต์สมัยใหม่ ....4-64**
4.1 แนวทางการพัฒนาผู้ผลิตชิ้นส่วนไทยให้สามารถผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า ....4-64
4.1.1 เปรียบเทียบชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ ....4-64
4.1.2 ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าและแนวทางการปรับตัวสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ ผู้ผลิตชิ้นส่วน ตัวแทนจำหน่ายและศูนย์บริการ ....4-67
4.1.3 โอกาสสำหรับการพัฒนาธุรกิจและผู้ประกอบการใหม่ๆ ....4-67
4.1.4 แนวทางการพัฒนาชิ้นส่วนของผู้ประกอบการ....4-68
4.1.5 มาตรการส่งเสริมเพื่อพัฒนาของผู้ประกอบการ....4-69
4.2 แนวทางการผลิตชิ้นส่วนหลักยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ....4-70
4.2.1 แนวทางการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ....4-70
4.2.2 แนวทางการผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า....4-77
**เอกสารอ้างอิง....i**
**ภาคผนวก.... iv**
ก. การอบรมเพื่อถ่ายทอดความรู้แก่ทางสถาบันยานยนต์ .... iv
ข. คู่มือการถอดชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้า.... x

# สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1-1 แผนการดำเนินงาน....1-3
ตาราง 2-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท....2-16
ตาราง 2-2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท....2-16
ตาราง 2-3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ....2-17
ตาราง 2-4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน [2.2]....2-19
ตาราง 2-5 เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภท [2.2]....2-23
ตาราง 3-1 ข้อมูลทางเทคนิคของรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา: เอ็มเทค)....3-24
ตาราง 3-2 ตัวเลขยอดขายของนิสสันลีฟแยกตามตลาดหลักและตามปี....3-25
ตาราง 3-3 ข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าของรถนิสสันลีฟ....3-30
ตาราง 3-4 ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แบตเตอรี่ โมดูลแบตเตอรี่ และชุดแบตเตอรี่....3-43
ตาราง 3-5 ข้อมูลผู้ผลิตชิ้นส่วนของรถนิสสันลีฟ....3-54
ตาราง 3-6 ความต้านทางภายในของแบตเตอรี่....3-56
ตาราง 3-7 ค่าแรงดันและความต้านทานภายในของแต่ละโมดูล....3-59
ตาราง 3-8 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ความเร็ว 0-90 kmh....3-62
ตาราง 4-1 ชิ้นส่วนที่มีความแตกต่างไปจากเดิม (ที่มา: เอ็มเทค)....4-66

# สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูป 2-1 HEV/EV Powertrain main components ....2-2
รูป 2-2 ส่วนประกอบหลักของระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า....2-2
รูป 2-3 EV system configuration....2-3
รูป 2-4 Pure Electric Powertrain Layout....2-4
รูป 2-5 โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า ....2-5
รูป 2-6 การจัดวางชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้า....2-5
รูป 2-7 Performance curve-Torque-Speed ....2-6
รูป 2-8 Classification of electric motor....2-7
รูป 2-9 Brushed DC Motor Construction ....2-7
รูป 2-10 Brushed DC Motor Main Components....2-8
รูป 2-11 Brushed DC Motor Rotor ....2-8
รูป 2-12 Series wound motor....2-9
รูป 2-13 Construction of Brushless DC Motor....2-9
รูป 2-14 Construction of Stator Brushless DC Motor....2-10
รูป 2-15 Hall Sensors on BLDC....2-10
รูป 2-16 Brushless DC Motor ....2-11
รูป 2-17 Construction of Induction Motor and Permanent Magnet AC Motor....2-11
รูป 2-18 Construction of IM and PMAC Stator ....2-12
รูป 2-19 Interior Permanent Magnet IPM-Rotor [2.1]....2-12
รูป 2-20 Construction of Induction Motor Rotor....2-13
รูป 2-21 Permanent Magnet และ Induction motor ....2-14
รูป 2-22 Cross section IPM Motor-Induction Motor ....2-14
รูป 2-23 Induction Motor....2-15
รูป 2-24 Permanent Magnet AC Motor....2-15
รูป 2-25 เซลล์ไฟฟ้าเคมี....2-18
รูป 2-26 Charge-and-discharge-process-of-secondary-lithium-ion-batteries....2-19
รูป 2-27 โครงสร้างภาคในแบตเตอรี่ลิเทียม....2-21
รูป 2-28 ลักษณะรูปทรงของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [2.2]....2-21

รูป 2-29 แบตเตอรี่แพ็ค ....2-21
รูป 2-30 Battery Specific Energy Density และ Volumetric Energy Density....2-22
รูป 2-31 Battery Technology Comparsion ....2-23
รูป 3-1 การทำงานของรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา : www.aprs.org)....3-27
รูป 3-2 ระบบส่งกำลังของรถยนต์นิสสันลีฟ รุ่นโมเดลปี 2011 (ที่มา : MTEC)....3-28
รูป 3-3 เปรียบเทียบระบบส่งกำลังของรถยนต์นิสสันลีฟรุ่นโมเดลต่างๆ (ที่มา : MTEC) ....3-28
รูป 3-4 สายไฟสำหรับเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ (ที่มา : MTEC) ....3-29
รูป 3-5 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์ (ที่มา MTEC)....3-29
รูป 3-6 ตำแหน่งการยึดระบบส่งกำลังของรถนิสสันลีฟ....3-30
รูป 3-7 ขดลวดสเตเตอร์ของรถนิสสันลีฟ (ที่มา : MTEC)....3-31
รูป 3-8 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าของรถนิสสันลีฟ [4.2]....3-31
รูป 3-9 มอเตอร์ไฟฟ้านิสสันลีฟ MY2011 (ที่มา : MTEC)....3-32
รูป 3-10 Rotor stack และ Stator stack (MY2011) [4.3]....3-32
รูป 3-11 Rotor lamination ในมอเตอร์ของรถยนต์ไฟฟ้ารุ่นต่างๆ (ที่มา: Bulent Sarlioglu)....3-33
รูป 3-12 เปรียบเทียบขนาดและน้ำหนักอินเวอร์เตอร์ของรถไฟฟ้าโมเดลต่างๆ [4.4]....3-34
รูป 3-13 ปั๊มน้ำไฟฟ้าและจุดเข้าออกของน้ำยาหล่อเย็น [4.2] ....3-34
รูป 3-14 แผนผังแสดงการไหลเวียนของระบบหล่อเย็น (ที่มา : MTEC)....3-35
รูป 3-15 ช่องทางเดินน้ำหล่อเย็นของมอเตอร์ (MY2011) (ที่มา: MTEC และ [4.5])....3-35
รูป 3-16 การจำลองน้ำหล่อเย็นที่ไหลในช่องการไหลของน้ำหล่อเย็นมอเตอร์ (MY2011) [4.5]....3-36
รูป 3-17 รายการชิ้นส่วนชุดมอเตอร์และเกียร์ ....3-36
รูป 3-18 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านนอก ....3-36
รูป 3-19 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านใน-1....3-37
รูป 3-20 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านใน-2....3-37
รูป 3-21 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านใน-3....3-38
รูป 3-22 แผนภูมิการทำงานของระบบขับเคลื่อน ....3-38
รูป 3-23 แผนภูมิการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า....3-39
รูป 3-24 แผนภูมิไหลเวียนพลังงาน ....3-40
รูป 3-25 เซลล์แบตเตอรี่สำหรับรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา: AESC) [4.6]....3-41
รูป 3-26 การคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่ (ที่ 25°C)....3-42
รูป 3-27 การต่อเซลล์แบตเตอรี่ภายในโมดูล (ที่มา: MTEC) ....3-42
รูป 3-28 รูปร่างของเซลล์แบตเตอรี่ โมดูลแบตเตอรี่ และชุดแบตเตอรี่ ....3-43
รูป 3-29 ขั้วต่อและจุดยึดของโมดูลแบตเตอรี่ (ที่มา: AESC)....3-44

รูป 3-30 ขั้วต่อสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าแต่ละเซลแบตเตอรี่ (ที่มา: MTEC) ....3-44
รูป 3-31 ไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในชุดแบตเตอรี่ (ที่มา: insideevs) [4.12] ....3-45
รูป 3-32 เปรียบเทียบแบตเตอรี่ในรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา: AESC) ....3-46
รูป 3-33 ช่องหัวรับไฟ (Inlet) สำหรับการชาร์จของรถนิสสันลีฟ [4.13] ....3-46
รูป 3-34 ปลั๊ก (plug) และช่องหัวรับไฟ (Inlet) สำหรับการชาร์จแบบปกติ ที่มา: EVSE [4.14] ....3-47
รูป 3-35 ปลั๊ก (plug) CHAdeMo สำหรับการชาร์จเร็ว [4.15] ....3-48
รูป 3-36 การเชื่อมต่อเพื่อชาร์จแบบเร็วของนิสสันลีฟ [4.16] ....3-48
รูป 3-37 รายการชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ....3-49
รูป 3-38 ตำแหน่งชิ้นส่วนหลัก ....3-50
รูป 3-39 รายการชิ้นส่วนกองโมดูล ....3-50
รูป 3-40 รายการชิ้นส่วนในกล่องพักสายไฟแบตเตอรี่ ....3-50
รูป 3-41 รายการชิ้นส่วนสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง ....3-50
รูป 3-42 Battery Controller ....3-51
รูป 3-43 Battery Temperature Sensor ....3-51
รูป 3-44 Safty Plug ....3-51
รูป 3-45 Under Cover ....3-52
รูป 3-46 แผนภูมิการทำงานของชุดแบตเตอรี่ ....3-52
รูป 3-47 แผนภูมิการเชื่อมต่อภายในชุดแบตเตอรี่ ....3-53
รูป 3-48 เส้นทางการขับทดสอบ ....3-55
รูป 3-49 ความเร็วระหว่างการทดสอบ ....3-56
รูป 3-50 ผลการทดสอบรถยนต์นิสสันลีฟ [4.17] ....3-56
รูป 3-51 การทดสอบแบตเตอรี่รถยนต์นิสสันลีฟ ....3-57
รูป 3-52 ตำแหน่งการวัดความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่ ....3-58
รูป 3-53 ตำแหน่งและหมายเลขโมดูลแบตเตอรี่ ....3-58
รูป 3-54 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน ....3-60
รูป 3-55 การติดตั้ง probe วัดค่าแรงดัน และ คลิปแอมป์วัดค่ากระแส ....3-61
รูป 3-56 การทดสอบวัดค่าพลังงานในการวิ่งที่ความเร็ว 0-90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ....3-61
รูป 3-57 กราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ความเร็ว 0-90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ....3-63
รูป 4-1 ความเหมือนและความต่างของประเภทชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าแบบ BEV และชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ที่มา: งานวิจัย ธ.กสิกรไทย) [5.1] ....4-65
รูป 4-2 AC Motor manufacturing process flow [5.21] ....4-70
รูป 4-3 (left) Rotor lamination, (right) Stator lamination [5.31] ....4-71

รูป 4-4 การพันขดลวดทองแดง [5.22] ....4-71
รูป 4-5 Wire inserting ....4-71
รูป 4-6 Wound stator core manufacturing process [5.33] ....4-72
รูป 4-7 Magnet inserting [5.24] ....4-72
รูป 4-8 IPM production process-BMW [2.1] ....4-73
รูป 4-9 Traction Motor Specific Cost Trend [5.20] ....4-74
รูป 4-10 Mass and cost calculations for IPM traction motor [5.20] ....4-75
รูป 4-11 (Left) An example of a sintered NdFeB magnet and (right) the 80 kW interior permanent magnet motor from the Nissan Leaf, in which such magnets are use [5.19] ....4-75
รูป 4-12 Materials cost in a 30 kW traction motor for a motor with rare earth magnets (‘interior permanent magnet motor’) and two options without [5.19] ....4-75
รูป 4-13 Comparison between the Maximum Energy Product of differing hard magnetic materials [5.19] ....4-76
รูป 4-14 วัสดุพื้นฐานสำหรับผลิตแบตเตอรี่ [5.3] ....4-78
รูป 4-15 การพันอิเล็กโทรดในขั้นตอนการประกอบแบตเตอรี่ (ที่มา: Gommeblog.it) [5.4] ....4-79
รูป 4-16 กระบวนการผลิตเซลและชุดแบตเตอรี่ (ที่มา: Siemens) [5.35] ....4-80
รูป 4-17 ต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเซลแบตเตอรี่ [5.6] ....4-81
รูป 4-18 เปรียบเทียบประมาณการต้นทุนของการผลิตเซลแบตเตอรี่ในประเทศต่างๆ [5.2] ....4-82
รูป ก-0-1 การถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์จัดที่สถาบันยานยนต์ .... v
รูป ก-0-2 การถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ในห้องอมรม .... v

# บทสรุปผู้บริหาร

อุตสาหกรรมยานยนต์ของโลกกำลังปรับเปลี่ยนทิศทางใหม่ในช่วงทศวรรษนี้ หลังจากมีการเริ่มต้นพัฒนายานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้ามานานกว่า 20 ปีปัจจุบันผู้ผลิตยานยนต์หลายใหญ่ของโลกต่างออกมาประกาศเริ่มต้นการผลิตยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าและจะลดจำนวนการผลิตยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน

โครงการศึกษาวิจัยชุดนี้นี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาชิ้นส่วนสำคัญของรถยนต์นั่งไฟฟ้า เพื่อเตรียมการให้ความรู้แก่บุคลากรในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ทั้งส่วนของผู้ผลิตชิ้นส่วน ผู้ที่จะเข้าทำงานในอุตสาหกรรมยานยนต์ทั้งภาคการผลิตและภาคการให้บริการหลังการขาย

ในการเลือกยานยนต์ที่มาศึกษานี้ได้เลือกรถยนต์นิสสัน”ลีฟ” ซึ่งเป็นรถที่มีปริมาณการขายออกสู่ตลาดโลกในอันดับต้นๆของรถยนต์นั่งขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าทั้งหมด และเป็นแบบเดียวกับที่ทางสถาบันยานยนต์ได้จัดซื้อไว้เป็นต้นแบบอยู่แล้ว ในการนี้ผู้ศึกษาวิจัยได้จัดหารถยนต์นิสสัน “ลีฟ”รุ่นใกล้เคียงกันซึ่งเป็นรถใช้แล้วสภาพดีจากประเทศญี่ปุ่นมาเป็นต้นแบบในการศึกษาเพราะจะมีโอกาสเห็นพัฒนาการอย่างต่อเนื่องของรถยนต์ไฟฟ้าจากรุ่นปี 2012 มาถึงรุ่นปี 2016 ที่สถาบันยานยนต์มีอยู่

ส่วนประกอบหลักของระบบขับเคลื่อนและส่งกำลังของยานยนต์ไฟฟ้าที่สำคัญได้แก่

ก. ต้นกำลังคือมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้แทนเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ข. ระบบส่งกำลังหรือระบบเกียร์จะเหมือนหรือใกล้เคียงกับยานยนต์ปัจจุบัน แต่จะมีความซับซ้อนน้อยลง

ค. ระบบควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ เป็นระบบอิเลคทรอนิกส์ ซึ่งมีความคล้ายกับระบบควบคุมการใช้เชื้อเพลิงและการสันดาปของเครื่องยนต์เปลี่ยนมาเป็นการควบคุมแรงบิดและรอบของมอเตอร์ต้นกำลัง

ง. ระบบแบตเตอรี่และการจัดการแบตเตอรี่ เป็นการควบคุมการใช้พลังงานให้เหมาะสม ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพสูงสุด

การศึกษาในครั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของชิ้นส่วนระหว่าง รถยนต์สันดาปภายในและรถยนต์ไฟฟ้า และเสนอกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหลักคือมอเตอร์ไฟฟ้า รุ่น EM61 เป็นชนิด Interior Permanent-Magnet Motor (IPM) ระบายความร้อนด้วยน้ำ ให้กำลังสูงสุด 80 กิโลวัตต์ พร้อมระบบส่งกำลังโดยมอเตอร์จะส่งกำลังผ่านชุดเฟืองเกียร์ที่ใช้อัตราทดเดียว ผ่านเฟือง Differential โดยมีอัตราทดรวม 7.937 ไปขับเคลื่อนล้อหน้าทั้งสอง ส่วนชุดควบคุมมอเตอร์ เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ซึ่งจะแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการสร้างแรงดันและความถี่ในช่วงต่างๆเพื่อปรับแรงบิดให้สัมพันธ์กับรอบความเร็วการหมุนของมอเตอร์ และยังทำหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการสร้างแรงดันและกระแสไฟย้อนกลับเมื่อมอเตอร์ลดความเร็วลงหรือจะหยุดรถ โดยพลังงานกลจากล้อจะสร้างแรงบิดกลับทาง ทำหน้าที่เสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสร้างพลังงานกลับไปสู่แบตเตอรี่ได้ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานทางหนึ่ง ระบบนี้เรียกว่า Regenerating Braking System นอกจากนี้ยังมี ชุดโมดูลควบคุมรถ (Vehicle control module, VCM) เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างชุดการทำงานทุกส่วนของรถ ทั้งระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ ระบบควบคุม

แบตเตอรี่ ระบบเบรก ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบแปลงไฟสำหรับชุดแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบความปลอดภัย

ระบบแบตเตอรี่และการจัดการแบตเตอรี่ ชุดแบตเตอรี่ของรถนิสสันลีฟเป็นชนิด Laminated Lithium-ion ขนาดแรงดันไฟฟ้า 360V มีความจุขนาด 24kWh โมดูลแบตเตอรีมีโครงสร้างภายนอกหรือกล่องที่ทำจากโลหะ (Metal case) ทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ที่อยู่ภายในจากการกระแทกและการสั่นสะเทือน เมื่อรวมเคสภายนอกแล้วมีมิติอยู่ที่ 1570.5 x 1188 x 264.9 mm น้ำหนัก 295 kg แรงดันไฟฟ้าแต่ละเซล อุณหภูมิแบตเตอรี่และกระแสไฟฟ้า จะถูกอ่านค่าและเฝ้าระวังโดยชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery Controller) ชุดควบคุมแบตเตอรี่และชุดควบคุมรถยนต์จะส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนระหว่างกันผ่าน CAN-bus (Controller Area Network) หากเกิดความผิดปกติชุดควบคุมรถยนต์ (Vehicle control module, VCM) จะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ที่อยู่ในกล่องพักสายไฟ (Junction box) เพื่อตัดวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงอัตโนมัติ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเสนอต่อผู้สนใจที่จะเรียนรู้ระบบขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า รวมทั้งบุคลากรของสถาบันยานยนต์ให้มีความเข้าใจในการทำงานของระบบขับเคลื่อนทั้งมอเตอร์ แบตเตอรี่และระบบประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ รวมถึงแนวทางการวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วนที่แตกต่างจากชิ้นส่วนรถยนต์เดิม ให้ผู้ประกอบการไทยมีองค์ความรู้และสามารถผลิตได้ในประเทศ

การผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้น ชิ้นส่วนจำนวนหลายชิ้นจะใช้กระบวนการผลิตด้านการหล่ออลูมีเนียมด้วยแรงอัดระดับต่างๆ และนำมากลึงแต่งให้ได้ขนาดมิติที่แม่นยำ ซึ่งสามารถมาประยุกต์ใช้ผลิตชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี สำหรับกระบวนการผลิตพิเศษอื่นๆที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์ก็นำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าหรือส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ดีผู้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์ในประเทศไทยเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนจากบริษัทต่างชาติที่ผู้ผลิตยานยนต์ชักชวนเข้ามาตั้งฐานการผลิตในไทย ซึ่งผู้ผลิตเหล่านี้ทราบดีถึงการปรับเปลี่ยนรูปแบบเครื่องต้นกำลังและคาดว่าได้มีการเตรียมปรับการผลิตแล้ว ผู้ผลิตชิ้นส่วนคนไทยที่มีขนาดกลางและขนาดเล็กควรใช้โอกาสนี้เริ่มต้นพัฒนาการผลิตชิ้นส่วนมอเตอร์ในประเทศไทยโดยการหาความรู้เพิ่มเติมและทำงานร่วมกับสถาบันยานยนต์ กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย สามารถนำรายงานฉบับนี้ไปศึกษาวิเคราะห์ เพื่อปรับยุทธศาสตร์วางแผนธุรกิจให้รองรับกับเทคโนโลยีรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ได้อย่างถูกต้อง

# Executive Summary

The world's automotive industry is changing direction in this decade. After starting the development of electric vehicles for more than 20 years, many of the world's major automotive manufacturers have announced the start of electric vehicle-driven production and will reduce the number of internal combustion engine vehicles.

This research project aims to study the key components of the electric car. To prepare for educating and training personnel in Thai automotive industry. Particularly parts manufacturer including those who work in both the automotive manufacturing and after-sales service sectors.

In this study Nissan "Leaf" has been selected, since it is the world's top selling battery electric car, also Thai Automotive Institute has purchased this as a studying model. In this regard, the researcher has bought used Nissan "Leaf" earlier version in good condition from Japan as a model to study, because it will have the opportunity to see the continued development of electric vehicles from the 2012 model to the 2016 model at Thai Automotive Institute.

The main components of the electric vehicle's Power Train and Driving system are:

A. Prime Mover is an electric motor that supersedes an internal combustion engine.

B. Transmission or transmission systems are identical or similar to current vehicles. But it is less complicated.

C. Motor control system. It is an electronic system. It is similar to the fuel injection control system for the internal combustion engine. It changes to control the torque and speed of the motor.

D. Battery System and Battery Management System are responsible for safety and effective energy control.

In this study, the differences between main components of internal combustion engine and electric vehicle were compared. The EM61 motor is an internal Permanent-Magnet Motor (IPM) which connected to transmission directly. The maximum power is 80 kW. The motor power is delivered through a single gear ratio differential gearbox. The total ratio is 7.937 from motor to both front wheels. The motor control unit is called an inverter, which converts the direct current power from the battery to alternative current motor. It controls

motor by applying different voltages and frequencies to adjust the proper torque relative to the rotational speed. Another important function is to generate power back to battery when the motor slows down or stops. During this situation, the mechanical power from vehicle inertia creates a reversing torque as same as a generator that generates power, which is a way to save energy. This system is called Regenerating Braking System. The vehicle control module (VCM) is a device that connects all parts of a vehicle, the motor drive, Battery control system, water cooling system, lighting system for lighting air conditioning system and safety system.

The battery pack of the Nissan Leaf is a 360-volt Laminated Lithium-ion battery with a capacity of 24kWh. The battery module's outer structure was made by metal that protects cells from impact and vibration. The battery pack's dimension is 1570.5 x 1188 x 264.9 mm and the weight is 295 kg. All battery parameters such as temperature, voltage and current of all cells are measured by Battery Management System (BMS). BMS and VCM will communicate and exchange data via a CAN-bus (Controller Area Network). If any critical fault occurs, the BMS will controls main relay in the Junction Box to break the high voltage circuit.

In this study, participants were introduced to learn electric vehicle propulsion systems, including the staffs of Thai Automotive Institute will understand the operation of the motor drive system, battery and charger. Especially, Thai entrepreneurs will have the knowledge to manage their automotive business to support electric vehicle (EV). This report also aims to guide further research for EV parts locally in the country.

Production process of internal combustion engine parts, main components are used aluminum casting process with different casting pressure and make a precise dimension by machining process. These processes can be applied to produce electric motor parts as well. Other special manufacturing processes used for the manufacture of engine parts are also used in the manufacture of electric motors or parts. However, the engine parts manufacturer in Thailand are the part manufacturers from foreign companies that the car manufacturers invite to build a production base in Thailand. These manufacturers are well aware of the modifications of prime mover of vehicle and they are expected to be prepared for production. This opportunity for Small and Medium Industry should start with the development of motor parts in Thailand by learning more about design and specification. They should work incorporate with the Thai Automotive Institute, Ministry of industry and Ministry of Science and Technology.

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการใช้งานประจำวันมากขึ้น ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตยานยนต์ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีการผลิตยานยนต์ประเภทต่างๆเป็นอันดับ ๑๐ ของโลก ในขณะที่โลกมีการเปลี่ยนแปลงมาใช้ยานยนต์ไฟฟ้าประเทศไทยจำเป็นต้องทำความเข้าใจและสร้างศักยภาพในการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศเพื่อรักษาอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ให้ยังคงมีการผลิตในประเทศไทยและสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง

เนื่องจากยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้านั้นยังคงลักษณะการใช้งานในรูปแบบเดิมเพียงแต่เปลี่ยนแปลงระบบขับเคลื่อนจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้รถพลังงานไฟฟ้าในเขตชุมชน จะช่วยลดมลภาวะทางเสียงและอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคทางเดินหายใจ พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์อาจจะมาจากการเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ หรือใช้เซลล์เชื้อเพลิงสร้างพลังงานไฟฟ้าตลอดจนการใช้ตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดพิเศษ ปัจจุบันยังคงมีการวิจัยค้นคว้าเพื่อหาระบบการทำงานที่ดีที่สุด ทั้งความปลอดภัย ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการรักษาสภาวะแวดล้อม นอกจากนี้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีการพัฒนามาจนปัจจุบันนั้นยังมีโอกาสที่จะพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดน้ำหนัก รวมถึงการพัฒนาแรงบิดให้มีคุณลักษณะตรงตามการใช้งานได้มากขึ้น

อุตสาหกรรมไทยยังขาดความรู้ความเข้าใจในวิทยาการเหล่านี้ แม้ขณะนี้มีนักวิจัยและวิศวกรจำนวนหนึ่งที่ได้รับการศึกษา ทำการวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ระบบการสร้างพลังงานไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิง แต่อุตสาหกรรมไทยไม่สามารถให้การสนับสนุนแก่นักวิจัยเหล่านี้ได้เพราะขาดตลาดรองรับผลการวิจัยค้นคว้าผลิตภัณฑ์เหล่านี้

สถาบันยานยนต์แห่งประเทศไทยเล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาศักยภาพและขีดความสามารถในการสร้างความรู้ การออกแบบ การผลิตและการบำรุงรักษา ชิ้นส่วนสำคัญของยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้เกิดอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อเป็นการรักษาฐานการผลิตยานยนต์ที่อนาคตจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า สถาบันยานยนต์ฯจึงจัดทำโครงการศึกษาวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อหาการทำงานของชิ้นส่วนที่สำคัญของยานยนต์ไฟฟ้า รวมทั้งศึกษาแนวทางการผลิตในประเทศโดยผู้ผลิตชิ้นส่วนไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมหรือปรับปรุงผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ให้สามารถดัดแปลงมาผลิตชิ้นส่วนใหม่ได้ปัจจุบัน

## 1.2 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาความแตกต่างของระบบการทำงานระหว่างยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าเปรียบเทียบกับยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน

(2) เพื่อศึกษาการถอดแบบชิ้นส่วนหลักรถยนต์นั่งไฟฟ้าสำหรับ 4 ที่นั่ง 1 คัน ในที่นี้คือมอเตอร์และแบตเตอรี่

(3) เพื่อศึกษาการทำงานของตัวขับเคลื่อนหลัก (Prime Mover) ในที่นี้คือมอเตอร์ และศึกษาแนวทางการผลิตในประเทศ

(4) เพื่อศึกษาการทำงานของตัวเก็บพลังงาน ในที่นี้คือแบตเตอรี่ และศึกษาแนวทางการผลิตในประเทศ

(5) เพื่อให้ความรู้แก่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมไทยที่สนใจจะผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าโดยการเป็นวิทยากรร่วมกับสถาบันยานยนต์จัดอบรมแก่ผู้ประกอบการ

## 1.3 กลุ่มเป้าหมาย

เพื่อให้อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในประเทศไทยมีความความรู้ ความเข้าใจ ในการทำงานของยานยนต์พลังงานไฟฟ้า สร้างความเข้มแข็งสามารถแข่งขันได้ทั้งระดับภูมิภาคและระดับโลก กลุ่มเป้าหมายที่สำคัญคือผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เดิมที่มีความเข้าใจในหลักการด้านคุณภาพ การจัดส่งที่ตรงเวลาและการรักษาระดับต้นทุนเป็นอย่างดีอยู่แล้วสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีอยู่เดิมหรือการลงทุนเครื่องจักรใหม่ให้เหมาะสม มาดำเนินการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูง ราคาเหมาะสมและจัดส่งตรงเวลาให้แก่ผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าได้ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

## 1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน

ทำการศึกษาชิ้นส่วนสำคัญของรถยนต์นั่งไฟฟ้าคือมอเตอร์และระบบแบตเตอรี่เพื่อดูส่วนประกอบหลักพร้อมหน้าที่การทำงาน (Functions) พิจารณาข้อมูลจริงเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในคู่มือการใช้ยานยนต์ที่บริษัทผู้ผลิตให้มา โดยจะมีขั้นตอนขอบเขตดังต่อไปนี้

1. จัดหาชิ้นส่วนเก่าของรถยนต์นิสสันลีฟที่สำคัญคือมอเตอร์พร้อมชุดส่งกำลังขับเคลื่อน และชุดแบตเตอรี่พร้อมตัวควบคุมแรงดันมาถอดแบบเพื่อแยกหาชิ้นส่วนที่มีหน้าที่ในการทำงานหลัก
2. จัดทำบัญชีรายการชิ้นส่วนแต่ละชิ้น (Bill of Materials) สร้างภาพประกอบ
3.. จัดทำหน้าที่การทำงาน (Functions) ของชิ้นส่วนหลักเพื่อให้เข้าใจถึงการทำงานของชิ้นส่วนต่างๆ ด้วยการเปรียบเทียบกับคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตที่ได้รับมา
4. วัดค่าต่างๆ (Parameters) ขณะทำงานโดยวัดจากรถนิสสันลีฟตัวอย่างที่สถาบันยานยนต์มีอยู่

5. เขียนผังการทำงานของชิ้นส่วนระบบขับเคลื่อนและระบบเก็บพลังงานเพื่อเป็นพื้นฐานในการทำงานของยานยนต์ไฟฟ้าแบบอื่นๆ
6. ส่งมอบรายละเอียดตัวอย่างชิ้นส่วนที่ถอดแบบแยกพร้อมผังการทำงานในข้อ 5 โดยสร้างฐานจับยึดชิ้นส่วนอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการถ่ายทอดความเข้าใจในการทำงานของชิ้นส่วนหลัก

## 1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ตาราง 1-1 แสดงระยะเวลาในแต่ขั้นตอนการทำงาน

ตาราง 1-1 แผนการดำเนินงาน

| | เดือนที่ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| สั่งซื้ออะไหล่เก่าเพื่อถอดแยก | | | | | | | | |
| จัดตั้งทีมทำงานร่วม | | | | | | | | |
| ค้นหาศึกษารายละเอียดคู่มือบำรุงรักษา | | | | | | | | |
| ส่งรายงานขั้นต้น | | | | | | | | |
| จัดการอบรมพื้นฐานยานยนต์ไฟฟ้า | | | | | | | | |
| ถอดแยกชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า | | | | | | | | |
| ส่งรายงานขั้นกลาง | | | | | | | | |
| ทดสอบการทำงานจริงและเก็บข้อมูล | | | | | | | | |
| ส่งร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ | | | | | | | | |
| ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์และบทสรุปผู้บริหาร | | | | | | | | |
| ร่วมเป็นวิทยากรในงานสัมมนา | | | | | | | | |

หมายเหตุ : เดือนที่ 1 หากเป็นไปตามแผนงานคือเดือนมกราคม 2561

# บทที่ 2
# ส่วนประกอบหลักรถยนต์ไฟฟ้า

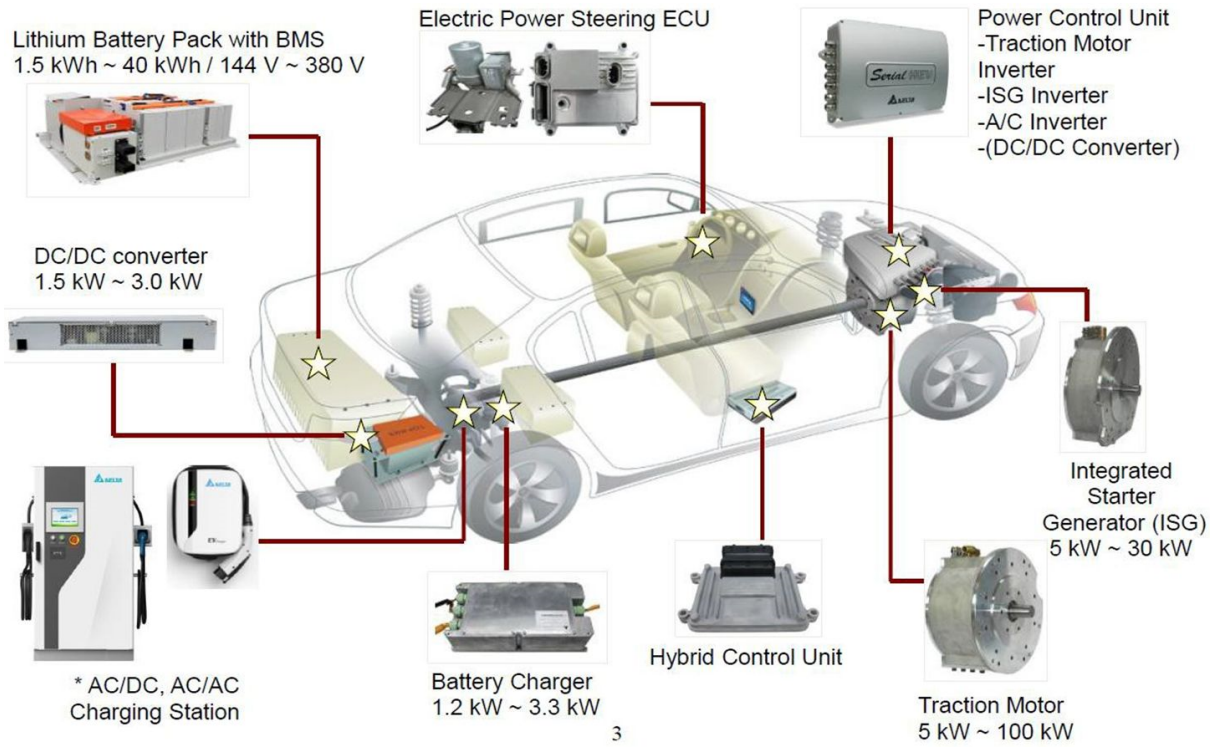
รถยนต์ไฟฟ้า เป็นชื่อเรียกยานพาหนะทางบกสำหรับใช้เดินทางบนถนน โดยยานพาหนะดังกล่าวมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการสร้างแรงขับเคลื่อน ซึ่งเป็นที่มาของชื่อเรียกยานยนต์ประเภทนี้ มอเตอร์ไฟฟ้าได้รับกระแสไฟจากแหล่งเก็บพลังงานที่ติดตั้งไว้บนรถยนต์

รถยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทตามระดับ Powertrain Electrification เป็น ได้แก่ Micro Hybrid Electric Vehicle (μHEV) Mild Hybrid Electric Vehicle (Mild HEV) Full Hybrid Electric Vehicle (Full HEV) Plug-In Hybrid Electric Vehicle และ Pure Electric Vehicle โดยแบ่งย่อยได้เป็น Battery Electric Vehicle (BEV) และ Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

สำหรับการศึกษานี้จะเน้นการศึกษา รถยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า (Pure Electric Powertrain) แบบ Battery Electric Vehicle ซึ่งหมายถึงรถยนต์ที่มีการสร้างแรงขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะได้รับกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว โดยพลังงานไฟฟ้าจะมีการถูกชาร์จเพิ่มจากแหล่งพลังงานด้านนอก

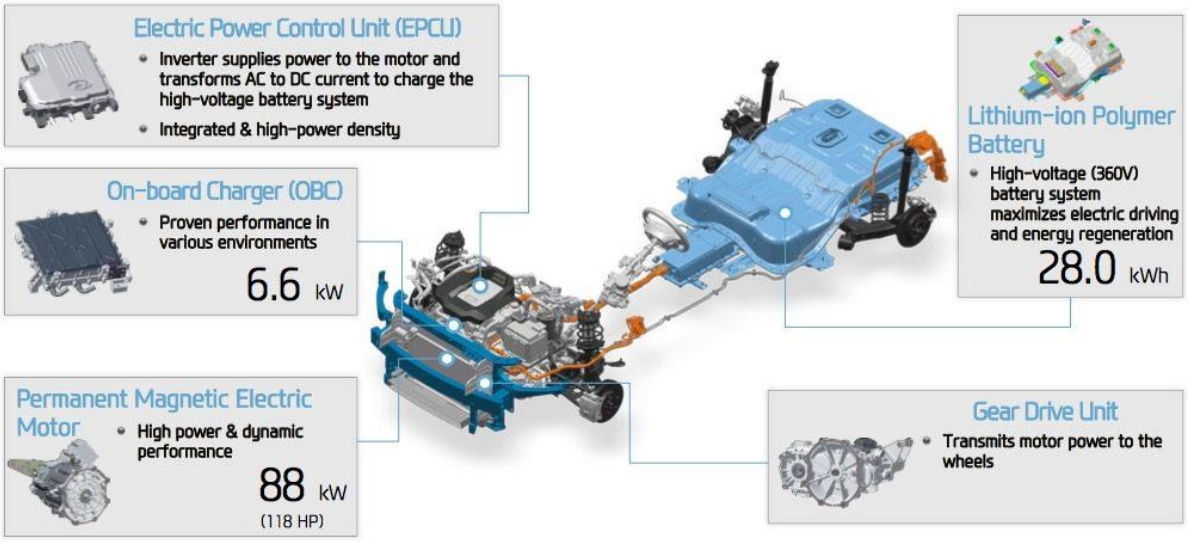
## 2.1 ระบบการทำงานรถยนต์ไฟฟ้า

ส่วนประกอบที่สำคัญของรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความแตกต่างจากรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในมากที่สุด คือระบบขับเคลื่อน ซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลักได้แก่ มอเตอร์ขับเคลื่อน (Traction Motor) พร้อมด้วยส่วนควบคุมอินเวอร์เตอร์ (Traction Motor Inverter) :และระบบกักเก็บพลังงาน (Energy storage system) ในที่นี้หมายถึงแบตเตอรี่ (Battery) พร้อมกับหน่วยควบคุมแบตเตอรี่ (Battery management system/ BMS) และอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าเพื่อเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีที่อุปกรณ์ดังกล่าวติดตั้งไว้บนรถจะเรียกอุปกรณ์ดังกล่าวว่า On-board charger นอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าหรือ DC/DC converter ประกอบในระบบขับเคลื่อนด้วย รูป 2-1 และ รูป 2-2 แสดงชิ้นส่วนหลักของระบบขับเคลื่อนและระบบกักเก็บพลังงาน




รูป 2-1 HEV/EV Powertrain main components

(ที่มา: DELTA)



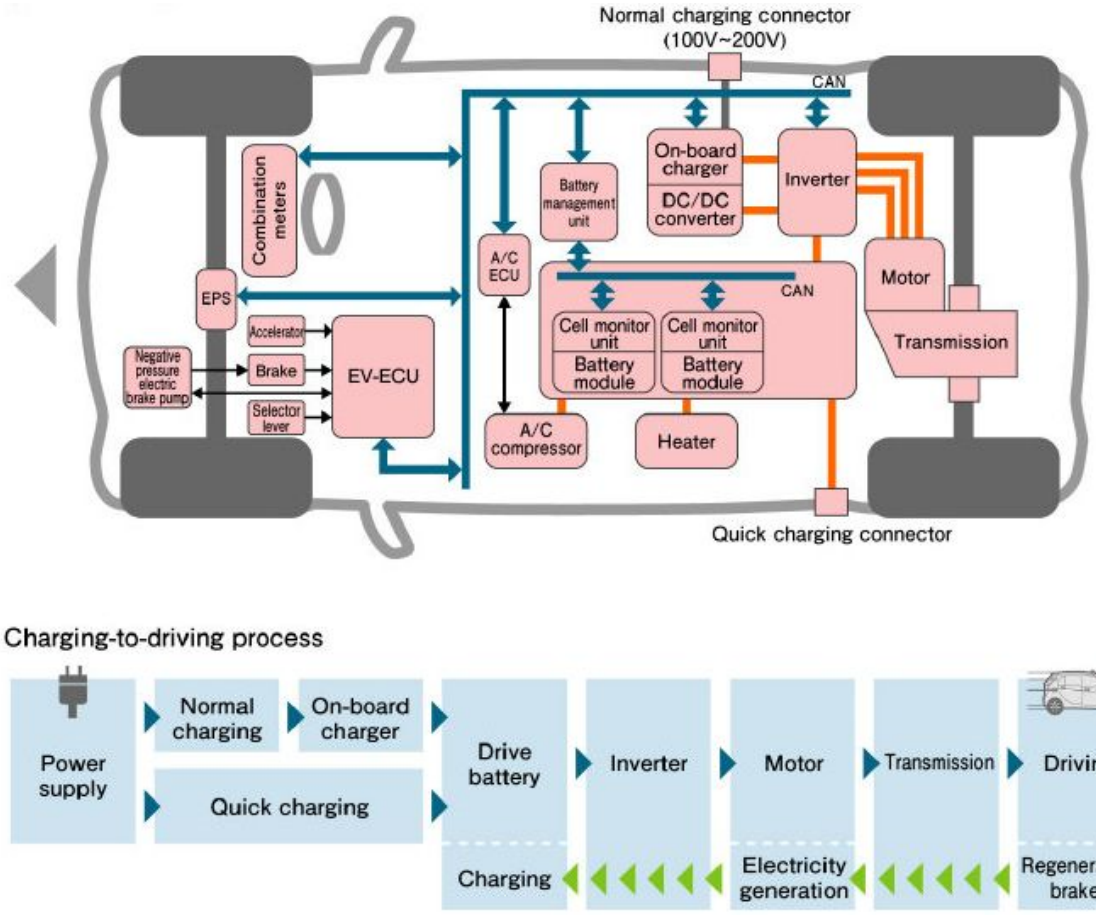

รูป 2-2 ส่วนประกอบหลักของระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า

(ที่มา: Hyundai)

รูป 2-3 แสดงเส้นทางการไหลเวียนพลังงานไฟฟ้าในรถยนต์ไฟฟ้า พร้อมหน้าที่ของแต่ละอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง Power supply ทำหน้าที่ผ่านจ่ายประจุไฟฟ้าให้กับระบบกับเก็บพลังงาน โดยอาจจะผ่านการชาร์จแบบปกติ (Normal charging) แล้วผ่าน On-board charger ไปยัง Traction Battery หรือใช้การชาร์จแบบเร็ว (Quick charging) ตรงเข้าไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เมื่อ Motor ต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ Inverter

จะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้าตรงที่ได้รับจากแบตเตอรี่เป็นกระแสสลับ ในกรณีที่มอเตอร์ไฟฟ้าต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ และเปลี่ยนแรงดันและความถี่กระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์

มอเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ส่งถ่ายผ่านชุดเกียร์ (Transmission) เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ ในกรณีที่รถยนต์เบรก จะเกิดกระบวนการ Regenerative brakes ขึ้นโดยมอเตอร์ไฟฟ้าจะทำหน้าเป็นเจนเนอเรเตอร์เปลี่ยนพลังงานกลกลับเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วนำไปชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่




รูป 2-3 EV system configuration

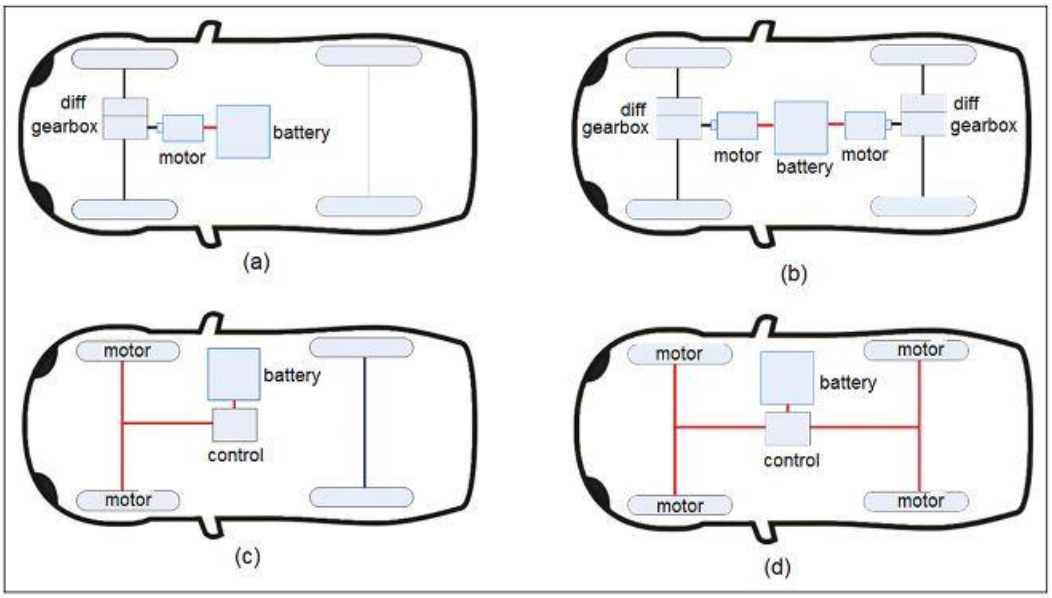
(ที่มา: Mitsubishi)

การจัดวางชิ้นส่วนระบบขับเคลื่อนสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบดังเช่น ตัวอย่างที่แสดงในรูป 2-4 รูปแบบการจัดวางชิ้นส่วนระบบขับเคลื่อนมีผลกระทบโดยตรงต่อชิ้นส่วน อุปกรณ์และระบบอื่นๆ ของรถยนต์ไฟฟ้า

รูป 2-4 a) แสดงการจัดวางระบบขับเคลื่อนซึ่งประกอบไปด้วย ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 1 ตัว จะรับพลังงานจากแบตเตอรี่และสร้างแรงขับเคลื่อนผ่านชุดเกียร์ไปยังเพลาขับด้านหน้า ก่อนที่จะส่งต่อไปที่ล้อ การจัดวางในลักษณะนี้คล้ายคลึงกับการวางระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์

รูป 2-4 b) แสดงการจัดวางด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า 2 ตัว โดยแต่ละตัวจะส่งแรงขับไปยังเพลาที่ต่างกัน ทำให้รถยนต์สามารถขับเคลื่อนได้ทั้ง 4 ล้อ

ความแตกต่างที่เด่นชัดระหว่างระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้ากับระบบขับเคลื่อนอื่น คือความสามารถในสร้างการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าไว้ที่ดุมล้อรถ (In-Wheel Motor) โดยมอเตอร์ไฟฟ้าถ่ายทอดสร้างแรงขับเคลื่อนไปยังล้อ โดยไม่ผ่านอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เกียร์ และเพลาขับอีกต่อไป ดังที่แสดงใน รูป 2-4 c) และ รูป 2-4 d)




รูป 2-4 Pure Electric Powertrain Layout

(ที่มา: P. Othaganont et.al, mdpi.com/journal/energies)

รถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันยังคงมีโครงสร้างหลักและส่วนประกอบที่ใกล้เคียงกับรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน กล่าวคือ โครงฐาน ตัวถัง และภายนอกตัวรถยังคล้ายเดิม ระบบกันสะเทือน ระบบบังคับเลี้ยว และระบบเบรก จะมีการปรับเปลี่ยนตามขนาดหรือประเภทรถยนต์ไฟฟ้านั้นๆ อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนประกอบพื้นฐานของระบบดังกล่าวยังคงคล้ายเดิม เช่นเดียวกับชิ้นส่วนพื้นฐานสำหรับอุปกรณ์ภายในรถยนต์ ทั้งนี้อาจจะมีการปรับเปลี่ยนบ้างในบางรายการที่ลดความสำคัญในการใช้งานลง เช่น คันเกียร์ หรือมีการเพิ่มรายละเอียดของอุปกรณ์ที่เพิ่มบทบาทมากขึ้น เช่นอุปกรณ์แสดงผล หน้าจอ

ชุดเกียร์ รวมถึงเพลาขับ เป็นชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนไปตามรูปแบบการจัดวางระบบ ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ในกรณีที่ใช้จัดวางมอเตอร์ขับเคลื่อนเพียง 1 หรือ 2 ตัวติดตั้งอยู่บริเวณกลางรถยนต์คล้ายกับการวางเครื่องยนต์ จะยังคงใช้ชุดเกียร์และเพลาขับ แต่จะลดจำนวนฟันเฟืองลง และปรับเปลี่ยนอัตราทดให้เหมาะสมกับการใช้งานกับมอเตอร์ขับเคลื่อนในแต่ละแบบ หากเป็นระบบที่ใช้ In-Wheel-Motor ชุดเกียร์และเพลาขับจะไม่ถูกนำมาใช้

รูป 2-5 แสดงตัวอย่างการจัดวางระบบขับเคลื่อนในตัวรถยนต์ และ รูป 2-6 แสดงตัวอย่างโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่

รูป 2-5 โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า

(ที่มา: BMW)

รูป 2-6 การจัดวางชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้า

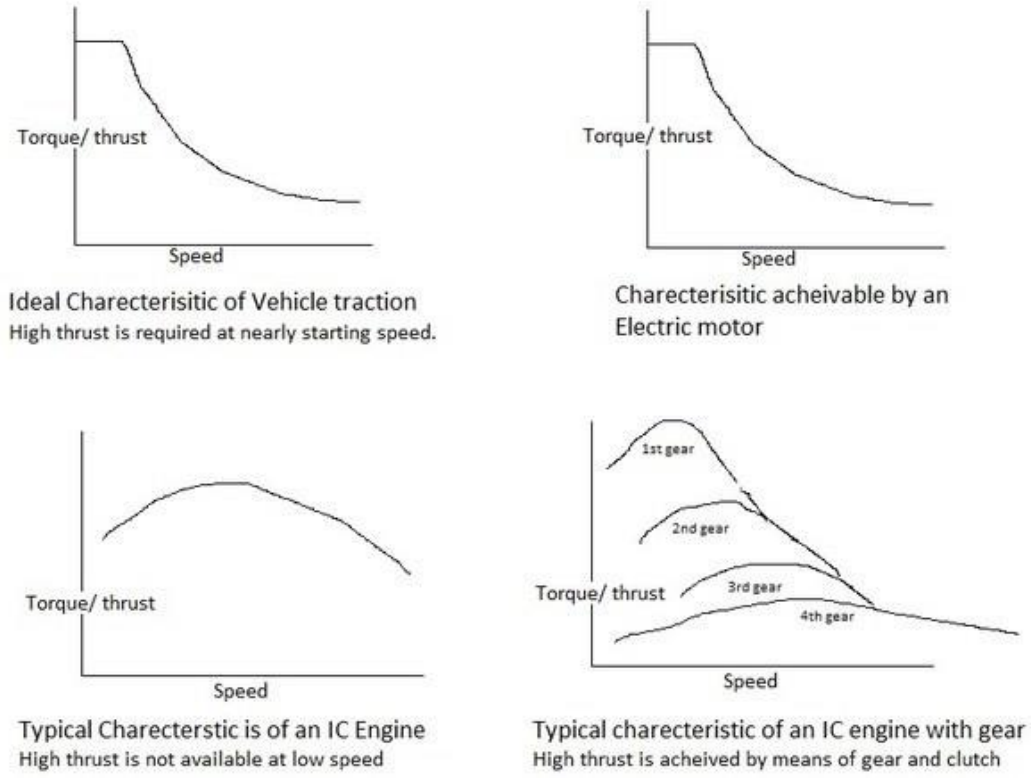
(ที่มา: General Motor)

## 2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล สำหรับการนำมาใช้ในระบบขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า หน้าที่หลักของมอเตอร์ขับเคลื่อนคือการสร้างแรงบิดเพื่อใช้เป็นแรงขับเคลื่อน นอกจากนั้นยังทำหน้าเป็นเจนเนอเรเตอร์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าในขณะที่รถเบรก

เหตุผลสำคัญในการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามาเป็นต้นกำหนดกำลังบนรถยนต์เนื่องจากความสามารถในการสร้างแรงบิดต่อรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ตอบสนองความต้องการใช้พลังงานของรถยนต์ได้เป็นอย่างดี ดังที่แสดงไว้ในรูป 2-7

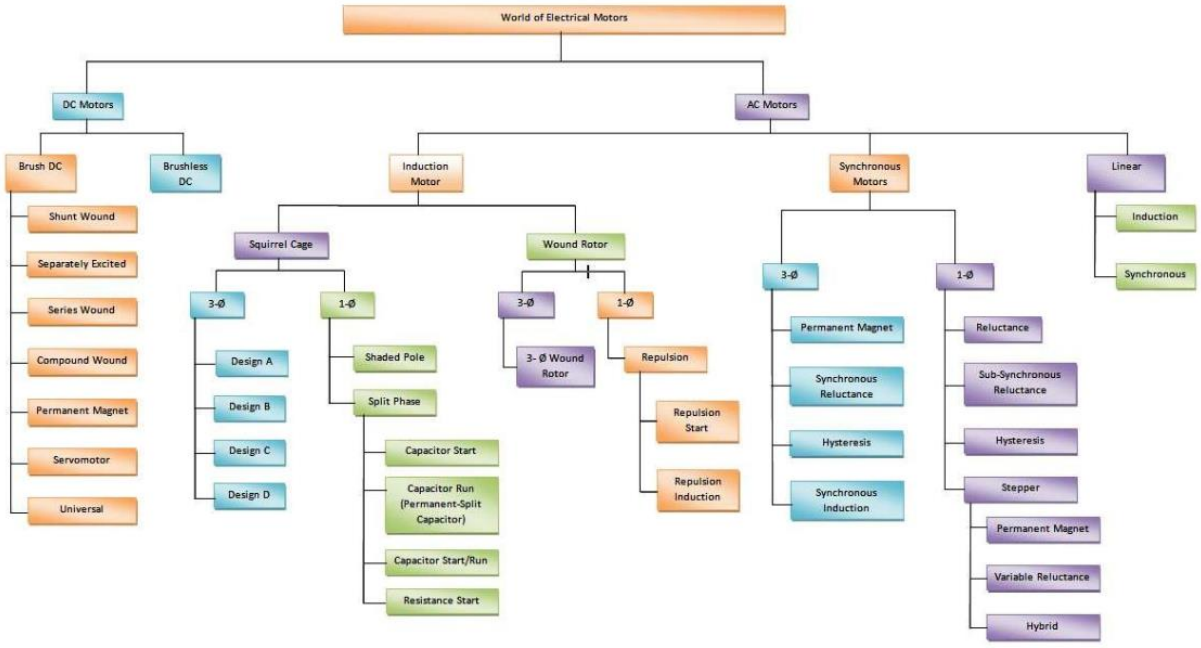
รูป 2-7 -บนซ้าย แสดงความต้องการการใช้พลังงานของรถยนต์ในการเคลื่อนที่ โดยในรอบความเร็วต่ำมีความต้องการใช้แรงบิดที่สูง จากนั้นจะคงที่จนถึงรอบเครื่องหนึ่ง แล้วแรงบิดที่ต้องการจะลดลง เมื่อพิจารณาแรงบิดต่อรอบที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสร้างได้ (รูป 2-7-บนขวา) กับแรงบิดที่เครื่องยนต์สามารถให้ได้ในช่วงรอบเดียวกัน (รูป 2-7-ซ้ายล่าง) พบว่ากราฟของมอเตอร์ไฟฟ้าใกล้เคียงมากกว่า ระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์จะสามารถตอบสนองความต้องการได้ดีขึ้น เมื่อทำงานร่วมกับชุดเกียร์ (รูป 2-7-ขวาล่าง)




รูป 2-7 Performance curve-Torque-Speed

(ที่มา: Quora)

มอเตอร์ไฟฟ้ามีหลากหลายประเภทดังที่แสดงไว้ในรูป 2-8 ในที่นี้จะนำเสนอเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนในรถยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ตามลักษณะกระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์รับมาเพื่อใช้ทำงาน ได้แก่ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และ มอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor)



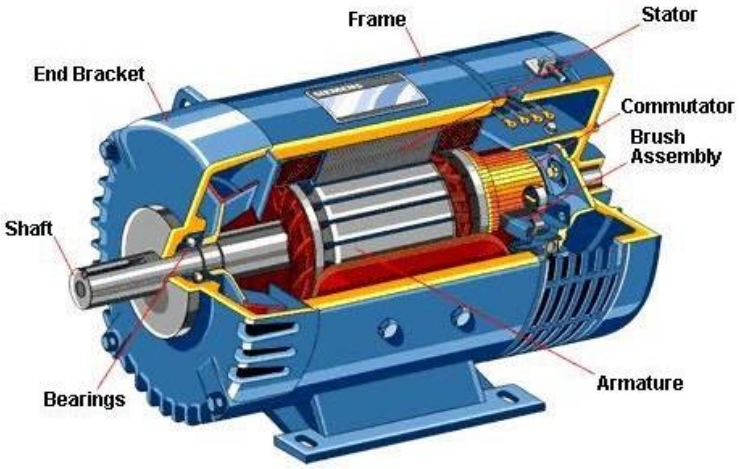

รูป 2-8 Classification of electric motor

(ที่มา: Electrical Knowhow)

### 2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่นิยมนำมาใช้เป็น Traction motor ให้กับรถยนต์ไฟฟ้ามี 2 ประเภทได้แก่ Series wound motor และ Brushless DC Motor (BLDC)

Series wound motor เป็นมอเตอร์แบบใช้แปรงถ่านชนิดหนึ่ง (DC brush motor) โดยโครงสร้างพื้นฐานดังที่แสดงในรูป 2-9

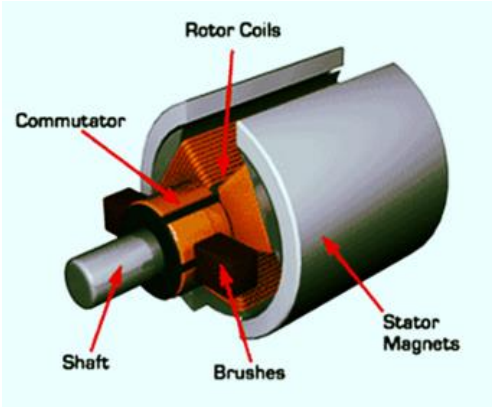



รูป 2-9 Brushed DC Motor Construction

(ที่มา: http://www.electrical-knowhow.com)

ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ชนิดนี้จะประกอบไปด้วย stator rotor brushes และ commutator ดังที่แสดงใน รูป 2-10

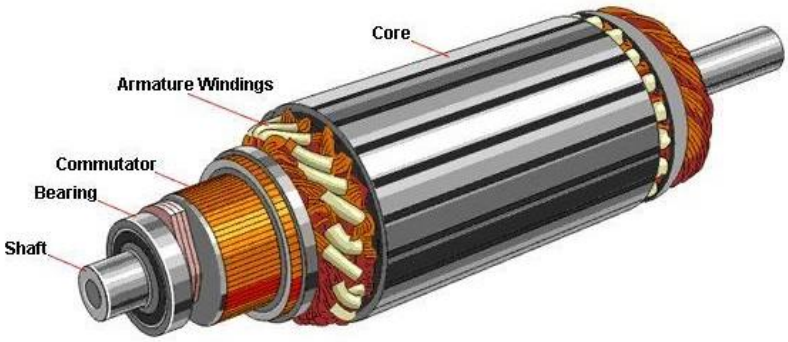
สเตเตอร์ จะประกอบด้วย Frame เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนาม้วนเป็นรูปทรงกระบอก สเตเตอร์ จะสร้างสนามแม่เหล็กรอบ โรเตอร์ ด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) หรือแกนแม่เหล็กพันขดลวด (Electromagnetic Windings)




รูป 2-10 Brushed DC Motor Main Components

(ที่มา: IER Services)

โรเตอร์ หรือเรียกว่า Armature (รูป 2-11) สำหรับมอเตอร์ชนิดนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) บน โรเตอร์ จะประกอบไปด้วย แกนเพลา (Shaft) แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) คอมมิวเตอร์ (Commutator) ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding)




รูป 2-11 Brushed DC Motor Rotor

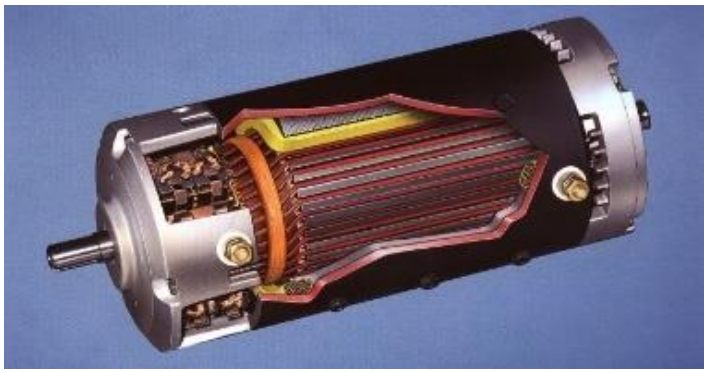
(ที่มา: IER Services)

แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Croe) โดยแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออก แบบเป็นซี่ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์จะอัดแน่นติดกับแกนเพลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes)

Brush ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าในซองแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านสัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา

มอเตอร์ชนิดนี้จะต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อกระตุ้นตัวเองให้มีการสับเปลี่ยนตำแหน่งด้วยตนเอง ซึ่งต้องใช้แปรงถ่าน (Brush) และ Permanent magnet หรือ Electromagnetic Windings การสับเปลี่ยนดังกล่าวจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของโรเตอร์

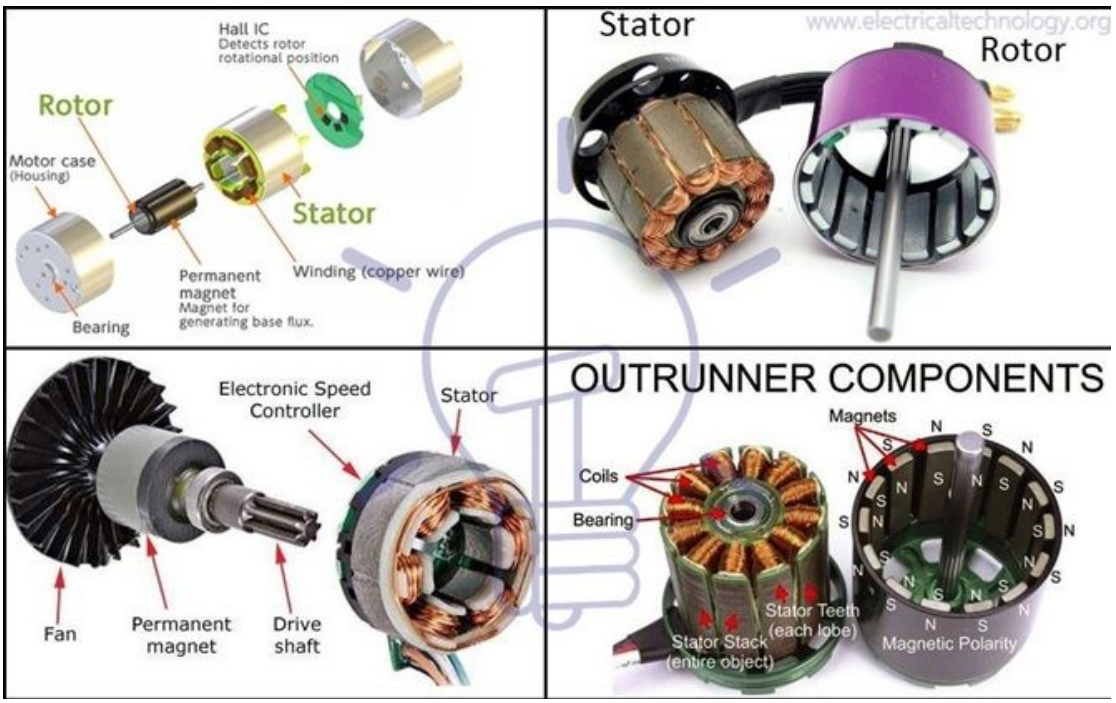
มอเตอร์ประเภทนี้มีราคาถูก ควบคุมการทำงานได้ง่าย หาซื้อได้ไม่ยาก เป็นที่นิยมสำหรับผู้ทำการดัดแปลงรถยนต์ธรรมดาให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้า ข้อด้อยคือการต้องหมั่นบำรุงรักษา commutator carbon brushes ตัวอย่างของ Series wound motor แสดงในรูป 2-12



รูป 2-12 Series wound motor

(ที่มา: http://EVAoSD.FarTooMuch.Info/emotor.htm)

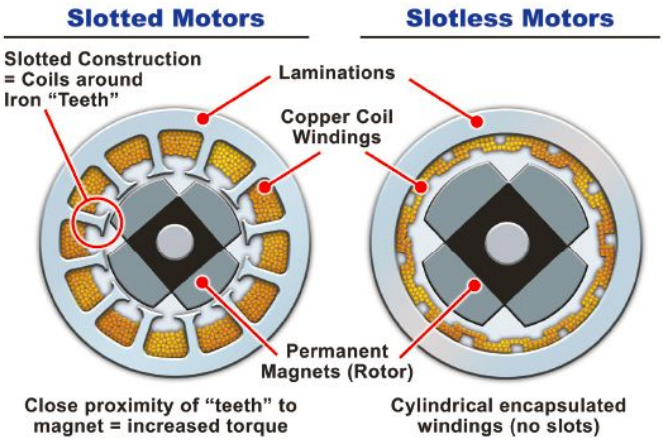
Brushless DC Motor (BLDC) ในมอเตอร์ชนิดนี้ได้มีการนำตัวสับเปลี่ยนกลไกแบบสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกมาใช้แทนที่สวิทช์หมุน งดใช้ Commutator และ Brush ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของการหมุนได้แม่นยำมากขึ้น




รูป 2-13 Construction of Brushless DC Motor

(ที่มา: Electrical Technology)

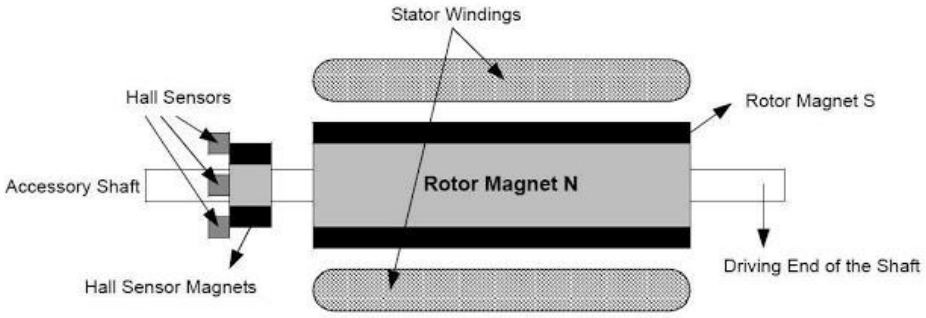
โครงสร้างหลักของ BLDC แสดงไว้ใน รูป 2-13 โดยภายใน สเตเตอร์ อาจจะประกอบไปด้วย Stator Teeth ที่ทำจาก Stacked Steel Laminations และพันด้วยขดลวด (Windings) หรือเป็น Slotless Motor ที่ลดการใช้ Teeth ดังที่แสดงในรูป 2-14




รูป 2-14 Construction of Stator Brushless DC Motor

(ที่มา: Electrical Technology)

โรเตอร์ จะประกอบไปด้วย Permanent magnet ทรงกระบอกที่ติดตั้งบน shaft การจัดวางตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กเหนือใต้ มีความแตกต่างกันไปตามชนิดและขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการผลิต นอกจากนั้น BLDC ยังจำเป็นต้องมี Hall sensor เพื่อทำหน้าที่บอกตำแหน่งของ โรเตอร์ โดยส่วนใหญ่ BLDC จะประกอบไปด้วย Hall Sensor 3 ชุด ดังที่แสดงในรูป 2-15




รูป 2-15 Hall Sensors on BLDC

(ที่มา: http://www.electrical-knowhow.com)

ข้อเด่นของ BLDC คือเสียงเงียบ ประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีขนาดเล็ก ตัวมอเตอร์สามารถทำเป็นโครงสร้างปิด ทำให้ไม่มีฝุ่นละอองผ่านเข้าไปได้ ทำให้สามารถควบคุมการทำงานได้แม่นยำตลอดอายุการใช้งาน ข้อด้อยคือ ราคาที่สูง และควบคุมได้ยากในช่วงที่กำลังของมอเตอร์สูงมาก มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทนี้นิยมใช้ในระบบขับเคลื่อนแบบไฮบริด รูป 2-16 แสดงตัวอย่างการติดตั้ง BLDC บนเพลารถยนต์

รูป 2-16 Brushless DC Motor

(ที่มา : .uumotor.com/10kw-bldc-motor-for-electric-car.html)

### 2.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) ที่ในปัจจุบันนิยมนำมาใช้เป็น Traction motor ได้แก่ Induction motor (IM) ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในประเภท Asynchronous motor ตัวอย่างเช่น และ Permanent magnet AC motor (PMAC) ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกลุ่ม Synchronous motor

ในมอเตอร์ประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor-IM) พลังงานจะถูกโอนไปยังโรเตอร์โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า เหมือนการกระทำของหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์เหนี่ยวนำมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงที่กำลังหมุน โดยที่สเตเตอร์เป็นขดปฐมภูมิและ โรเตอร์เป็นขดทุติยภูมิ

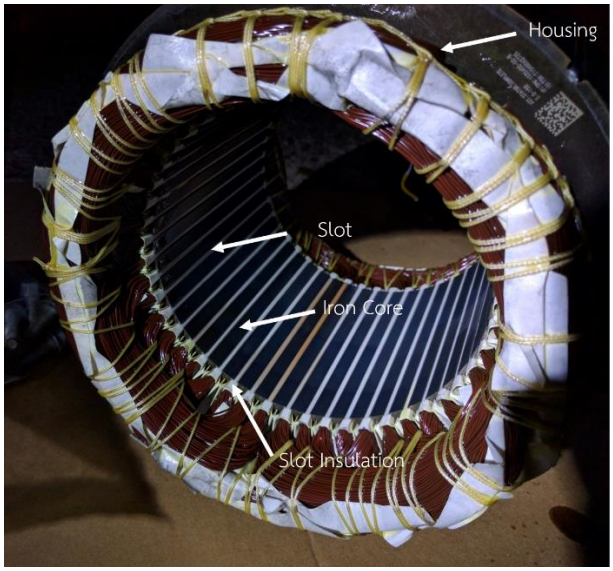
มอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet AC Motor) ไม่ได้มีการสร้างสนามแม่เหล็กจากขดลวดบนสเตเตอร์ แต่จะอาศัยสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรแทน ในการปฏิสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อสร้างแรงบิด

มอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรมีโครงสร้างพื้นฐานใกล้เคียงกัน ดังที่แสดงในรูป 2-17 ซึ่งแสดง Traction motor ที่ใช้ในรถยนต์ของบริษัท GM

รูป 2-17 Construction of Induction Motor and Permanent Magnet AC Motor

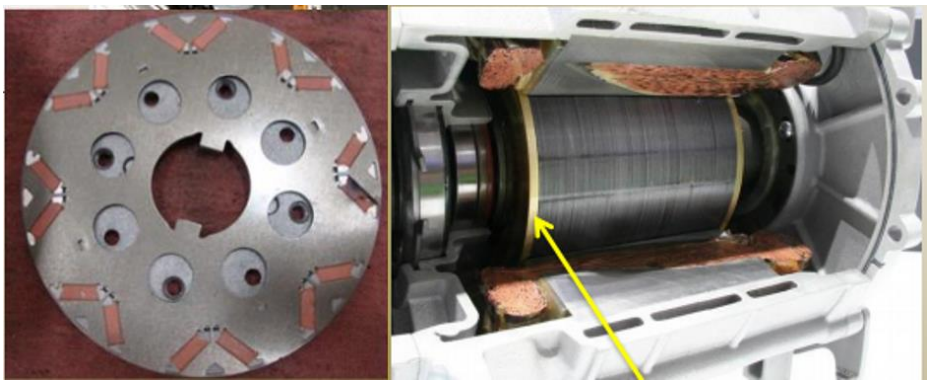
(ที่มา: GM Media)

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรประกอบด้วย Iron Core ซึ่งเกิดจากการประกอบแผ่นเหล็กขนาดบาง (Laminations) จำนวนมากเข้าด้วยกันและมีการพันขวดลวดทองแดงเข้าไปตามช่อง Slot โครงสร้างของสเตเตอร์ของมอเตอร์ทั้งสองประเภทแสดงในรูป 2-18




รูป 2-18 Construction of IM and PMAC Stator
(ที่มา: MTEC)

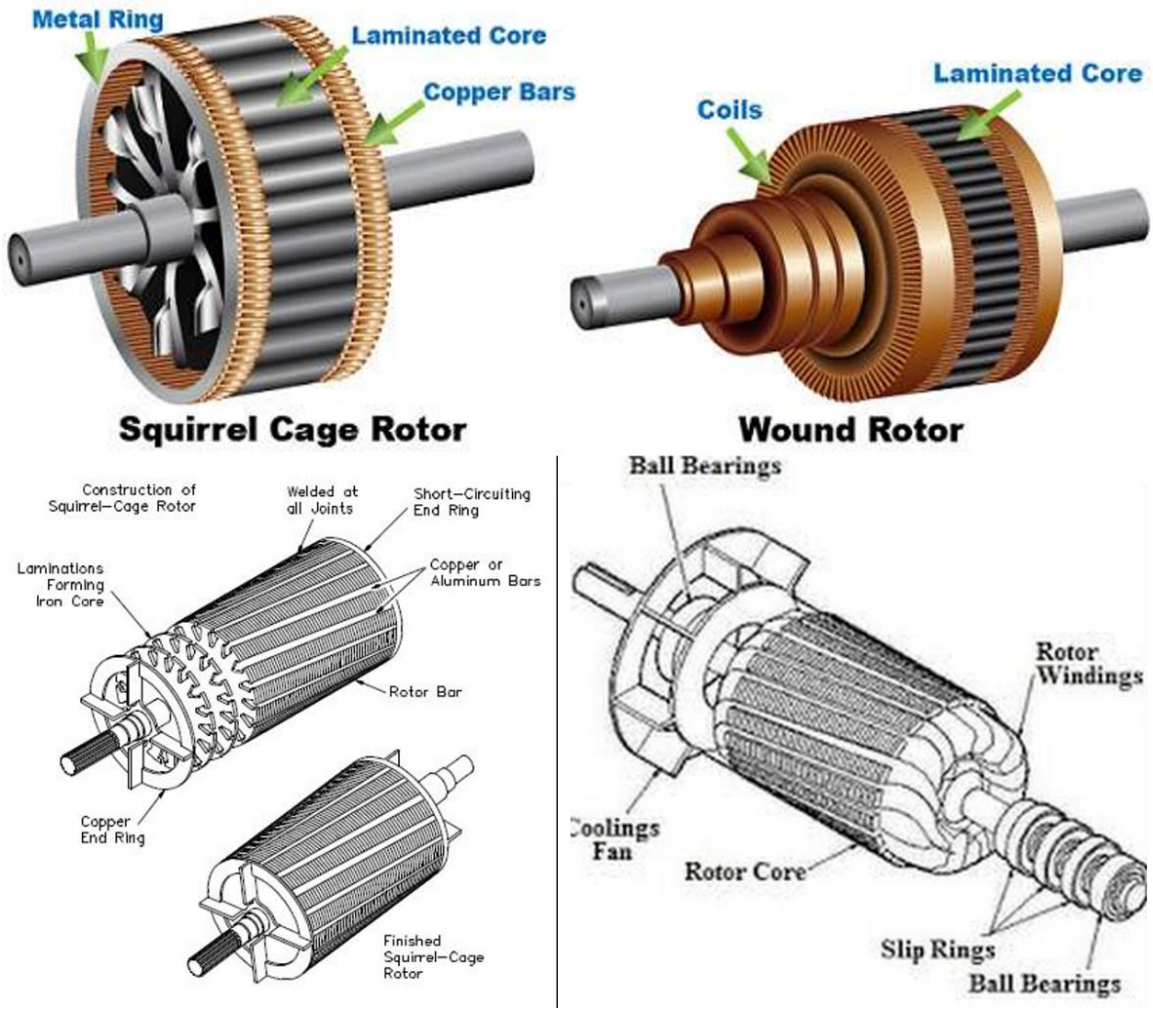
ความแตกต่างทางโครงสร้างของมอเตอร์ทั้งสองชนิดอยู่ที่โรเตอร์ โดยโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร ประกอบขึ้นจาก Laminations จำนวนมากและมีการใส่แม่เหล็กถาวรเข้าไปในโรเตอร์ ดังตัวอย่างที่แสดงใน รูป 2-19 ซึ่งเป็นตัวอย่างโรเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรชนิดหนึ่งที่เรียกว่า Interior permanent magnet (IPM) ของบริษัท Ford Motor จากรูปจะเห็นได้ถึงลักษณะแบบแผนการเจาะช่องสำหรับใส่แม่เหล็กถาวร โดยแต่ละมอเตอร์จะมีแบบแผนการเจาะช่องที่แตกต่างกันไป ซึ่งเป็นองค์ความรู้ในการออกแบบมอเตอร์ชนิดนี้



รูป 2-19 Interior Permanent Magnet IPM-Rotor [2.1]

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ Squirrel Cage Rotor และ Wound Rotor ในส่วนของโครงสร้างพื้นฐานของโรเตอร์นั้น ทั้งสองประเภทคล้ายคลึงกัน โดยประกอบขึ้นจาก Laminated Care ซึ่งทำมาจากเหล็กแผ่นบางและมีการเจาะช่องด้านนอกเพื่อวาง Bar โดยทั่วไป Bar จะทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม การพันขนลวด (Winding) เข้าไปใน Bar ของโรเตอร์จำเป็นต้องให้ได้จำนวน Pole

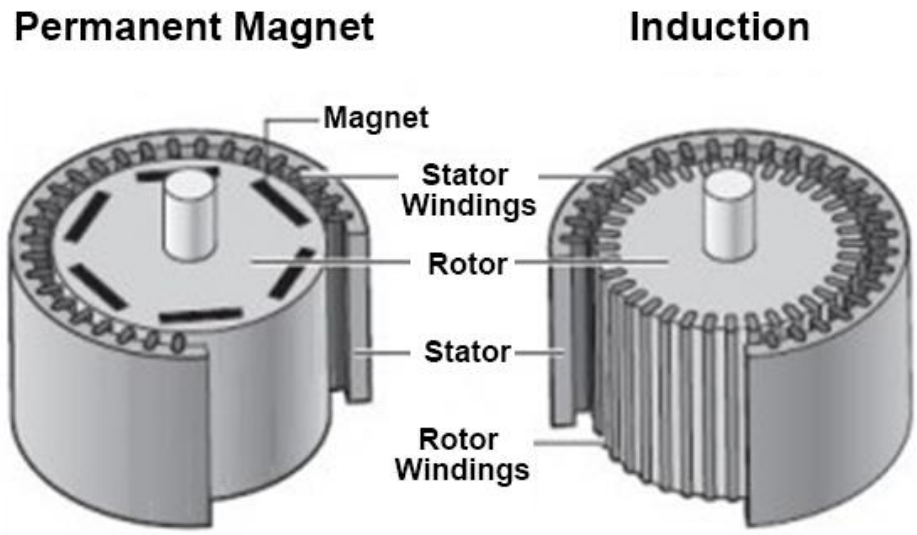
เท่ากับจำนวนของ Pole ในสเตเตอร์ ในส่วนด้านท้ายของ Squirrel Cage Rotor จะประกอบด้วยแหวนโลหะ โดยส่วนใหญ่มักจะทำจากทองแดง ด้านปลาย Shaft ของ Wound Rotor จะติดตั้ง Slip Rings เอาไว้สำหรับการติดตั้ง Resistors and Contactors เพิ่มเติม รูป 2-20 แสดงโครงสร้างโรเตอร์ทั้งสองชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ




รูป 2-20 Construction of Induction Motor Rotor

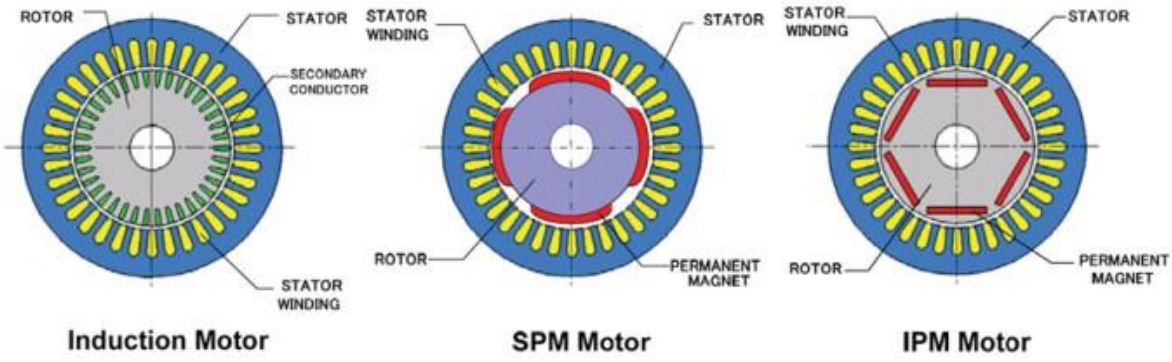
(ที่มา : Encyclopedia Of Engineering, polytechnichub.com, Electrical Engineering )

รูป 2-21 และ รูป 2-22 แสดงความแตกต่างทางโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรและมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยเน้นการแสดงให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างโรเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละประเภทมีจำนวน Pole เท่ากัน




รูป 2-21 Permanent Magnet และ Induction motor

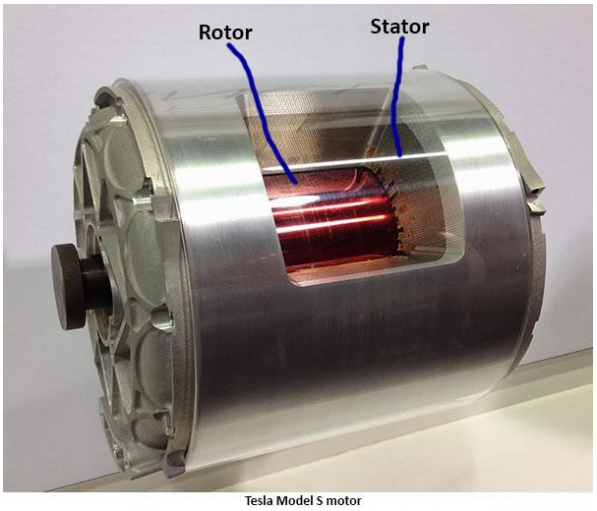
(ที่มา : http://empoweringpumps.com)




รูป 2-22 Cross section IPM Motor-Induction Motor

(ที่มา: motorwallpaper.org)

ในส่วนของการใช้งานนั้น มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำถือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่นิยมใช้มากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม อันเนื่องมาจากความคงทนถาวร ไม่เสียง่าย จำนวนชิ้นส่วนภายของมอเตอร์น้อย ทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา ในส่วนภาครถยนต์ไฟฟ้า ได้มีบริษัทรถยนต์หลายบริษัทเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทนี้ เช่น Tesla รูป 2-23 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่นำไปใช้งานในรถยนต์ Tesla model S




รูป 2-23 Induction Motor

(ที่มา: https://tesla.stractest.org/tesla-motot)

ข้อเด่นของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร คือ ความสามารถในการให้แรงบิดในระดับสูงได้อย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพสูง และมอเตอร์สามารถให้กำลังคงที่ในช่วงรอบมอเตอร์สูง ข้อด้อยคือราคาสูง เนื่องจากมีการใช้แร่ธาตุที่หายาก สำหรับการผลิตชิ้นส่วน การบำรุงรักษายาก บริษัทรถยนต์ที่เลือกใช้มอเตอร์ประเภทนี้เช่น BMW Nissan รูป 2-24 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรที่ใช้ติดตั้งในรถยนต์ไฟฟ้า BMW i3

รูป 2-24 Permanent Magnet AC Motor

(ที่มา: Deutsches Museum)

### 2.2.3 การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติและการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ได้นำเสนอไปในบทก่อนหน้านี้ ตาราง 2-1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของ Direct current motor (DC motor) Permanent Magnet motor (PMAC) และ Induction motor (IM) ในด้านต้นทุนและการบำรุงรักษา แรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างขึ้นมากได้ ความทนทานของมอเตอร์ การเพิ่มความเร็ว และประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม

ตาราง 2-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

| คุณสมบัติ | DC motor | AC motor | |
|---|---|---|---|
| | | Permanent magnet motor | Induction motor |
| **ต้นทุนและการบำรุงรักษา** | ราคาปานกลาง | ราคาแพงที่สุด | ราคาถูกและบำรุงรักษาง่าย |
| **แรงบิด** | ให้แรงบิดสูงและสัมพันธ์กับกระแสไฟที่จ่าย | ขึ้นกับความสามารถในการซิงโครนัส | สามารถควบคุมแรงบิดได้ทั้งการปรับแรงดันและความถี่หรือควบคุมแบบเวคเตอร์ |
| **ความทนทาน** | ความทนทานต่ำ ความสึกหรอสูง | ค่อนข้างทนทาน | ความทนทานสูง |
| **การเพิ่มความเร็วมอเตอร์** | ขึ้นกับแรงดันแบตเตอรี่ | ขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนให้กับมอเตอร์ | ขยายช่วงรอบการทำงานได้กว้างที่สุด |
| **ประสิทธิภาพการทำงาน** | ประสิทธิภาพปานกลาง | ประสิทธิภาพดีที่สุด | ประสิทธิภาพปานกลาง |

นอกจากการคำนึงถึงคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแล้ว ยังควรคำนึงถึงคุณสมบัติของชุดควบคุมมอเตอร์ด้วย ตาราง 2-2 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

ตาราง 2-2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

| Motor control unit | | | |
|---|---|---|---|
| **คุณสมบัติ** | DC motor | AC motor | |
| | | Permanent magnet motor | Induction motor |
| **ต้นทุนและการบำรุงรักษา** | ราคาถูกที่สุด | ราคาแพงที่สุด | ราคาค่อนข้างสูง |
| **วิธีการควบคุมความเร็ว** | ทำได้ง่าย โดยการควบคุมระดับแรงดัน | ควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับ | สามารถควบคุมแรงบิดได้ทั้งการปรับแรงดันและความถี่หรือควบคุมแบบเวคเตอร์ |
| **การสร้างแรงบิด** | ใช้กระแสไฟสูง | สร้างแรงบิดได้สูง | ต้องใช้วงจรพิเศษ |
| **ความเร็วสูงสุด** | ขึ้นกับแรงดันแบตเตอรี่ | ขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนให้กับมอเตอร์ | ขยายช่วงรอบการทำงานได้กว้างที่สุด |

ในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อใช้เป็น Traction Motor สำหรับรถยนต์ไฟฟ้านั้น ลักษณะการติดตั้งจะมีผลต่อคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยตรง ตาราง 2-3 นำเสนอคุณสมบัติต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้าในเมื่อทำการติดตั้งที่ล้อ ตำแหน่งใกล้กับล้อ และการติดตั้งมอเตอร์ที่เพลา มาเปรียบเทียบ

ตาราง 2-3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ

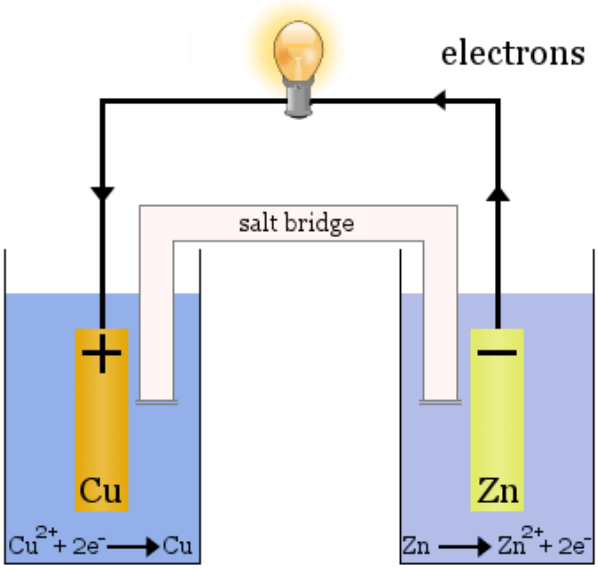
| คุณสมบัติ | มอเตอร์ที่ล้อ | มอเตอร์ใกล้ล้อ | มอเตอร์ที่เพลา |
|---|---|---|---|
| **ความยุ่งยากในการออกแบบ** | มีความยุ่งยากสูงเพราะต้องออกแบบให้มอเตอร์มีแรงบิดเพียงพอสำหรับการขับเคลื่อน | สามารถใช้เฟืองเพื่อทดกำลังต่อไปยังล้อได้ | ง่ายที่สุดเพราะใช้ระบบส่งกำลังเดิม |
| **ประสิทธิภาพ** | สูงที่สุดเพราะไม่มีความสูญเสียทางกล | มีความสูญเสียทางกลบ้าง | มีการสูญเสียในระบบส่งกำลัง (เพลา เฟือง) |
| **ความทนทาน** | เป็นการเพิ่ม unsprung load ทำให้ไม่เหมาะถนนไม่เรียบ | ทนทานกว่ามอเตอร์ที่ล้อ การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในแต่ละล้อทำได้ยาก | ทนทานเท่ากับระบบปัจจุบัน |

## 2.3 หน่วยกักเก็บพลังงาน

สำหรับหน่วยกักเก็บพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้าแบบ Pure electric vehicle จะอยู่ในรูปแบบของแบตเตอรี่ (Battery) แบตเตอรี่ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานในไว้บนรถยนต์และทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า

### 2.3.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell) หนึ่งเซลล์หรือมากกว่า แบตเตอรี่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถจะให้กำลังไฟฟ้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกได้เมื่อมีการเชื่อมต่อ แบตเตอรี่ประกอบไปด้วยมีขั้วบวก (Cathode) และ ขั้วลบ (Anode) ขั้วบวกจะมีพลังงานศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าขั้วลบ โดยขั้วลบคือแหล่งที่มาของอิเล็กตรอนที่เมื่อเชื่อมต่อกับวงจรภายนอกแล้วอิเล็กตรอนเหล่านี้จะไหลและส่งมอบพลังงานให้กับอุปกรณ์ภายนอก เมื่อแบตเตอรี่เชื่อมต่อกับวงจรภายนอก สารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งเป็นสารละลาย มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่โดยทำตัวเป็นไอออน ยอมให้ปฏิกิริยาทางเคมีทำงานแล้วเสร็จในขั้วไฟฟ้าที่อยู่ห่างกัน เป็นการส่งมอบพลังงานให้กับวงจรภายนอก การเคลื่อนไหวของไอออนเหล่านั้นที่อยู่ในแบตเตอรี่ที่ทำให้เกิดกระแสไหลออกจากแบตเตอรี่เพื่อให้ไฟฟ้าครบวงจร รูป 2-25 แสดงตัวอย่างเซลล์ไฟฟ้าเคมีอย่างง่าย




รูป 2-25 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

(ที่มา : https://www.chemicool.com/definition/electrochemical-cell.html)

แบตเตอรี่แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามจำนวนครั้งที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ โดยแบ่งเป็นแบตเตอรี่ปฐมภูมิ และแบตเตอรี่ทุติยภูมิ

แบตเตอรี่ปฐมภูมิ มีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าได้เพียงครั้งเดียว เมื่อปล่อยประจุออกไปแล้วไม่สามารถประจุใหม่ได้อีก แบตเตอรี่ประเภทนี้และจะถูกใช้เพียงครั้งเดียวหรือใช้แล้วทิ้ง วัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรในช่วงการคายประจุ (Discharge) ตัวอย่างที่พบบ่อยก็คือ แบตเตอรี่อัลคาไลน์ที่ใช้สำหรับ ไฟฉาย และอีกหลายอุปกรณ์พกพา

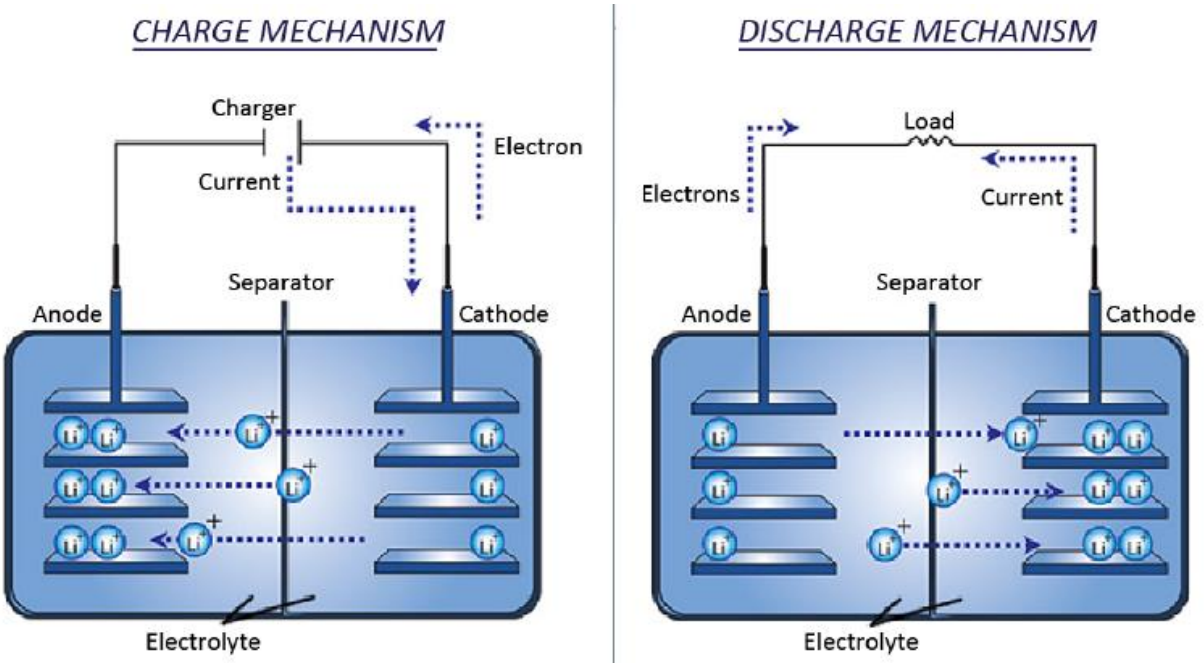
แบตเตอรี่ทุติยภูมิ สามารถดิสชาร์จและชาร์จใหม่ได้หลายครั้ง ในการนี้องค์ประกอบเดิมของขั้วไฟฟ้าสามารถเรียกคืนสภาพเดิมได้โดยกระแสย้อนกลับ โดยแบตเตอรี่ที่นำมาใช้สำหรับกักเก็บพลังงานบนรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อการขับเคลื่อน (Traction Battery ) จะเป็นแบตเตอรี่ประเภทนี้ทั้งหมด

ในอดีตที่ผ่านแบตเตอรี่กลุ่มตะกั่วกรด (Lead acid) และกลุ่มนิกเกิล (Nickel Metal Hydride-NiMH) ได้ถูกนำมาใช้งานเป็น Traction Battery แต่ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากจุดเด่นของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนคือความจุพลังงานและกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแบตเตอรี่ตระกูลนิกเกิลและกรดตะกั่ว นอกจากนี้ยังมีค่าศักย์ไฟฟ้าสูง มีอัตราการสูญเสียประจุระหว่างไม่ใช้งาน (self-discharge rate) ที่ต่ำ ไม่มีปรากฏการณ์ความจำและมีความปลอดภัยสูงกว่าแบตเตอรี่ที่ใช้โลหะลิเทียมเป็นขั้ว ในที่นี้จึงขอนำเสนอรายละเอียดของแบตเตอรี่ในกลุ่มนี้

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ที่โลหะลิเทียมเป็นขั้วแบตเตอรี่ มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ขั้วลบ มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนที่มีรูพรุน (เช่น แกรไฟต์) เคลือบบนแผ่นทองแดง ขั้วบวกเป็นลิเทียมเมทัลออกไซด์เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ประกอบด้วยเกลือของลิเทียม เช่น $LiPF_6$ หรือ $LiBF_4$ ในตัวทำละลายเช่น เอทิลีนคาร์บอเนต (Ethylene carbonate) ไดเอทิลคาร์บอเนต (Diethyl carbonate) และ/หรือไดเมทิลคาร์บอเนต (Dimethyl carbonate) และมีเยื่อเลือกผ่าน

(Separator) กั้นระหว่างขั้วทั้งสอง ซึ่งทำจากพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) และ/หรือพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) [2.2]

รูป 2-26 แสดงหลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เมื่อมีการอัดประจุ (Charge) ไอออนของลิเทียม จะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วบวก ผ่านเยื่อเลือกผ่าน เข้าสู่ขั้วลบ เกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมและคาร์บอน และขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจะเคลื่อนจากขั้วบวกสู่ขั้วลบผ่านวงจรภายนอก และขณะเกิดการคายประจุปฏิกิริยาจะเกิดในทางตรงกันข้าม




รูป 2-26 Charge-and-discharge-process-of-secondary-lithium-ion-batteries

(ที่มา : Research Gate)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่มีใช้ในปัจจุบันมี 6 ประเภทหลัก โดยทั่วไปจะแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำขั้วบวก ส่วนขั้วลบทำจากแกรไฟต์เป็นหลัก ทั้งนี้แบตเตอรี่ประเภท LTO (Lithium Titanate) มีความแตกต่างออกไปคือ มีขั้วลบเป็นลิเทียมไททาเนต แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภทมีสมบัติแตกต่างกัน จึงเหมาะสมต่อการใช้งานที่แตกต่างกันไปด้วย

ตาราง 2-4 แสดงวัสดุที่นำมาใช้เป็นขั้วลบและขั้วบวกของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน และตัวอย่างการนำแบตเตอรี่ประเภทนั้นไปใช้งาน

ตาราง 2-4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ วัสดุขั้วลบและบวก และการใช้งาน [2.2]

| ประเภท | วัสดุขั้วบวก | วัสดุขั้วลบ | การใช้งาน |
|---|---|---|---|
| 1 | Lithium Cobalt Oxide (LiCoO2 , LCO) | แกรไฟต์ | โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต แล็ปท็อป กล้องดิจิทัล |
| 2 | Lithium Manganese Oxide ($LiMn_2O_4$,LMO) | แกรไฟต์ | เครื่องมือไฟฟ้า (Power tools) อุปกรณ์การแพทย์ Traction Battery ในรถยนต์ไฟฟ้า |

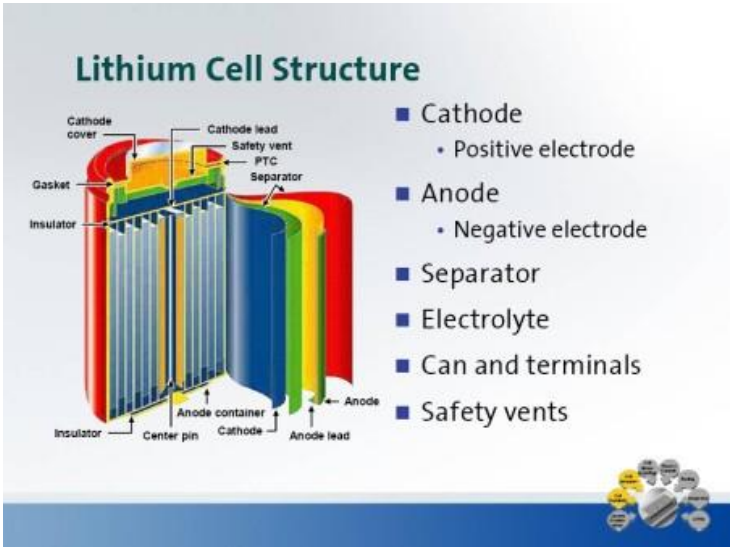
| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 | Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide ($Li(Ni,Mn,Co)O_2$, NMC,NCM) | แกรไฟต์ | จักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ Traction Battery ในรถยนต์ไฟฟ้า (มักใช้ในรถไฮบริด) ระบบสำรองไฟฟ้า |
| 4 | Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide ($Li(Ni,Co,Al)O_2$, NCA) | แกรไฟต์ | อุปกรณ์การแพทย์ Traction Battery ในรถยนต์ไฟฟ้า (Tesla Model S) ระบบสำรองไฟฟ้า |
| 5 | Lithium Iron Phosphate ($LiFePO_4$,LFP) | แกรไฟต์ | Traction Battery ในรถยนต์ไฟฟ้า หรือแทนแบตเตอรี่กรดตะกั่วในรถยนต์ (Start-Lighting-Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแสและความทนทานสูง |
| 6 | แกรไฟต์ หรือ LMO | Lithium Titanate ($Li_4Ti_5O_{12}$, LTO) | ระบบสำรองไฟฟ้า Traction Battery ในรถยนต์ไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV) |

### 2.3.2 โครงสร้างแบตเตอรี่

โดยทั่วไปเซลล์แบตเตอรี่มีโครงสร้างเพื่อห่อหุ้มบรรจุขั้วไฟฟ้าที่ทำจากโลหะ Cathode และ Anode ส่วนสารละลาย Electrolyte โดยถูกให้อยู่เป็นช่องๆ ด้วย Separator นอกจากนั้นยังคงต้องประกอบด้วย Insulator เพื่อป้องกันความร้อนที่จะเกิดขึ้น ในบางกรณีควรต้องมีการติดตั้ง Safety vents สำหรับลดความดันภายในตัวเซลล์ รูป 2-27 แสดงตัวอย่างภาพตัดขวางของโครงสร้างภายในเซลล์แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

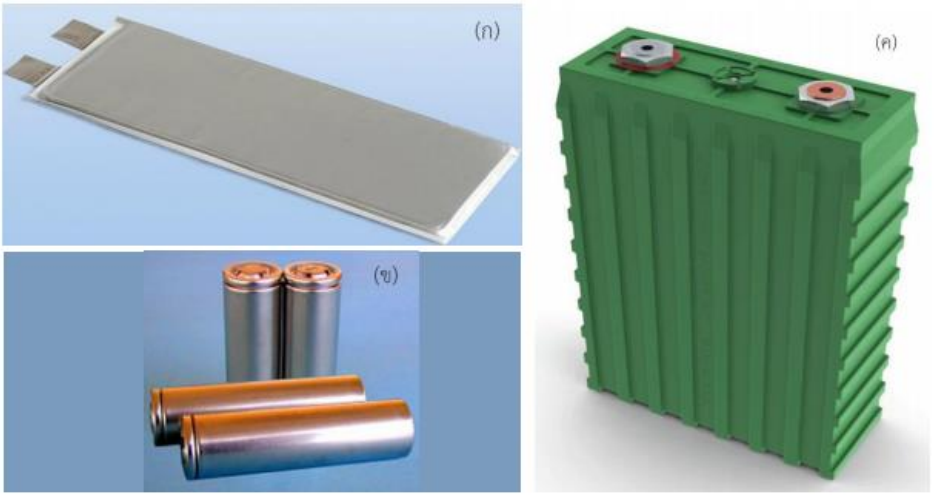
รูปลักษณ์ภายนอกของเซลล์แบตเตอรี่มีได้หลากหลายรูปแบบตามการบรรจุ รูป 2-28 แสดงตัวอย่างรูปลักษณ์ภายนอกของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยรูป 2-28-ก แสดงการบรรจุลักษณะคล้ายกระเป๋าหรือถุงเล็กๆ (Pouch) ซึ่งวัสดุบรรจุภัณฑ์ซึ่งก็คือแผ่นอะลูมิเนียมที่เคลือบด้วยสารพอลิเมอร์ ทำให้มีน้ำหนักเบา แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทรงกระบอก (cylindrical) ใน รูป 2-28-ข และทรงกล่อง (prismatic) ในรูป 2-28-ค

สำหรับการใช้งานบนรถยนต์เซลล์แบตเตอรี่จะถูกนำมาต่อรวมกันเป็นชุด เรียกว่าแพ็คแบตเตอรี่ (Battery Pack) ดังที่แสดงในรูป 2-29




รูป 2-27 โครงสร้างภาคในแบตเตอรี่ลิเทียม

(ที่มา: Argonne Blogs - Argonne National Laboratory)




รูป 2-28 ลักษณะรูปทรงของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [2.2]

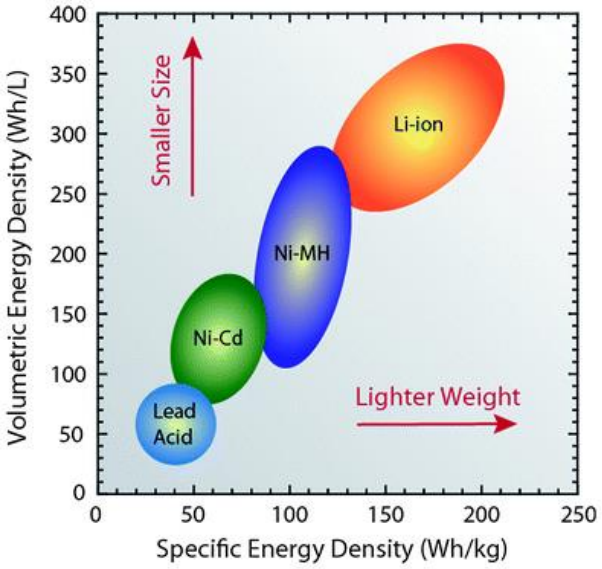
รูป 2-29 แบตเตอรี่แพ็ค

(ที่มา: batteriesontheweb.co.uk)

### 2.3.3 การเปรียบเทียบแบตเตอรี่แต่ละประเภท

คุณสมบัติและคุณลักษณะของแบตเตอรี่แต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน สำหรับการใช้งานเพื่อเป็น Traction Battery แล้วคุณสมบัติที่ควรคำนึงถึงความจุพลังงานไฟฟ้าต่อน้ำหนัก รวมไปถึงความจุพลังงานไฟฟ้าต่อขนาดของแบตเตอรี่ ซึ่งคุณสมบัติทั้งสองมีผลโดยต่อการนำไปใช้ติดตั้งบนรถยนต์

รูป 2-30 แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้น จากรูปจะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ในกลุ่ม Li-ion สามารถบรรจุพลังงานไฟฟ้าได้มาก โดยที่ยังรักษาขนาดให้เล็กและยังมีน้ำหนักเบา ในทางกลับกันแบตเตอรี่ Lead Acid มีต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักที่มากที่สุด แต่ก็ยังมีความสามารถในการบรรจุพลังงานได้น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่น




รูป 2-30 Battery Specific Energy Density และ Volumetric Energy Density
(ที่มา: http://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html)

ตาราง 2-5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านต่างของแบตเตอรี่กลุ่มลิเทียมไอออน สำหรับในตารางดังกล่าว อัตราการอัดหรือคายประจุ หรือ C-rate คือ ค่ากระแสที่ใช้ในการอัดหรือคายประจุของแบตเตอรี่ โดยเทียบกับความจุ (capacity) ของแบตเตอรี่นั้นๆ

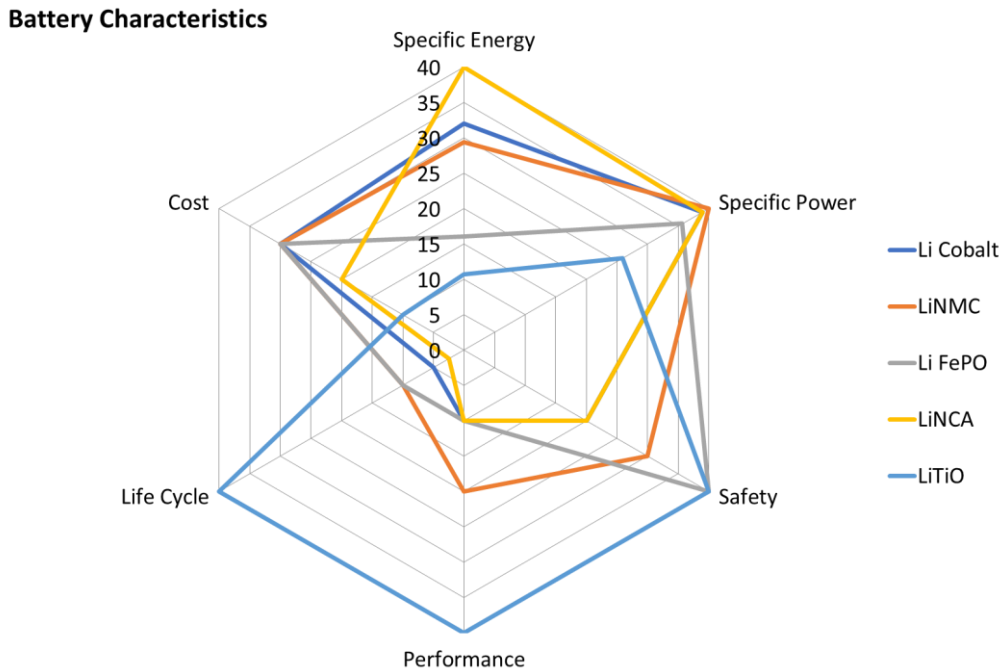
ตัวอย่างเช่น สำหรับแบตเตอรี่ที่มีความจุ 100 Ah การอัดหรือคายประจุด้วยอัตรา 1C จะต้องให้กระแสแก่ แบตเตอรี่ (กรณีอัดประจุ) หรือดึงกระแสจากแบตเตอรี่ (กรณีคายประจุ) เท่ากับ 100 A และกว่าที่จะอัดประจุจนเต็ม (จากแบตเตอรี่ที่หมด) หรือคายประจุจนหมด (จากแบตเตอรี่เต็ม) จะใช้เวลา 1 ชั่วโมง

การอัดหรือคายประจุที่อัตรา 2C ต้องใช้กระแส 200 A (100 A x 2) เป็นเวลา 30 นาที (1 ชั่วโมง ÷ 2) ส่วนอัตรา C/4 คือการอัดหรือคายประจุด้วยกระแส 25 A (100 A ÷ 4) โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง (1 ชั่วโมง x 4) เป็นต้น ส่วนจำนวนครั้งการใช้งาน หมายถึง เมื่อมีการคายประจุจนหมดทุกครั้ง และถือว่าแบตเตอรี่หมดอายุเมื่อความจุพลังงานเหลือ 80% ของความจุพลังงานเริ่มต้น

ตาราง 2-6 เปรียบเทียบสมบัติของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแต่ละประเภท [2.2]

| สมบัติ | หน่วย | LiCO/LiNCA | LiNMC | LiMO | LiTiO | LiFePo |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ช่วงแรงดันในการใช้งาน (Operating voltage range) | v | 2.5-4.2 | 2.5-4.2 | 2.5-4.2 | 1.5-2.8 | 2.0-3.6 |
| แรงดันเฉลี่ย (Nominal cell voltage) | v | 3.6-3.7 | 3.6-3.7 | 3.7-3.8 | 2.3 | 3.3 |
| ความจุพลังงานต่อน้ำหนัก | Wh/kg | 175-240 (cylindrical) 130-450 (pouch) | 100-240 | 100-150 | 70 | 60-110 |
| ความจุพลังงานต่อปริมาตร | Wh/L | 400-640 (cylindrical) 250-450 (pouch) | 250-640 | 250-350 | 120 | 125-250 |
| อัตราการคายประจุอย่างต่อเนื่อง (Continuous discharge rate) | $C^2$ | 2-3 | 2-3 | >30 | 10 | 10-125 |
| อายุการใช้งาน | รอบ | 500+ | 500+ | 500+ | 4000+ | 1000+ |
| ช่วงอุณหภูมิที่สามารถอัดประจุได้ | °C | 0-45 | 0-45 | 0-45 | -20-45 | 0-45 |
| ช่วงอุณหภูมิที่สามารถคายประจุได้ | °C | -20-60 | -20-60 | -30-60 | -30-60 | -30-60 |
| ความปลอดภัย (4 =ปลอดภัยที่สุด) | 1-4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| ราคา (4 = ราคาต่ำที่สุด) | 1-4 | 3 (LCO), 2 (NCA) | 3 | 3 | 1 | 3 |

รูป 2-31 แสดงการนำแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 5 ชนิดได้แก่ LiCobalt LiNMC LiFePo Li-NCA และ Li-Tio มาเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความจุพลังงาน (Specific Energy) ด้านกำลังงานที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกมาได้ (Specific Power) ด้านประสิทธิภาพ (Performance) ด้านความปลอดภัย (Safety) ด้านอายุการใช้งาน (Life Cycle) และด้านราคา (Cost) มาแสดงในรูปกราฟใยแมงมุมหรือกราฟเรดาร์




รูป 2-31 Battery Technology Comparsion

(ที่มา: batteryuniversity.com, สิขร)

# บทที่ 3
# มอเตอร์และแบตเตอรี่นิสสันลีฟ

## 3.1 ข้อมูลทั่วไปรถยนต์นิสสันลีฟ

Nissan Leaf เป็นรถยนต์ไฟฟ้า (Pure electric vehicle) ประเภทแฮทช์แบ็ค 5 ประตู ในกลุ่มซัพคอมแพค (subcompact car) ถูกพัฒนาโดยบริษัทนิสสัน เพื่อให้เป็นรถสำหรับครอบครัวและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและราคาไม่แพง โดยคำว่า Leaf มาจาก Leading, Environmentally friendly, Affordable, Family car รถยนต์นิสสันลีฟเปิดตัวครั้งแรกที่ญี่ปุ่นเมื่อเดือนธันวาคม 2010 และได้ทำการพัฒนาโมเดลต่างๆ เรื่อยมา ตาราง 3-1 แสดงข้อมูลโมเดลของรถนิสสันที่ผ่านมา

ตาราง 3-1 ข้อมูลทางเทคนิคของรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา: เอ็มเทค)

| Generation | Model Year | Curb Weight | Powertrain | Battery | Range (km) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Synchr. Motor + single ratio | Lithium - ion | EPA | NEDC | WLTC | JC08 |
| ZE0: First Generation (2011-2017) | 2011 | 1521 kg | 80kW 280Nm Separated | 24 kWh | 117[1] | 175 | - | 200 |
| | 2013 | 1493 kg | 80kW 280Nm Integrated | 24 kWh | 121[2] 135[3] | 200 | - | 228 |
| | 2016 | 1500-1538 kg | 80kW 280Nm Integrated | 30 kWh | 172 | 250 | - | 280 |
| ZE1: Second Generation All New Leaf (2018-present) | 2018 | 1580-1640 kg | 110kW 320Nm Integrated | 40 kWh 350V/192 | 243 | 378 | 285[4] 270[4] | 400 |
| | 2019 (exp.) | n.a. | 160kW Integrated | 60 kWh | 362 | | | |

[1] การทดสอบหาระยะทางการขับขี่ต่อการชาร์จหนึ่งครั้งของ EPA มีการเปลี่ยนแปลงในปี 2013

[2] ค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างระยะทางจากการชาร์จในโหมด Long-Distance Mode charging (100% charging) กับ Long-Life Mode Charging (80% charging)

[3] ค่าระยะทางจากการชาร์จด้วยโหมด Long-Distance Mode Charging (100% charging)

[4] ทดสอบระยะทางด้วย WLTP combined mode ได้ 285 km สำหรับรุ่น Visia และได้ 270 km สำหรับรุ่น Acenta, N-Connecta และ Tekna

รถยนต์นิสสันลีฟรุ่นแรกเริ่มจำหน่ายในปี 2011 มีน้ำหนัก 1521 kg มีมอเตอร์ขนาด 80kW และใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 24 kWh สามารถวิ่งได้ 175 km ภายใต้วัฏจักรการขับขี่ในโหมด NEDC ซึ่งภายหลังทางบริษัทนิสสันได้มีการปรับปรุงลีฟ (minor change) และนำออกจำหน่ายในปี 2013 โดยมีการ

ปรับปรุงระบบเบรกและอินทิเกรดระบบขับเคลื่อนเข้าด้วยกัน ส่งผลให้การใช้พลังงานดีขึ้นและน้ำหนักลดลง ทำให้สามารถขับขี่ได้ระยะทางมากขึ้นเป็น 200 km จากนั้นในปี 2016 ทางบริษัทได้ออกรุ่นย่อยที่ใช้ชุดแบตเตอรี่ขนาด 30 kWh ให้ผู้บริโภคได้เลือก ซึ่งสามารถเดินทางได้ระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 250 km ต่อมาภายหลังได้ปรับให้รถรุ่นย่อยทุกรุ่นมาใช้ชุดแบตเตอรี่ขนาด 30kWh ทั้งหมด ในเดือนตุลาคม 2017 ทางบริษัทนิสสันได้เปิดตัวรถนิสสันลีฟโฉมใหม่ (All new Nissan Leaf) ซึ่งเป็นลีฟในเจนเนอร์เรชั่นที่สอง มีกำลังมอเตอร์ใหญ่ขึ้นเป็น 110 kW และใช้ชุดแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 40 kWh สามารถขับขี่ได้ระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 378 km นอกจากนี้คาดกันว่าทางบริษัทนิสสันจะออกรุ่นย่อยที่มีความจุแบตเตอรี่สูงขึ้นในปี 2019 โดยจะมีความจุ 60 kWh และมีขนาดมอเตอร์ 160 kW เพื่อให้แข่งขันกับรถยนต์ไฟฟ้าคู่แข่งที่มีขนาดความจุแบตเตอรี่ 50-60 kWh ได้ เช่น รถเทสล่าโมเดล 3 มีขนาดความจุแบตเตอรี่ 50-75 kWh ขณะที่ Chevrolet Bolt มีขนาดความจุแบตเตอรี่ 60 kWh

รถยนต์นิสสันมียอดจำหน่ายสะสมมากกว่า 300,000 คันทั่วโลก (ข้อมูล ณ. เดือนมกราคม 2018) ส่งผลให้นิสสันลีฟเป็นรถยนต์ไฟฟ้า (Pure Electric Vehicle) ที่มียอดขายสูงที่สุดในโลก ปัจจุบันมีการจำหน่ายในกว่า 60 ประเทศทั่วโลก โดยตลาดหลักของนิสสันลีฟจะอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และยุโรป โดยในยุโรปตลาดหลักจะอยู่ที่ นอร์เวย์ อังกฤษ และฝรั่งเศส ตาราง 3-2 แสดงการยอดขายของนิสสันลีฟแยกตามตลาดหลักและตามปี

ตาราง 3-2 ตัวเลขยอดขายของนิสสันลีฟแยกตามตลาดหลักและตามปี

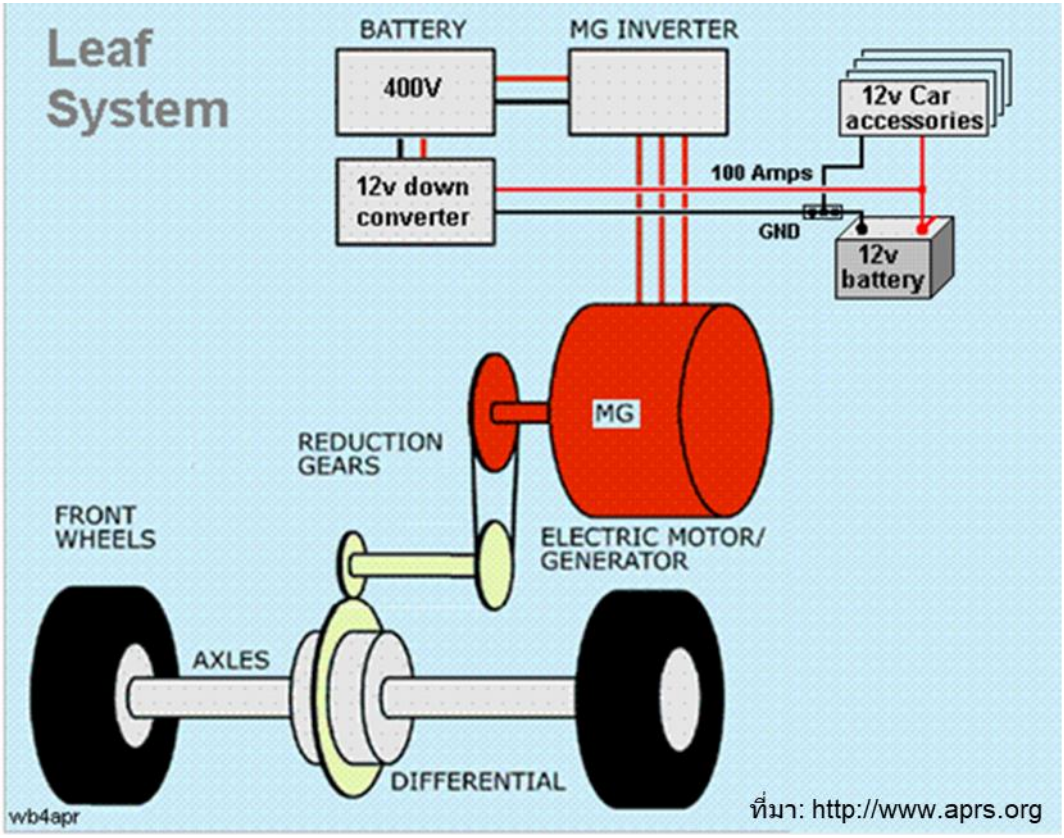
| Country | Total | 2017 | 2016 | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 | 2011 | 2010 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| US | 114,827 | 11,230 | 14,006 | 17,269 | 30,200 | 22,610 | 9,819 | 9,674 | 19 |
| Japan | 89,419 | 16,925 | 14,795 | 9,057 | 14,177 | 13,021 | 11,115 | 10,310 | 19 |
| Norway | 22,781 | 3,374 | 4,162 | 3,189 | 4,781 | 4,604 | 2,298 | 373 | |
| UK | 22,359 | 5,463 | 4,463 | 5,236 | 4,051 | 1,812 | 699 | 635 | |
| France | 12,137 | 2,381 | 3,887 | 2,220 | 1,604 | 1,438 | 524 | 83 | |
| Canada | 5,519 | 946 | 1,375 | 1,233 | 1,085 | 470 | 240 | 170 | |
| Germany | 5,049 | 841 | 1,121 | 948 | 812 | 855 | 451 | 21 | |
| China | 4,032 | | 1,961 | 1,273 | 582 | 216 | | | |
| Netherlands | 3,157 | 513 | 666 | 447 | 510 | 462 | 265 | 294 | |
| Sweden | 3,542 | 981 | 836 | 841 | 438 | 317 | 129 | | |
| Spain | 2,334 | 530 | 519 | 344 | 465 | 263 | 154 | 59 | |
| Italy | 2,103 | 448 | 460 | 389 | 332 | 323 | 146 | 5 | |
| Denmark | 1,202 | 20 | 85 | 224 | 577 | 211 | 73 | 12 | |
| Ireland | 1,366 | 258 | 352 | 405 | 192 | 43 | 69 | 45 | 2 |
| Belgium | 1,510 | 389 | 466 | 162 | 178 | 141 | 114 | 60 | |
| Austria | 1,149 | 384 | 333 | 156 | 121 | 88 | 64 | 3 | |
| Australia | 1,106 | 384 | 156 | 109 | 173 | 188 | 77 | 19 | |
| Switzerland | 831 | 131 | 158 | 145 | 106 | 178 | 74 | 39 | |
| Total top markets | 294,536 | 45,198 | 49,801 | 43,647 | 60,384 | 47,240 | 26,311 | 21,802 | 40 |
| Total global sales | 298,809 | 47,000 | 49,818 | 43,651 | 61,507 | 47,716 | 26,973 | 22,094 | 50 |

## 3.2 หลักการทำงานรถยนต์นิสสันลีฟ

รถยนต์นิสสันลีฟที่ใช้ศึกษาในโครงการนี้เป็นรถยนต์ลีฟรุ่น ปี 2011 เป็นรถที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว (Battery powered pure electric vehicle) นิสสันลีฟขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ High-Response Synchronous AC Motor รุ่น EM61 ให้กำลังสูงสุด 80 กิโลวัตต์ หรือ 109 แรงม้า (PS) ที่รอบตั้งแต่ 2,730 – 9,800 รอบ/นาที แรงบิดสูงสุด 280 นิวตันเมตร หรือ 28.6 กก.-ม. ที่รอบตั้งแต่ 0 – 2,730 รอบ/นาที ความเร็วสูงสุด 160กิโลเมตร/ชั่วโมง ที่ติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องด้านหน้ารถ มอเตอร์จะส่งกำลังผ่านเกียร์ 1 speed (เกียร์มีเพียงแค่ 1อัตราทด) ไปขับเคลื่อนล้อหน้าทั้งสอง เนื่องจากการขับเคลื่อนใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจึงทำให้ต้องมีแบตเตอรี่ขนาดใหญ่เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้า สำหรับไว้ส่งต่อให้กับมอเตอร์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ แทนที่จะเติมเชื้อเพลิงผ่านฝาถังน้ำมันที่ด้าน เปลี่ยนเป็นการเสียบปลั๊กผ่านฝาด้านหน้าตัวรถเหนือกันชน

ใต้ฝาเติมเชื้อเพลิง (พลังงาน) จะมีหัวรับซ่อนอยู่สองหัวขนาดประมาณลูกเทนนิส หัวแรกเป็นการชาร์จแบบธรรมดา การเสียบปลั๊กคล้ายคลึงกับการชาร์จโทรศัพท์มือถือ กล่าวคือ จะมีหัวต่อด้านหนึ่งต่อกับปลั๊กไฟบ้านและหัวต่ออีกด้านหนึ่งเสียบเข้ากับตัวรถ อีกหัวหนึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยสำหรับการชาร์จเร็ว ซึ่งจะคล้ายคลึงกับการเติมน้ำมัน โดยจะมีหัวจ่ายจากสถานีชาร์จต่อเข้ากับหัวรับที่อยู่ที่ใต้ฝาด้านหน้าตัวรถ

นอกจากหัวรับที่อยู่ใต้ฝาด้านหน้าเหนือกันชนของตัวรถแล้ว ระบบส่งกำลังจะอยู่ภายใต้ฝากระโปรงหน้ารถ ขณะที่ชุดแบตเตอรี่แรงดันสูงจะอยู่บริเวณใต้พื้นรถ เมื่อชาร์จผ่านไฟบ้าน (AC) พลังงานจะไหลผ่านสายไฟขนาดใหญ่ไปยังชุดชาร์จเพื่อแปลงเป็นไฟ DC แล้วไหลไปเก็บไว้ที่ชุดแบตเตอรี่แรงดันสูงแบบลิเทียมไอออนที่อยู่ใต้พื้นรถ เมื่อผู้ขับขี่เหยียบคันเร่ง คันเร่งไฟฟ้าจะส่งความต้องการของผู้ขับขี่ไปยัง ECU ของรถยนต์ ประจุไฟฟ้าที่อยู่ที่แบตเตอรี่ขนาด 400 VDC จะไหลผ่านสายไฟขนาดใหญ่ไปยังอินเวอร์เตอร์ที่อยู่รวมกับระบบส่งกำลังเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับตามคำสั่ง ส่งต่อให้กับมอเตอร์ไฟกระแสสลับแบบ IPM ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลในรูปของแรงบิด ดังรูป 3-1 แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์จะส่งผ่านชุดเกียร์อัตราทดเดียวต่อไปยังเฟืองท้าย แล้วส่งไปขับล้อหน้าส่งผลให้รถเคลื่อนที่ ในทางตรงข้ามหากผู้ขับขี่เหยียบเบรกเพื่อชะลอหรือหยุดรถ คันเบรกจะส่งความต้องการของผู้ขับขี่ไปยัง ECU ของรถยนต์ เพื่อสั่งอินเวอร์เตอร์ให้ดึงพลังงานกลที่มอเตอร์กลับ (power regeneration) ซึ่งมอเตอร์จะเชื่อมต่อกับล้อรถยนต์ ในระหว่างการดึงพลังงานกลับอินเวอร์เตอร์จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นส่งพลังงานในรูปของประจุไฟฟ้าไปกักเก็บไว้ที่ชุดแบตเตอรี่แรงดันสูง



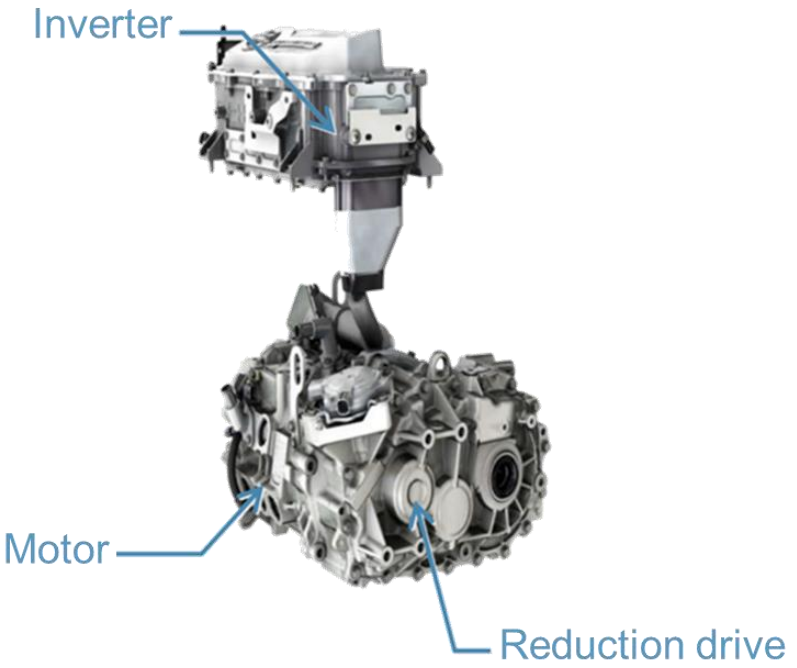

รูป 3-1 การทำงานของรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา : www.aprs.org)

ขณะเดียวกันพลังงานไฟฟ้าของชุดแบตเตอรี่แรงดันสูงยังถูกใช้สำหรับระบบไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบแสงสว่าง เครื่องเสียง ขณะที่ระบบบางอย่างที่เดิมอาศัยแหล่งพลังงานกลในการทำงาน เช่น ระบบปรับอากาศ ปั้มน้ำ ชุดสร้างแรงเบรก ได้เปลี่ยนเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงาน โดยประจุไฟฟ้าที่อยู่ที่แบตเตอรี่แรงดันสูงจะไหลไปยัง DC/DC converter ที่อยู่รวมกับระบบส่งกำลังเพื่อปรับไฟฟ้าแรงดันสูงไปเป็นไฟฟ้าแรงดันต่ำ (12/14V) เพื่อชาร์จตัวแบตเตอรี่แรงดันต่ำ และจ่ายพลังงานให้สอดคล้องกับความต้องการของระบบนั้นๆ ดังรูป 3-1

## 3.3 มอเตอร์ไฟฟ้าของนิสสันลีฟ

### 3.3.1 ส่วนประกอบและโครงสร้างระบบส่งกำลังของนิสสันลีฟ

ระบบส่งกำลังของรถนิสสันลีฟรุ่นที่ศึกษาเป็นระบบส่งกำลังของลีฟรุ่นแรก ซึ่งออกแบบชิ้นส่วนหลักแต่ละชิ้นแยกจากกัน ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ ชุดชาร์จ และชุดแปลงแรงดัน ดังรูป 3-2 ขณะที่ระบบส่งกำลังรุ่นใหม่ของลีฟปี 2013 จะอินทีเกรทอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน รูป 3-3 แสดงระบบส่งกำลังของรถยนต์นิสสันลีฟรุ่นปีต่างๆ

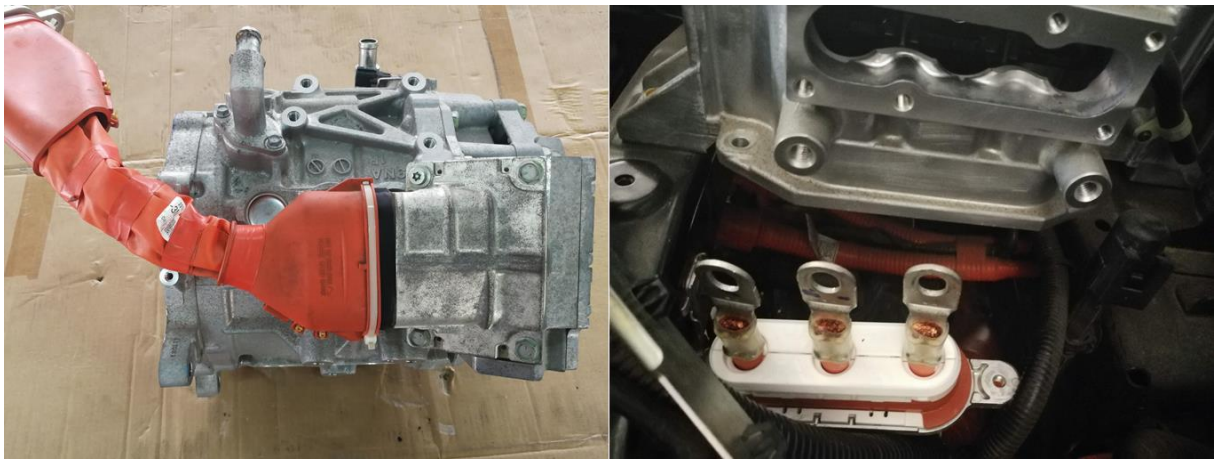



รูป 3-2 ระบบส่งกำลังของรถยนต์นิสสันลีฟ รุ่นโมเดลปี 2011 (ที่มา : MTEC)

รูป 3-3 เปรียบเทียบระบบส่งกำลังของรถยนต์นิสสันลีฟรุ่นโมเดลต่างๆ (ที่มา : MTEC)

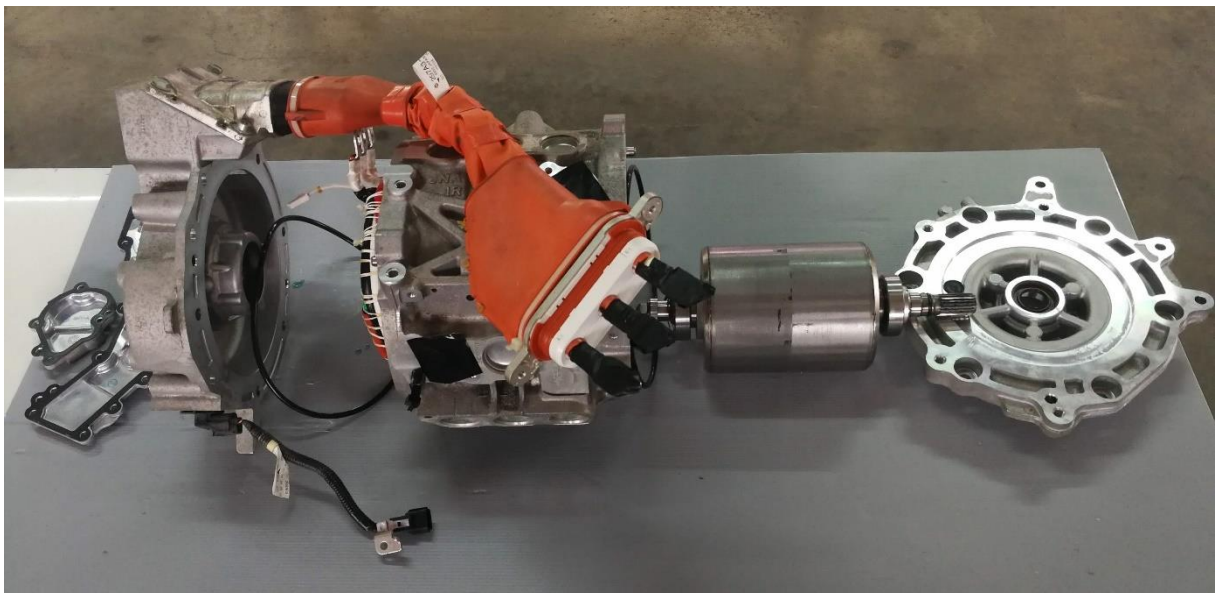
สำหรับรถยนต์นิสสันลีฟปี 2011 ที่นำมาศึกษานี้ มอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อสร้างกำลังสำหรับการเคลื่อนที่รวมถึงเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อต้องการดึงพลังงานกลับขณะชะลอหรือเบรกรถยนต์ อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์รวมถึงการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์ระหว่างการดึงพลังงานกลับ (power regeneration) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนเกียร์ทด (reduction drive) ทำหน้าที่ปรับการหมุนและการส่งผ่านแรงบิดจากมอเตอร์ไปยังล้อ ขณะที่ชุดชาร์จ (charger) ซึ่งติดตั้งแยกอยู่บริเวณที่นั่งผู้โดยสารตอนหลัง ทำหน้าที่ชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ โดยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับจากเต้ารับ (charging input port) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ ส่วนชุดแปลงแรงดัน (DC/DC converter) ติดตั้งแยกอยู่ด้านหลังของมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ

การเชื่อมต่อไฟแรงดันสูงสามเฟสระหว่างมอเตอร์กับอินเวอร์เตอร์ใช้สายไฟในการเชื่อมต่อ โดยที่บริเวณฝั่งขวาด้านบนของมอเตอร์จะมีเทอร์มินัลบล็อกอยู่ ซึ่งจะต่อเข้ากับปลายสายไฟแรงสูงข้างหนึ่ง ขณะที่ปลายสายไฟอีกข้างจะต่อกับเทอร์มินัลบล็อกของอินเวอร์เตอร์ซึ่งอยู่บริเวณด้านข้างฝั่งซ้ายของอินเวอร์เตอร์ ดังรูป 3-4 ขณะที่ในนิสสันลีฟรุ่นใหม่จะใช้บัสบาร์ในการเชื่อมต่อแทนการใช้สายไฟแบบที่ใช้ในรถรุ่นแรก การออกแบบให้ไม่มีสายไฟและชิ้นส่วนเกี่ยวข้องทำให้ขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบาลง โดยมีน้ำหนักมอเตอร์บวกอินเวอร์เตอร์ลดลง 11.7 kg และปริมาตรลดลง 5.1 L เมื่อเทียบกับรุ่นแรก (MY 2011) [4.1]



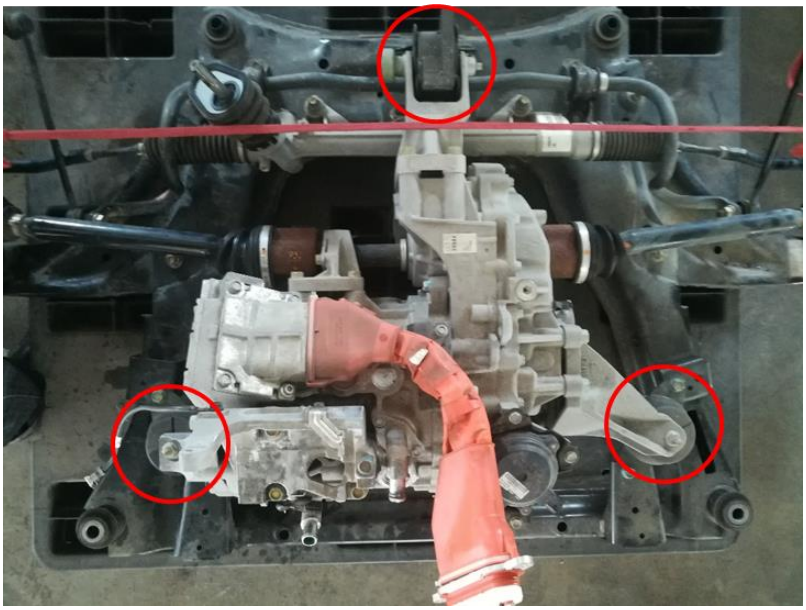
รูป 3-4 สายไฟสำหรับเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ (ที่มา : MTEC)

โครงสร้างของมอเตอร์ออกแบบมีลักษณะทรงกระบอกแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ฝาด้านหน้า โครงมอเตอร์ และฝาด้านหลัง ดังแสดงในรูป 3-5 มอเตอร์มีท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกที่ด้านข้างของโครงมอเตอร์ในทิศทางด้านหน้าตัวรถ ฝาด้านหลังเป็นที่ตั้งของคอยล์ของรีโซเวอร์ที่ใช้ในการวัดตำแหน่งการหมุนของโรเตอร์ ที่ด้านบนฝาหลังเป็นตำแหน่งของเทอร์มินัลบล็อกสำหรับเชื่อมต่อขั้วไฟ AC ของสเตเตอร์และปลายสายไฟ AC ที่จะต่อเข้าอินเวอร์เตอร์ ดังที่เห็นในรูป



รูป 3-5 ลักษณะโครงสร้างของมอเตอร์ (ที่มา MTEC)

ระบบส่งกำลังของรถนิสสันลีฟจะมีแป้นยึด (bracket) 3 ตัวเพื่อไว้ยึดระบบส่งกำลังเข้ากับเฟรมรถ ผ่านจุดยึด 3 ตำแหน่ง ที่บริเวณด้านซ้าย ขวา และด้านหลัง ดังแสดงในรูป 3-6



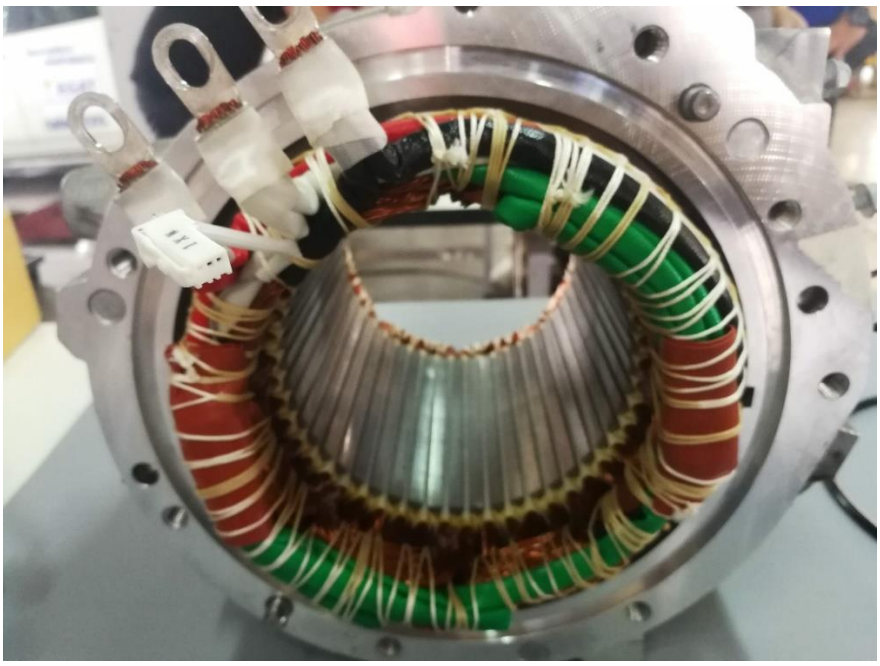
รูป 3-6 ตำแหน่งการยึดระบบส่งกำลังของรถนิสสันลีฟ

### 3.3.2 มอเตอร์ไฟฟ้า (Traction Motor)

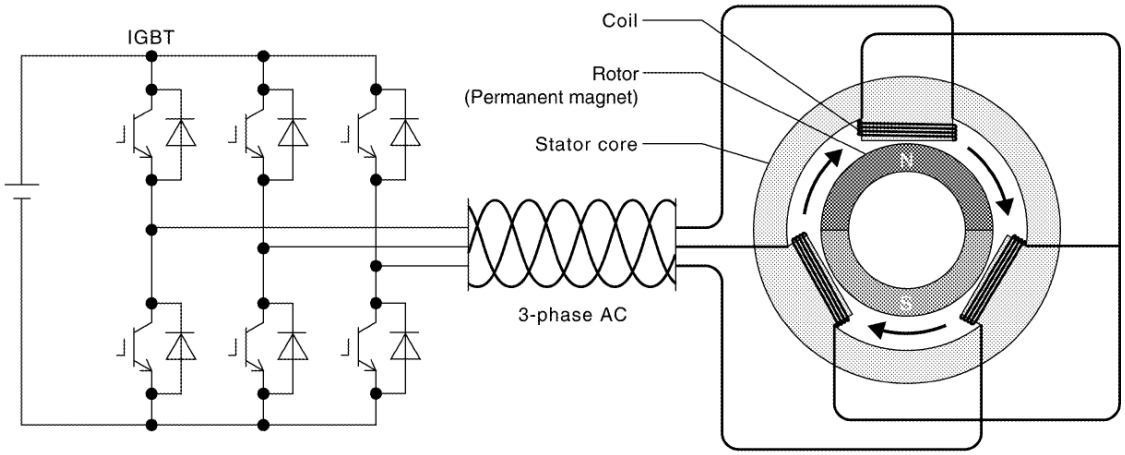
มอเตอร์ไฟฟ้าของนิสสันลีฟเป็นชนิด Interior Permanent Magnet Synchronous Machine (IPMSM) มีข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นดังแสดงในตาราง 3-3 สเตเตอร์มีลักษณะทรงกระบอกกลวงที่มีขดลวดทองแดงพันอยู่ในร่องสล็อต (รูป 3-7) เมื่อขดลวดทองแดงที่พันอยู่มีกระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟสไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน (rotating magnetic field) หมุนอยู่ในช่องอากาศรอบๆแกนหมุน ซึ่งจะไปดึงแม่เหล็กถาวรที่อยู่ที่แกนโรเตอร์ทำให้เกิดแรงบิดที่ซิงโครนัสกับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน หรือเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed) แรงบิดที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับกระแส ขณะที่ความเร็วขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟส รูป 3-8 แสดงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าของรถนิสสันลีฟ

ตาราง 3-3 ข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้าของรถนิสสันลีฟ

| | |
|---|---|
| Motor Max. Power | 80 kW |
| Motor Max. Torque | 280 Nm |
| Reduction Gear Ratio | 7.937 |
| Maximum speed | 10,500 rpm |
| Cooling system | Water cooling type |

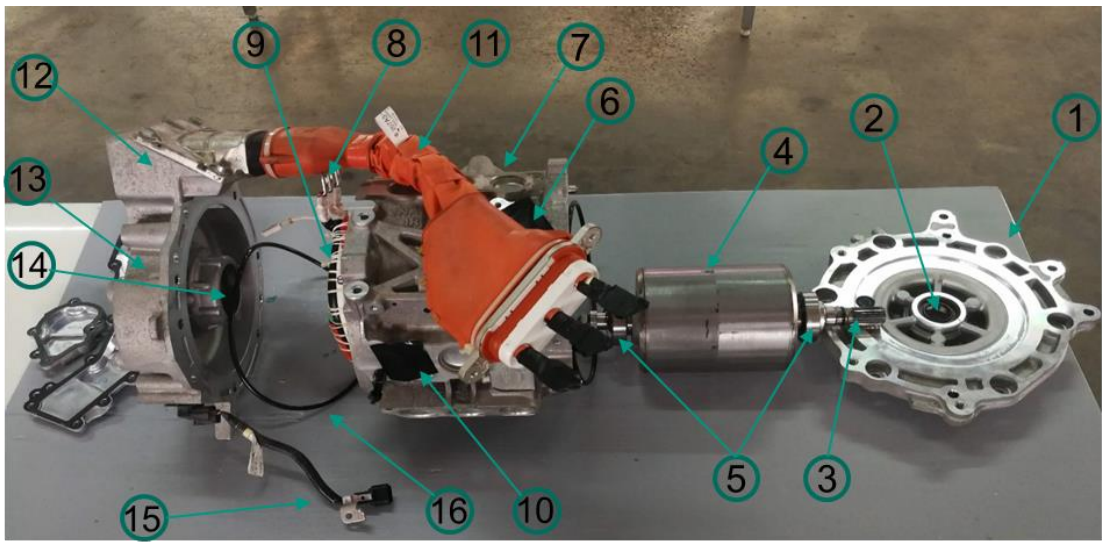


รูป 3-7 ขดลวดสเตเตอร์ของรถนิสสันลีฟ (ที่มา : MTEC)




รูป 3-8 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าของรถนิสสันลีฟ [4.2]

มอเตอร์รถยนต์นิสสันลีฟประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก ได้แก่ โรเตอร์ สเตเตอร์ โครงมอเตอร์ (motor frame) เทอร์มินอลบล็อก แบริ่ง รีโซลเวอร์ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ท่อทางเดินน้ำ ฝาปิดด้านหน้า และฝาปิดด้านท้าย ดังแสดงในรูป 3-9 โครงมอเตอร์ทำหน้าที่ยึดสเตเตอร์ ข้างในโครงมอเตอร์ทำเป็นโพรงเพื่อเป็นทางเดินของน้ำหล่อเย็น เทอร์มินอลบล็อกทำหน้าที่เชื่อมต่อไฟแรงสูงสามเฟสระหว่างมอเตอร์กับอินเวอร์เตอร์ แบริ่งไว้รองรับตัวโรเตอร์ ฝาปิดทำหน้าที่รองรับโรเตอร์และห่อหุ้มตัวมอเตอร์ รีโซลเวอร์ทำหน้าที่ตรวจจับมุมการหมุนของโรเตอร์ โดยติดตั้งร่วมแกนกับมอเตอร์ที่ฝาปิดมอเตอร์ด้านท้ายฝั่งเดียวกับเทอร์มินอลบล็อก มุมการหมุนของโรเตอร์จะถูกส่งไปยังชุดควบคุมมอเตอร์




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | End cover (front) | 7. | Motor frame | 12. | Terminal block |
| 2. | O-ring | 8. | Stator coil terminal | 13. | End cover (back) |
| 3. | Rotor shaft | 9. | Stator coil | 14. | Resolver |
| 4. | Rotor | 10. | Water inlet | 15. | Sensor cable |
| 5. | Bearing | 11. | AC harness | 16. | O-ring |
| 6. | Water outlet | | | | |

รูป 3-9 มอเตอร์ไฟฟ้านิสสันลีฟ MY2011 (ที่มา : MTEC)

มอเตอร์ของรถยนต์นิสสันลีฟมี 8 pole ใช้แม่เหล็กสามตัวต่อหนึ่งโพล (Three magnets per pole) ดังรูป 3-10 หนึ่งชิ้นที่ขอบนอก อีกสองชิ้นอยู่ถัดเข้ามาด้านในมีการวางต่อกันเป็นรูปตัววี (V-shape magnet) มอเตอร์มีความยาวของสแต็ก (stator stack length) 150mm ซึ่งเมื่อเทียบกับมอเตอร์ของรถนิสสันลีฟรุ่นปี 2013 ที่ได้รับการพัฒนาต่อมาแล้วจะยาวกว่ารุ่นปี 2013 อยู่ 10mm (มอเตอร์รุ่นปี 2013 มีความยาวของสแต็ก 140mm)

รูป 3-10 Rotor stack และ Stator stack (MY2011) [4.3]

รูป 3-11 แสดงการเปรียบเทียบโรเตอร์ลามิเนชั่นของรถนิสสันลีฟกับโรเตอร์ลามิเนชั่นในมอเตอร์ของรถยนต์ไฟฟ้ารุ่นอื่นๆ จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กฝังตัวภายใน (IPM) คือมีจะมีช่องสำหรับใส่แม่เหล็กถาวรอยู่ด้านในของโรเตอร์ลามิเนชั่น รูปร่างของแม่เหล็กและรูปแบบการจัดวางจะแตกต่างกันออกไปตามองค์ความรู้และการออกแบบของแต่ละบริษัท ซึ่งจะผ่านกระบวนการออกแบบและการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้มอเตอร์ที่มีคุณลักษณะตามที่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วการฝังแม่เหล็กถาวร

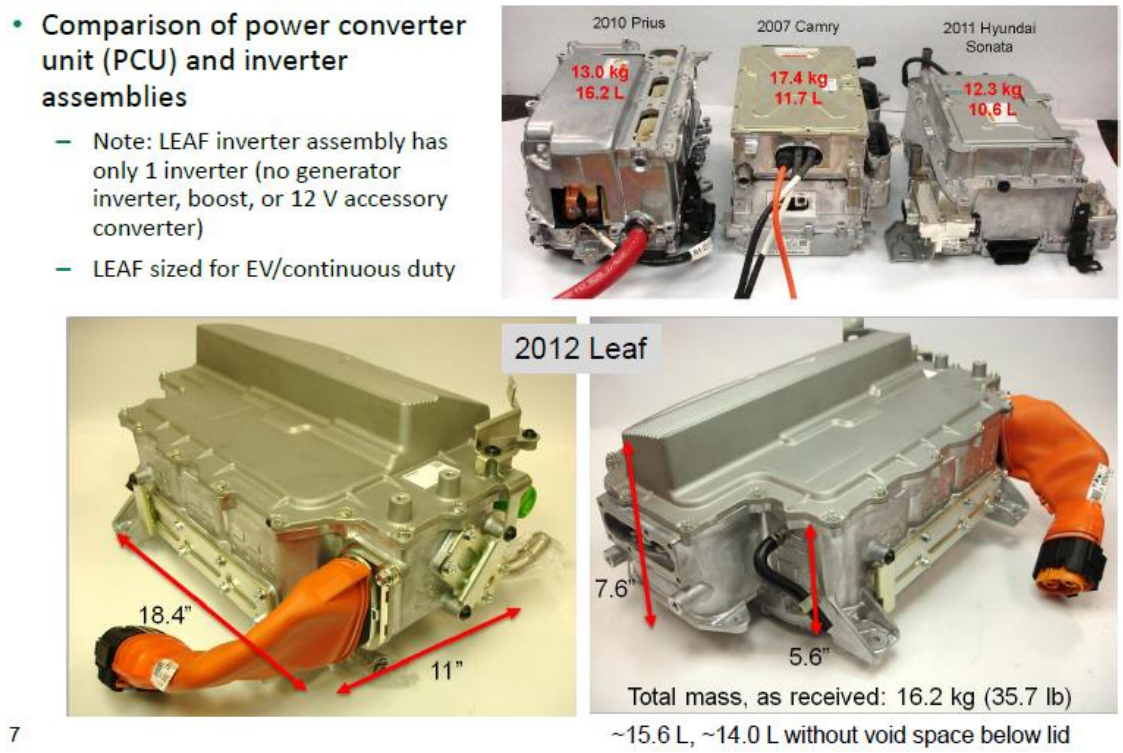
ที่บริเวณใกล้ผิวจะทำให้มีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงทำให้มีประสิทธิภาพสูง แต่ค่า cogging torque ที่เกิดขึ้นก็จะสูงตามด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ โดยทั่วไปแล้วต้องออกแบบให้มอเตอร์มีความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูง มีโครงสร้างและทิศทางการแพร่กระจายของเส้นแรงแม่เหล็กที่เหมาะสม ขณะที่มีค่า cogging torque และ ripple torque ต่ำ นอกจากนี้ยังต้องที่มีค่า flux weakening สูง เพื่อให้กำลังคงที่ในย่านความเร็วสูงได้

รูป 3-11 Rotor lamination ในมอเตอร์ของรถยนต์ไฟฟ้ารุ่นต่างๆ (ที่มา: Bulent Sarlioglu)

### 3.3.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ตามสัญญาณแรงบิดที่ต้องการ มีช่วงระดับแรงดันไฟขาเข้าที่ 240-403 VDC อินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยชุดควบคุมมอเตอร์ (motor controller) ไดรเวอร์ (driver) คอนเดนเซอร์ (smoothing condenser) เซนเซอร์วัดกระแส และเพาเวอร์โมดูล (power module) ชุดควบคุมมอเตอร์รับค่ามุมการหมุนของโรเตอร์จากรีโซลเวอร์และค่ากระแสของมอเตอร์จากเซนเซอร์วัดกระแสเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์สำหรับขับ IGBT นอกจากนี้ชุดควบคุมมอเตอร์ยังตรวจจับอุณหภูมิของมอเตอร์และจำกัดการสร้างแรงบิดตามระดับความร้อนในมอเตอร์ สำหรับชุดไดรเวอร์ (Driver) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณพัลส์ 12V จากชุดควบคุมมอเตอร์เป็นสัญญาณแรงดันสูง (300V) และขับ IGBT ส่วนเพาเวอร์โมดูล (power module) ประกอบด้วย IGBT 6 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทช์เซมิคอนดักเตอร์เปิดปิดที่ความเร็วสูง ขณะที่คอนเดนเซอร์ (smoothing condenser) ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟกระเพื่อม (ripple voltage) ซึ่งเป็นผลจากการสวิทช์ชิ่งของ IGBT

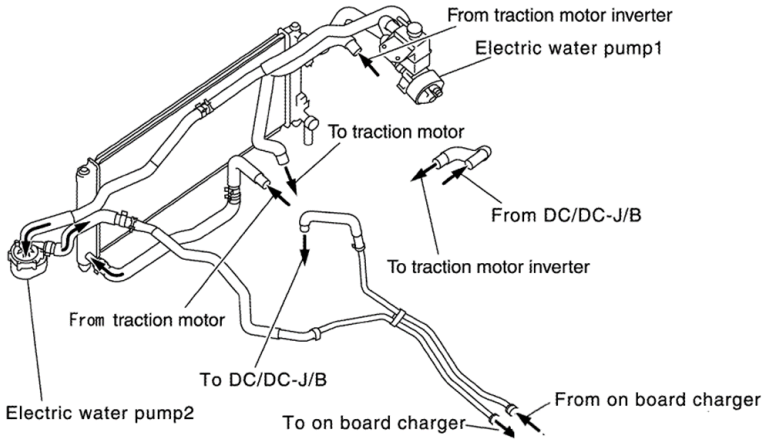
อินเวอร์เตอร์มีลักษณะเป็นบล็อกสี่เหลี่ยม มีขนาด 304x256.5x144.5mm หนัก 16.8 kg. รูป 3-12 แสดงการเปรียบเทียบขนาดและน้ำหนักอินเวอร์เตอร์ของรถไฟฟ้าโมเดลต่างๆ เคสของอินเวอร์เตอร์ทำจากอลูมิเนียม ที่ด้านล่างของอินเวอร์เตอร์ออกแบบเป็นท่อทางเดินน้ำหล่อเย็น (water jacket)




รูป 3-12 เปรียบเทียบขนาดและน้ำหนักอินเวอร์เตอร์ของรถไฟฟ้าโมเดลต่างๆ [4.4]

### 3.3.4 การถ่ายเทความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า

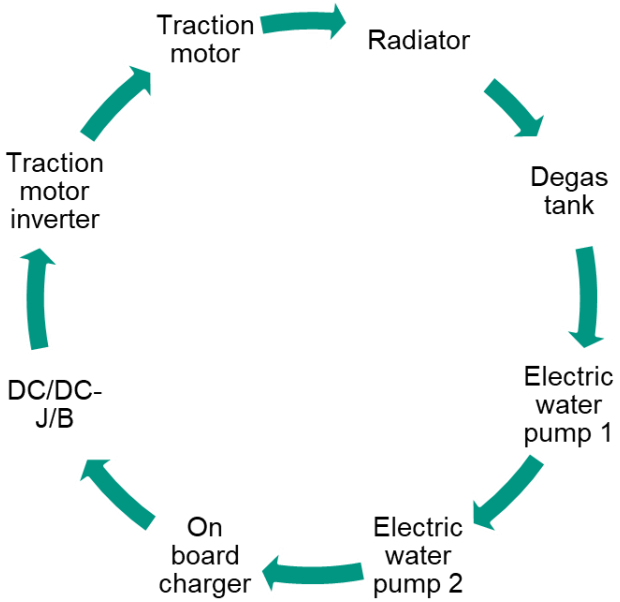
ระบบส่งกำลังจะถูกระบายความร้อนด้วยระบบหล่อเย็น ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนชิ้นส่วนต่างๆในระบบส่งกำลังได้แก่ มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ DC/DC converter น้ำยาหล่อเย็น (Coolant) ที่ใช้ประกอบด้วยน้ำ และสารหล่อเย็นในที่นี้คือ Ethylene Glycol น้ำยาหล่อเย็นไหลเวียนโดยอาศัยปั๊มน้ำไฟฟ้า (electric water pump) 2 ตัว ซึ่งถูกควบคุมโดยชุดโมดูลควบคุมรถ (Vehicle control module, VCM) ดังแสดงในรูป 3-13




รูป 3-13 ปั๊มน้ำไฟฟ้าและจุดเข้าออกของน้ำยาหล่อเย็น [4.2]

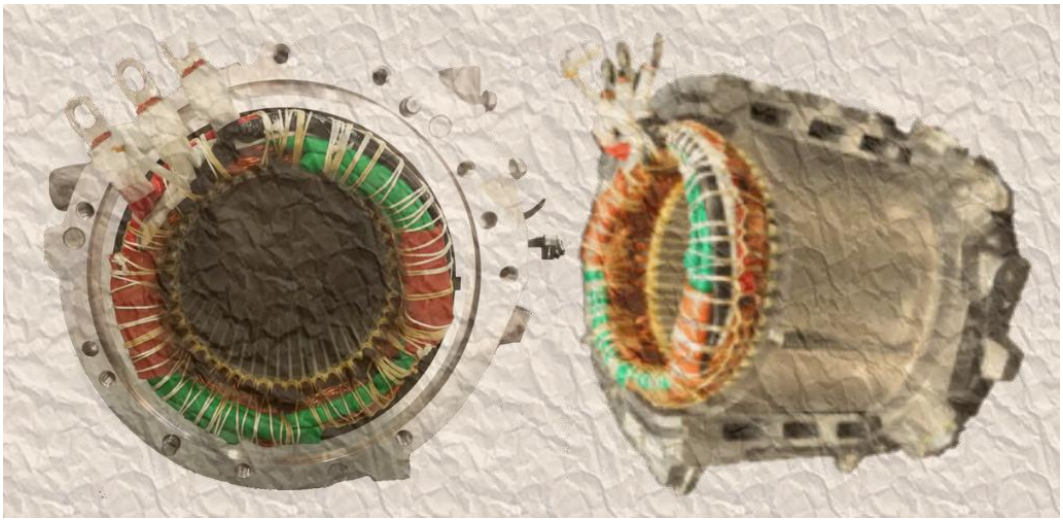
รูป 3-14 แสดงแผนผังการไหลเวียนของระบบหล่อเย็น ปั๊มน้ำไฟฟ้าตัวที่หนึ่งจะปั๊มน้ำยาหล่อเย็นจากแท็งค์ (Degas tank) ไปยังปั๊มน้ำไฟฟ้าตัวที่สองซึ่งเป็นตัว Booster แรงดัน ส่งน้ำหล่อเย็นไปยังชุดชาร์จเจอร์ (On board charger) ที่อยู่บริเวณที่นั่งผู้โดยสารด้านหลัง เพื่อระบายความร้อนชุดชาร์จเจอร์เป็นชิ้นส่วนแรก และไหลกลับมายัง DC/DC-J/B ที่อยู่บริเวณห้องเครื่อง จากนั้นน้ำหล่อเย็นจะไหลออกจาก

DC/DC-J/B เข้าไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อหล่อเย็นชิ้นส่วนในอินเวอร์เตอร์ และจะไหลต่อไปยังมอเตอร์เพื่อระบายความร้อนมอเตอร์ ก่อนที่จะไหลต่อไปยังหม้อน้ำเพื่อระบายความร้อนออก

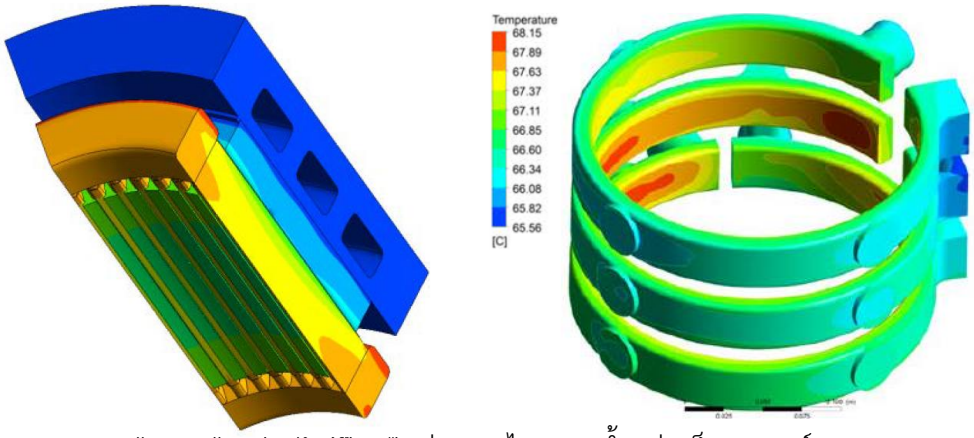



รูป 3-14 แผนผังแสดงการไหลเวียนของระบบหล่อเย็น (ที่มา : MTEC)

การระบายความร้อนของมอเตอร์อาศัยช่องทางเดินน้ำหล่อเย็น (Water jacket) ที่อยู่โดยรอบ Stator มีช่องทางน้ำเข้า (Water inlet) ที่บริเวณด้านข้างตอนล่างของมอเตอร์และมีช่องทางน้ำออก (Water outlet) ที่บริเวณด้านบน ช่องทางเดินน้ำหล่อเย็นทำมาจากอลูมิเนียมมีช่องขนาดใหญ่สำหรับการไหลของน้ำหล่อเย็น 3 ช่องทาง (coolant channels) ช่องดังกล่าวมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดกว้าง 35 mm และสูง 12.5 mm ช่องทางเดินน้ำหล่อเย็น (Water jacket) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 200 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 250 mm มีความยาวตามแนวแกน 210 mm และมีน้ำหนัก 10.1 kg. (น้ำหนักเฉพาะ water jacket ไม่รวม โรเตอร์ และ stator)



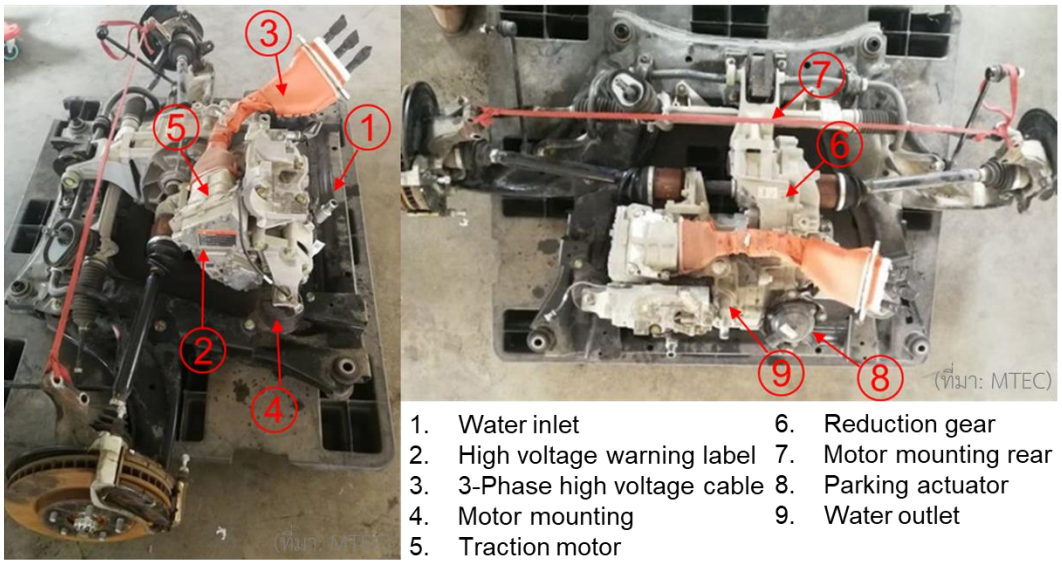
รูป 3-15 ช่องทางเดินน้ำหล่อเย็นของมอเตอร์ (MY2011) (ที่มา: MTEC และ [4.5])




รูป 3-16 การจำลองน้ำหล่อเย็นที่ไหลในช่องการไหลของน้ำหล่อเย็นมอเตอร์ (MY2011) [4.5]

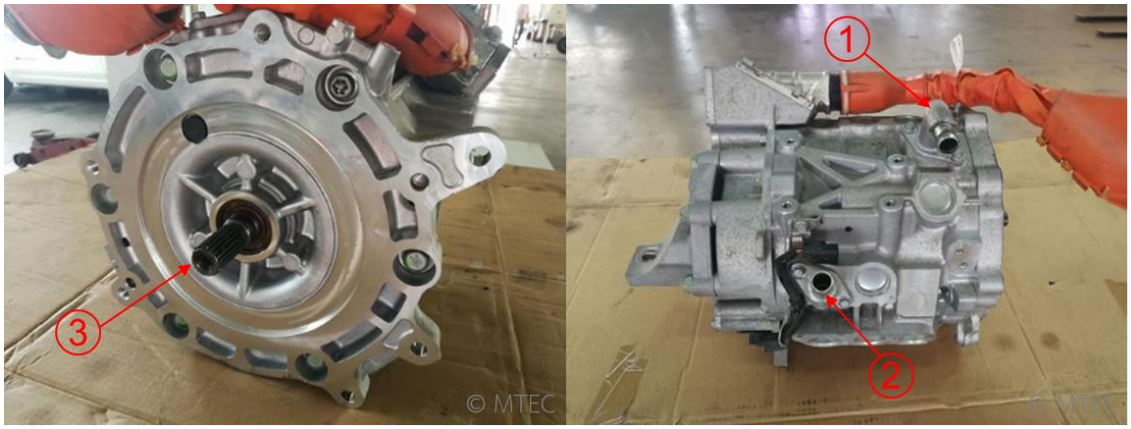
### 3.3.5 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้า

รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าและส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องได้ถูกแสดงใน รูป 3-17 ถึง รูป 3-21



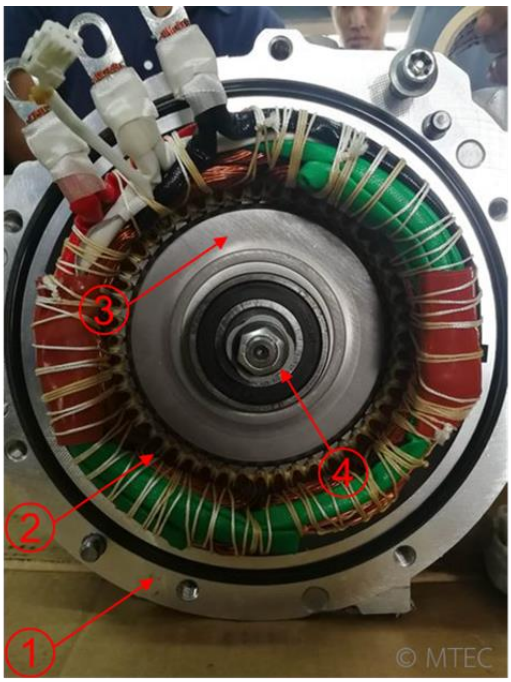

1. Water inlet
2. High voltage warning label
3. 3-Phase high voltage cable
4. Motor mounting
5. Traction motor
6. Reduction gear
7. Motor mounting rear
8. Parking actuator
9. Water outlet

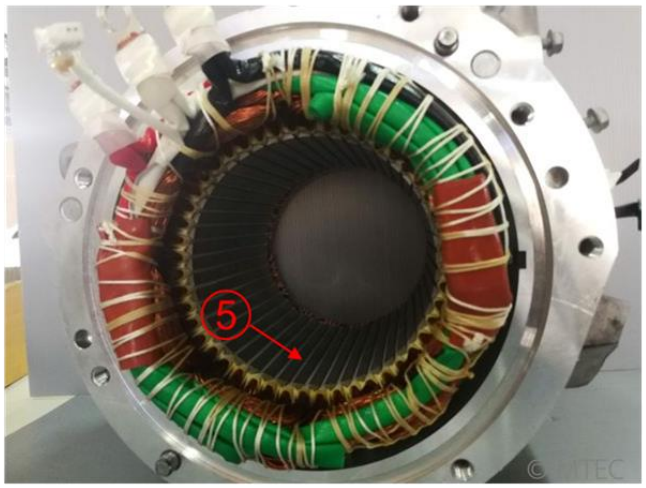
รูป 3-17 รายการชิ้นส่วนชุดมอเตอร์และเกียร์




1. Water outlet 2. Water inlet 3. Shaft spline

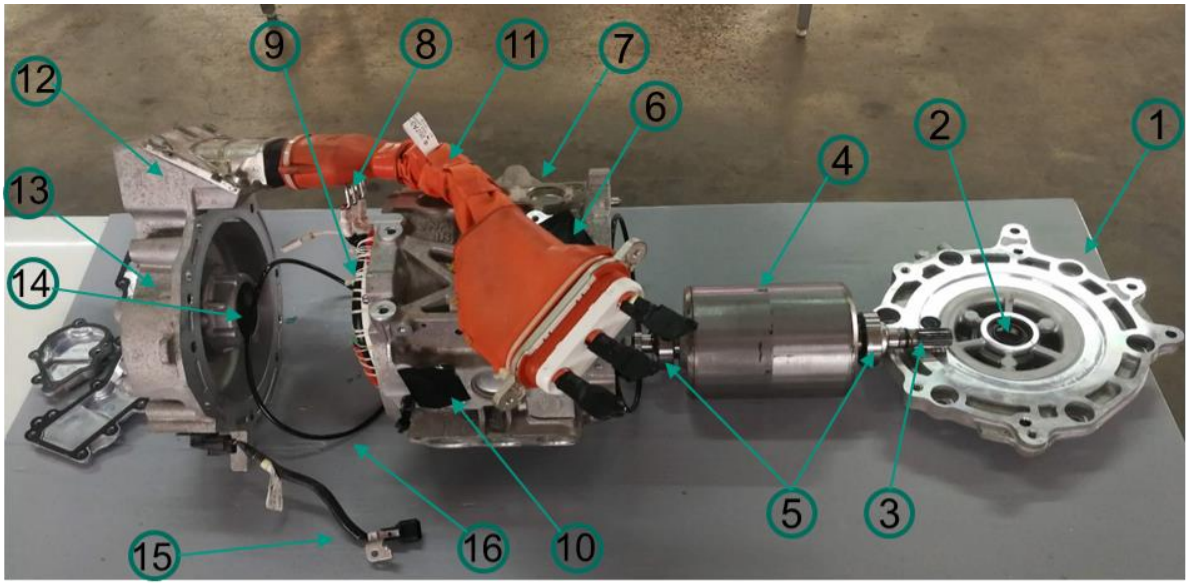
รูป 3-18 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านนอก



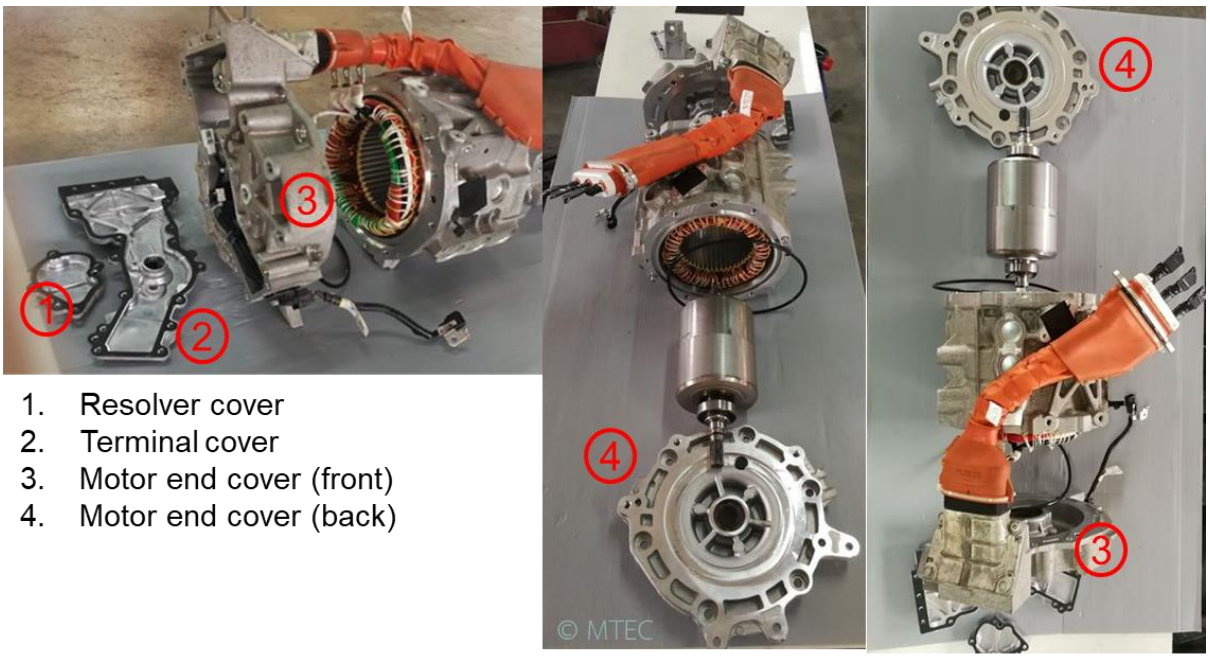

1. Motor Housing outlet
2. Stator
3. Rotor
4. Shaft
5. Stator lamination stack

รูป 3-19 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านใน-1



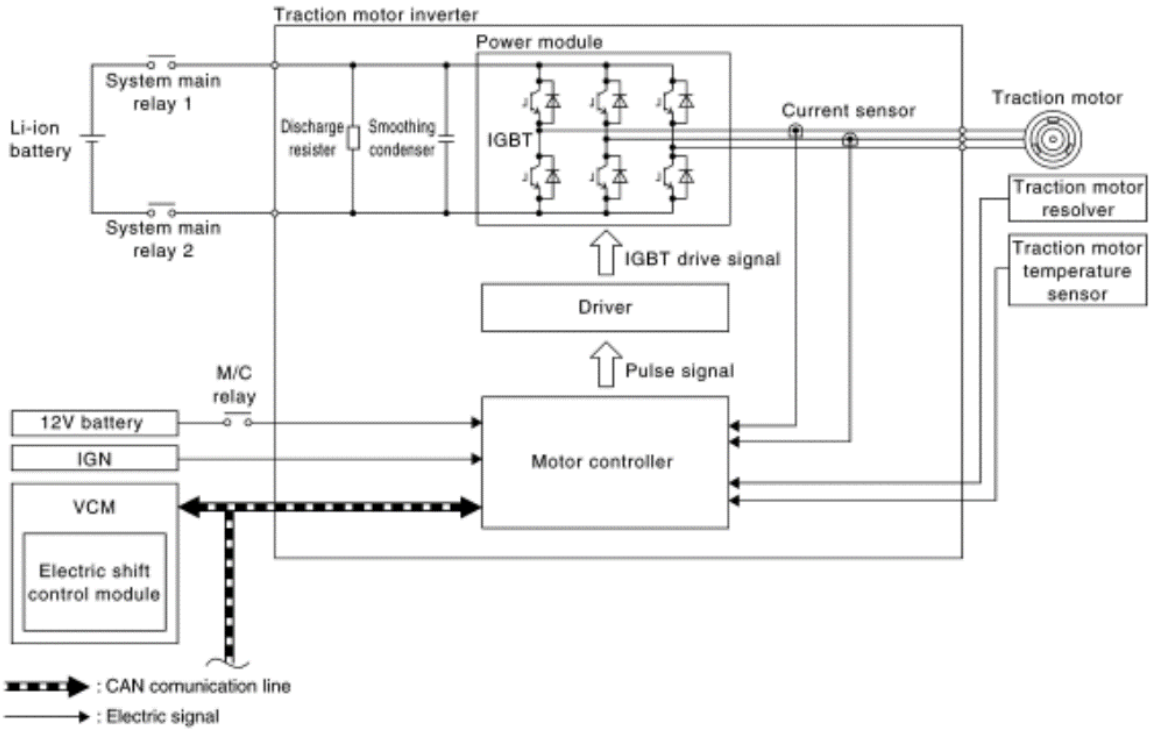

1. End cover (front)
2. O-ring
3. Rotor shaft
4. Rotor
5. Bearing
6. Water outlet
7. Motor frame
8. Stator coil terminal
9. Stator coil
10. Water inlet
11. AC harness
12. Terminal block
13. End cover (back)
14. Resolver
15. Sensor cable
16. O-ring

รูป 3-20 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านใน-2




รูป 3-21 รายการชิ้นส่วนมอเตอร์ด้านใน-3

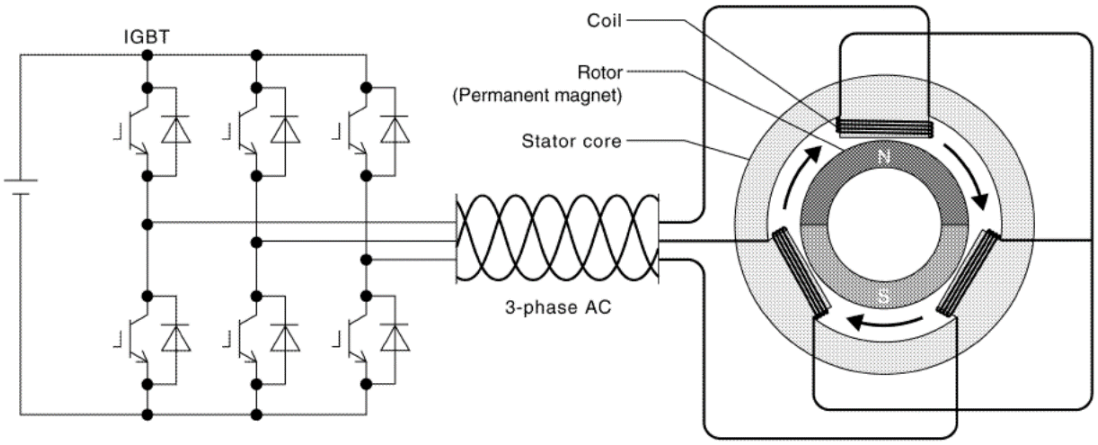
### 3.3.6 แผนภูมิการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

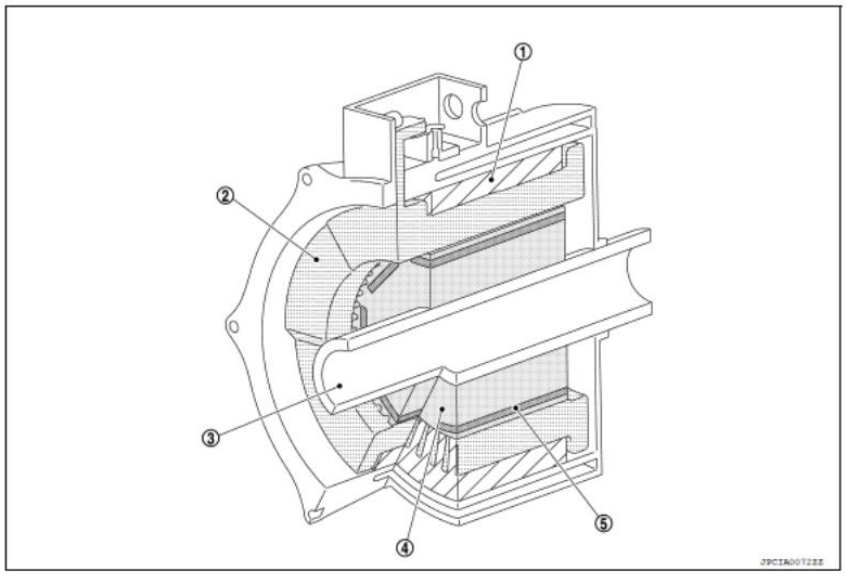



รูป 3-22 แผนภูมิการทำงานของระบบขับเคลื่อน

รูป 3-22 แสดงแผนภูมิการทำงานของระบบขับเคลื่อน โดยการทำงานของระบบขับเคลื่อนถูกควบคุมด้วย Traction motor inverter ซึ่งประกอบไปด้วย Motor controller ที่จะรับสัญญาณจาก Traction motor โดยรับตำแหน่งการหมุนของ Rotor จาก Resolver และรับอุณหภูมิของมอเตอร์จาก Temperatur sensor นอกจากนั้นจะรับค่ากระแสไฟแรงสูงที่ Power module จ่ายให้กับมอเตอร์ นำมาประมวลผลร่วมกับค่าสัญญาณต่างๆ ซึ่งบ่งบอกสถานภาพของรถ ณ ขณะนั้น ที่ได้เซนเซอร์อื่น ผ่าน CAN เพื่อวิเคราะห์และส่งสัญญาณ Pulse ไปยัง Driver เพื่อให้ Driver แปลงสัญญาณเป็น IGBT drive signal ให้กับ Power module

เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดกระแสไฟและความถี่ที่จะต้องจ่ายให้กับ Traction motor เพื่อสร้างแรงบิดและความเร็วให้เหมาะสมกับความต้องการ ณ ขณะนั้น

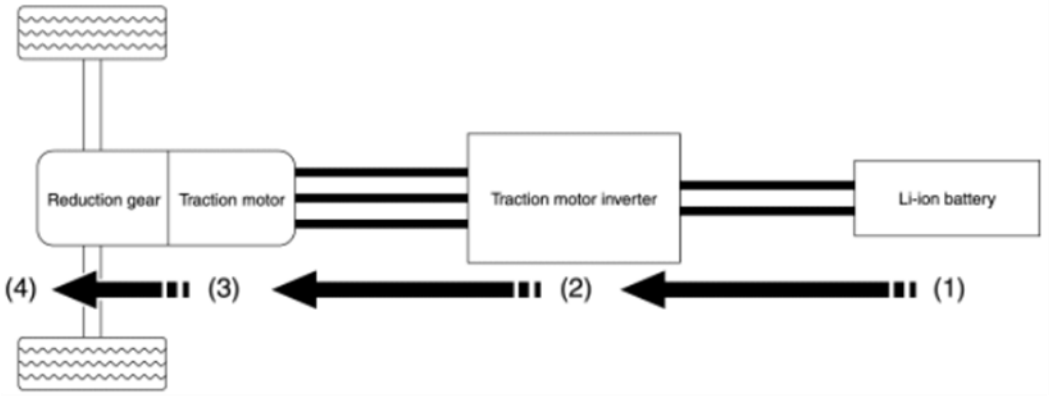


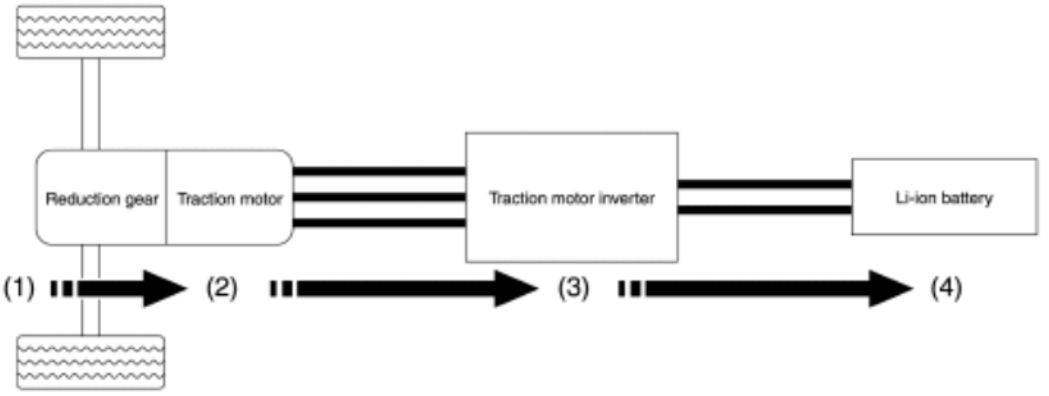

① Stator core ② Coil ③ Shaft
④ Rotor core ⑤ Permanent magnet

รูป 3-23 แผนภูมิการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้ารถยนต์นิสสันลิฟ 2011 เป็นชนิด Interior Permanent Magnet Synchronous Machine (IPMSM) ดังที่แสดงในรูป รูป 3-23 สเตเตอร์มีลักษณะทรงกระบอกกลวงที่มีขดลวดทองแดงพันอยู่ในร่องสล็อต เมื่อขดลวดทองแดงที่พันอยู่มีกระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟสไหลผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน (rotating magnetic field) หมุนอยู่ในช่องอากาศรอบๆแกนหมุน ซึ่งจะไปดึงแม่เหล็กถาวรที่อยู่ที่ Rotor ทำให้เกิดแรงบิดที่ซิงโครนัสกับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน หรือเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed) แรงบิดที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับกระแส ขณะที่ความเร็วขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับ 3 เฟส




| (4) | | (3) | | (2) | | (1) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| The drive torque from the traction motor is output as kinetic energy. | ⇐ | The AC power from the traction motor inverter is converted to magnetic energy and a rotating magnetic field is created in order to generate drive torque. | ⇐ | The traction motor inverter (IGBT) switches in order to convert the DC power from the Li-ion battery to AC power. | ⇐ | The DC power from the Li-ion battery is input to the traction motor inverter. |




| (1) | | (2) | | (3) | | (4) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| The kinetic energy generated by rotation of the tires operates the traction motor as a generator. | ⇒ | Rotation of the traction motor generates AC power. | ⇒ | The traction motor inverter (IGBT) switches in order to convert the AC power from the traction motor to DC power. | ⇒ | The DC power regenerated by the traction motor inverter is used to charge the Li-ion battery. |

รูป 3-24 แผนภูมิไหลเวียนพลังงาน

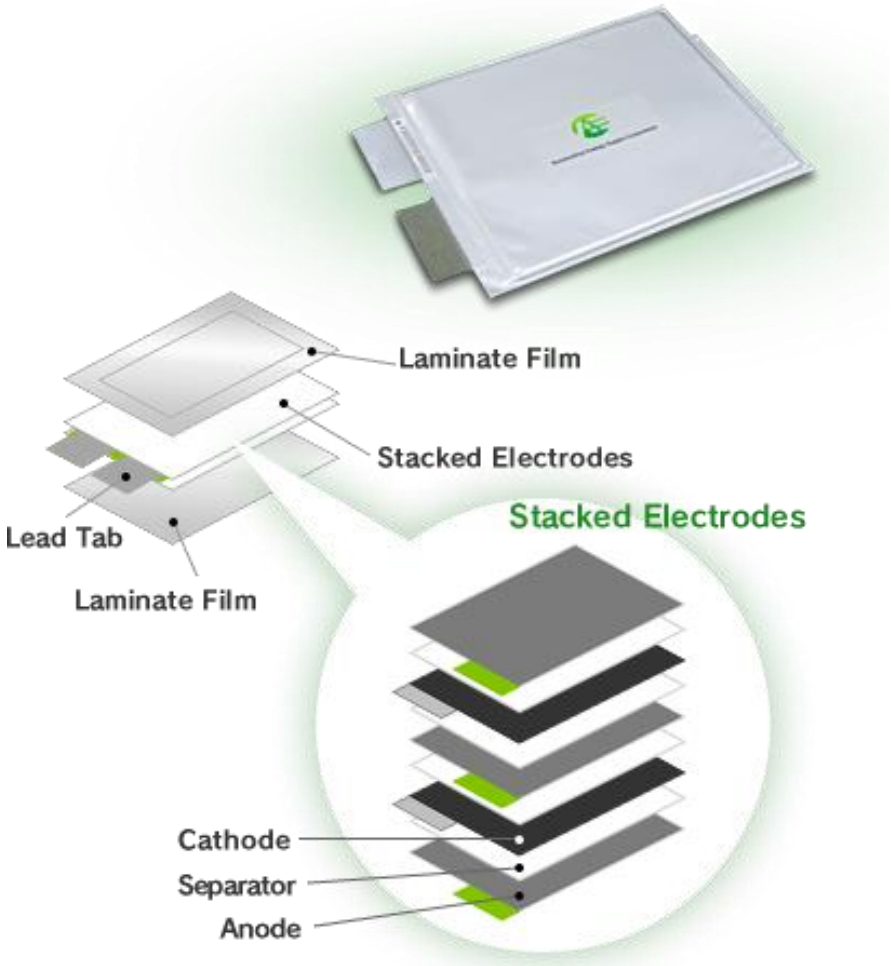
รูป 3-24 แสดงแผนภูมิการไหลเวียนพลังงานของระบบขับเคลื่อน ในขณะที่มีการขับเคลื่อน อินเวอร์เตอร์จะรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่แล้วเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วย IGBT Traction motor นำกระแสไฟฟ้าที่ได้รับไปสร้างสนามแม่เหล็กแบบหมุนเวียนเพื่อสร้างแรงบิดขับเคลื่อนส่งไปผ่านเกียร์ไปยังล้อ

ในทางตรงข้ามเมื่อมีการนำเอาพลังงานจลน์จากการหมุนของล้อกลับมาใช้ Traction motor จะทำหน้าเป็น Generator เพื่อปั่นกระแสไฟฟ้าสลับ และถูกนำส่งไปให้ Inverter โดย IGBT จะเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจะนำชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่

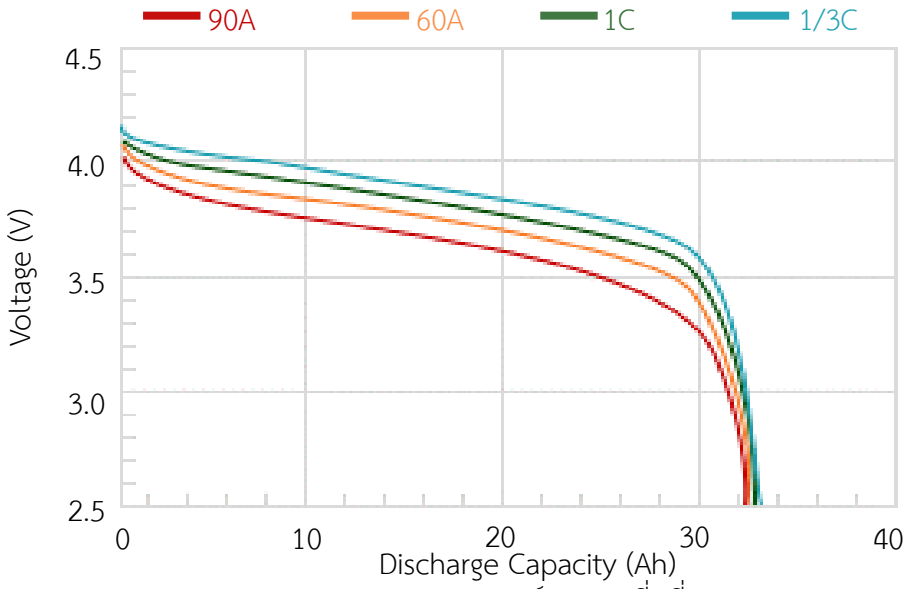
## 3.4 ชุดแบตเตอรี่ของนิสสันลีฟ

### 3.4.1 เซลล์แบตเตอรี่ โมดูล และชุดแบตเตอรี่

ชุดแบตเตอรี่ของรถนิสสันลีฟใช้เซลล์แบตเตอรี่ชนิด Laminated Lithium-ion แบบบาง (รูป 3-25) ซึ่งสร้างขึ้นจากแผ่นชั้นของแคโทดที่ทำมาจากการผสม Lithium Manganese กับ Lithium Nickel Oxide (ที่มา: AESC) [4.18, 4.19, 4.20, 4.21] และแอโนดที่ทำมาจาก Graphite โดยมีฉนวนคั่นกลาง เซลล์แบตเตอรี่มีลักษณะเป็นแผ่นบางเหมือนถุงกาแฟมีขนาด 290 x 216 mm มีแรงดันระบุ (Nominal voltage) ที่ 3.75V แรงดันสูงสุด (maximum voltage) ที่ 4.2V และมีขนาดความจุที่ 122 Wh หรือ 32.5 Ah ดังผลการทดสอบหาความจุแบตเตอรี่ที่แสดงในรูป 3-26 [4.6] ทั้งนี้รายละเอียดทางเทคนิคของเซลล์แบตเตอรี่แสดงในตาราง 3-4

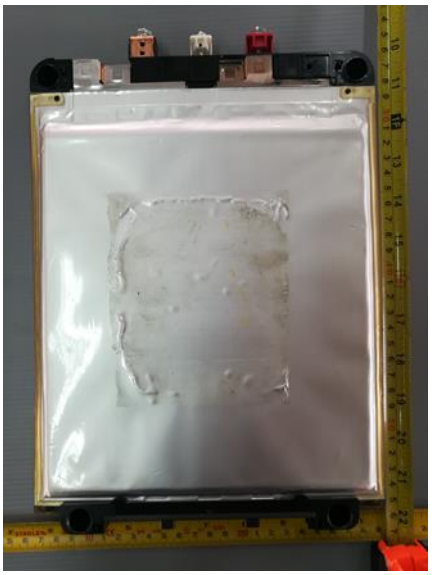



รูป 3-25 เซลล์แบตเตอรี่สำหรับรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา: AESC) [4.6]




รูป 3-26 การคายประจุของเซลล์แบตเตอรี่ (ที่ 25°C)

เซลล์แบตเตอรี่จำนวน 4 เซลล์จะประกอบกันขึ้นเป็นโมดูลแบตเตอรี่ 1 โมดูล โดยเซลล์แบตเตอรี่จะถูกนำมาเชื่อมต่อแบบอนุกรมกัน 2 เซลล์ และแต่ละคู่นำมาต่อแบบขนานกัน (2P2S) ดังรูป 3-27 ซึ่งจะได้แรงดันไฟฟ้าของแต่ละโมดูลเป็น 7.5V มีขนาดความจุ 488 Wh โมดูลแบตเตอรีมีโครงสร้างภายนอกหรือเคสที่ทำจากโลหะ (Metal case) ดังแสดงในรูป 3-28 ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันเซลล์แบตเตอรี่ที่อยู่ภายในจากการสั่นสะเทือนและช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในขั้นตอนการออกแบบชุดแบตเตอรี่ ขนาดของโมดูลแต่ละโมดูลอยู่ที่ประมาณ 303 x 223 x 55 mm (11.93 x 8.78 x 1.38 in) น้ำหนัก 3.8 kg (8.4 lb) แบตเตอรี่โมดูลจำนวน 48 โมดูลจะถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุดแบตเตอรี่ โดยการเชื่อมต่อแบบอนุกรมกัน ซึ่งจะได้ชุดแบตเตอรี่รวมที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้า 360V มีความจุขนาด 24kWh เมื่อรวมเคสภายนอกแล้วมีมิติอยู่ที่ 1570.5 x 1188 x 264.9 mm (61.8 x 46.8 x 10.4 in) น้ำหนัก 295 kg (648-lb)



รูป 3-27 การต่อเซลล์แบตเตอรี่ภายในโมดูล (ที่มา: MTEC)

รูป 3-28 รูปร่างของเซลล์แบตเตอรี่ โมดูลแบตเตอรี่ และชุดแบตเตอรี่

ตาราง 3-4 ข้อมูลทางเทคนิคของเซลล์แบตเตอรี่ โมดูลแบตเตอรี่ และชุดแบตเตอรี่

| | Cell | Module | Battery Pack |
|---|---|---|---|
| Type | Laminated lithium-ion battery | | |
| Cathode Material | LMO with LNO | | |
| Anode Material | Graphite | | |
| Maximum Voltage | 4.2 V | 8.4 V | 403.2V |
| Nominal voltage | 3.75 V | 7.5 V | 360V |
| Total capacity | 122 Wh | 488 Wh | 24 kWh (16 kWh available, 67% DoD, 21 kWh declared) |
| Power output | n.a. | n.a. | Over 90 kW |
| Energy density | Cell: 317 Wh/L, 157 Wh/kg | | |
| Power density | Cell: 2.5 kW/kg | | |
| Dimensions | 290 x 216 mm | 303 x 223 x 35 mm (11.93x8.78x1.38 in) | 1570.5x1188x264.9 mm (61.8 x 46.8 x 10.4 in.) |
| Weight | 787 g | 3.8 kg | 294 kg (648 lbs) |
| Total Number | 192 cells | 48 Modules (each with 4 cells: 2 parallel, 2 series ) | 1 Pack |

### 3.4.2 โครงสร้างแบตเตอรี่ของรถยนต์นิสสันลีฟ

ชุดแบตเตอรี่ของรถนิสสันลีฟประกอบด้วย โมดูลแบตเตอรี่ 48 โมดูล ซึ่งวางซ้อนกันเป็นกองๆ จำนวน 3 กอง กองแรกอยู่ด้านหน้าซ้าย (Front module stack, LH) มีจำนวน 12 โมดูล โมดูลวางในแนวนอนซ้อนกันขึ้นไป กองที่สองอยู่ด้านหน้าขวา (Front module stack, RH) มีจำนวน 12 โมดูล โมดูลวางในแนวนอนซ้อนกันเช่นเดียวกัน กองสุดท้ายอยู่ด้านหลัง (Rear module stack) มีจำนวน 24 โมดูล โมดูลตั้งและวางเรียงซ้อนกันในแนวขวาง โมดูลแบตเตอรี่สามารถจัดวางทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งความสามารถในการวางแบตเตอรี่ทั้งในแนวนอนและแนวตั้งนี้ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการออกแบบชุดแบตเตอรี่ให้เข้ากับพื้นรถแต่ละคัน โมดูลแบตเตอรี่จะมีขั้วต่อทางไฟฟ้า 3 ขั้ว ขั้วริมทั้งสองข้างเป็นขั้วต่อ power มีลักษณะเป็นสกรู M6

ส่วนขั้วตรงกลางเป็นขั้วต่อสัญญาณมีขนาด M4 โมดูลแบตเตอรี่มีรูสำหรับจับยึดที่มุมทั้งสี่ด้าน ดังแสดในรูป 3-29 นอกจากโมดูลแบตเตอรี่แล้วภายในชุดแบตเตอรี่ยังมี เซนเซอร์ คอนโทรเลอร์ สายไฟ คอนเนคเตอร์ และอื่นๆ โดยทั้งหมดอยู่ภายในเคสโลหะขนาดใหญ่

| | |
|---|---|
| Output terminal | M6 nut |
| Voltage sensing terminal | M4 nut |
| Module fixing hole diameter | 0.3582" (9.1mm) |
| Output terminal | M6 nut |

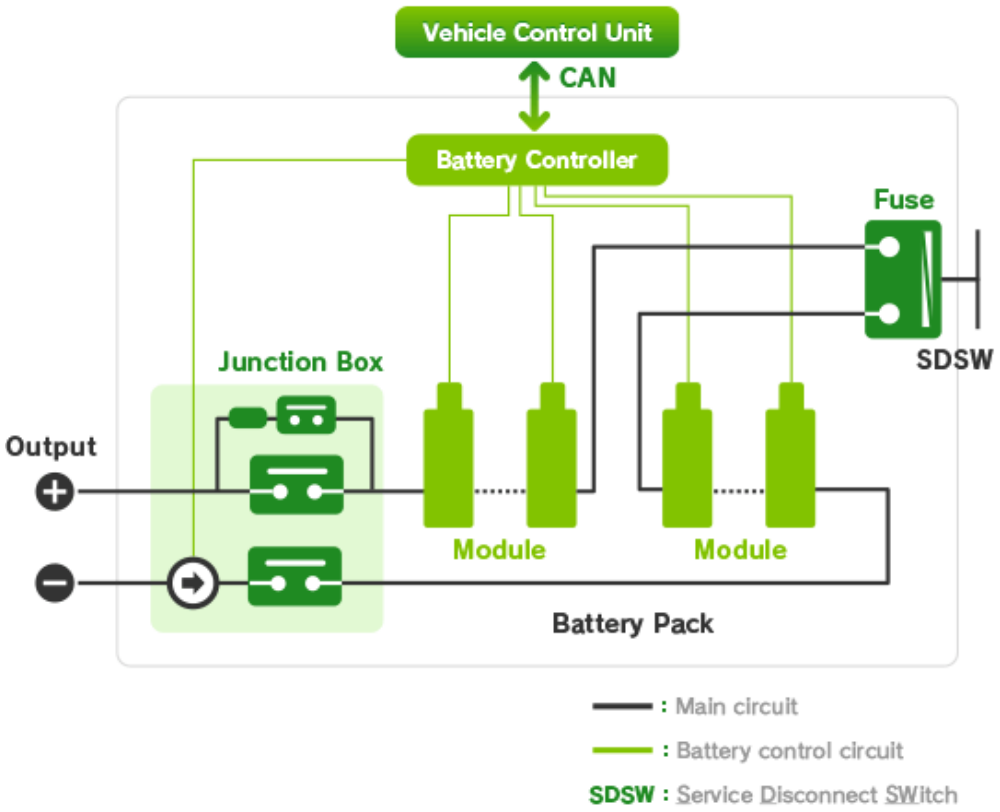
รูป 3-29 ขั้วต่อและจุดยึดของโมดูลแบตเตอรี่ (ที่มา: AESC)

โมดูลแบตเตอรี่จะมีเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าอยู่ทุกๆโมดุล ดังรูป 3-30 ขณะที่มีเซนเซอร์เพื่อวัดอุณหภูมิเพียง 4 จุด หนึ่งจุดที่กองโมดูลหน้าด้านซ้าย อีกหนึ่งจุดที่กองโมดูลหน้าด้านขวา และอีก 2 จุดที่กองโมดูลด้านท้าย

รูป 3-30 ขั้วต่อสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าแต่ละเซลแบตเตอรี่ (ที่มา: MTEC)

รูป 3-31 แสดงไดอะแกรมของชุดแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าแต่ละเซล อุณหภูมิแบตเตอรี่ และกระแสไฟฟ้า จะถูกอ่านค่าและเฝ้าระวังโดยชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery Controller) ชุดควบคุมแบตเตอรี่และชุดควบคุมรถยนต์จะส่งข้อมูลแลกเปลี่ยนระหว่างกันผ่าน CAN-bus (Controller Aera Network) หากเกิดความผิดปกติชุดควบคุมรถยนต์ (Vehicle control module, VCM) จะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ที่อยู่ในกล่องพักสายไฟ (Junction box) เพื่อตัดวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงอัตโนมัติ

ชุดแบตเตอรี่สามารถแบ่งเป็นสองส่วนที่เชื่อมต่อกันด้วยสวิทช์ตัดต่อ (Service Disconnect Switch, SDSW) สวิทช์ตัดต่อนี้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยสำหรับการซ่อมบำรุง มีหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าสูง เมื่อต้องการถอดชุดแบตเตอรี่หรือเข้ารับการบำรุงรักษาและบริการที่เกี่ยวข้องกับชุดแบตเตอรี่




รูป 3-31 ไดอะแกรมการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในชุดแบตเตอรี่ (ที่มา: insideevs) [4.12]

การระบายความร้อนของชุดแบตเตอรี่ของนิสสันลีฟเป็นแบบ Passive Cooling โดยจะใช้อากาศจากนอกรถผ่านทางช่องว่างเข้ามาระบายความร้อนจากชุดแบตเตอรี่ ความเร็วของอากาศที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนขึ้นกับความเร็วรถ

### 3.4.3 ผู้ผลิตแบตเตอรี่

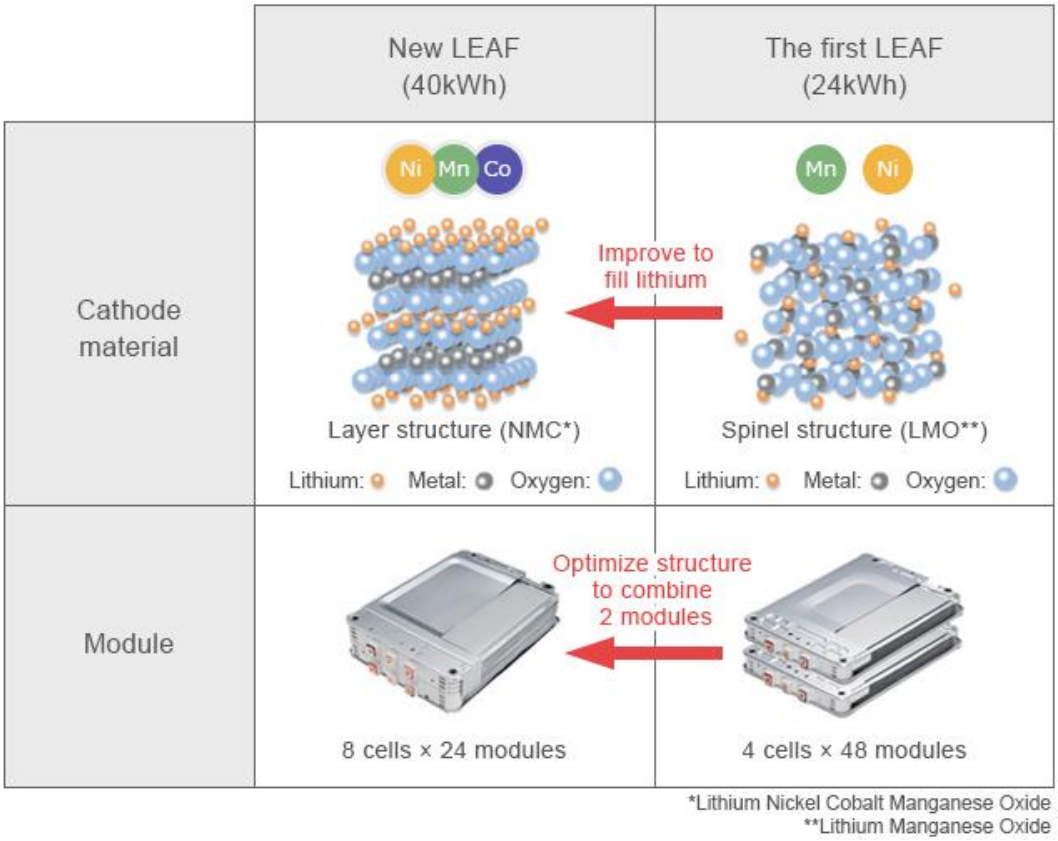
แบตเตอรี่ที่ถูกพัฒนา วิจัย และผลิตขึ้น จากความร่วมมือกันระหว่าง Nissan กับ NEC Group โดยมีการร่วมทุนและจัดตั้งบริษัท Automotive Energy Supply Corporation (AESC) อยู่ที่จังหวัดคานากาวะ ในปี 2007 โดยมีบริษัท Nissan Motor Co., Ltd. ถือหุ้น 51% บริษัท NEC Corporation ถือหุ้น 42% และบริษัท NEC Energy Devices, Ltd. ถือหุ้น 7% มีพนักงาน 513 คน (ณ. ปี 2016) มีกำลังการผลิตชุดแบตเตอรี่ปีละประมาณ 90,000 ชุด

**การพัฒนาแบตเตอรี่ในรถยนต์นิสสันลีฟ**

ในรถยนต์นิสสันลีฟรุ่นใหม่ (เจนเนอเรชั่นที่ 2, MY2017) แบตเตอรี่จะมีความหนาแน่นของพลังงานสูง ซึ่งเป็นผลจากการใช้ NMC* มาเป็นวัสดุทำแคโทด

โครงสร้างที่เป็นชั้นของ NMC ที่เป็นวัสดุแคโทดช่วยให้มีความจุของแบตเตอรี่มาก ซึ่งช่วยให้ความหนาแน่นของ lithium-ion สูงตาม โครงสร้างเซลล์ที่ประกอบกันเป็นแผ่นบางๆช่วยให้ประหยัดพื้นที่ทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนสูง และเป็นโครงสร้างอย่างง่าย

ความจุแบตเตอรี่มีความน่าเชื่อถืออย่างสูงและมีความทนทาน รับประกัน 160,000 กิโลเมตร (km) หรือ 8 ปี




รูป 3-32 เปรียบเทียบแบตเตอรี่ในรถยนต์นิสสันลีฟ (ที่มา: AESC)

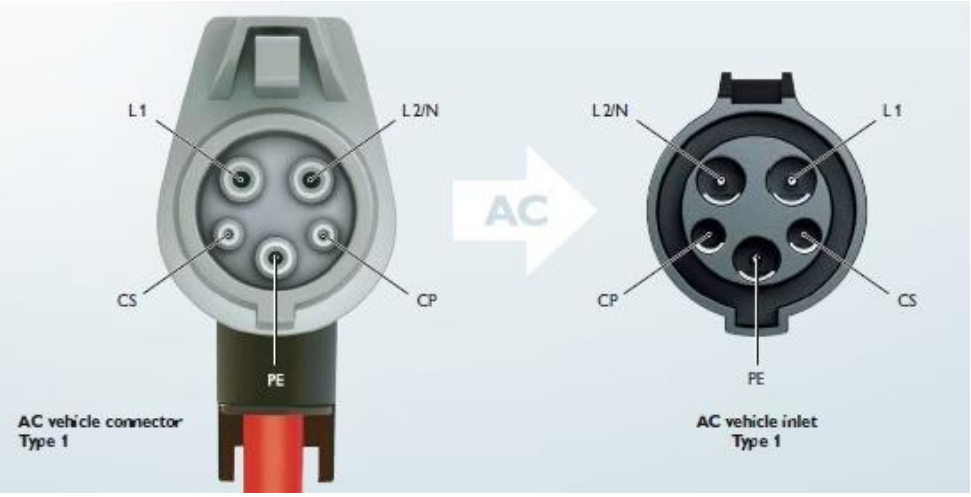
### 3.4.4 การชาร์จแบตเตอรี่

การชาร์จไฟเพื่อเติมพลังงานในการขับเคลื่อนเป็นแบบเสียบปลั๊กได้ทันที หรือ Plug-in โดยจะต้องยกฝาปิดบริเวณสัญลักษณ์ Nissan ด้านหน้ารถขึ้นมาก่อน จากนั้นจะเห็นช่องเสียบ 2 แบบดังรูป 3-33 หากต้องการเสียบชาร์จไฟกับระบบไฟบ้านให้ใช้ช่องเสียบฝั่งขวาขนาดเล็ก หากต้องการเสียบชาร์จแบบเร็ว (Quick charge) ด้วยหัวจ่ายจากสถานีชาร์จให้ใช้ช่องเสียบฝั่งซ้ายที่มีขนาดใหญ่กว่า

รูป 3-33 ช่องหัวรับไฟ (Inlet) สำหรับการชาร์จของรถนิสสันลีฟ [4.13]

หัวรับ (Inlet) และปลั๊กเสียบ (Plug) สำหรับการชาร์จปกติของรถนิสสันลีฟใช้มาตรฐาน SAE J1772 หรือเรียกว่า “J plug” นิยมใช้ทางอเมริกาเหนือและญี่ปุ่น ตัวปลั๊กถูกออกแบบสำหรับระบบไฟฟ้าเฟสเดียวที่มีแรงดันไฟฟ้า 120 V หรือ 240 V มีการกำหนดโปรโตคอลในการสื่อสารไว้ ปลั๊กซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง

43.4 mm ประกอบด้วย 5 pin ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด ดังแสดงในรูป 3-34 Pin 1 และ 2 เป็นขั้ว power (AC Line L1, L2) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.2 mm Pin 3 (PE) เป็นกราวด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.4 mm Pin 4 (CS) และ 5 (CP) เป็นขั้ว Proximity detection และ control pilot ตามลำดับ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.9 mm โดย Proximity detection เป็นตรวจจับและป้องกันการเคลื่อนที่ของรถขณะชาร์จ ส่วน control pilot ใช้เพื่อการสื่อสารและประสานระดับการชาร์จระหว่างรถและตัวชาร์จ ปลั๊กสามารถลองรับการเสียบเข้าออกได้มากกว่า 10,000 ครั้ง [4.7] ในแง่ความปลอดภัยปลั๊กสามารถชาร์จได้แม้ในสภาพเปียก หากไม่มีการเสียบปลั๊กเข้ากับตัวรถจะไม่มีแรงดันไฟชาร์จที่ Pin กระแสจะไม่ไหลจนกว่าปลั๊กจะสามารถสื่อสารกับรถได้ ในส่วนของตัวรถยนต์นิสสันลีฟจะมี on-board charger ซึ่งใช้วงจร rectifier เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับจากเต้ารับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อชาร์จแบตเตอรี่

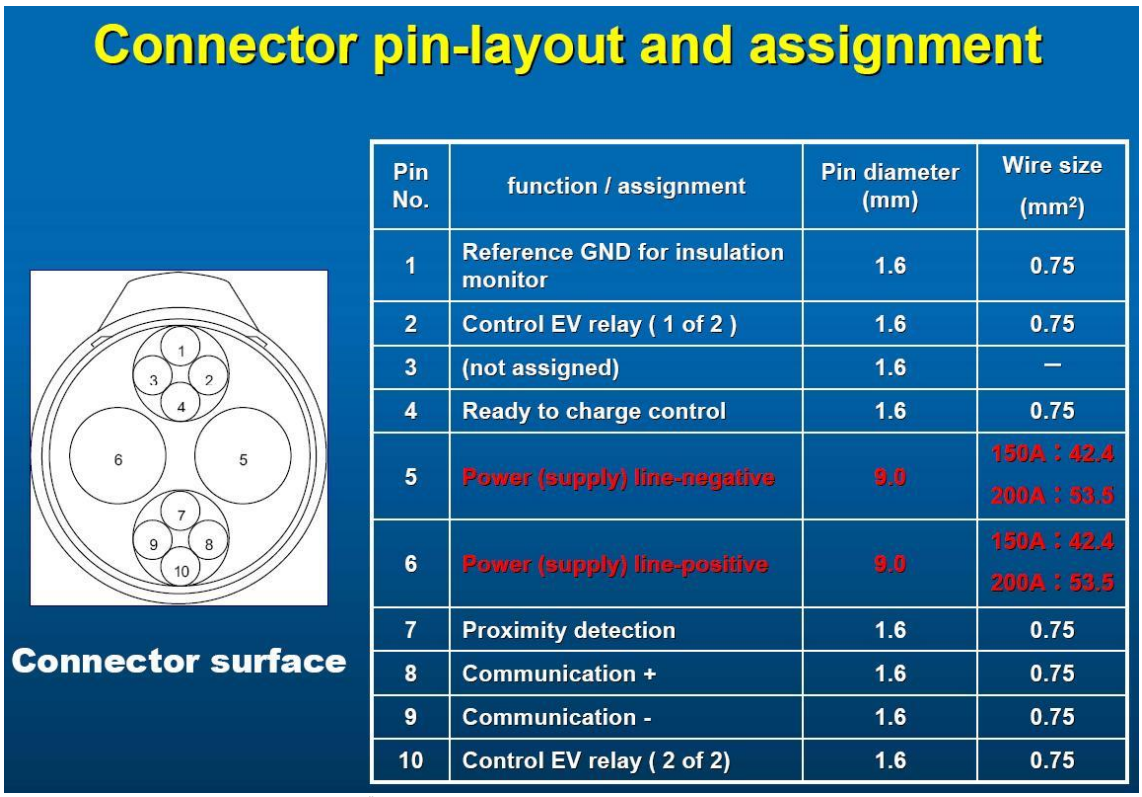



รูป 3-34 ปลั๊ก (plug) และช่องหัวรับไฟ (Inlet) สำหรับการชาร์จแบบปกติ ที่มา: EVSE [4.14]

การชาร์จเมื่อต่อตรงกับไฟบ้านที่มีแรงดันไฟฟ้า 110 V จะใช้เวลาในการชาร์จนาน 8 ชั่วโมง แต่ถ้าชาร์จไฟที่มีแรงดันไฟฟ้า 220 V อย่างที่ประเทศไทย จะใช้เวลาประมาณ 6 – 8 ชั่วโมง

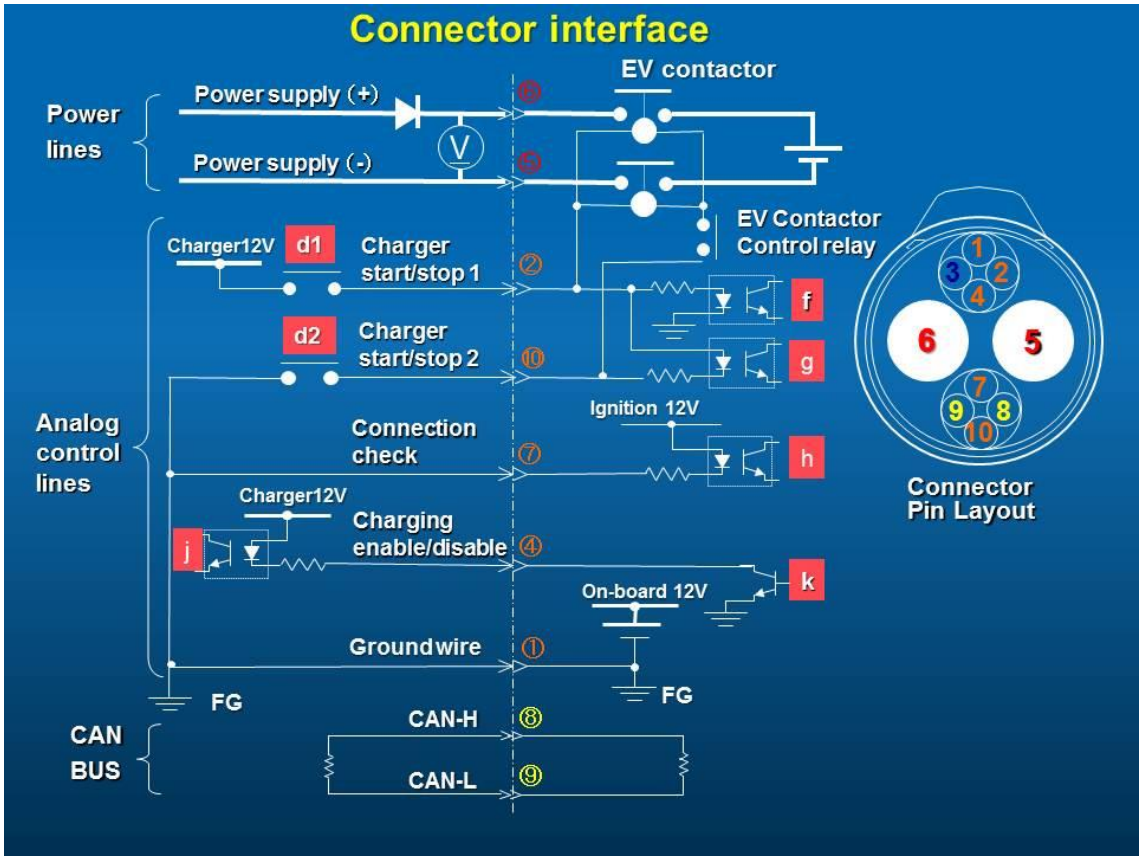
หัวรับ (Inlet) และปลั๊กเสียบ (Plug) สำหรับการชาร์จเร็วของรถนิสสันลีฟใช้มาตรฐาน CHAdeMo ซึ่งรองรับการชาร์จได้สูงสุด 62.5 kW หรือ 125 A ที่แรงดันไฟฟ้า 500 VDC ปลั๊กมีด้วยกัน 10 pin ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน 2 ขนาด ดังแสดงในรูป 3-35 Pin 5 และ 6 เป็น power ขั้วลบและขั้วบวกตามลำดับ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm ส่วนพินที่เหลือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 mm รูป 3-36 แสดงไดอะแกรมการเชื่อมต่อสำหรับการชาร์จแบบเร็วของรถยนต์นิสสันลีฟ

สำหรับการชาร์จไฟ ที่กำลัง 50kW จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที (Level 3 charging) จนกระแสไฟฟ้าเพิ่มเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่ทั้งหมด ทางบริษัทนิสสันแนะนำไว้ในคู่มือว่าไม่ควรชาร์จไฟแบบ Quick Charge เป็นหลัก เพราะจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานสั้นลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ตลอดอายุการใช้รถ และไม่ควรชาร์จเกินวันละหนึ่งครั้ง




| Pin No. | function / assignment | Pin diameter (mm) | Wire size (mm²) |
|---|---|---|---|
| 1 | Reference GND for insulation monitor | 1.6 | 0.75 |
| 2 | Control EV relay ( 1 of 2 ) | 1.6 | 0.75 |
| 3 | (not assigned) | 1.6 | – |
| 4 | Ready to charge control | 1.6 | 0.75 |
| 5 | Power (supply) line-negative | 9.0 | 150A : 42.4<br>200A : 53.5 |
| 6 | Power (supply) line-positive | 9.0 | 150A : 42.4<br>200A : 53.5 |
| 7 | Proximity detection | 1.6 | 0.75 |
| 8 | Communication + | 1.6 | 0.75 |
| 9 | Communication - | 1.6 | 0.75 |
| 10 | Control EV relay ( 2 of 2) | 1.6 | 0.75 |

รูป 3-35 ปลั๊ก (plug) CHAdeMo สำหรับการชาร์จเร็ว [4.15]

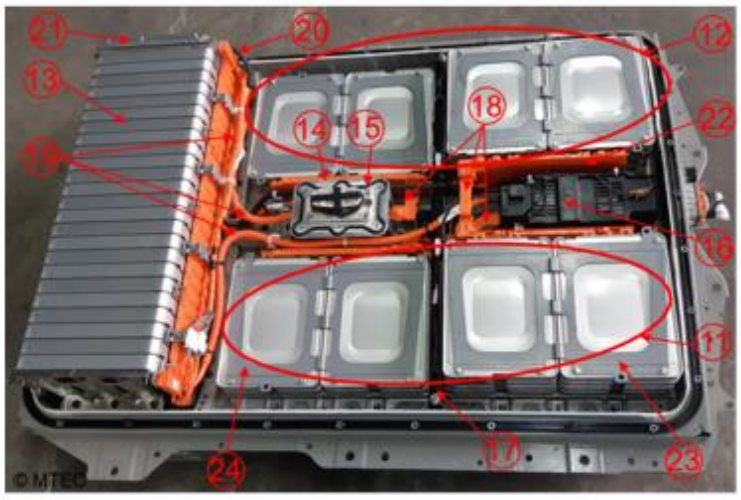



รูป 3-36 การเชื่อมต่อเพื่อชาร์จแบบเร็วของนิสสันลีฟ [4.16]

### 3.4.5 รายการชิ้นส่วนแบตเตอรี่

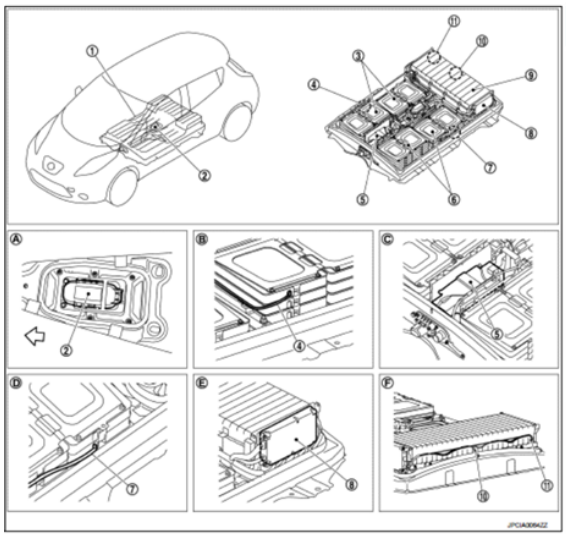
รายการชิ้นส่วนแบตเตอรี่และส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องได้แสดงใน รูป 3-37 ถึง รูป 3-45

1. Service plug switch
2. Service plug retainer
3. Battery pack upper case
4. Battery pack lower case
5. Breather
6. Bonding plate
7. Vehicle communication connector
8. Connector flange
9. Plastic plate
10. High voltage harness connector



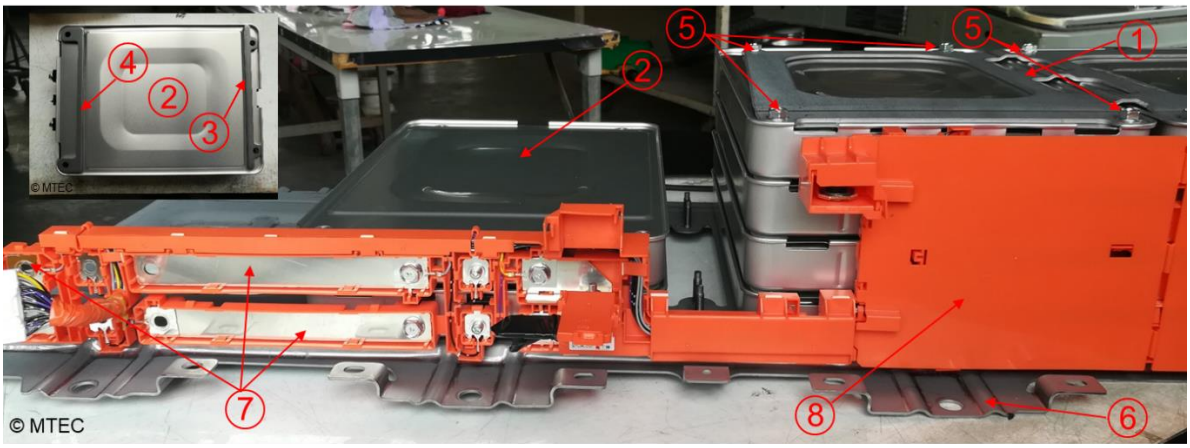

11. Front module stack RH
12. Front module stack LH
13. Rear module stack
14. Service plug switch bracket
15. Seal
16. Battery junction box cover
17. Battery member pipe
18. Bus bar
19. High voltage harness
20. Vehicle communication harness
21. Battery controller
22. Bus bar cover
23. End plate (front)
24. End plate (rear)

รูป 3-37 รายการชิ้นส่วนแบตเตอรี่



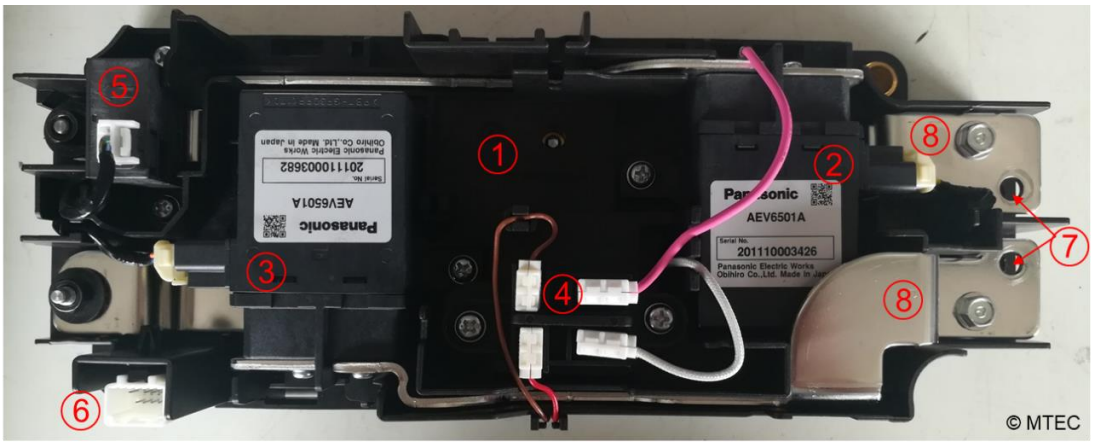
| No. | Component |
|---|---|
| 1 | Li-ion battery |
| 2 | Service plug |
| 3 | Front module stack RH |
| 4 | Battery temperature sensor (Front RH) |
| 5 | Battery junction box |
| 6 | Front module stack LH |
| 7 | Battery temperature sensor (Front LH) |
| 8 | Li-ion battery controller |
| 9 | Rear module stack |
| 10 | Battery temperature sensor (Rear center) |
| 11 | Battery temperature sensor (Rear RH) |

รูป 3-38 ตำแหน่งชิ้นส่วนหลัก



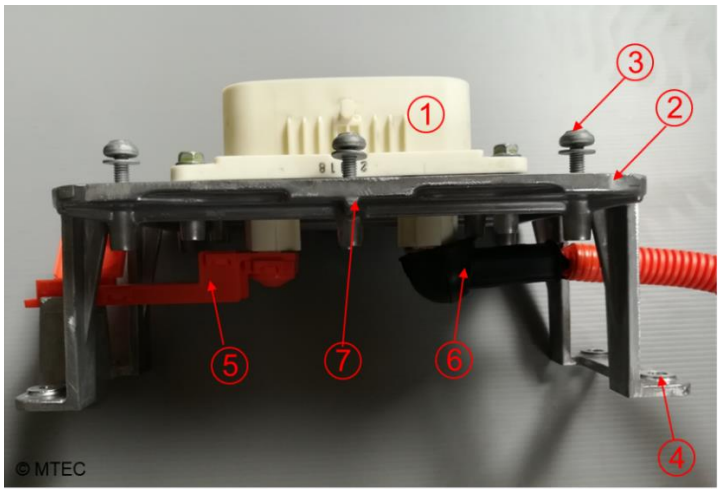

1. End plate (front)
2. Module
3. Spacer (back side)
4. Spacer (terminal side)
5. Mounting bolts
6. Sub flame
7. Bus bar
8. Bus bar cover

รูป 3-39 รายการชิ้นส่วนกองโมดูล



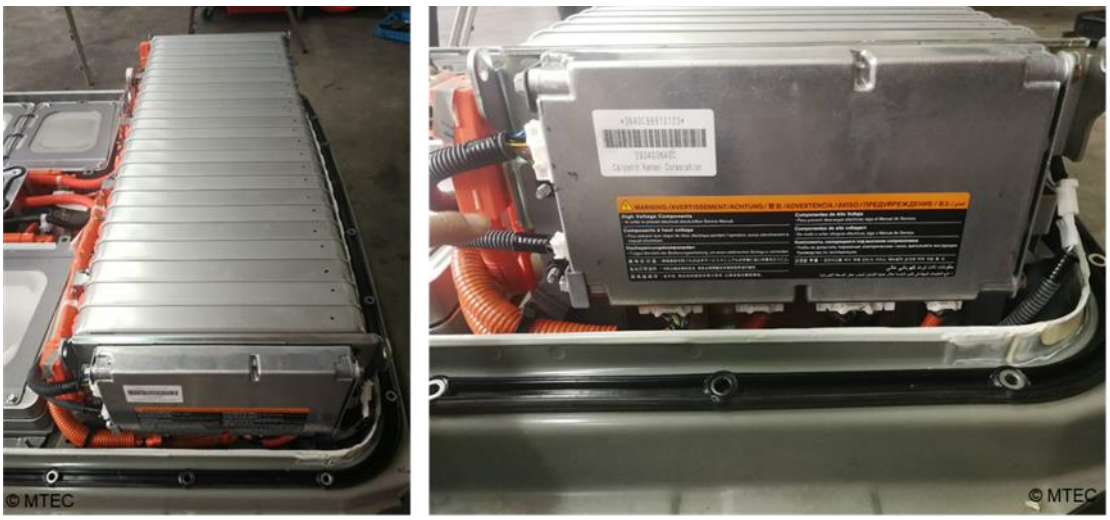

1. Junction box
2. HV Main relay (positive)
3. HV Main relay (negative)
4. Pre-charge relay
5. Current sensor
6. Communication socket
7. Terminal hole
8. Bus bar

รูป 3-40 รายการชิ้นส่วนในกล่องพักสายไฟแบตเตอรี่

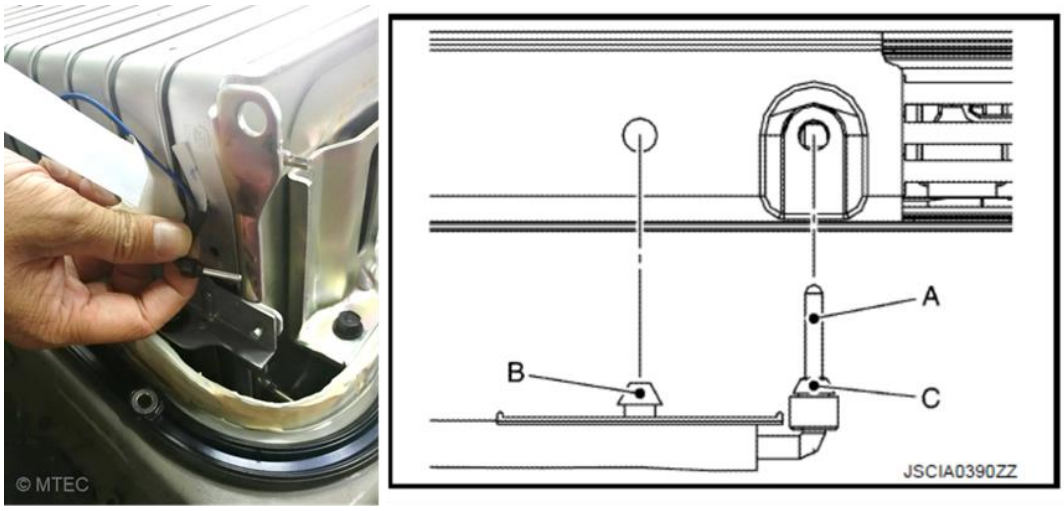



1. Service plug switch
2. Service plug switch bracket
3. Retainer bolts
4. Mounting hole of service plug switch bracket
5. Bus bar
6. High voltage harness
7. Control socket

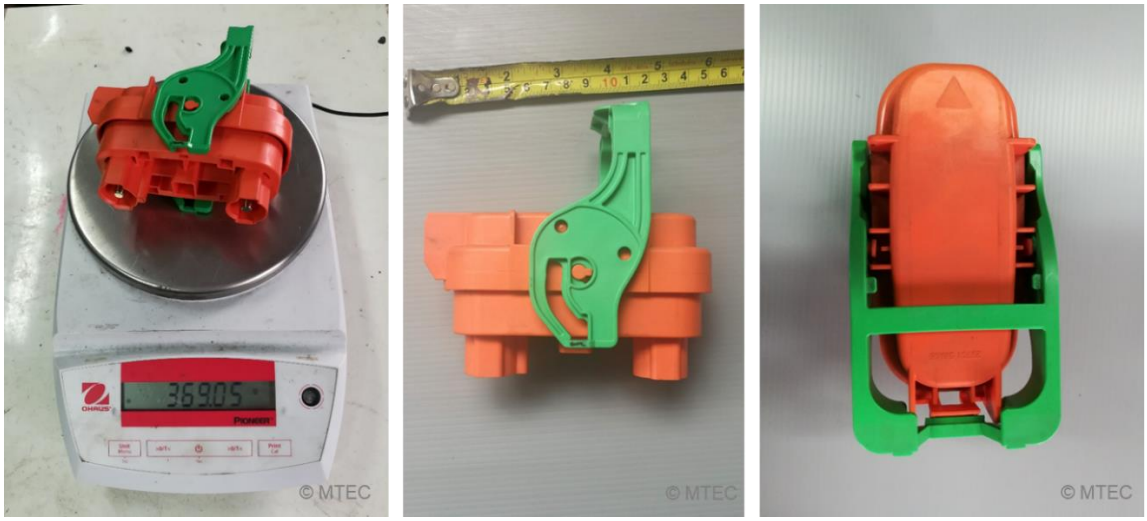
รูป 3-41 รายการชิ้นส่วนสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง




รูป 3-42 Battery Controller



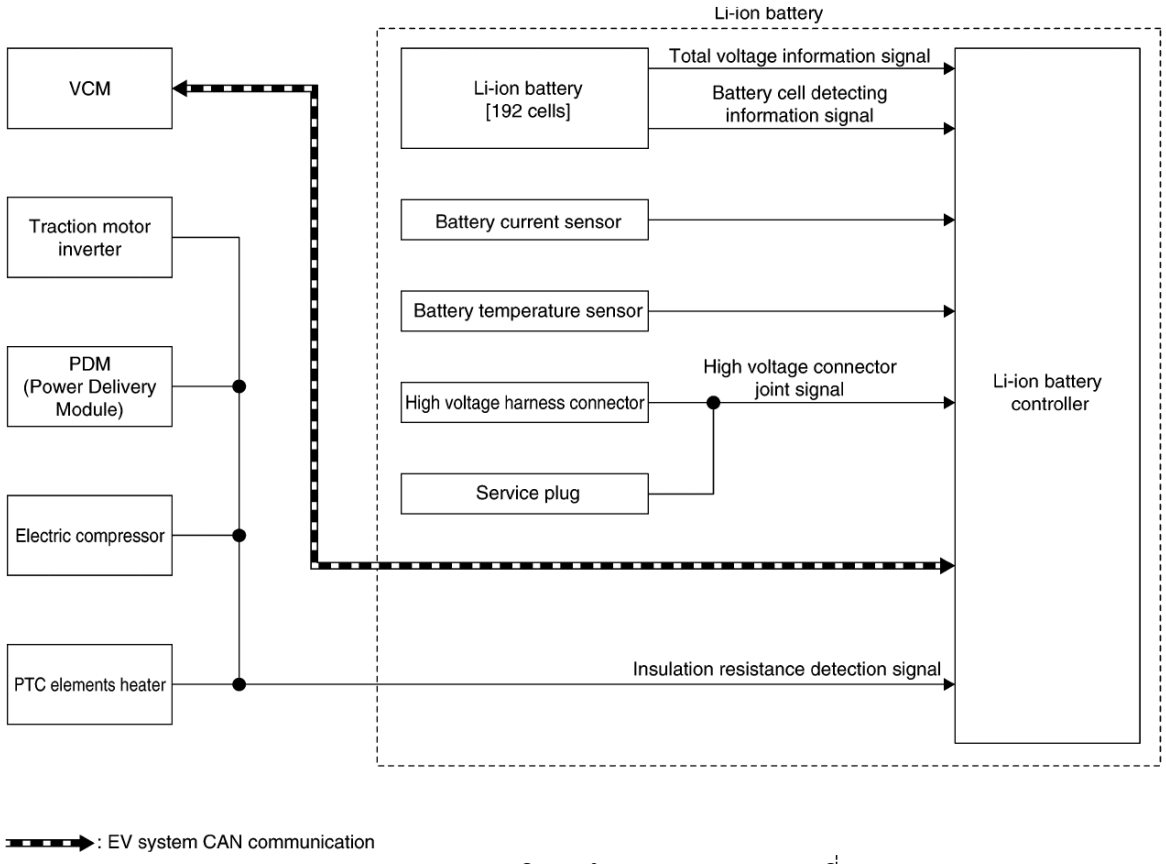

รูป 3-43 Battery Temperature Sensor




รูป 3-44 Safty Plug

รูป 3-45 Under Cover

### 3.4.6 แผนภูมิการทำงานของแบตเตอรี่

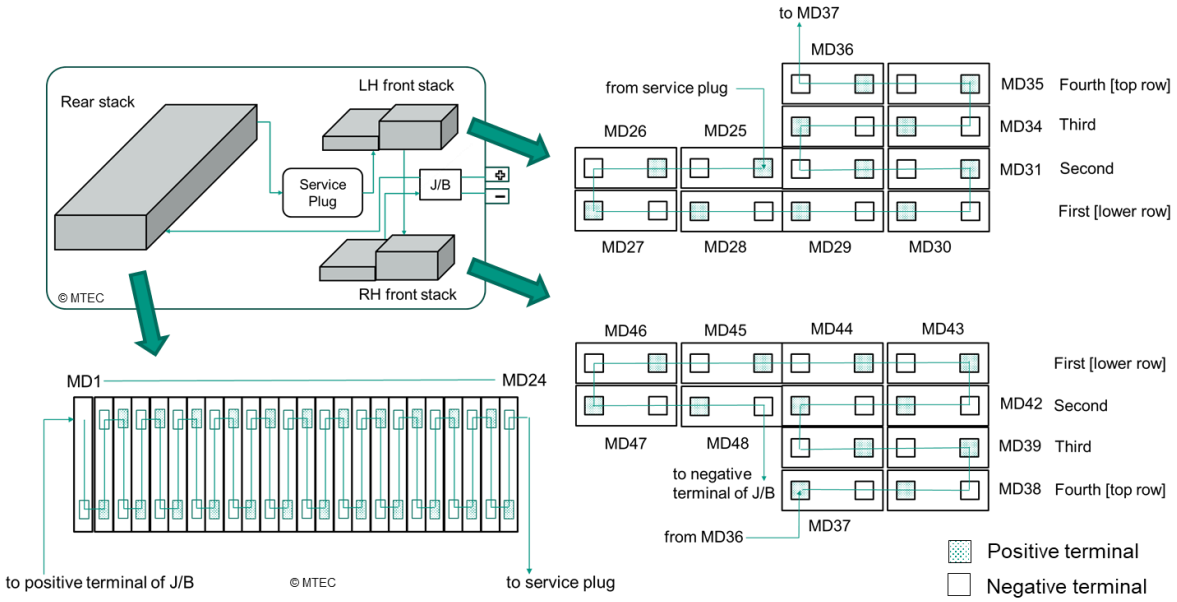



รูป 3-46 แผนภูมิการทำงานของชุดแบตเตอรี่

แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานให้กับชุดขับเคลื่อนและโหลดต่างๆ ขณะที่ชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery controller) จะทำการเฝ้าดูพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่

1. ระดับแรงดันรวมของแบตเตอรี่และระดับแรงดันของเซลอนุกรมแบตเตอรี่แต่ละเซล
2. กระแสไฟฟ้าที่เข้าออกของชุดแบตเตอรี่
3. อุณหภูมิของชุดแบตเตอรี่ 4 ตำแหน่ง (1x front stack LH, 1x front stack RH, 2x rear stack)
4. การเชื่อมต่อสายไฟแรงดันสูง
5. การเชื่อมต่อ service plug
6. ความต้านทานฉนวน

ชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery controller) จะประมวลผลพารามิเตอร์ที่ตรวจสอบและทำการสื่อสารกับชุดควบคุมรถยนต์ (VCM) หากมีสิ่งผิดปรกติชุดควบคุมรถยนต์ (VCM) จะสั่งตัดวงจรภายในชุดแบตเตอรี่ผ่านรีเลย์ที่อยู่ในแพ็คแบตเตอรี่




รูป 3-47 แผนภูมิการเชื่อมต่อภายในชุดแบตเตอรี่

วงจรไฟของชุดแบตเตอรี่จะเริ่มจากขั้วต่อไฟแรงดันสูงผ่าน main relay ที่อยู่ในเทอร์มินอลบล็อก ขั้วไฟบวกจะเชื่อมต่อไปยังโมดูลหมายเลข 1 (MD1) ซึ่งอยู่บริเวณริมขวาของกองโมดูลหลัง โมดูลหมายเลข 1 เชื่อมต่อแบบอนุกรมกับอีก 23 โมดูลด้วยบัสบาร์จนถึงโมดูลหมายเลข 24 (MD24) ดังรูป แล้วจะมีสายไฟเชื่อมต่อจากโมดูล 24 ไปยังขั้วหนึ่งของ service plug ซึ่งทำหน้าที่เป็นฟิวส์เชื่อมต่อระหว่างขั้วไฟสองขั้ว หากดึง service plug ออกก็จะเป็นการตัดทางเดินไฟ ที่ขั้วไฟอีกขั้วของ service plug จะเชื่อมต่อไปยังโมดูลหมายเลข 25 (MD25) ซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางในกองโมดูลหน้าด้านซ้าย โมดูลหมายเลข 25 เชื่อมต่อแบบอนุกรมกับโมดูลอื่นตามลำดับจนถึงโมดูลหมายเลข 36 (MD36) ดังรูป ที่โมดูลหมายเลข 36 จะมีบัสบาร์เชื่อมต่อไปยังโมดูลหมายเลข 37 (MD37) ซึ่งอยู่บริเวณกึ่งกลางในกองโมดูลหน้าด้านขวา โมดูลหมายเลข 37 เชื่อมต่อแบบอนุกรมกับโมดูลอื่นตามลำดับจนถึงโมดูลหมายเลข 48 (MD48) ดังรูป ที่โมดูลหมายเลข 48 จะมีบัสบาร์เชื่อมต่อไปยัง main relay ที่อยู่ในเทอร์มินอลบล็อก และต่อไปยังขั้วไฟลบ

## 3.5 ผู้ผลิตชิ้นส่วนของระบบหลักในรถยนต์นิสสันลีฟ

ตาราง 3-5 ข้อมูลผู้ผลิตชิ้นส่วนของรถนิสสันลีฟ

| | Part name | Suppliers | Location |
|---|---|---|---|
| EV systems part | Power motor (3-phase AC synchronous motor, maximum output 80 kW, maximum torque 280Nm)EM61 type | In-house supply by Nissan motor's Yokohama Plant | Motor room |
| | Inverter (IGBT ×6) | In-house supply by Nissan motor's/ Calsonic Kansei | Motor room |
| | DC-DC converter (doubles as a junction box) | Denso | Motor room |
| | Power transmission system (reduction gear, reduction ratio 7.937 without gear-shifting) Model: RE1F61A | Aichi machine Industry | Motor room |
| | Lithium-ions modules (total voltage: 360V, capacity: 24kwh, output 90kW or higher ) | AESC Automotive Energy supply | Under floor |
| | BMS (Battery Manage System) | Calsonic Kansei | In Lithium-ions battery modules |
| | Battery main relay | Panasonic | In Lithium-ions battery modules |
| | Collision detection system | Panasonic | In Lithium-ions battery modules |
| | On board charger (input voltage : 100VAC~246AC, output 3.3kW maximum) | Nichikon | Cargo room |
| | Noise filter (charge noise suppresser) | - | Cargo room |
| Auxiliary devices other than EV systems | A/C electric suppressor | Panasonic | Cargo room |
| | PTC heater (Hot water 360V,4.0kW, 5.0kW in cold area) | Eberspaecher (Germany) | Motor room |
| | Water pump for heater | Nitto Denko | Motor room |
| | Proximity warning system | Panasonic | Motor room |
| | Capacitor(electronic-controlled brake backup, power supply when 12V battery goes low) | Panasonic | Cargo room |
| | ECU for electronic parking brake | Advices | Cargo room |
| | Electronic parking brake, actuator (fitted to transmission) | Denso | Cargo room |

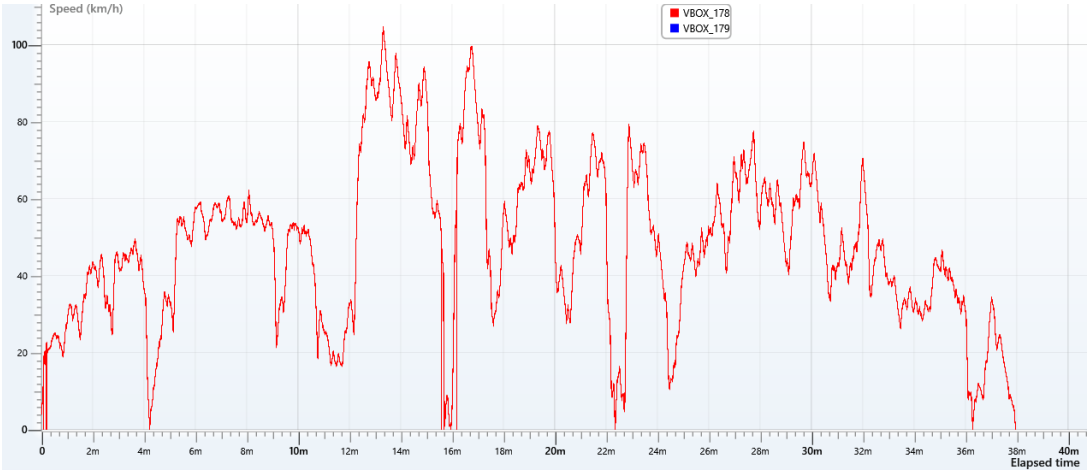
## 3.6 ผลการทดสอบรถยนต์นิสสันลีฟ

### 3.6.1 ทดสอบการขับขี่

ภายหลังการถอดแบตเตอรี่เพื่อศึกษา ทีมวิจัยได้ประกอบแบตเตอรี่กลับเข้าไปในตัวรถ และทำการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่า การถอดและการประกอบเป็นไปอย่างถูกต้อง รถยนต์สามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติ การทดสอบเริ่มจากการตรวจดูไฟบนหน้าปัดว่าภายหลังการประกอบกลับมีสัญญาณไฟเตือนใดๆบ้างหรือไม่ ซึ่งทางทีมไม่พบความผิดปกติใดๆ จากนั้นจึงนำรถไปทดสอบการชาร์จไฟจากไฟบ้านเพื่อให้ Charger ในรถได้ทำงานพบว่าสามารถชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ได้ตามปกติ ซึ่งเมื่อชาร์จเต็มที่แล้วระยะทางการวิ่งบนหน้าปัดรถแสดงอยู่ที่ 54 กิโลเมตร ค่าที่ได้ต่ำเนื่องจากรถนิสสันลีฟที่ทดสอบเป็นรถที่มีอายุการใช้งานเกินกว่า 5 ปี (Capacity level gauge อยู่บริเวณกึ่งกลาง) อย่างไรก็ตามระยะทางการขับขี่ที่แสดงมีค่าใกล้เคียงกับระยะทางที่แสดงก่อนการถอดแบตเตอรี่ จากนั้นทีมวิจัยจึงนำรถไปทดสอบการขับขี่ตามเส้นทางถนนแพรกษาและตามถนนถนนตำหรุ-บางพลี (รูป 3-48) เป็นระยะทางทั้งสิ้น 30.2 กิโลเมตร มีความเร็วที่ใช้ในการขับขี่ดังรูป 3-49 การทำงานเป็นไปอย่างปกติ เมื่อเร่งหรือเบรก indicator บน power meter มีการแสดงอย่างถูกต้องตามจังหวะการทำงาน เมื่อทดสอบสมรรถนะของรถพบว่าสามารถทำความเร็วจาก 0-100 km/h ภายในเวลา 11.5 วินาที มีความเร็วสูงสุดมากกว่า 80 km/h (ถูกจำกัดการทดสอบด้วยข้อกฎหมาย) มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 6.4 km/kWh (ประมาณ 250 Wh/mi) ซึ่งใกล้เคียงกับการทดสอบบนไดนาโมมิเตอร์ตามวัฏจักรการขับขี่ต่างๆ (240.8 Wh/mi สำหรับวัฏจักร HWFET และ 211.7 Wh/mi สำหรับวัฏจักร UDDS) ซึ่งทดสอบโดยกระทรวงพลังงานสหรัฐ รูป 3-50 แสดงผลการทดสอบรถยนต์นิสสันลีฟในประเด็นอื่นๆเพิ่มเติมทั้งบนสนามทดสอบและบนไดนาโมมิเตอร์

ผลการทดสอบการขับขี่ ได้จากการประเมินข้อมูลที่ได้จาก GPS-Base data acquisition system (VBOX) ที่ติดตั้งบนตัวรถและแผงหน้าปัดแสดงผลบนรถ

รูป 3-48 เส้นทางการขับทดสอบ




รูป 3-49 ความเร็วระหว่างการทดสอบ

**PERFORMANCE STATISTICS[3]**

**TRACK TESTING[4]**

**Acceleration 0-60 mph[5]**
Measured Time: 10.6 s
Performance Goal: ≤13.5 s
Peak Power from Battery: 87.1 kW

**Maximum Speed**
At ¼ Mile: 77.5 mph
At 1 Mile[6]: 91.0 mph
Performance Goal: ≥90 mph at 1-mile mark

**Braking at 50% SOC from 60-0 mph[7]**
Measured Time: 3.12 s
Distance: 121.0 ft
Peak Power into Battery: 0.7 kW

**Braking at 100% SOC from 60-0 mph[7]**
Measured Time: 3.03 s
Distance: 115.2 ft
Peak Power into Battery: 10.6 kW

**Deceleration 60-10 mph[8]**
Measured Time: 55.6 s
Distance: 2,480.4 ft
Peak Power into Battery: 14.0 kW
Total Energy into Battery: 78.6 Wh

**DYNAMOMETER TESTING[9]**

**Cycle Results[10]**

| | 72 °F | 20 °F | 95 °F + 850 W/m² |
|---|---|---|---|
| UDDS (Cold Start) | 211.7 Wh/mi | 458.7 Wh/mi | 293.5 Wh/mi |
| UDDS | 201.4 Wh/mi | 369.1 Wh/mi | 274.5 Wh/mi |
| HWFET | 240.8 Wh/mi | 349.9 Wh/mi | 272.1 Wh/mi |
| US06 | 321.6 Wh/mi | 425.7 Wh/mi | 359.8 Wh/mi |
| SC03 | N/A | N/A | 289.3 Wh/mi |

| | | | |
|---|---|---|---|
| City Range | 110.9 miles | US06 Range | 68.2 miles |
| Highway Range | 92.7 miles | | |

**Energy Consumption at Steady-State Speed, 0% Grade**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 10 mph | 133.4 Wh/mi | 50 mph | 236.0 Wh/mi |
| 20 mph | 147.1 Wh/mi | 60 mph | 285.4 Wh/mi |
| 30 mph | 168.0 Wh/mi | 70 mph | 343.8 Wh/mi |
| 40 mph | 197.6 Wh/mi | 80 mph | 397.8 Wh/mi |

**Duration of Passing Maneuver at Grade[11]**

| | 0% Grade | 3% Grade | 6% Grade |
|---|---|---|---|
| 35-55 mph | 4.1 s | 4.7 s | 5.5 s |
| 55-65 mph | 3.0 s | 3.8 s | 4.8 s |
| 35-70 mph | 8.9 s | 10.7 s | 13.5 s |
| 55-80 mph | 9.1 s | 12.0 s | 17.8 s |
| Maximum Speed at 25% Grade from Stop: 44.0 mph | | | |

รูป 3-50 ผลการทดสอบรถยนต์นิสสันลีฟ [4.17]

### 3.6.2 ทดสอบแบตเตอรี่

ทีมวิจัยได้ทดสอบแบตเตอรี่ในขั้นตอนการถอด รวมถึงแนะนำการทดสอบแก่ทางเจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ ดังแสดงในรูป 3-51 ผลจากการวัดพบว่าเซลแบตเตอรี่มีแรงดันไฟฟ้า 4.027 V โมดูลมีแรงดันไฟฟ้า 8.06 V ชุดแบตเตอรี่ด้านหน้ามีแรงดันไฟฟ้าข้างละ 97 V ชุดแบตเตอรี่ด้านท้ายมีแรงดันไฟฟ้ารวม 193.2 V รวมชุดแบตเตอรี่ทั้งชุดมีแรงดันไฟฟ้ารวม 387.2 V นอกจากนี้ทางทีมวิจัยได้ทำการวัดแรงต้านทานภายในของแบตเตอรี่ด้วยวิธี 1 kHz AC ได้ผลดังตาราง 3-6 เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์วัดจึงวัดได้สูงสุดเพียง 8 โมดูล

ตาราง 3-6 ความต้านทางภายในของแบตเตอรี่

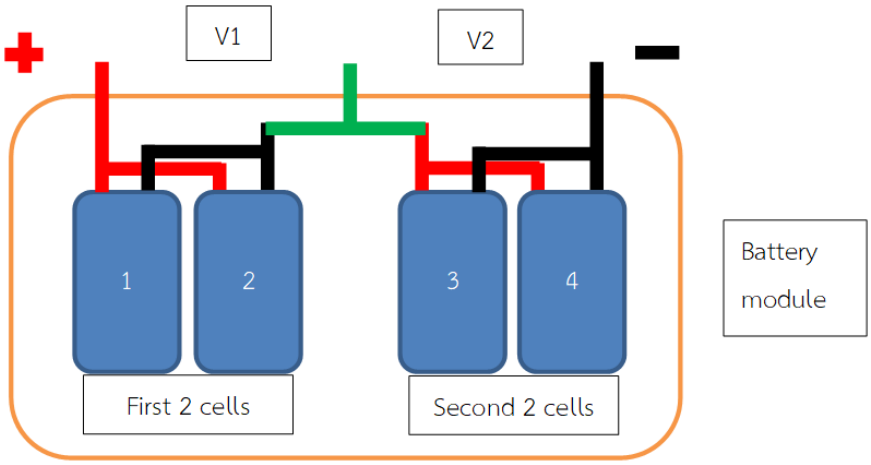
| | ความต้านทานภายใน (mOhm) |
|---|---|
| 1 โมดูล | 1.7 |
| 4 โมดูล | 6.6 |
| 8 โมดูล | 13.3 |

รูป 3-51 การทดสอบแบตเตอรี่รถยนต์นิสสันลีฟ

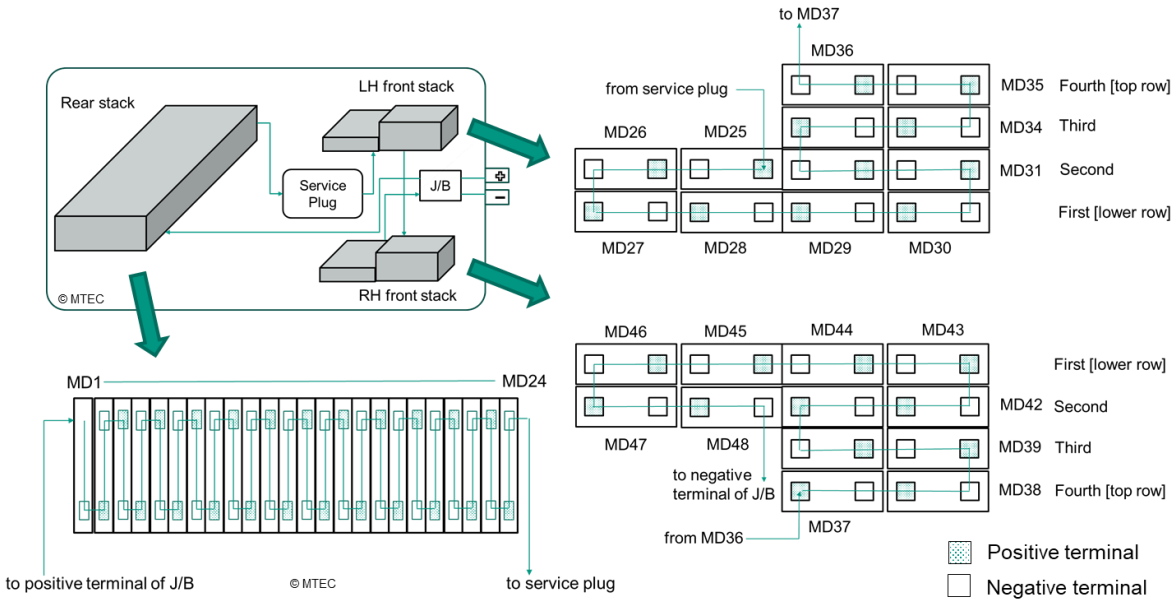
สำหรับแบตเตอรี่ลิเธียมนั้น การดูแลให้แต่ละเซลล์ที่นำมาต่ออนุกรมกันนั้นมีความจำเป็นที่ต้องปรับระดับแรงดันเพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด และต้องมีการตรวจสอบค่าความต้านทานภายใน (internal impedance) ให้มีค่าต่ำที่สุดในระดับเดียวกันโดยเฉพาะเซลล์ที่มาต่อกันเป็นโมดูลแบบขนาน

ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าแรงดันของแต่ละเซลล์รวมถึงค่าความต้านทานภายในแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าแรงดันและค่าความต้านทานเมื่อแยกเซลล์เป็นอิสระต่อกัน การออกแบบชุดจัดการแบตเตอรี่ต้องมีความเข้าใจและค้นคว้าต่อไป เพื่อสร้างระบบควบคุมการปล่อยพลังงานและอัดพลังงานเข้าในแบตเตอรี่สามารถรักษาคุณลักษณะของแบตเตอรีให้มีอายุการใช้งานที่ทนทาน เพื่อเป็นการลดต้นทุนการใช้พลังงานของยานยนต์ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า

ตาราง 3-7 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าและความต้านทานภายในของแต่ละโมดูล ตำแหน่งการวัดความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่ได้แสดงใน พร้อมตำแหน่งและหมายเลขของแต่ละโมดูลแสดงใน รูป 3-52 และ รูป 3-53 ตามลำดับ การวัดได้ดำเนินในเดือนตุลาคม 2561 ซึ่งเป็นช่วงหลังจากการถอดแบตเตอรี่ออกมาจากรถแล้วประมาณ 2 เดือน




รูป 3-52 ตำแหน่งการวัดความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่




รูป 3-53 ตำแหน่งและหมายเลขโมดูลแบตเตอรี่

ตาราง 3-7 ค่าแรงดันและความต้านทานภายในของแต่ละโมดูล

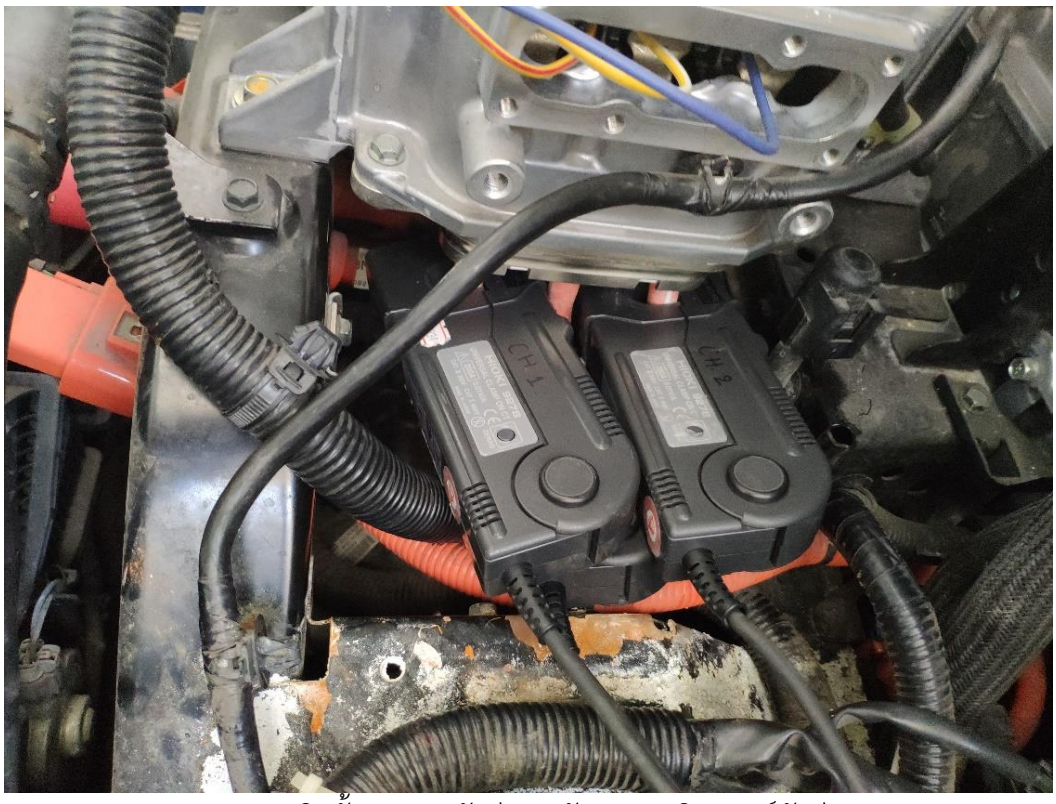
| *Module No.* | *V1* | *V2* | *Module voltage* | *Total mOhm* |
|---|---|---|---|---|
| *1* | 3.65 | 3.65 | 7.30 | 1.8 |
| *2* | 3.64 | 3.64 | 7.29 | 1.9 |
| *3* | 3.65 | 3.64 | 7.29 | 1.8 |
| *4* | 3.66 | 3.65 | 7.30 | 1.8 |
| *5* | 3.64 | 3.66 | 7.30 | 1.9 |
| *6* | 3.64 | 3.66 | 7.30 | 1.9 |
| *7* | 3.65 | 3.66 | 7.30 | 1.8 |
| *8* | 3.65 | 3.65 | 7.30 | 1.9 |
| *9* | 3.64 | 3.63 | 7.27 | 1.9 |
| *10* | 3.66 | 3.65 | 7.31 | 1.8 |
| *11* | 3.65 | 3.65 | 7.29 | 1.8 |
| *12* | 3.64 | 3.64 | 7.27 | 1.8 |
| *13* | 3.66 | 3.66 | 7.31 | 1.8 |
| *14* | 3.65 | 3.65 | 7.30 | 1.8 |
| *15* | 3.65 | 3.65 | 7.29 | 1.8 |
| *16* | 3.62 | 3.64 | 7.27 | 1.8 |
| *17* | 3.64 | 3.66 | 7.29 | 1.9 |
| *18* | 3.65 | 3.66 | 7.31 | 1.8 |
| *19* | 3.63 | 3.64 | 7.27 | 1.9 |
| *20* | 3.65 | 3.66 | 7.31 | 1.8 |
| *21* | 3.63 | 3.64 | 7.27 | 1.9 |
| *22* | 3.65 | 3.64 | 7.29 | 1.8 |
| *23* | 3.63 | 3.64 | 7.28 | 1.9 |
| *24* | 3.61 | 3.64 | 7.25 | 1.8 |
| *25* | 1.77 | 1.14 | 2.91 | 2.1 |
| *26* | 1.14 | 1.45 | 2.59 | 1.5 |
| *27* | 1.18 | 1.78 | 1.18 | 1.5 |
| *28* | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 2.0 |
| *29* | 3.65 | 3.66 | 7.31 | 1.8 |
| *30* | 3.65 | 3.66 | 7.31 | 1.8 |
| *31* | 3.66 | 3.65 | 7.32 | 1.8 |
| *32* | 3.65 | 3.66 | 7.31 | 1.8 |
| *33* | 3.65 | 3.66 | 7.31 | 1.9 |
| *34* | 3.65 | 3.65 | 7.29 | 1.8 |
| *35* | 3.37 | 3.66 | 6.73 | 1.8 |
| *36* | 3.34 | 3.37 | 6.71 | 1.8 |
| *37* | 3.13 | 3.64 | 6.78 | 1.3 |
| *38* | 0.01 | 2.39 | 2.99 | 4.8 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *39* | 3.66 | 3.66 | 7.32 | 1.8 |
| *40* | 3.65 | 3.66 | 7.30 | 1.8 |
| *41* | 3.66 | 3.65 | 7.31 | 1.8 |
| *42* | 3.66 | 3.66 | 7.3 | 1.9 |
| *43* | 3.66 | 3.66 | 7.3 | 1.9 |
| *44* | 3.66 | 3.64 | 7.31 | 1.8 |
| *45* | 3.65 | 3.66 | 7.32 | 1.7 |
| *46* | 3.65 | 3.66 | 7.31 | 1.8 |
| *47* | 3.65 | 3.65 | 7.30 | 1.9 |
| *48* | 3.65 | 3.65 | 7.30 | 1.8 |

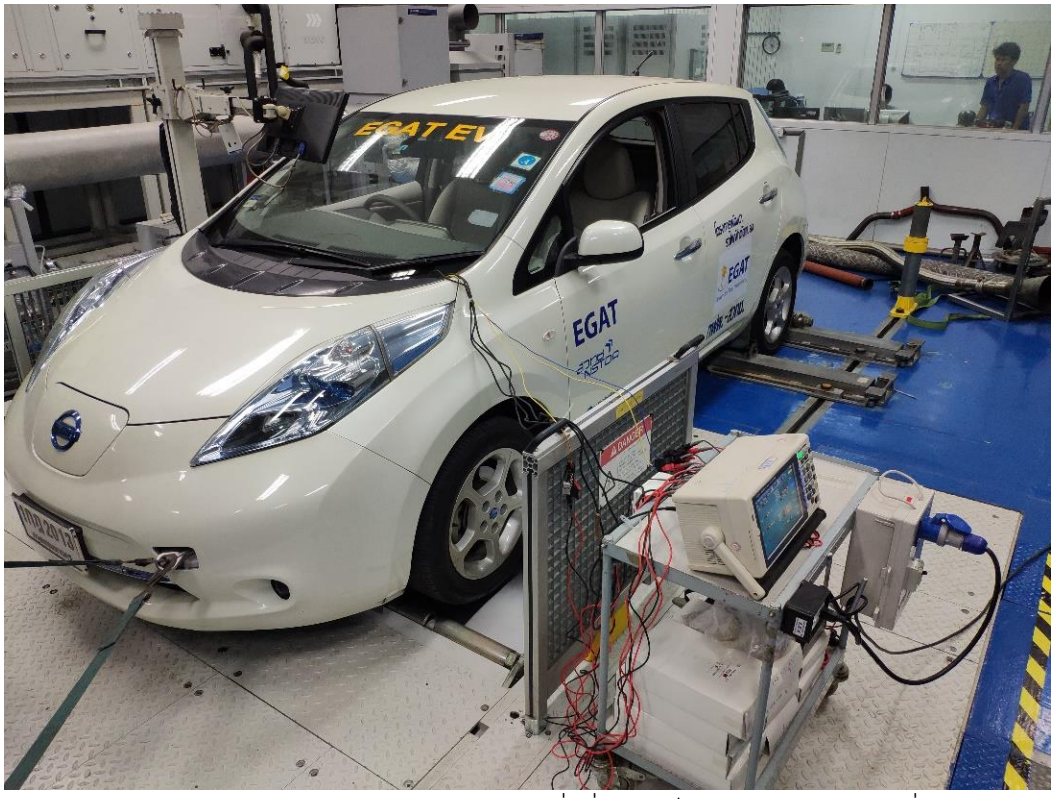
### 3.6.3 ทดสอบมอเตอร์

ทีมวิจัยได้ทำการทดสอบวัดค่าการกินพลังงานของมอเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ Hioki 3390 Power Analyzer โดยทำการติดตั้ง Probe วัดค่าแรงดันที่ขั้วของ Inverter ฝั่งขาออก และ แคลมป์มิเตอร์ที่ สายไฟหลัก 3 เส้นจาก Inverter ไปมอเตอร์ ตามรูป 3-55

รูป 3-54 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน



รูป 3-55 การติดตั้ง probe วัดค่าแรงดัน และ คลิปแอมป์วัดค่ากระแส



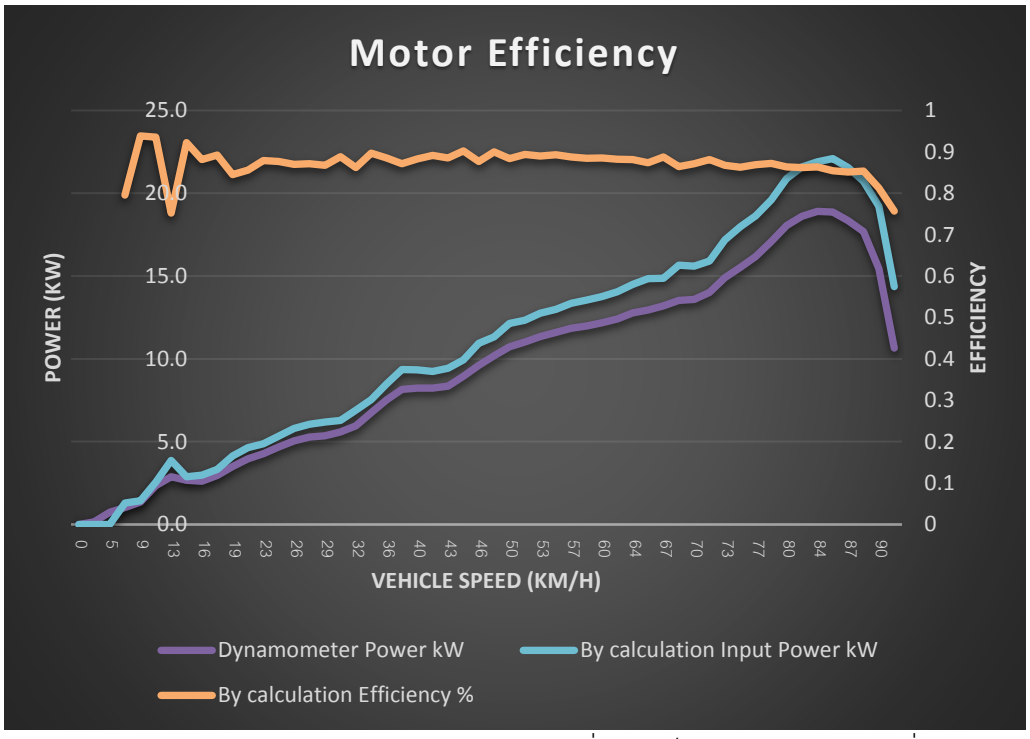

รูป 3-56 การทดสอบวัดค่าพลังงานในการวิ่งที่ความเร็ว 0-90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตาราง 3-8 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ความเร็ว 0-90 kmh

| Time | Dynamometer | | Hioki meter | | | | By calculation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Speed | Power | Urms1 | Irms1 | Power P1 | FREQ1 | Input Power | Efficiency |
| Sec | km/h | kW | Volt | Amp | kW | Hz | kW | % |
| 1 | **0** | - | 16.8 | 4.0 | - | - | - | |
| 2 | **2** | 0.16 | 12.4 | 43.0 | - | - | - | |
| 3 | **5** | 0.74 | 52.8 | 72.4 | - | - | - | |
| 4 | **7** | 1.04 | 67.1 | 61.3 | 0.75 | 23 | 1.30 | 79.6% |
| 5 | **9** | 1.35 | 76.2 | 52.0 | 0.83 | 31 | 1.44 | 93.9% |
| 6 | **11** | 2.35 | 87.4 | 69.1 | 1.48 | 39 | 2.56 | 93.6% |
| 7 | **13** | 2.89 | 99.9 | 80.3 | 2.23 | 51 | 3.87 | 75.2% |
| 8 | **15** | 2.66 | 105.6 | 53.9 | 1.67 | 60 | 2.89 | 92.3% |
| 9 | **16** | 2.62 | 110.9 | 50.3 | 1.72 | 67 | 2.97 | 88.1% |
| 10 | **18** | 2.97 | 116.4 | 51.0 | 1.92 | 74 | 3.33 | 89.3% |
| 11 | **19** | 3.51 | 122.7 | 57.0 | 2.40 | 81 | 4.15 | 84.5% |
| 12 | **21** | 3.97 | 128.4 | 58.1 | 2.68 | 89 | 4.64 | 85.6% |
| 13 | **23** | 4.28 | 133.6 | 56.2 | 2.81 | 97 | 4.87 | 87.9% |
| 14 | **24** | 4.68 | 138.8 | 57.1 | 3.08 | 104 | 5.34 | 87.6% |
| 15 | **26** | 5.04 | 143.8 | 57.8 | 3.35 | 112 | 5.80 | 87.0% |
| 16 | **28** | 5.27 | 148.4 | 56.8 | 3.49 | 120 | 6.05 | 87.1% |
| 17 | **29** | 5.37 | 152.6 | 54.8 | 3.57 | 128 | 6.19 | 86.7% |
| 18 | **31** | 5.58 | 156.5 | 53.0 | 3.63 | 135 | 6.28 | 88.9% |
| 19 | **32** | 5.96 | 160.8 | 55.1 | 3.99 | 142 | 6.91 | 86.2% |
| 20 | **34** | 6.75 | 165.0 | 57.0 | 4.36 | 149 | 7.55 | 89.7% |
| 21 | **36** | 7.52 | 169.9 | 60.6 | 4.91 | 158 | 8.50 | 88.6% |
| 22 | **38** | 8.16 | 174.5 | 63.1 | 5.41 | 166 | 9.37 | 87.1% |
| 23 | **40** | 8.24 | 178.5 | 60.3 | 5.39 | 175 | 9.33 | 88.3% |
| 24 | **41** | 8.23 | 182.0 | 57.6 | 5.33 | 182 | 9.24 | 89.1% |
| 25 | **43** | 8.36 | 185.5 | 56.7 | 5.45 | 190 | 9.44 | 88.5% |
| 26 | **45** | 8.96 | 189.1 | 57.5 | 5.74 | 198 | 9.93 | 90.3% |
| 27 | **46** | 9.60 | 193.1 | 60.7 | 6.32 | 206 | 10.95 | 87.7% |
| 28 | **48** | 10.19 | 196.8 | 60.5 | 6.54 | 214 | 11.33 | 90.0% |
| 29 | **50** | 10.73 | 200.7 | 62.3 | 7.01 | 222 | 12.14 | 88.4% |
| 30 | **52** | 11.02 | 204.1 | 61.3 | 7.12 | 231 | 12.33 | 89.3% |
| 31 | **53** | 11.35 | 207.5 | 61.4 | 7.37 | 239 | 12.76 | 89.0% |
| 32 | **55** | 11.61 | 210.7 | 60.8 | 7.51 | 247 | 13.00 | 89.3% |
| 33 | **57** | 11.86 | 214.0 | 60.6 | 7.72 | 255 | 13.36 | 88.7% |
| 34 | **59** | 12.00 | 216.9 | 60.0 | 7.83 | 263 | 13.56 | 88.5% |
| 35 | **60** | 12.19 | 219.9 | 59.4 | 7.95 | 271 | 13.77 | 88.5% |
| 36 | **62** | 12.40 | 222.7 | 59.3 | 8.12 | 278 | 14.06 | 88.2% |
| 37 | **64** | 12.77 | 225.6 | 59.6 | 8.37 | 286 | 14.50 | 88.1% |
| 38 | **65** | 12.96 | 228.3 | 59.7 | 8.57 | 293 | 14.84 | 87.3% |
| 39 | **67** | 13.20 | 231.0 | 58.6 | 8.59 | 301 | 14.87 | 88.8% |
| 40 | **68** | 13.53 | 234.0 | 60.0 | 9.04 | 308 | 15.66 | 86.4% |
| 41 | **70** | 13.60 | 236.4 | 58.7 | 9.01 | 316 | 15.61 | 87.1% |
| 42 | **72** | 14.02 | 238.9 | 58.7 | 9.19 | 323 | 15.91 | 88.1% |
| 43 | **73** | 14.91 | 241.9 | 61.6 | 9.92 | 331 | 17.18 | 86.8% |
| 44 | **75** | 15.52 | 244.6 | 63.0 | 10.38 | 339 | 17.99 | 86.3% |
| 45 | **77** | 16.18 | 247.4 | 63.7 | 10.76 | 346 | 18.63 | 86.9% |
| 46 | **79** | 17.09 | 250.2 | 65.4 | 11.31 | 354 | 19.59 | 87.2% |
| 47 | **80** | 18.05 | 253.4 | 67.7 | 12.07 | 363 | 20.90 | 86.4% |
| 48 | **82** | 18.62 | 256.3 | 68.3 | 12.47 | 372 | 21.59 | 86.2% |
| 49 | **84** | 18.91 | 258.9 | 67.9 | 12.64 | 380 | 21.89 | 86.4% |
| 50 | **86** | 18.88 | 261.4 | 67.3 | 12.76 | 388 | 22.10 | 85.4% |
| 51 | **87** | 18.35 | 263.6 | 65.0 | 12.44 | 396 | 21.55 | 85.1% |
| 52 | **89** | 17.68 | 265.5 | 62.1 | 11.96 | 404 | 20.72 | 85.3% |
| 53 | **90** | 15.46 | 266.9 | 57.7 | 11.09 | 411 | 19.21 | 81.2% |
| 54 | **91** | 10.65 | 266.8 | 45.3 | 8.30 | 416 | 14.37 | 75.7% |

| | |
|---|---|
| Urms1 | คือ ค่าแรงดัน (AC) Phase 1 ที่วัดระหว่างขั้วของมอเตอร์ U และ V |
| Irms1 | คือ ค่ากระแส (AC) Phase 1 ที่คล้องจากสายไฟต่อกับขั้วมอเตอร์ U |
| P1 | คือ ค่ากำลังไฟของ Phase1 = Urms1 x Irms1 x Power factor |
| FREQ1 | คือ ค่าความถี่ของ Phase1 |
| Input_Power | เท่ากับ P1 x 1.732 |
| Efficiency | เท่ากับ Input_Power / Dynamometer_Power x 100% |

จากการทดสอบบน Vehicle Dynamometer นำค่าความเร็วและกำลังของเครื่องทดสอบมาเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง Hioki Analyzer จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังที่ให้กับมอเตอร์ PowerP1 ซึ่งเป็นกำลังที่วัดได้จาก phase 1 โดยตั้งสมมติฐานกำลังของมอเตอร์ทั้ง 3phase มีค่าเท่ากัน สามารถนำมาคำนวณกำลัง Input Power โดยคูณด้วย 1.732 จะได้ค่าตามตาราง 3-8 และเมื่อนำ Dyno Power มาหารด้วย Input Power จะได้ค่า ประสิทธิภาพของมอเตอร์ Efficiency




รูป 3-57 กราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ความเร็ว 0-90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากข้อมูลดิบที่นำมาสร้างเป็นตาราง 3-8 พบว่า ค่า Power (P1) ที่อ่านได้เริ่มต้นที่ความเร็ว 5.21 kmh จึงทำให้ค่า Motor Efficiency ช่วง 0-5 khm ไม่สามารถคำนวณได้ ทั้งนี้ ทีมวิจัยคาดว่าน่าจะเกิดจากค่า Power factor ไม่อยู่ในช่วงที่อ่านค่าได้หรือต่ำเกินไป นอกจากนั้น ค่ากำลัง (P1) ที่วัดได้จาก Hioki และค่ากำลังที่วัดได้จาก Dynamo meter ถูกบันทึกเป็น file แยกกันมาที่ sampling rate 100ms และ 50ms ตามลำดับ เมื่อนำมารวมกันต้องปรับข้อมูลให้อยู่ในหน่วยเวลาเดียวกันคือ 100ms โดยพบว่าบางข้อมูลประสิทธิภาพของมอเตอร์มากกว่า 100% ซึ่งอาจเกิดจากการความไวของเซนเซอร์ที่ไม่เท่ากันในช่วงที่ข้อมูลมีการแกว่งในช่วงสั้นๆ (Transcient) ทางทีมผู้วิจัยจึงใช้ค่าเฉลี่ย จากการวัดในแต่ละ 1 วินาที (10 ข้อมูล-วัดทุก 100 ms) มาแสดงผล โดยได้สรุปข้อมูล 54 ข้อมูล จาก 54 วินาที ตามตาราง 3-8

อนึ่ง เนื่องจากการทดลองนี้ ผู้วิจัยจำกัดความเร็วทดสอบไว้ที่ 90 kmh ผู้ขับทดสอบได้ผ่อนคันเร่งลงเมื่อใกล้ถึงความเร็วที่กำหนด สังเกตได้จาก ค่า Input_Power ที่ต่ำลง ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่คำนวณได้จึงลดลงและไม่เป็นไปในแนวทางเดียวกับก่อนหน้านั้น

ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าเฉลี่ยประมาณ 90% ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี เพราะค่าที่วัดได้คือค่าที่มี factor ประสิทธิภาพของชุดเกียร์รวมอยู่ด้วย ดังนั้นถ้าเป็นมอเตอร์อย่างเดียวจะมีค่าสูงกว่านี้

# บทที่ 4
# การปรับตัวของอุตสาหกรรมไทยต่อยานยนต์สมัยใหม่

อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักของประเทศ ที่ช่วยเพิ่มมูลค่า GDP ให้กับประเทศ ปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าเริ่มเข้ามามีบทบาทต่อการใช้งานประจำวันมากขึ้น รัฐบาลจึงได้ตั้งเป้าหมายนำประเทศไทยไปสู่การเป็นศูนย์กลางด้านการผลิตและใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในภูมิภาคอาเซียน และบรรจุนโยบายไว้เป็น 1 ใน 10 อุตสาหกรรมมุ่งเป้า ภายใต้ชื่ออุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ ทั้งนี้มีการคาดการณ์ว่ายานยนต์ไฟฟ้าอาจได้รับความนิยมอย่างสูงในอนาคต ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไทยให้ต้องมีการพัฒนาและยกระดับห่วงโซ่อุปาทาน (Supply chain) เพื่อรองรับเทคโนโลยีการผลิตและการประกอบยานยนต์ไฟฟ้า

## 4.1 แนวทางการพัฒนาผู้ผลิตชิ้นส่วนไทยให้สามารถผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า

### 4.1.1 เปรียบเทียบชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์

เนื่องจากระบบการทำงานของรถไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ BEV แตกต่างจากการทำงานของรถที่ใช้เครื่องยนต์ ผู้ประกอบการจึงต้องปรับตัวให้สอดรับกับความต้องการของตลาด ชิ้นส่วนบางประเภทโดยเฉพาะเครื่องยนต์และระบบส่งกำลังจะหายไปไม่ถูกนำมาใช้ในรถไฟฟ้า และถูกแทนที่ด้วยชิ้นส่วนใหม่อื่นๆ เช่น มอเตอร์ แบตเตอรี่ และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ รูป 4-1 แสดงความเหมือนและความต่างของประเภทชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าแบบ BEV และชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน

| ประเภทชิ้นส่วน | เหมือนกันทั้งหมด | เหมือนกันในบางจุด | ไม่เหมือนกันเลย | ประเภทชิ้นส่วน | เหมือนกันทั้งหมด | เหมือนกันในบางจุด | ไม่เหมือนกันเลย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **กลุ่มตัวถัง** | | | | **กลุ่มระบบส่งกำลัง** | | | |
| • โครงรถ | X | | | • ชุดเพลาส่งกำลัง | | | X |
| • สี | X | | | • คลัตช์ และอุปกรณ์ | | | X |
| • กระจก | X | | | • ชุดควบคุมระบบส่งกำลัง | | | X |
| • ชิ้นส่วนตกแต่งภายใน/ภายนอกรถ | X | | | **กลุ่มแชสซีส์** | | | |
| | | | | • ครงช่วงล่าง | X | | |
| • เบาะที่นั่ง | X | | | • ระบบกันสะเทือน | X | | |
| • แผงหน้าปัดรถยนต์ | | X | | • ระบบบังคับเลี้ยว | | X | |
| • ระบบนิรภัย | X | | | • ระบบเบรค | | X | |
| • ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตัวถัง | X | | | • ระบบท่อไอเสีย | | | X |
| | | | | • ถังเก็บน้ำมัน | | | X |
| • ชิ้นส่วนระบบความร้อนเย็นและระบบระบายอากาศ | | X | | • เฟืองท้าย | X | | |
| | | | | • ล้อและยางรถยนต์ | X | | |
| **กลุ่มเครื่องยนต์** | | | | • กันชน บังโคลน และขอบยางหุ้มกันชน | X | | |
| • เครื่องยนต์ | | | X | | | | |
| • ระบบควบคุมการปล่อยไอเสีย | | | X | • ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สำหรับแชสซีส์ | | X | |
| • ชิ้นส่วนประกอบเครื่องยนต์ | | | X | | | | |
| • ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในเครื่องยนต์ | | | X | • ชิ้นส่วนประกอบและตกแต่งอื่นๆ | X | | |
| | | | | • น้ำมันหล่อลื่น | | X | |
| • ระบบระบายความร้อน | | | X | | | | |

รูป 4-1 ความเหมือนและความต่างของประเภทชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าแบบ BEV และชิ้นส่วนที่ใช้ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน (ที่มา: งานวิจัย ธ.กสิกรไทย) [5.1]

ชิ้นส่วนที่ยังคงมีความต้องการใช้อยู่และอาจเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ โครงรถและตัวถัง (Body) ระบบกันสะเทือนหรือระบบช่วงล่าง (Suspension) ระบบเลี้ยว (Steering) ระบบส่องสว่าง อุปกรณ์ตกแต่ง และอุปกรณ์ภายในรถ เป็นต้น กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่คาดว่าจะยังมีความต้องการต่อเนื่องและสามารถเชื่อมต่อกับสายการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าได้ สำหรับชิ้นส่วนที่มีความต่างกันนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสามพวก ได้แก่ ชิ้นส่วนที่หายไป ชิ้นส่วนที่มีเข้ามาใหม่ และชิ้นส่วนเดิมที่มีการทำงานแตกต่าง ชิ้นส่วนที่จะหายไปในรถยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ (อาทิ หัวฉีด ท่อไอเสีย) ระบบจ่ายน้ำมัน ถังน้ำมัน กลุ่มนี้จำเป็นต้องปรับตัวไปผลิตชิ้นส่วนอื่นๆ แทน ขณะที่ชิ้นส่วนใหม่ที่มีเข้ามาแทน ได้แก่ มอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า ชุดชาร์จแบตเตอรี่ ชุดควบคุมแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังรวมถึงอุปกรณ์ย่อยทางไฟฟ้าอื่นๆ เช่น สายไฟแรงดันสูง บัสบาร์ เซนเซอร์วัดกระแส รีเลย์ เป็นต้น สำหรับกลุ่มที่สามซึ่งเป็นกลุ่มชิ้นส่วนเดิมที่มีอยู่ในรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในแต่มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเดิมเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งสรุปใน ตาราง 4-1

เมื่อพิจารณาผู้ประกอบการ SME ไทย พบว่าส่วนใหญ่เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนระดับ Tier 2 และ Tier 3 โดยมีจำนวนกว่า 600 ราย คิดเป็นประมาณ 60% ของผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดในไทย ส่วนใหญ่มักจะผลิตชิ้นส่วนในผลิตภัณฑ์เพียงกลุ่มเดียว โดยร้อยละ 75 ของผู้ประกอบการ SME มักจะผลิตชิ้นส่วนประเภทอุปกรณ์ตกแต่ง และอื่นๆ รวมถึงชิ้นส่วนประเภทโครงสร้างตัวถัง ที่อาจได้รับผลกระทบน้อยจากการเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุคยานยนต์ไฟฟ้า ขณะที่อีกกว่าร้อยละ 25 จะผลิตชิ้นส่วนในระบบส่งกำลัง ระบบไฟฟ้า และระบบช่วงล่าง ซึ่งจะได้รับผลกระทบมากกว่าหากเกิดการเปลี่ยนแปลง

ตาราง 4-1 ชิ้นส่วนที่มีความแตกต่างไปจากเดิม (ที่มา: เอ็มเทค)

| ชิ้นส่วน | ความแตกต่าง |
|---|---|
| แผงหน้าปัดรถยนต์ | หน้าตาแผงหน้าปัดจะเปลี่ยนไปจากเดิม เพราะข้อมูลที่ต้องการแสดงผลให้แก่ผู้ขับขี่แตกต่างไปจากข้อมูลของรถเครื่องยนต์สันดาปภายใน |
| ระบบปรับอากาศ | ชิ้นส่วนส่วนใหญ่คล้ายเดิม จะแตกต่างตรงคอมเพรสเซอร์ซึ่งแต่เดิมจะขับเคลื่อนด้วยพลังงานกลเปลี่ยนมาเป็นคอมเพรสเซอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าแทน ซึ่งมักจะทำงานที่ระดับแรงดันไฟสูงเนื่องจากต้องการพลังงานสูง (มักเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าเดียวกับชุดแบตเตอรี่) |
| ระบบระบายความร้อน | ระบบขับเคลื่อนที่ใช้ในรถไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการระบายความร้อนด้วยน้ำ ทั้งระบายความร้อนจากมอเตอร์ จากอินเวอร์เตอร์ หรือจากชุดชาร์จไฟ ดังนั้นชิ้นส่วนการระบายความร้อนเดิมยังคงอยู่ อาจมีการปรับเปลี่ยนขนาดแผงหม้อน้ำเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณความร้อนที่ต้องการระบายของรถไฟฟ้าซึ่งจะไม่เท่ากับปริมาณความร้อนในรถเครื่องยนต์สันดาปภายใน ชิ้นส่วนที่แตกต่างที่เห็นได้ชัดคือปั๊มน้ำไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนจากการขับเคลื่อนด้วยพลังงานกลมาเป็นปั๊มน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าแทน |
| ชุดเกียร์ | ในระยะยาวชุดเกียร์อาจจะมีหรือไม่มีขึ้นกับมอเตอร์และประเภทของรถยนต์ สำหรับรถยนต์นั่งทั่วไปในระยะสั้นชุดเกียร์จะเปลี่ยนจาก multi speed เป็น single speed ที่มีเฟืองขบกันอย่างง่าย ชิ้นส่วนที่ซับซ้อนภายในเกียร์ เช่น ชุดซิงโครนในเกียร์ธรรมดา แผ่นคลัทช์และชุดวงจรไฮโดรลิกในเกียร์อัตโนมัติจะไม่มีความจำเป็นอีกต่อไป |
| ระบบบังคับเลี้ยว | แตกต่างกันตรงชุด power steering ที่จะเปลี่ยนมาเป็น actuator ที่ขับด้วยไฟฟ้า |
| ระบบเบรก | แตกต่างกันตรงชุด vacuum pump ซึ่งจะเปลี่ยนจากปั๊มที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานกลมาเป็นปั๊มที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าแทน นอกจากนี้ผ้าเบรกอาจแตกต่างออกไปเพราะจะต้องรองรับการใช้งานที่มีอายุการใช้งานนานขึ้นกว่าจะเปลี่ยนผ้าเบรก เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้ามีระบบการดึงพลังงานกลับขณะเบรก |
| เพลาขับและเฟืองท้าย | หากมีการนำมอเตอร์แบบ In-wheel มาใช้ก็จะทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้เพลาขับและเฟืองท้าย |
| ล้อ | หากมีการนำมอเตอร์แบบ In-wheel มาใช้ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อล้อรถยนต์ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะอินทิเกรดมอเตอร์เข้ากับล้อเป็นชิ้นส่วนเดียวกัน |
| น้ำมันหล่อลื่น | ยังมีความจำเป็นต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นอยู่ในชุดเกียร์ แต่จำเป็นต้องมีการปรับให้เหมาะสมกับชุดเกียร์ของรถไฟฟ้า เนื่องจากมอเตอร์มีความเร็วรอบสูงมาก<br>ที่มา: เอ็มเทค |

### 4.1.2 ผลกระทบของยานยนต์ไฟฟ้าและแนวทางการปรับตัวสำหรับอุตสาหกรรมรถยนต์ ผู้ผลิตชิ้นส่วน ตัวแทนจำหน่ายและศูนย์บริการ

ในส่วนของผู้ผลิตรถยนต์นั้น ในระยะแรกยังคงไม่ได้รับผลกระทบมากนัก เนื่องจากความต้องการของตลาดในประเทศยังเติบโตแบบค่อยเป็นค่อยไป และยังมีตลาดส่งออกคอยสนับสนุน อย่างไรก็ตาม ในส่วนของการผลิตรถเพื่อการส่งออกนั้นอาจมีผลกระทบบ้างขึ้นกับตลาดที่ส่งออก หากเป็นตลาดส่งออกในภูมิภาคอาเซียนนี้คาดว่ายังไม่ได้รับผลกระทบนักเนื่องจากตลาดของรถไฟฟ้าในภูมิภาคนี้ยังมีเพียงเล็กน้อย แต่หากเป็นตลาดในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น สหราชอาณาจักร ยุโรปตะวันตก และจีน เป็นต้น ก็จะเห็นผลกระทบเป็นอันดับแรก

ในส่วนของผู้ผลิตชิ้นส่วนจะขึ้นกับผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนนั้นว่าเป็นอะไร หากเป็นพวก โครงและตัวถังรถ (Chassis and Body) ระบบช่วงล่าง ระบบส่องสว่าง อุปกรณ์ภายใน ก็จะไม่ได้รับผลกระทบมากนัก แต่หากเป็นชิ้นส่วนเครื่องยนต์ ระบบส่งกำลัง ระบบไอเสีย ระบบจ่ายน้ำมันและถังน้ำมัน เป็นต้น ก็จะได้รับผลกระทบอย่างมากในอนาคต เนื่องจากความต้องการลดลงอันเป็นผลจากการที่เครื่องยนต์จะถูกแทนที่ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีผลกระทบทางอ้อมต่อชิ้นส่วนประเภทอะไหล่ทดแทน อาทิเช่น ผ้าเบรก เนื่องจากรถไฟฟ้ามีระบบดึงพลังงานกลับ (Regenerative braking) หรืออะไหล่จำพวก ไส้กรองน้ำมันเครื่อง กรองอากาศ น้ำมันเครื่อง เป็นต้น

ในส่วนของศูนย์บริการและร้านซ่อมรถยนต์คาดว่าจะมีผลกระทบค่อนข้างมาก โดยเฉพาะศูนย์บริการหรือศูนย์ซ่อมที่เกี่ยวข้องข้องกับระบบขับเคลื่อนเนื่องจากรถไฟฟ้ามีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่น้อยลง ทำให้การสึกหรอต่ำ และไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก อาทิเช่น ไม่ต้องคอยเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง ไม่ต้องเปลี่ยนไส้กรอง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ศูนย์บริการและร้านซ่อมต้องเผชิญอีกด้วย เช่น มอเตอร์ แบตเตอรี่แรงดันสูง ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ในส่วนผู้แทนจำหน่ายมีผลกระทบไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นเรื่องของบุคลากรที่จำเป็นต้องเรียนรู้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าเพื่อสามารถทำวิจัยตลาด ส่งเสริมการขาย ตลอดจนให้ข้อมูลกับผู้บริโภคได้ นอกจากนี้อาจจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ชาร์จเพื่อเตรียมรถสำหรับการทดลองขับหรือก่อนส่งมอบรถให้ลูกค้า

นอกจากผลกระทบต่ออุตสาหกรรมยานยนต์แล้ว เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้ายังส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอื่นๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียมซึ่งจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนไปใช้รถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากปริมาณการบริโภคน้ำมันในปัจจุบันอยู่ในภาคขนส่งกว่าร้อยละ 25 ซึ่งเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าจะทำให้ความต้องการบริโภคน้ำมันในกลุ่มนี้หายไป หรือเปลี่ยนรูปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้าแทน ซึ่งส่งผลให้ธุรกิจผลิตไฟฟ้าตลอดจนธุรกิจโครงข่ายและจำหน่ายไฟฟ้าขยายตัว ในขณะเดียวกันอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าจะพลอยได้รับอนิสงค์จากการขยายตัวของรถไฟฟ้ามากขึ้น

### 4.1.3 โอกาสสำหรับการพัฒนาธุรกิจและผู้ประกอบการใหม่ๆ

เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าเป็นการประยุกต์ใช้ชิ้นส่วนใหม่ๆและเทคโนโลยีขั้นสูงจำนวนมาก จึงถือเป็นโอกาสสำหรับธุรกิจใหม่ๆด้วย เช่น การพัฒนาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในยานยนต์ และการพัฒนาแอพพลิเคชั่นสำหรับรถยนต์ เนื่องจากรถไฟฟ้าจะมีความเป็นอิเล็กทรอนิกส์และดิจิทัลมากขึ้น ทั้งนี้รวมถึงธุรกิจ

ออนไลน์ที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ด้วย อาทิเช่น แอพพลิเคชั่นค้นหาสถานีชาร์จ เป็นต้น ทั้งนี้พบว่ากว่าร้อยละ 90 ของนวัตกรรมด้านยานยนต์และชิ้นส่วนในปี 2012 เกี่ยวข้องกับ information technology (IT) ซอฟต์แวร์และอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้าน active safety และ infotainment

นอกจากยังมีธุรกิจสร้างสถานีชาร์จเพื่อให้บริการชาร์จไฟแก่รถไฟฟ้า เนื่องจากเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ และยังรวมไปถึงอุปกรณ์ชาร์จไฟฟ้าแบบพกพา เพื่อความสะดวกหากเกิดเหตุให้ต้องชาร์จไฟ อีกทั้งยังมีธุรกิจใหม่ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ เช่น บริการเปลี่ยนแบตเตอรี่แบบด่วน (Swappable Battery) และธุรกิจการนำแบตเตอรี่มาใช้ใหม่ เป็นต้น

### 4.1.4 แนวทางการพัฒนาชิ้นส่วนของผู้ประกอบการ

1. ติดตามข้อมูลอย่างใกล้ชิดตลอดจนศึกษานวัตกรรมใหม่ๆ เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมและสนองต่อยานยนต์ไฟฟ้าสมัยใหม่ อาทิเช่น การใช้อิเล็กทรอนิกส์เพื่อทำให้ชิ้นส่วนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นและประหยัดพลังงาน หรือ การออกแบบชิ้นส่วนให้มีขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบา ซึ่งเป็นที่ต้องการอย่างมากในยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อชดเชยกับขนาดและน้ำหนักแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งตลอดจนเพื่อให้ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่สำหรับการขับเคลื่อนน้อยที่สุด [5.1]

2. แสวงหาผู้ร่วมทุนในการพัฒนาสินค้า อาจจะจับมือกับผู้ประกอบการใน Tier สูงขึ้นไปทั้งในและต่างประเทศเพื่อพัฒนาสินค้า หรือการร่วมลงทุนกับนักลงทุนต่างชาติให้มาลงทุนในไทย ซึ่งยังช่วยให้เกิดการถ่ายทอดเทคโนโลยีใหม่ๆและช่วยสร้างโอกาสในการขยายฐานลูกค้าได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังอาจร่วมมือกับหน่วยวิจัยของรัฐในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะได้รับสิทธิทางภาษีด้วยอีกทางหนึ่ง

3. พัฒนาสินค้าให้หลายหลาย เพื่อลดความเสี่ยงในการผลิตชิ้นส่วนแบบเดิมอย่างเดียว โดยอาศัยความเชี่ยวชาญเดิมให้เกิดประโยชน์ เริ่มแรกอาจจะพัฒนาสินค้าที่มีไปสู่การใช้งานในยานยนต์ประเภทอื่นๆ หรือพัฒนาสินค้าให้มีความยืดหยุ่นสามารถสนองความต้องการของลูกค้าหลายกลุ่มได้

4. บริหารจัดการต้นทุนให้สามารถแข่งขันได้ ทั้งต้นทุนของสินค้าและต้นทุนความเสี่ยงอื่นๆ เช่น อัตราแลกเปลี่ยน

5. พัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการนำระบบอัตโนมัติเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิต และการนำเครื่องจักรที่มีเทคโนโลยีสูงเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตมากขึ้น เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพการผลิต

6. พัฒนาบุคลากร ผู้ประกอบการจำเป็นต้องวางรากฐานการพัฒนาบุคลากรฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เข้าใจถึงเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าเพื่อสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการ ตลอดจนพัฒนาพนักงานฝ่ายผลิตให้มีทักษะหลากหลายและยืดหยุ่นมากขึ้นเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น

สำหรับแนวทางการพัฒนาชิ้นส่วนหลักอันได้แก่ มอเตอร์ และแบตเตอรี่นั้น การจัดหาเครื่องจักรใหม่ โดยเฉพาะเครื่องจักรในการพันขดลวด และเครื่องจักรในการใส่แม่เหล็ก ประกอบกับการซื้อแม่เหล็กสำเร็จรูป จะช่วยให้เกิดการผลิตมอเตอร์ในประเทศขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการผลิตที่มั่นคงผู้ผลิตจำต้องสามารถออกแบบและพัฒนามอเตอร์ขึ้นเองให้ได้ ซึ่งการจะออกแบบและพัฒนามอเตอร์ขึ้นเองนั้นจำเป็นต้องมี

องค์ความรู้ในการออกแบบทั้งในส่วนของมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ควบคู่กัน ซึ่งควรแสวงหาผู้ร่วมทุนในการวิจัยและพัฒนามอเตอร์ ตลอดจนการจ้างผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศเพื่อรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ในส่วนของแบตเตอรี่นั้นอาจมีแนวทางการพัฒนาชุดแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ การซื้อเซลแบตเตอรี่เพื่อนำมาผลิตชุดแบตเตอรี่ การซื้ออิเล็กโทรดเพื่อนำมาผลิตเซลแบตเตอรี่เพื่อประกอบเป็นชุดแบตเตอรี่ภายหลัง และการผลิตตั้งแต่อิเล็กโทรดเองเลยก่อนจะนำมาผลิตเป็นเซลแบตเตอรี่และชุดแบตเตอรี่ตามลำดับ การผลิตในรูปแบบแรกเป็นการผลิตเพียงส่วนเดียว ใช้เครื่องจักรไม่มากสามารถเริ่มได้ไม่ยากนัก ขณะที่การผลิตในรูปแบบที่สามเป็นการผลิตเต็มรูปแบบเริ่มตั้งแต่ผงวัสดุ ซึ่งกว่าจะผลิตเป็นชุดแบตเตอรี่จำต้องผ่านกระบวนการผลิตหลายแบบ และการผลิตต้องทำในห้องคลีนรูมเพราะเซลแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงจำต้องมีวัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูง นอกจากนี้หากต้องการพัฒนาเซลแบตเตอรี่เองยังต้องการองค์ความรู้เชิงลึกทางไฟฟ้าเคมีเพื่อให้เกิดการวิจัยพัฒนาเซลแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

ในส่วนของโครงสร้างตัวถังซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ผู้ประกอบการ SME ไทยส่วนใหญ่ผลิต แม้ดูเหมือนได้รับผลกระทบจากยานยนต์ไฟฟ้าน้อย แต่ก็ยังต้องปรับตัวโดยเฉพาะการลดน้ำหนักซึ่งจะไปช่วยเพิ่มระยะทางในการเดินทาง อันเป็นจุดอ่อนของยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน ผู้ประกอบการอาจต้องยกระดับการผลิตให้สามารถผลิตเหล็กความแข็งแรงสูงได้หรือมองถึงการใช้วัสดุน้ำหนักเบาอื่นๆ เช่น อลูมิเนียม คอมโพสิต เป็นต้น รวมถึงพัฒนาให้รองรับการผลิตโครงสร้างที่มีความซับซ้อนสูงได้ ในส่วนของอุปกรณ์ภายในก็เช่นกันต้องลดน้ำหนักลง และพัฒนาเรื่องพื้นที่ใช้สอยเนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าต้องรองรับชุดแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดข้อจำกัดในการออกแบบ ขณะที่ในส่วนของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบความร้อน ระบบส่องสว่าง เครื่องเสียง ประตูไฟฟ้า และอื่นๆ ก็ต้องเพิ่มมูลค่าให้สูงขึ้น ผู้ประกอบการต้องพัฒนาสินค้าให้ประหยัดพลังงาน ซึ่งจะไปช่วยเพิ่มระยะทางในการเดินทางของรถไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ต้องพัฒนาสินค้าให้รองรับกับระบบแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น เช่น 42V เนื่องจากมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพมากกว่า หรือในกรณีระบบปรับอากาศซึ่งต้องใช้พลังงานสูงก็อาจใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับชุดแบตเตอรี่และใช้ระบบอินเวอร์เตอร์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ

### 4.1.5 มาตรการส่งเสริมเพื่อพัฒนาของผู้ประกอบการ

1. การส่งเสริมการลงทุน เช่น การให้สิทธิประโยชน์ยกเว้นอากรขาเข้าเครื่องจักร ลดหย่อนอากรขาเข้าวัตถุดิบและวัสดุจำเป็น ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล ยกเว้นอากรนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่สำเร็จรูป (CBU) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการใช้งานและเป็นการทดลองตลาด โดยเน้นผู้ประกอบการที่ผลิตชิ้นส่วนหลักของยานยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ แบตเตอรี่ มอเตอร์ไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ ระบบปรับอากาศด้วยไฟฟ้า ระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ (BMS) ระบบควบคุมการขับขี่ (DCU) อุปกรณ์ชาร์จไฟบนรถ (On-Board Charger) สายชาร์จแบตเตอรี่พร้อมเต้ารับ-เต้าเสียบ อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC/DC Converter) อุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้า (Breaker) และอุปกรณ์ชาร์จประจุประเภทต่างๆ เป็นต้น ในปัจจุบันรัฐบาลพยายามผลักดันให้มีการจัดตั้งนิคมอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ไฮเทคที่ จ.ฉะเชิงเทรา

2. การกระตุ้นตลาดภายในประเทศ ซึ่งสามารถเริ่มจากการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจ เช่น ขสมก. บมจ.การท่าอากาศยานไทย เป็นต้น โดยทำการเพิ่มสัดส่วนรถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด

และรถไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ที่หน่วยงานจัดหา หรือส่งเสริมให้เกิดการนำร่องใช้งานในพื้นที่พิเศษหรือเขตปลอดมลพิษ ตลอดจนศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนรถแท็กซี่และรถสามล้อรับจ้างให้ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า โดยนำร่องใช้งานเพื่อการท่องเที่ยว

3. การเตรียมความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน อันได้แก่ การติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าในพื้นที่เป้าหมายและถนนหลักที่เชื่อมต่อพื้นที่เป้าหมาย การก่อตั้งศูนย์ทดสอบ รวมทั้งพิจารณาจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์และจัดเตรียมความพร้อมด้านบุคลากรเพื่อรองรับการทดสอบรถยนต์หรือชิ้นส่วนยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า

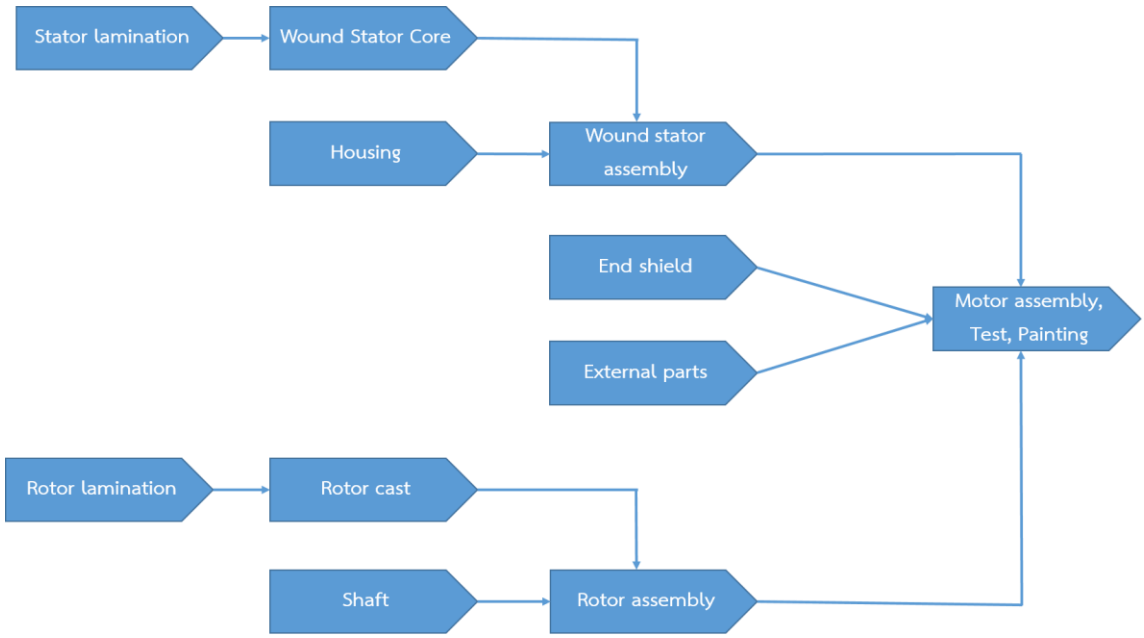
4. การจัดทำมาตรฐานรถยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ ระบบการประจุไฟฟ้าของรถไฟฟ้า ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และมิเตอร์กระแสตรงเพื่อใช้ในการจำหน่ายไฟฟ้า

## 4.2 แนวทางการผลิตชิ้นส่วนหลักยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ

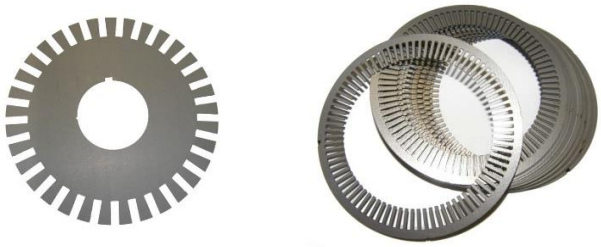
### 4.2.1 แนวทางการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

การผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละประเภทจะมีกรรมวิธีและกระบวนการผลิตที่ต่างกันไปตามชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า ในส่วนนี้จะนำเสนอเฉพาะในส่วนของการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าที่นิยมนำมาใช้เป็นมอเตอร์ต้นกำลังสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า โดยได้นำการผลิต Permanent Magnet AC (PMAC) ยกเป็นตัวอย่างประกอบเพื่อประกอบการอธิบาย

การขั้นตอนการผลิต PMAC สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลักได้แก่ การผลิตสเตเตอร์และโร-เตอร์ ตามที่แสดงใน รูป 4-2 ขั้นตอนแรกของการผลิตจะเริ่มต้นจากการผลิต Stator และ Rotor Lamination (รูป 4-3) โดยส่วนใหญ่นิยมการขึ้นรูปด้วยการ Stamping แผ่นโลหะอัลลอย ซึ่ง Lamination จะมีความหนาไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร




รูป 4-2 AC Motor manufacturing process flow [5.21]



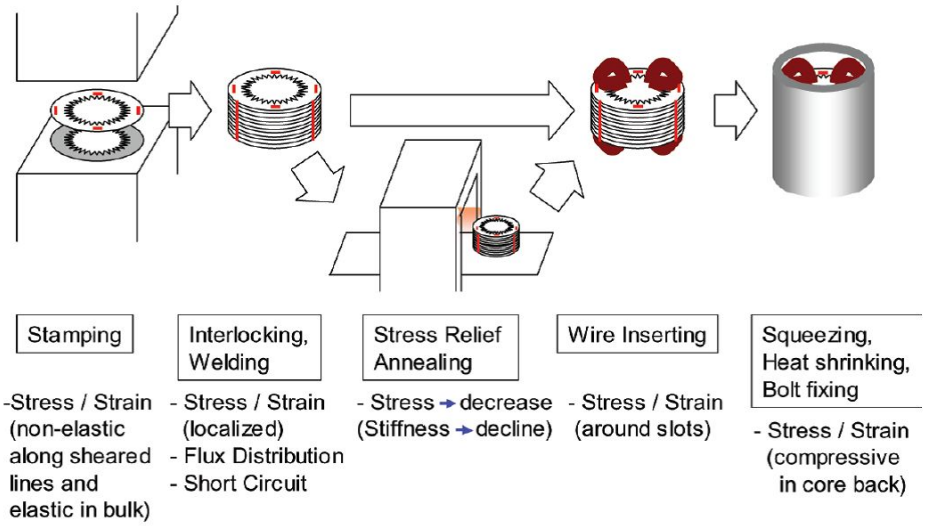
รูป 4-3 (left) Rotor lamination, (right) Stator lamination [5.31]

หลังจากกระบวนการขึ้นรูปด้วยจาก Stamping แล้วจะมีการทำ Heat treatment เพื่อลดความเครียด (Stress) ให้กับ Lamination จากนั้น Lamination จะถูกนำมาเรียงซ้อนและเชื่อมเข้าด้วยกันเป็น Stack ก่อนที่จะนำไปประกอบเข้ากับขดลวด จะทำ Treatment เพื่อลดความเครียดอีกครั้ง

จากนั้นจะทำการใส่ Insulation เพื่อป้องกันความเสียหายของขดลวด จากนั้นจะทำการ Wire inserting หรือการนำเอาขดลวดทองแดง ซึ่งได้ทำการพันเป็นขดไว้ก่อนแล้ว ด้วยเครื่องจักร (รูป 4-4) มาสอดประกอบเข้ากับ Stator lamination stack ดังที่แสดงใน รูป 4-5 เมื่อเสร็จสิ้นแล้ว Wound stator core จะถูกนำไปสอดประกอบเข้ากับ Stator Housing ซึ่งผลิตมาจากกระบวนการ Casting และ Machining รูป 4-6 แสดงขั้นตอนการผลิต Wound stator core

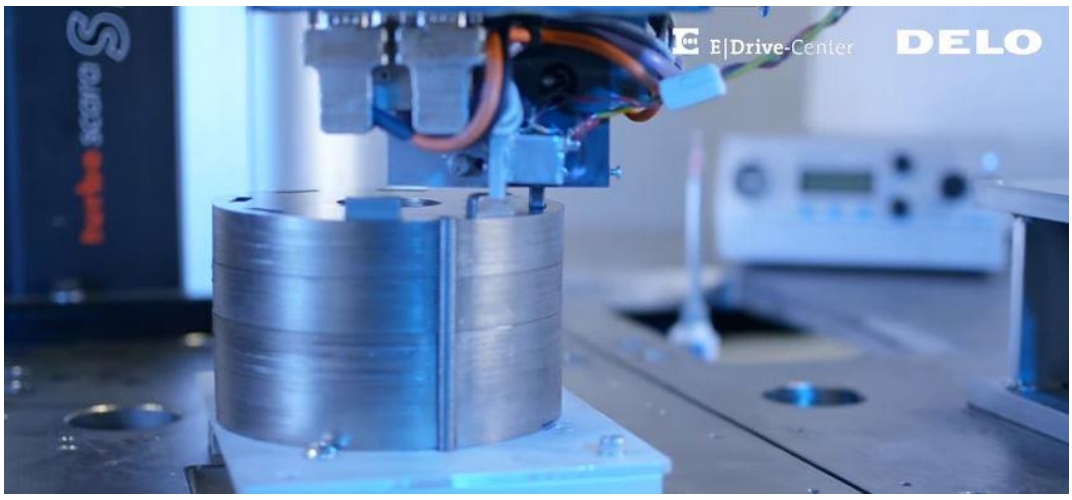
รูป 4-4 การพันขดลวดทองแดง [5.22]

รูป 4-5 Wire inserting




รูป 4-6 Wound stator core manufacturing process [5.33]

ในส่วนของการผลิต Rotor Core จะประกอบด้วย 2 ส่วนย่อยคือการผลิต Shaft ซึ่งดำเนินการกระบวนการ Machining และการผลิต Rotor Cast ซึ่งเป็นการนำ Rotor Lamination มาเรียงซ้อนกันผ่านการกด (Pressing) ก่อนที่จะสอดแม่เหล็กเข้าไป (Magnet inserting) ดังที่แสดงไว้ในรูป 4-7 จากนั้นจะทำให้ชิ้นงานติดเข้าด้วยกันด้วยกรรมวิธี Casting




รูป 4-7 Magnet inserting [5.24]

เมื่อการผลิตโรเตอร์และสเตเตอร์เสร็จสิ้นแล้วจะนำทั้งสองส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันพร้อมกับ Housing สำหรับการประกอบต้องคำนึงจัดวางตำแหน่งโรเตอร์ โดยโรเตอร์ต้องตั้งอยู่ตรงกลางของสเตเตอร์เพื่อให้ช่องว่างระหว่างโรเตอร์และสเตเตอร์มีระยะที่เท่ากันโดยรอบ เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์จะขึ้นกับช่องว่างระหว่างดังกล่าว

การผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าประกอบไปด้วยกระบวนการและกรรมวิธีย่อยมากมายและหลากหลาย โดยสามารถแยกได้เป็น

Machining process ใช้ในการผลิต Shaft, Motor Housing

Stamping process ใช้ในการผลิต Lamination

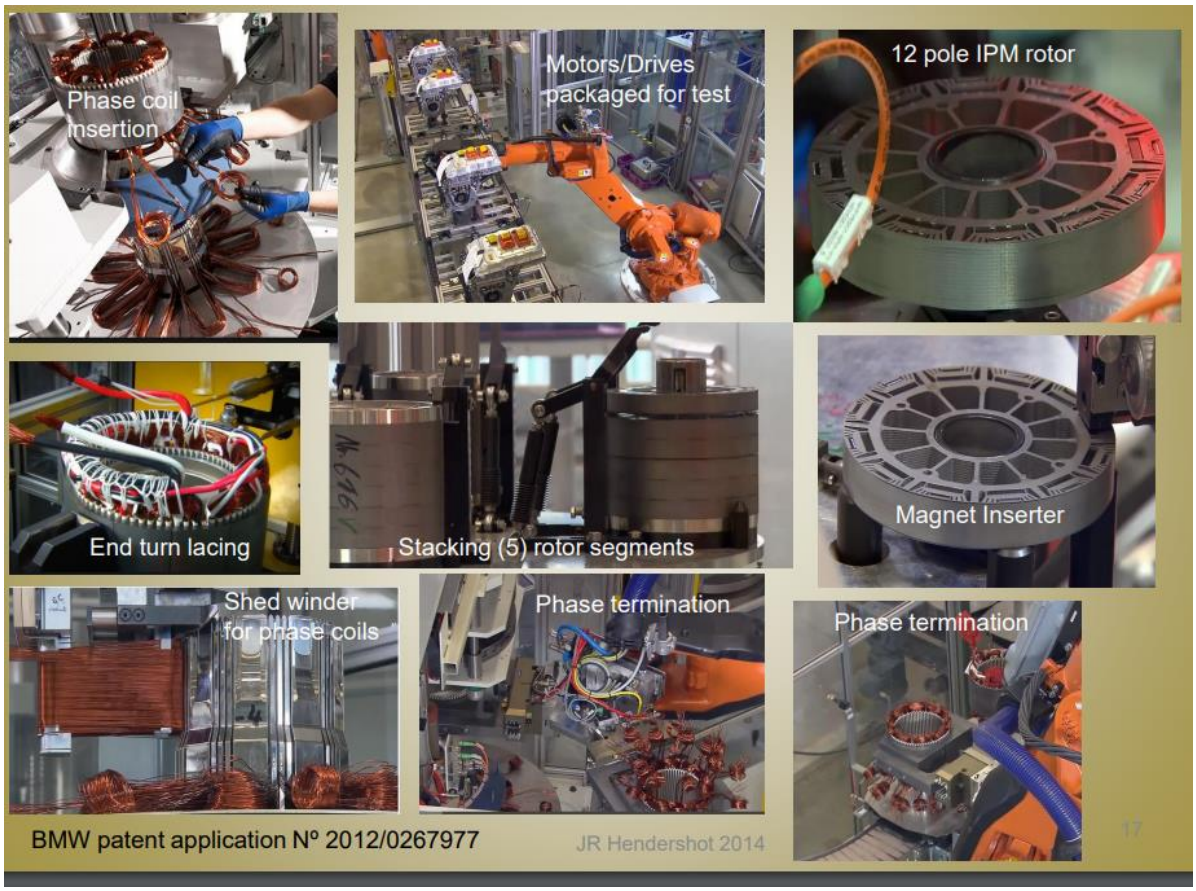
Cutting process ใช้ในการผลิต Lamination

Welding process ใช้ในการผลิต Stator core

Heat treatment สำหรับการลดความเครียดของ Lamination

Winding manufacturing (การพันขดลวด) ซึ่งประกอบไปด้วย coil manufacturing winding inserts และ insulation treatment ซึ่งจะรวมไปถึง short-circuit ring welding

ทั้งนี้ยังมีขั้นตอนในการ Assembly ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีเครื่องมือและอุปกรณ์เฉพาะอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่างๆ จำเป็นต้องทำเป็นระบบอัตโนมัติให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูป 4-8 แสดงขั้นตอนย่อยบางขั้นตอนในการผลิต IPM ของบริษัท BMW จากรูปจะเห็นว่าได้มีการนำเอาเครื่องจักรมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในทุกขั้นตอน




รูป 4-8 IPM production process-BMW [2.1]

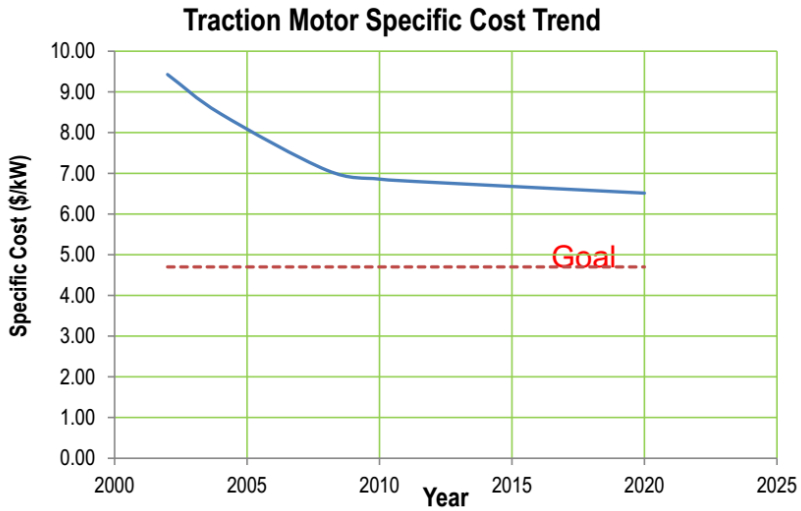
การควบคุมคุณภาพการผลิต (QC) ในการผลิตมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีการตรวจสอบคุณภาพในแต่ละขั้นตอนการผลิต หัวข้อการทดสอบครอบคลุมทั้งการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับทางกล ทางไฟฟ้า ทางความร้อน การตรวจสอบคุณภาพสามารถแบ่งออกเป็นการตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิต และการตรวจสอบคุณภาพภายหลังการผลิต การตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิตเริ่มจากการตรวจสอบวัสดุต้นทางที่ใช้ในกระบวนการผลิต อาทิ คุณภาพมาตรฐานของโลหะที่นำมาใช้ผลิต ต้องได้มาตรฐานความแข็งแรงตามที่กำหนดไว้ ชิ้นส่วนที่ผ่านกระบวน Machining เช่น Shaft หรือ Motor housing ต้องได้รับการทำความสะอาดหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเพื่อป้องกันเศษโลหะเข้าไปในมอเตอร์ และควรมีการสุ่มตรวจสอบมิติของชิ้นงานเป็นระยะๆ ในส่วนของชิ้นส่วน Lamination ควรต้องมีการตรวจสอบความหนาของแผ่นโลหะ ก่อนเข้ากระบวนการ Stamping และ Cutting และควรมีการสุ่มตรวจ Tolerance ของ Lamination ที่ขึ้นรูปและผ่านกระบวนการ

Heat Treatment แล้วอย่างสม่ำเสมอ สเตเตอร์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วต้องผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบการนำไฟฟ้าของขดลวด และตรวจสอบการลัดวงจรที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมปลายขดลวดเพื่อทำจุดเชื่อมต่อ หลังจากที่สเตเตอร์ผ่านการเคลือบผิวแล้ว ควรทดสอบความหนาของการเคลือบด้วย ในส่วนของ Lamination ทั้งในการผลิต Rotor core และ Stator core ต้องมีการตรวจสอบจำนวนชิ้นของ Lamination ระหว่างการซ้อนเรียงก่อนที่จะเข้ากระบวนการ Welding และ Casting เพื่อป้องกันการผิดพลาดด้านขนาด และต้องทำการตรวจสอบเรื่องมิติอีกครั้งหลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าวแล้ว หลังจากการประกอบ Shaft เข้ากับ Rotor cast ต้องทำการ Run Out เพื่อทดสอบการหมุนของ Rotor ก่อนที่จะนำเข้าไปประกอบกับ สเตเตอร์

การตรวจสอบคุณภาพภายหลังการผลิต ประกอบไปด้วยการทดสอบทางกล ทดสอบการหมุนของ โรเตอร์ เพื่อทดสอบสมดุลของการหมุน ก่อนที่จะทำการทดสอบทางไฟฟ้า ทดสอบ Run in ทดสอบประสิทธิภาพ และทดสอบการสั่นสะเทือน

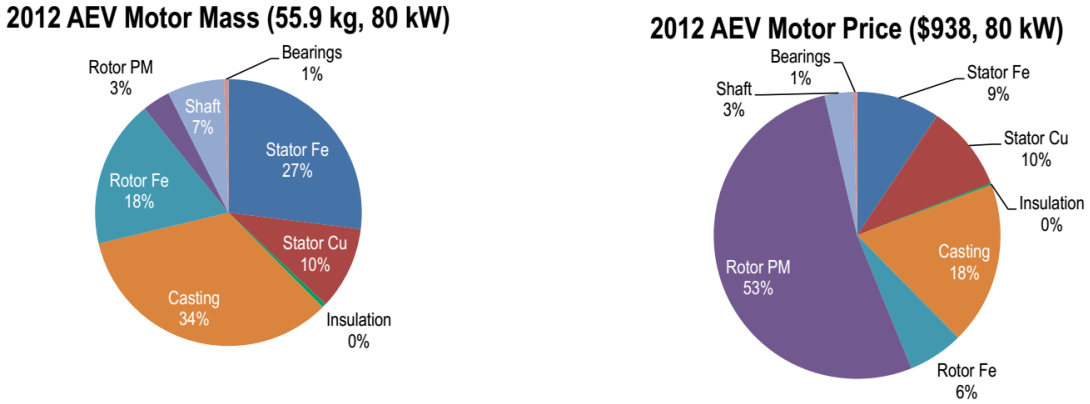
ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา แม้ว่าจะมีการเพิ่มการผลิต Traction motor ตามความต้องการในการใช้ สำหรับใช้ยานยนต์ไฟฟ้าที่มากขึ้นก็ตาม ราคามอเตอร์ไฟฟ้าต่อกำลังงานในหน่วย kWh ที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสร้างได้ มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มากนักตามที่เคยมีการคาดการณ์ไว้ ดังที่แสดง รูป 4-9 เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักและราคาประเมินของชิ้นส่วนที่สำคัญในมอเตอร์ไฟฟ้าประเภท Interior Permanent Magnet AC (IPM-AC) ซึ่งเป็นประเภทมอเตอร์ที่ใช้ในรถยนต์ Nissan Leaf ดังที่แสดงในรูป 4-10 และ รูป 4-11 จะพบว่า โรเตอร์ เป็นชิ้นส่วนที่มีมูลค่าสูง สาเหตุเนื่องมาจาก แร่ธาตุที่นำมาใช้แม่เหล็กถาวรซึ่งประกอบไว้ใน โรเตอร์ มีราคาสูงมาก

Neodymium Iron Boron (NdFeB) เป็นแร่ธาตุในกลุ่ม Hard magnetic material ที่ถูกนำมาใช้เป็นแม่เหล็กถาวรใน โรเตอร์ ดังที่แสดง นอกจากนั้นแล้วยังมีการใช้ Dysprosium ซึ่งเป็น Heavy Rare Earth Element (HRE) เพิ่มเข้าไปใน NdFeB เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการลดการเป็นแม่เหล็ก (Ability to withstand demagnetization) เมื่อมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเกินกว่า 100 °C ซึ่งเป็นสภาวะที่โรเตอร์ ของมอเตอร์ไฟฟ้าจะต้องเผชิญในการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้า [5.19]

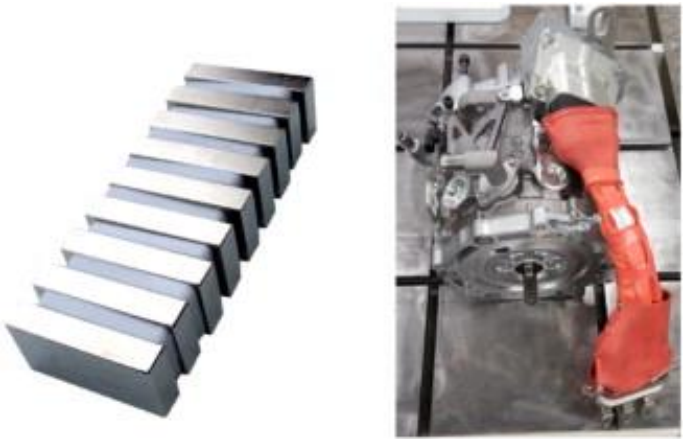



รูป 4-9 Traction Motor Specific Cost Trend [5.20]

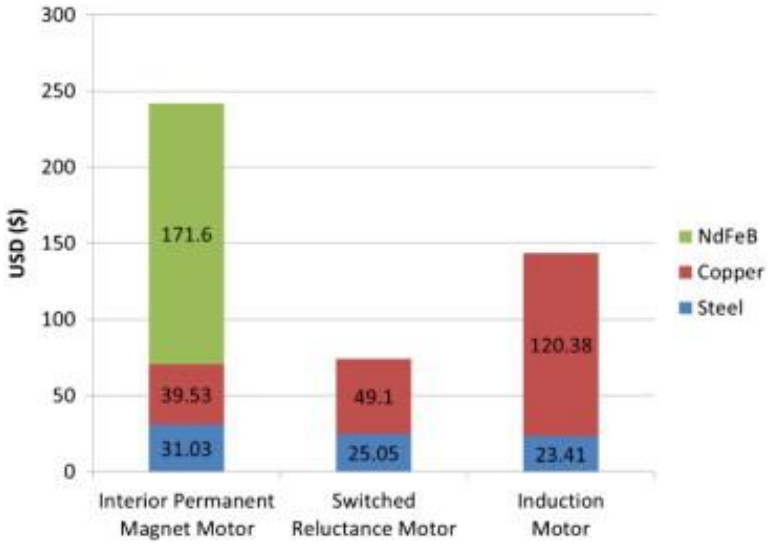
ทั้ง NdFeB และ Dysprosium เป็นแร่ธาตุที่หายากและมีจำนวนน้อย และมีแหล่งผลิตอยู่เฉพาะบางประเทศเท่านั้น ในปัจจุบันประเทศจีนเป็นผู้ผลิตแร่ธาตุดังกล่าวรายใหญ่ของโลก รูป 4-12 แสดงถึงสัดส่วนราคาแร่ธาตุที่ใช้ในมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ AC จะเห็นได้ชัดว่า สัดส่วนราคาของ NdFeB ใน IPMAC สูงมากเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้าประเภท Induction และ Switched Reluctance




รูป 4-10 Mass and cost calculations for IPM traction motor [5.20]

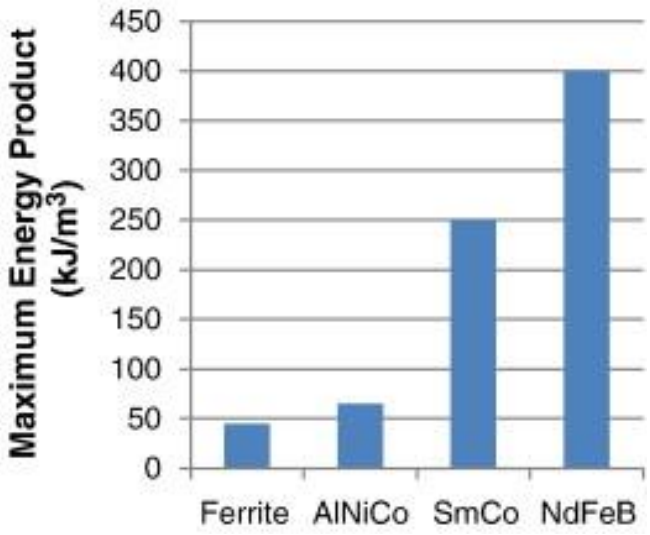


รูป 4-11 (Left) An example of a sintered NdFeB magnet and (right) the 80 kW interior permanent magnet motor from the Nissan Leaf, in which such magnets are use [5.19]




รูป 4-12 Materials cost in a 30 kW traction motor for a motor with rare earth magnets (‘interior permanent magnet motor’) and two options without [5.19]

แม้ว่าจะมีความพยายามในการหาวัตถุดิบอื่นเพื่อมาทดแทนการใช้ NdFeB แต่ก็ยังไม่ผลเป็นที่น่าพอใจยิ่งนัก เนื่องจาก NdFeb ยังมีความสามารถในการผลิตพลังงานได้มากกว่าแร่ธาตุที่เป็นแม่เหล็กชนิดอื่นๆ เช่น Samarium–cobalt magnet (SmCo) หรือ Aluminum Nickel Cobalt Magnet (ALNCo) หรือ Ferrite Magnet ดังที่แสดงรูป 4-13




รูป 4-13 Comparison between the Maximum Energy Product of differing hard magnetic materials [5.19]

สำหรับการผลิตระบบควบคุมมอเตอร์หรืออินเวอร์เตอร์นั้น มีวัตถุดิบได้แก่ ความต้านทาน ไดโอด สวิทช์คาปาซิเตอร์ ทรานซิสเตอร์ เอสซีอาร์ มอสเฟต ฮีทซิงค์ ไอซี เอลอีดี คอนเนคเตอร์ สายไฟ รีเลย์ PCB แจ็ค ฟิวส์ ตะกั่วเหลว สารเคลือบเงา และอื่นๆ กระบวนการผลิตเริ่มจากการตรวจสอบอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ก่อนการประกอบลงบนแผ่น PCB อุปกรณ์อาจเป็นแบบ surface-mount (SMD) หรือแบบ through-hole หลังจากนั้นใส่ตะกั่วเหลว (solder paste) ลงบน PCB ด้วยการหยอดหรือ screen ด้วยเครื่องปาดตะกั่ว ซึ่งจะพิมพ์ตะกั่วเหลวที่เป็นครีมๆคล้ายยาสีฟันสีเงินๆลงไปบนส่วนที่เป็น pad แล้วนำอุปกรณ์ SMD ไปวางด้วยเครื่องวางอุปกรณ์ ซึ่งจะแกะอุปกรณ์ออกจากม้วนหรือแผง ดูดอุปกรณ์ด้วยหัวสุญญากาศ แล้วนำไปวางบนบอร์ด เครื่องจะรู้ตำแหน่งโดยการใช้กล้องถ่ายภาพร่วมกับ image processing อุปกรณ์ที่วางไปแล้วก็จะติดอยู่บนบอร์ดด้วยความเหนียวของ solder paste จากนั้นนำชิ้นงานไปอบตะกั่วด้วยเครื่อง refolw เตาอบตะกั่วจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของตะกั่ว ซึ่งการตั้งค่าอุณหภูมิเตาอบขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณอุปกรณ์บนแผงวงจร ชนิดตะกั่วที่ใช้ หรือความเร็วสายพานลำเลียง หลังการอบจะตรวจสอบแผงวงจรอินเวอร์เตอร์ด้วยสายตาผ่านกล้องขยาย อาจมีการใช้ template ทาบเพื่อตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ที่ถูกต้องอยู่ในตำแหน่งหรือไม่ จากนั้นถ้าต้องใช้อุปกรณ์แบบ through-hole ผสมด้วย ก็ให้นำอุปกรณ์ไปใส่บน PCB ด้วยเครื่องเสียบ ซึ่งจะทำงานด้วย image processing เมื่อเสียบอุปกรณ์เสร็จจะตัดขาและล็อคขาเข้ากับบอร์ดให้อัตโนมัติ แล้วนำแผงวงจรไปเข้าเครื่อง wave solder หรืออ่างตะกั่ว เพื่อบักกรี อ่างตะกั่วจะละลายตะกั่วไว้พร้อมแล้วทำให้ไหลผ่านด้านใต้บอร์ด เป็นผลให้ตะกั่วติดกับขาอุปกรณ์ แล้วนำไปตรวจสอบผลการประกอบอุปกรณ์บนแผงวงจรด้วยเครื่องทดสอบความสมบูรณ์ของวงจร หลังจากนั้นนำแผงวงจรยึดกับคอยล์ระบาย

ความร้อน แล้วนำไปใส่ในเคส สุดท้ายจะผ่านกระบวนการตรวจสอบการทำงานของแผงวงจร โดยจะจำลองสภาพการใช้งานจริงของแผงวงจร

สรุปขั้นตอน: Raw material procurement > Inspection of components > Solder paste apply > Placement > Reflow soldering > Inspection > Inserting > Wave soldering > In circuit testing > Assembly > Functional testing

### 4.2.2 แนวทางการผลิตแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ในที่นี้จะเน้นไปที่การผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยปัจจุบันกำลังการผลิตเซลแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนส่วนใหญ่อยู่ในประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ซึ่งรวมกันแล้วคิดเป็น 88% ของปริมาณการผลิตเซลแบตเตอรี่ทั่วโลก (ข้อมูลปี 2015) และยังเป็นแหล่งของการผลิตวัตถุดิบด้วย (รูป 4-14) โดยผลิตวัสดุแคโทด 85% วัสดุแอโนด 97% ตัวกั้นแบตเตอรี่ 84% และอิเล็กโทรไลท์ 64% ของปริมาณการผลิตทั่วโลก [5.2] วัสดุหลักสำหรับการผลิตแบตเตอรี่ประเภทนี้มีรายละเอียดดังนี้ [5.3]

1. วัสดุแคโทด (Cathode Materials): มีหลายชนิดให้เลือกใช้ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การวิจัยมุ่งเน้นมายังส่วนแคโทดนี้ ซึ่งตรงกันข้ามกับฝั่งแอโนดที่การเปลี่ยนแปลงมีผลกับประสิทธิภาพไม่มากนัก ในอุตสาหกรรมยานยนต์แต่เดิมแล้วส่วนประกอบหลักแคโทดที่ใช้คือโคบอล (Cobalt) ซึ่งปัจจุบันจะถูกผสมเข้ากับนิกเกิลบางส่วน เป็น Nickel Manganese Cobalt (NMC: NiMnCo) หรือ Nickel Cobalt Aluminium (NCA: NiCoAl) วัสดุแคโทดอื่นๆ เช่น LCO, LFP, LMO เป็นต้น ในการทำแคโทดต้องการวัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูงและต้องปราศจากสิ่งสกปรกที่ไม่พึงประสงค์จากโลหะเจือปนอื่นๆ โดยเฉพาะ เหล็ก วาเนเดียม และกำมะถัน วัสดุแคโทดทั้งหมดจะถูกผนวกเข้าด้วยกันด้วยสารยึดเกาะ (Cathode Binder)
2. วัสดุแอโนด (Anode Material): แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนส่วนใหญ่ใช้ผงแกรไฟต์เป็นวัสดุแอโนด วัสดุแกรไฟต์เป็นได้ทั้งวัสดุสังเคราะห์ (แกรไฟต์เทียม) หรือจากการทำเหมือง (แกรไฟต์ธรรมชาติ) ของแอโนดแกรไฟต์ คือ ราคาไม่แพง มีรูพรุน และทนทาน ในกระบวนการผลิตแกรไฟต์จะถูกนำไปอบเพื่อเคลือบบนฟอยล์ทองแดงเพื่อกลายเป็นแอโนด
3. สารยึดเกาะ (Binder) ซึ่งทำหน้าที่ผนวกผงวัสดุเข้าด้วยกัน ที่นิยมใช้ ได้แก่ Styrene Butadiene Copolymer (SBR) หรือ Polyvinylidene Fluoride (PVDF)
4. แผ่นฟิล์ม (Foil): ฟอยล์ที่นิยมใช้ในฝั่งแคโทด ได้แก่ ฟอยล์อลูมิเนียม (Aluminum Foil) ซึ่งใช้เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าแคโทดของแบตเตอรี่ ส่วนฟอยล์ของแอโนดส่วนใหญ่จะใช้ฟอยล์ทองแดงที่ทำมาจากทองแดงผสมอัลลอย (Wrought-Copper Alloys) มีจำนวนเล็กน้อยที่ใช้ฟอยล์นิเกิล
5. สารประกอบของลิเทียม (Lithium Compound): สารประกอบลิเทียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยใช้ในการทำแคโทดและเป็นสารตั้งต้นอิเล็กโทรไลต์ สารประกอบลิเทียมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ Lithium Carbonate กับ Lithium Hydroxide Monohydrate

6. ตัวกั้นแบตเตอรี่ (Battery Separator) เป็นแผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุนกั้นระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองขั้ว โดยจะทำหน้าที่กันไม่ให้ทั้งสองขั้วติดกัน ป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรและช่วยนำประจุไปยังขั้วทั้งสอง เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้า และช่วยหยุดวงจรการทำงานในกรณีที่ชาร์จเกินกำหนด เนื่องจากความร้อน จะทำให้ตัวกั้นแบตเตอรี่หลอมและรูพรุนถูกปิด คุณสมบัติของวัสดุที่ทำตัวกั้นแบตเตอรี่ คือเป็นฉนวนทางไฟฟ้า มีเสถียรภาพทางกล และต้านทานการกัดกร่อน วัสดุที่นิยมใช้ ได้แก่ Polypropylene (PP), Polyethylene (PE) และเซรามิค ซึ่งมีความเป็นรูพรุนสูง ราคาไม่แพง และน้ำหนักเบา
7. Tap material: แผ่นฟอยล์โลหะเพื่อเชื่อมต่อฟอยล์ทั้งหมดภายในเซลแบตเตอรี่กับขั้วแบตเตอรี่ที่อยู่ที่เปลือกหุ้มแบตเตอรี่ภายนอก โดยแท็ปสำหรับอิเล็กโทรดขั้วบวกทำจากอลูมิเนียม ส่วนแท็ปสำหรับอิเล็กโทรดขั้วลบทำจากทองแดงหรือนิเกิล
8. เปลือกหุ้มแบตเตอรี่ (Can) และฝาปิด (Lid) เปลือกหุ้มทรงสี่เหลี่ยมทำจากอลูมิเนียมอัลลอย (Aluminum alloy) ผลิตด้วยกระบวนการดึงขึ้นรูป (Deep drawing) ซึ่งการใช้อลูมิเนียมอัลลอยจะช่วยป้องกันการรั่วซึมและต้านทานต่อแรงกระแทกจากภายนอก เมื่อเซลแบตเตอรี่ประกอบเข้าในเปลือกหุ้มแบตเตอรี่แล้วฝาปิดจะถูกเชื่อมกับเปลือกหุ้มด้วยเลเซอร์ความแม่นยำสูง ช่วยให้เซลสามารถขยายตัวและหดตัวจากผลของความร้อนได้ขณะใช้งานได้

รูป 4-14 วัสดุพื้นฐานสำหรับผลิตแบตเตอรี่ [5.3]

กระบวนการผลิตเซลแบตเตอรี่ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ 2 ส่วน ส่วนแรกคือการผลิตแผ่นอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นการผสมผงวัสดุ แล้วเคลือบลงบนแผ่นฟอยด์ ก่อนจะนำไปรีดแล้วอบ จนได้แผ่นอิเล็กโทรด

ส่วนที่สองคือการผลิตเซลแบตเตอรี่ ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆ 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียม/ตัดแผ่นอิเล็กโทรด การประกอบเซลแบตเตอรี่ การสร้างและซีลเคสแบตเตอรี่ และการทดสอบแบตเตอรี่

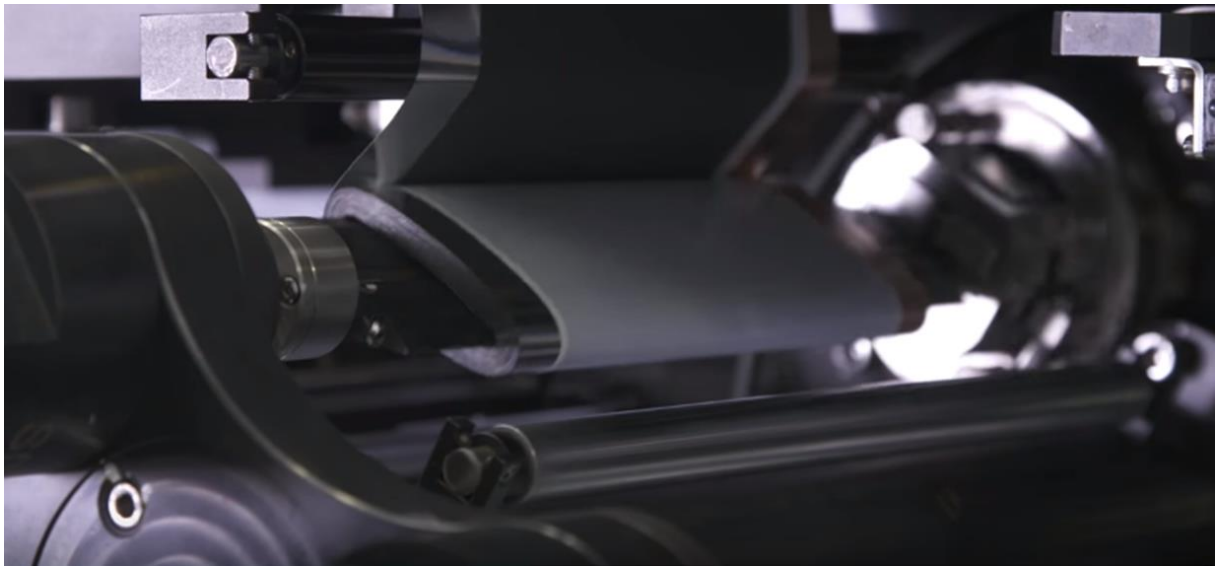
การเตรียมแผ่นอิเล็กโทรดจะเริ่มจากการเผาผนึกวัสดุแคโทดและวัสดุแอโนดดิบในเตาเผา จากนั้นบดให้เป็นอนุภาคเล็กๆด้วยเครื่องบด (Milling machine) แล้วผสมเข้ากับสารยึดเกาะในเครื่องผสม (Mixer) ภายใต้สุญญากาศ จากนั้นเคลือบลงบนแผ่นฟิล์มเพื่อสร้างอิเล็กโทรด (Electrode) แล้วนำแผ่นอิเล็กโทรดที่ได้ไปกดรีดให้ได้ความหนาตามต้องการ แล้วทำให้แห้งด้วยฮีตเตอร์ (Heater)

สรุปขั้นตอน: Sintering > Milling > Mixing > Coating > Calendering > Drying

การประกอบเซลแบตเตอรี่ บางครั้งโรงงานแบตเตอรี่สามารถเริ่มต้นกระบวนการผลิตแบตเตอรี่จากขั้นตอนนี้ โดยตัดขั้นตอนการเตรียมแผ่นอิเล็กโทรดไปยังผู้ผลิตรายย่อย (supplier) แล้วจัดหาแผ่นอิเล็กโทรดที่สำเร็จรูปแล้วมาเป็นวัตถุดิบสำหรับเริ่มต้นกระบวนการ การประกอบแบตเตอรี่จะเริ่มจากการตัดอิเล็กโทรด แล้วนำมาจัดเรียงซึ่งโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การวางซ้อนกัน (Stacking method) เป็นชั้นๆของ Anode > Separator > Cathode > Separator ตามลำดับ หรือการพัน (Winding method) เป็นชั้นๆ ดังที่แสดงในรูป 4-15 จากนั้นเชื่อมต่ออิเล็กโทรดแต่ละขั้วเข้าด้วยกันด้วยเครื่องเชื่อมอัลตร้าโซนิก (Ultrasonic welding machine) และเชื่อมต่อไปยังหน้าคอนแทกหรือฝาปิด นำเซลที่ได้ไปทดสอบการลัดวรจร (short-circuit detecting) แล้วนำไปอบให้แห้งในเตาอบ จากนั้นเชื่อมปิดฝา ในขั้นตอนนี้ผู้ผลิตเครื่องจักรบางรายได้พัฒนาระบบอัตโนมัติตลอดไลน์การประกอบเซลแบตเตอรี่

สรุปขั้นตอน: Slitting > Laminating > Winding > Tab welding >

Short-Circuit detecting > Drying > Inserting > Welding



รูป 4-15 การพันอิเล็กโทรดในขั้นตอนการประกอบแบตเตอรี่ (ที่มา: Gommeblog.it) [5.4]

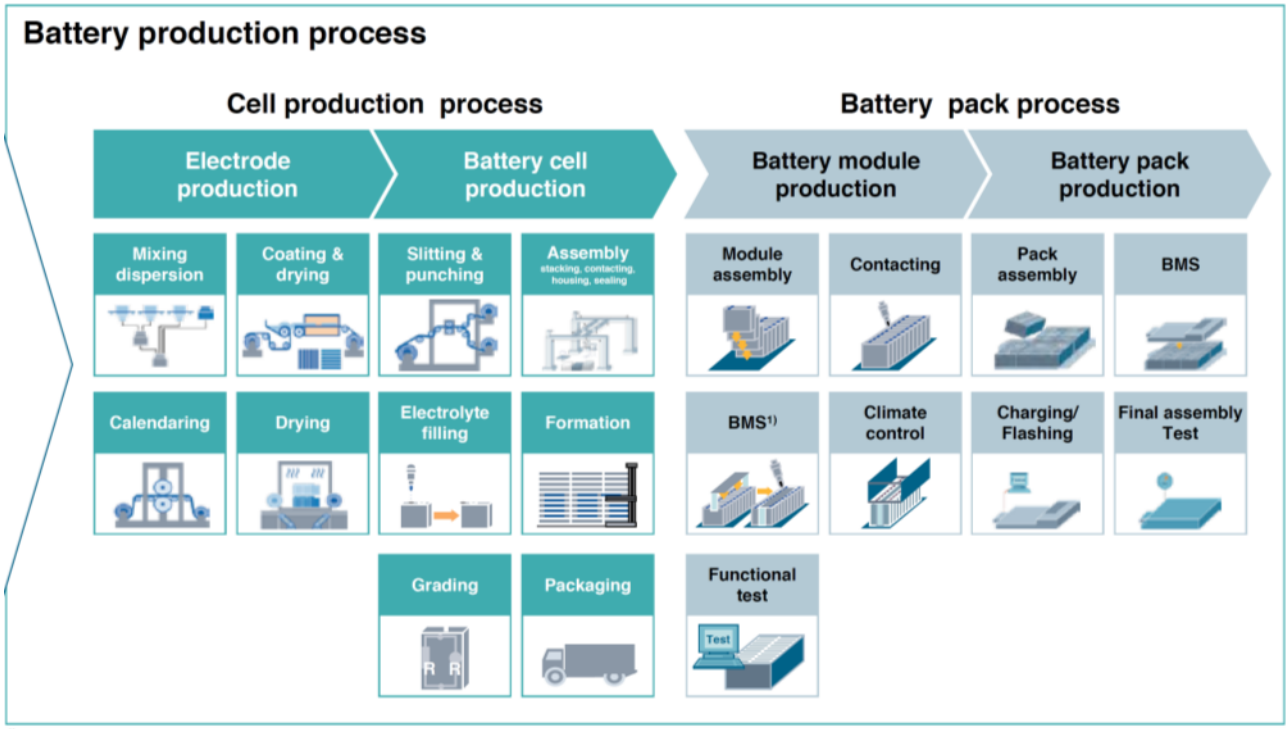
การสร้างและซีลเคสแบตเตอรี่ ขั้นแรกจะเป็นการเติมอิเล็กโทรไลต์ในเซล จากนั้นวัสดุในเซลจะถูกกระตุ้นผ่านวัฏจักรการชาร์จและการคายประจุ (charge-discharge cycle) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ (Battery analyzer) เพื่อให้เซลสามารถนำไปใช้ได้ จากนั้นซีลด้วยเครื่องซีลสุญญากาศ (Vacuum sealing machine)

สรุป: Electrolyte filling > Formation > Sealing

การทดสอบเซลแบตเตอรี่ ซึ่งปกติจะทดสอบประสิทธิภาพเซลแบตเตอรี่ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบตเตอรี่ (Battery analyzer) และทดสอบวัดความต้านทานภายในด้วยเครื่องทดสอบ (Impedance tester) แล้วทำการคัดแยกคุณภาพตามผลการทดสอบที่ได้ (แบ่งเป็นเกรด) โดยทั่วไปจะแบ่งตามประมาณความจุแบตเตอรี่ที่วัดได้และความต้านทานภายใน จากนั้นทำการบรรจุหีบห่อ

สรุป: Performance analyzing > Impedance testing > Grading > Packaging

หากเซลแบตเตอรี่เป็นลักษณะอื่นๆ เช่น เป็นแบบทรงกระบอก หรือถุงกาแฟ ก็อาจมีกระบวนการผลิตแตกต่างออกไปบ้างเล็กน้อย




รูป 4-16 กระบวนการผลิตเซลและชุดแบตเตอรี่ (ที่มา: Siemens) [5.35]

การผลิตชุดแบตเตอรี่จากเซลแบตเตอรี่ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ขั้นตอน ได้แก่ การผลิตโมดูลแบตเตอรี่ และการผลิตแพ็คแบตเตอรี่ การผลิตโมดูลแบตเตอรี่เริ่มจากการประกอบเซลแบตเตอรี่หลายๆ เซลเป็นโมดูลอยู่ จากนั้นทำการเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าของเซลแบตเตอรี่ แล้วติดตั้งระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery management system, BMS) จากนั้นทำการติดตั้งระบบหรืออุปกรณ์ระบายความร้อน/ควบคุมอุณหภูมิ เช่น ครีบระบายความร้อน สุดท้ายเป็นการทดสอบฟังก์ชั่นการทำงาน

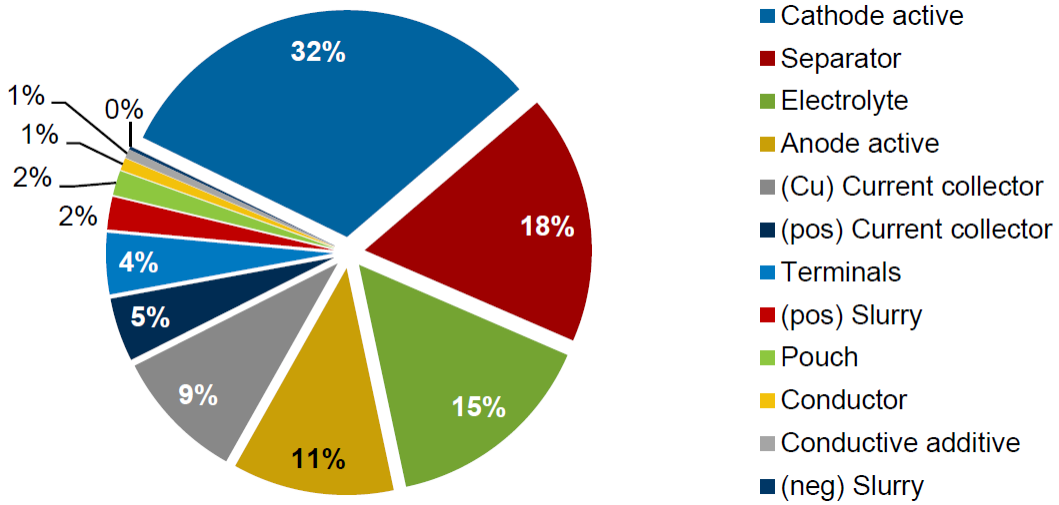
สรุปขั้นตอน: Module assembly > Contacting > BMS > Climate control > Functional testing

หลังจากได้โมดูลแบตเตอรี่แล้วจะทำการผลิตชุดแบตเตอรี่ โดยเริ่มจากการประกอบโมดูลแบตเตอรี่หลายๆโมดูลเข้าด้วยกันเป็นชุดแบตเตอรี่ จากนั้นทำการเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้าและติดตั้งระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ส่วนกลาง ขั้นตอนต่อมาทำการชาร์จชุดแบตเตอรี่ จากนั้นทำการทดสอบชุดแบตเตอรี่ครั้งสุดท้าย

สรุปขั้นตอน: Pack assembly > BMS > Charging/Flashing > Final testing

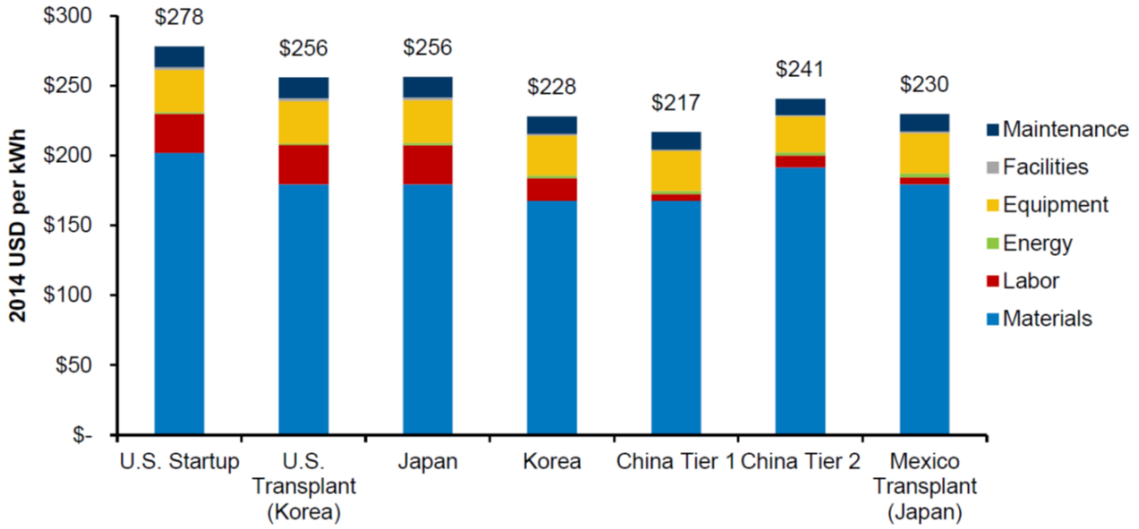
ในส่วนของการควบคุมคุณภาพการผลิต (QC) จะมีการตรวจสอบคุณภาพในแต่ละขั้นตอนการผลิต หัวข้อการทดสอบครอบคลุมทั้งการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับทางกล ทางไฟฟ้า ทางความร้อน และทางไฟฟ้าเคมี การตรวจสอบคุณภาพสามารถแบ่งออกเป็นการตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิต และการตรวจสอบคุณภาพภายหลังการผลิต การตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิตเริ่มจากการตรวจสอบวัสดุต้นทางที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นอิเล็กโทรดทั้งในแง่โครงสร้าง คุณสมบัติและความเป็นเนื้อเดียว ในการเคลือบวัสดุลงบนแผ่นฟอยด์และรีดจะต้องมีการควบคุมความหนา ภายหลังการอบแผ่นอิเล็กโทรดที่ได้จะถูกตัดไปเป็นตัวอย่างสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบคุณภาพ อาทิเช่น ตรวจสอบความหนาการเคลือบ ตรวจสอบผิว ตรวจสอบความพรุน (porosity) ตรวจสอบความแข็งแรง ตรวจสอบการนำไฟฟ้า ตรวจสอบโครงสร้างระดับไมโครและนาโน และวิเคราะห์องค์ประกอบ เป็นต้น ในส่วนของการผลิตแบตเตอรี่ แผ่นอิเล็กโทรดที่นำมาใช้ต้องผ่านการตรวจสอบความชื้น ในขั้นตอนการตัดแผ่นอิเล็กโทรดก็จะมีการตรวจสอบคุณภาพการตัด หากมีกระบวนการเรียงแผ่นอิเล็กโทรดก็จำเป็นต้องมีการตรวจเช็คตำแหน่งการจัดวาง หลังการเชื่อมต่อแผ่นอิเล็กโทรดจะมีการนำตัวอย่างไปทดสอบความแข็งแรงของการเชื่อมด้วยการทดสอบการดึง ในขั้นตอนการกระตุ้นแบตเตอรี่เซลแบตเตอรี่จะต้องผ่านการอัดและคายประจุ และผ่านการทดสอบ End of Line testing (EOL) แบตเตอรี่ที่ได้จากกระบวนการผลิตจะยังต้องผ่านการทดสอบต่างๆภายหลังการผลิต ตัวอย่างเช่น ความปลอดภัยทางไฟฟ้า การทดสอบความจุ การทดสอบการคายประจุด้วยตัวเอง การทดสอบทางความร้อน การทดสอบประสิทธิภาพ การทดสอบวัฏจักรชีวิต การทดสอบการสั่นสะเทือน การทดสอบการป้องกันฝุ่นและน้ำ เป็นต้น การทดสอบจะมีทั้งการทดสอบแบตเตอรี่ทุกตัวและการสุ่มทดสอบขึ้นกับผู้ผลิต เนื่องจากแบตเตอรี่ภายหลังการผลิตจะถูกซีลทำให้ไม่สามารถติดตั้งเซนเซอร์ภายในแบตเตอรี่ได้ การวัดทางตรงที่เป็นไปได้ในกระบวนการทดสอบจึงมักได้แก่ การวัดอุณหภูมิ การวัดแรงดันไฟฟ้า และการวัดกระแสไฟฟ้า

สำหรับต้นทุนการผลิตเซลแบตเตอรี่นั้นส่วนใหญ่เป็นต้นทุนด้านวัตถุดิบซึ่งคิดเป็น 74% ของต้นทุนเซลแบตเตอรี่ทั้งหมด รูป 4-17แสดงต้นทุนวัตถุดิบสำหรับผลิตเซลแบตเตอรี่ โดยภายใต้ต้นทุนวัตถุดิบนั้น 75% เป็นต้นทุนจาก 4 วัตถุดิบหลัก ได้แก่ วัสดุแคโทด (32%) ตัวกั้นแบตเตอรี่ (18%) อิเล็กโทรไลต์ (16%) และวัสดุแอโนด (11%)




รูป 4-17 ต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเซลแบตเตอรี่ [5.6]

รูป 4-18 แสดงการเปรียบเทียบประมาณการต้นทุนของการผลิตเซลแบตเตอรี่ในประเทศต่างๆ ซึ่งต้นทุนด้านวัตถุดิบและต้นทุนด้านแรงงานเป็นปัจจัยหลักของความแตกต่างด้านต้นทุนทั้งหมด เนื่องจากสารประกอบของลิเทียม (Lithium Compound) เป็นวัตถุดิบที่มีแหล่งอยู่ในประเทศจีน ทำให้ต้นทุนสารประกอบของลิเทียมในจีนต่ำกว่าที่ประเทศอื่น ซึ่งส่วนใหญ่จำต้องนำเข้าจากประเทศจีน ส่วนต้นทุนด้านแรงงานดูก็มีความสำคัญอย่างมากโดยต้นทุนแรงงานในจีนและเม็กซิโกต่ำกว่าต้นทุนแรงงานในประเทศอื่นๆ พอสมควร ขณะที่ต้นทุนด้านเครื่องจักร สิ่งอำนวยความสะดวก การบำรุงรักษา ในแต่ละประเทศไม่แตกต่างกันนัก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผู้ประกอบการจากญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาจะมีการลงทุนสร้างโรงงานผลิตเซลแบตเตอรี่ในประเทศที่มีราคาวัตถุดิบและอัตราค่าแรงต่ำ ในส่วนของประเทศไทยสามารถนำเข้าวัตถุดิบจากประเทศจีนเนื่องจากระยะทางไม่ไกลกันมากนัก และต้นทุนด้านแรงงานของไทยยังไม่สูงมาก ขณะที่ต้นทุนด้านแรงงานของจีนไม่ได้ต่ำมากเหมือนในอดีตที่ผ่านมา ประกอบกับการสนับสนุนนโยบายด้านภาษีจากรัฐ อย่างไรก็ตามต้องมีตลาดในประเทศและส่งออกเพื่อให้ได้กำลังการผลิตที่คุ้มแก่การลงทุน




รูป 4-18 เปรียบเทียบประมาณการต้นทุนของการผลิตเซลแบตเตอรี่ในประเทศต่างๆ [5.2]

เนื่องจากประมาณลิเทียมในโลกมีจำกัดและแหล่งหลักอยู่ในไม่กี่ประเทศ คล้ายคลึงกับปริมาณน้ำมันดิบในโลกการใช้แบตเตอรี่ประเภทลิเทียมในระยะยาวก็อาจไม่ยั่งยืน ประกอบกับเรื่องราคาและความปลอดภัย ปัจจุบันจึงมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุชนิดอื่นๆสำหรับผลิตเซลแบตเตอรี่แทนการใช้ลิเทียมมากขึ้น ซึ่งในระยะยาวแล้วก็อาจจะเห็นแบตเตอรี่ที่ใช้วัสดุใหม่ๆมาเป็นคู่แข่งของแบตเตอรี่ประเภทลิเทียม และคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่ต้นทุนในการผลิตเซลแบตเตอรี่

# เอกสารอ้างอิง

[2.1] Electric traction machine choices for hybrid & electric vehicles, James R. Hendershot, Ernie Freeman, Florida International University, 2014

[2.2] สารพันความรู้ด้านพลังงาน, วรวริศ กอปรสิริพัฒน์, รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 3 วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ฉบับที่ 77 เมษายน-มิถุนายน 2558 หน้า 51-57

[4.1] Nissan Leaf Teardown, https://www.marklines.com/en/report_all/rep1049_20120

[4.2] Nissan Leaf Service Manual, 2011

[4.3] 2013 Nissan Leaf integrated e-powertrain a smaller and lighter package, SAE article, http://web.archive.org/web/20131203080858/http://articles.sae.org/11993

[4.4] Tim Burress, Benchmarking State-of-the-Art Technologies, Oak Ridge National Laboratory, 2013

[4.5] Gilbert Moreno, Thermal Performance Benchmarking, National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2016

[4.6] Cell, Module and Pack for EV application, Automotive Energy Supply Corporation, http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion_ev/

[4.7] https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772#Charging

[4.8] e-Powertrain, Technology Section, Nissan Motor Corporation, https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_powertrain.html

[4.9] Steps to Fabricating AESC's Rechargeable Lithium-ion Battery, Automotive Energy Supply Corporation, http://www.eco-aesc-lb.com/en/process

[4.10] Electric Vehicle Lithium-ion Battery, Technology Section, Nissan Motor Corporation, https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html

[4.11] www.myelifenow.com/2015/01/2013-nissan-leaf-motor-unit-disassembly.html

[4.12] https://insideevs.com/nissan-leaf-battery-nerdgasm/

[4.13] https://www.torquenews.com/1075/nissan-answers-questions-about-optimally-charging-nissan-leaf

[4.14] https://www.evse.com.au/ev-charging-cables-leads/

[4.15] http://www.myelifenow.com/2012/07/chademo-connector-interface-technical.html

[4.16] Ben Jar, Allan Miller, and Neville Watson, Rapid EV Chargers: Implementation of a Charger, Electricity Engineers' Association Conference, Wellington, 2016

[4.17] N.A., 2013 Nissan Leaf: Advanced Vehicle Testing – Baseline Testing Results, U.S. Department of Energy, 2013

[4.18] Shirk, Matthew & Wishart, Jeffrey. Effects of Electric Vehicle Fast Charging on Battery Life and Vehicle Performance. 10.4271/2015-01-1190, 2015.

[4.19] http://www.electricvehiclewiki.com/Battery

[4.20] https://pushevs.com/2015/09/28/new-30-kwh-nissan-leaf-battery/

[4.21] https://insideevs.com/nissan-leaf-40-kwh-battery-deep-dive/

[5.1] ยานยนต์ไฟฟ้ามาแรง หนุน SME ไทยรุ่ง ข้อมูลวิจัย สิงหาคม 2560, ศูนย์วิจัยกสิกรไทย

[5.2] Donald Chung, Emma Elgqvist, and Shriram Santhanagopalan, Automotive Lithium-ion Cell Manufacturing: Regional Cost Structures and Supply Chain Considerations, Clean Energy Manufacturing Analysis Center (CEMAC), Technical Report: NREL/TP-6A20-66086, April 2016

[5.3] https://www.targray.com/li-ion-battery/battery-grade-lithium

[5.4] https://www.gommeblog.it/

[5.5] Lithium-Ion Batteries Production Equipment, Manz AG (Germany)

[5.6] Global EV Outlook 2017, International Energy Agency (IEA)

[5.7] http://ev-sales.blogspot.ch/2018/01/world-top-20-december-2017.html

[5.8] http://ev-sales.blogspot.ch/2018/02/2017-ev-stock-by-fast-charging.html

[5.9] สถิติยอดจดทะเบียนสะสม 2555-2560, กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก

[5.10] ข่าว http://www.thaiauto.or.th/2012/th/news/news-detail.asp?news_id=3684

[5.11] อรรถสิทธิ์ แจ่มฟ้า, รถยนต์ไฟฟ้ากับการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมรถยนต์ไทย, บทความวิจัย, ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจ และเศรษฐกิจฐานราก ธนาคารออมสิน, ฉบับเดือน ตุลาคม 2559

[5.12] ข่าว สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน http://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/11172-news-150759

[5.13] แผนปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน 5 ปี (พ.ศ. 2560-2564), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, เมษายน 2559

[5.14] แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558-2579 (Energy Efficiency Plan, EEP2015), กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน

[5.15] มีนกร พูนดี, PLASTIC BI-WEEKLY NEWS ฉบับที่ 71: APRIL 30, 2013, สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

[5.16] https://www.youtube.com/watch?v=Tc_9uzRwXLc

[5.17] https://www.youtube.com/watch?v=iBhFTJ-aJbE

[5.18] Your Partner for Battery Manufacturing, Siemans AG, siemens.com/battery

[5.19] Electric vehicle traction motors without rare earth magnets, James D.Widmer, Richard Martin, Mohammed Kimiabeigi, Sustainable Materials and Technologies, Volume 3, April 2015, Pages 7-13

[5.20] Electric Motor R&D, John M. Miller, 2013 U.S. DOE Hydrogen and Fuel Cells Program and Vehicle Technologies Program Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, May 15, 2013

[5.21] AC Motor Manufacturing Process Flow (Electric Motors) http://what-when-how.com/electric-motors/ac-motor-manufacturing-process-flow-electric-motors/

[5.22] https://youtu.be/ZPs7FTAKTxU

[5.23] Takeaki Wakisaka, Yousuke Kurosaki, and Satoshi Arai, Electrical Steel Sheet for Traction Motor of Hybrid/Electrical Vehicles, Nippon Steel Technical Report No.103, 2013

[5.24] https://www.youtube.com/watch?v=t793NSrLNmM

[5.25] Your partner for battery manufacturing, Acticle No.: DFFA-B10370-00-7600, Siemens AG, 2017

# ภาคผนวก

## ก. การอบรมเพื่อถ่ายทอดความรู้แก่ทางสถาบันยานยนต์

### ก.1 แผนและหัวข้อการอบรม

การอบรมถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์มีช่วงเวลาทั้งสิ้น 5 วัน ประกอบด้วยการอบรมในห้องเรียน และการอบรมภาคปฏิบัติ โดยมีแผนและหัวข้อการอบรมตามตารางด้านล่าง

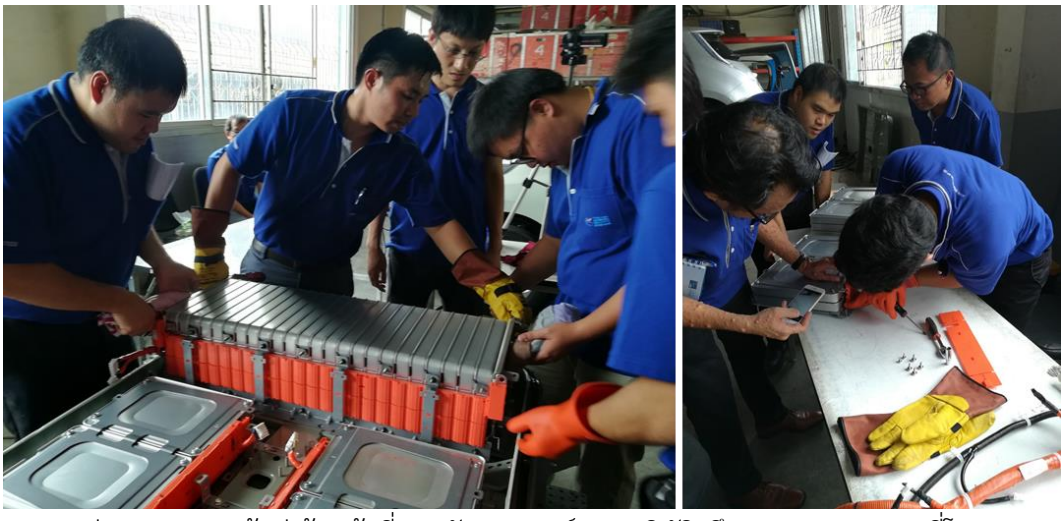
| วันที่ | ช่วงเวลา | หัวข้อหรือกิจกรรมการอบรม |
|---|---|---|
| 20-22 มีนาคม 2561 | ทั้งวัน | ชิ้นส่วนหลักรถยนต์<br>การเลือกชิ้นส่วนที่จะผลิตในประเทศ<br>ปัจจัยความสำเร็จของรถไฟฟ้า<br>ความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมยานยนต์<br>กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ |
| 3 กรกฎาคม 2561 | ช่วงเช้า | โครงสร้างและชนิดแบตเตอรี่ |
| | ช่วงบ่าย | พาชมชุดแบตเตอรี่รถนิสสันลีฟ พร้อมอธิบายการทำงานและส่วนประกอบโดยรวม วัดระดับแรงดันไฟฟ้าของเซลแบตเตอรี่ กองโมดูล และชุดแบตเตอรี่ |
| 4 กรกฎาคม 2561 | ช่วงเช้า | เปรียบเทียบแบตเตอรี่ |
| | ช่วงบ่าย | พาชมแบตเตอรี่ NMC และ LPO ที่ใช้ในรถบัสของบริษัทสิขร พร้อมอธิบายส่วนประกอบ และจุดเด่น สอนวิธีการตรวจสอบและวัดค่าความต้านทานของเซลแบตเตอรี่ |
| 9 กรกฎาคม 2561 | ช่วงเช้า | มอเตอร์ไฟฟ้า |
| | ช่วงบ่าย | การถอดแบตเตอรี่รถนิสสันลีฟโดยเจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ |
| 10 กรกฎาคม 2561 | ช่วงเช้า | การถอดมอเตอร์รถนิสสันลีฟโดยเจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ |
| | ช่วงบ่าย | การถอดมอเตอร์รถนิสสันลีฟโดยเจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ (ต่อ) |
| 12 กรกฎาคม 2561 | ช่วงเช้า | สรุปการอบรม |
| | ช่วงบ่าย | การถอดชุดเกียร์ของรถนิสสันลีฟโดยเจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ |

## ก.2 ภาพประกอบการถ่ายทอดความรู้แก่ทางสถาบันยานยนต์

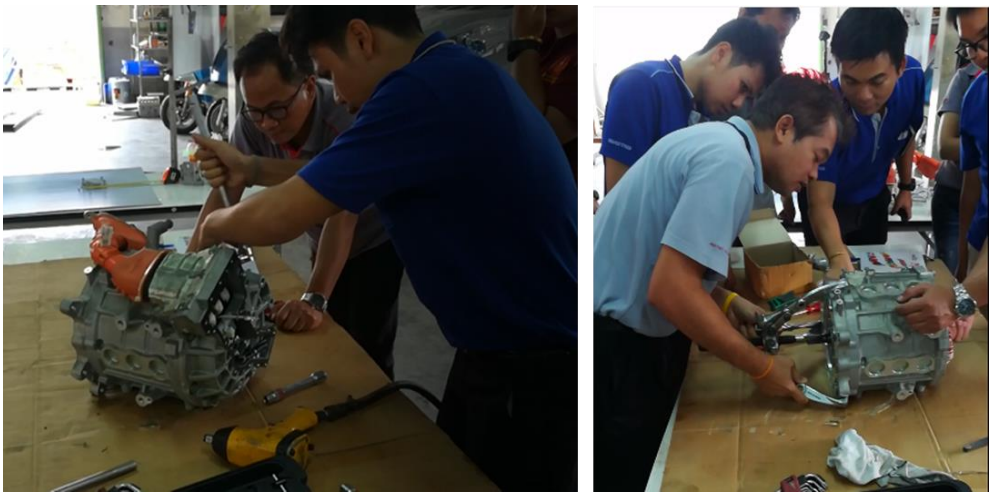
รูป ก-0-1 การถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์จัดที่สถาบันยานยนต์

รูป ก-0-2 การถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ในห้องอมรม

รูป ก-3 การถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ภาคปฏิบัติ: แบตเตอรี่ NMC และ LPO

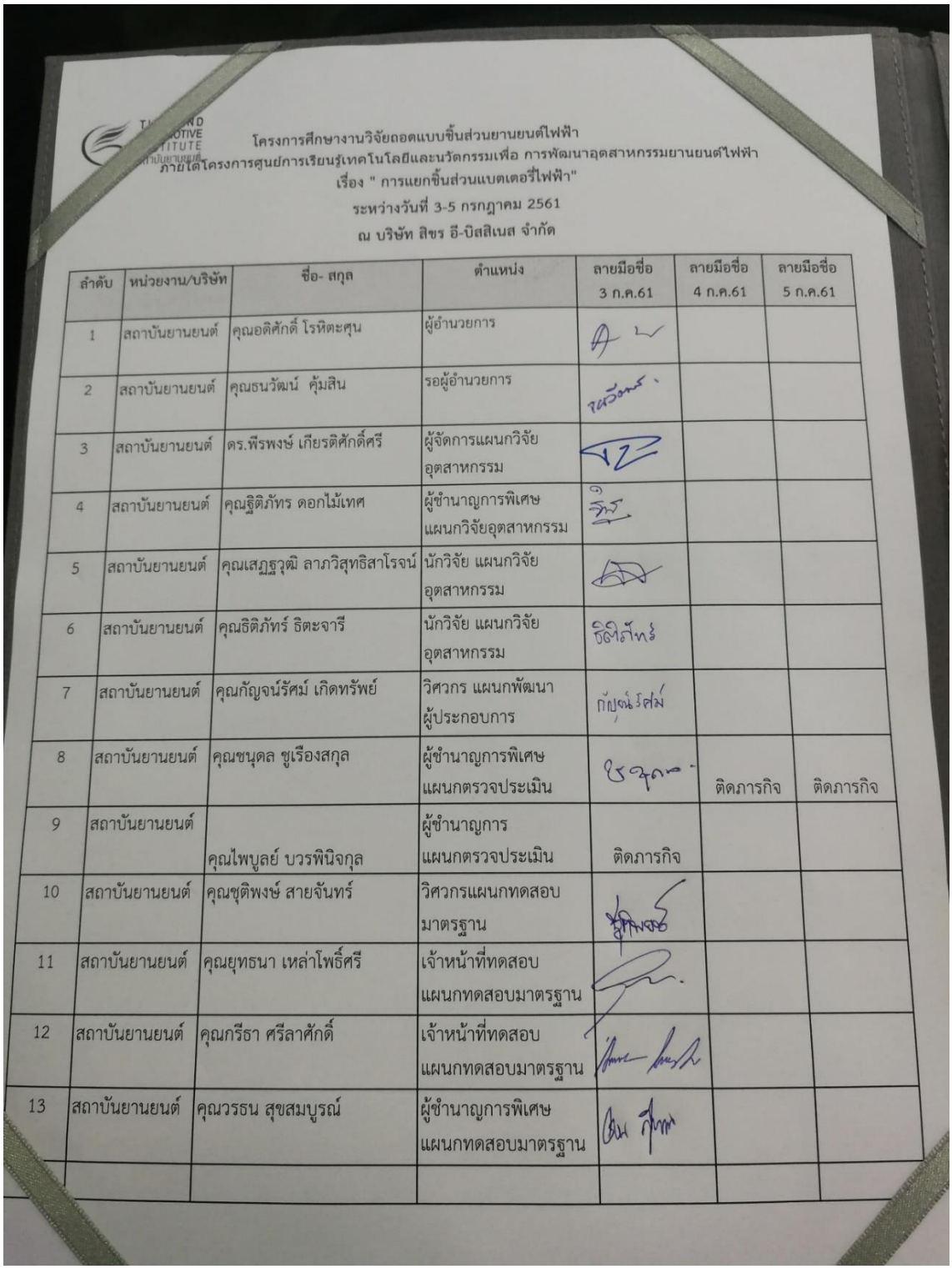


รูป ก-4 การถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ภาคปฏิบัติ: ฝึกการถอดแบตเตอรี่โดยทางสถาบัน



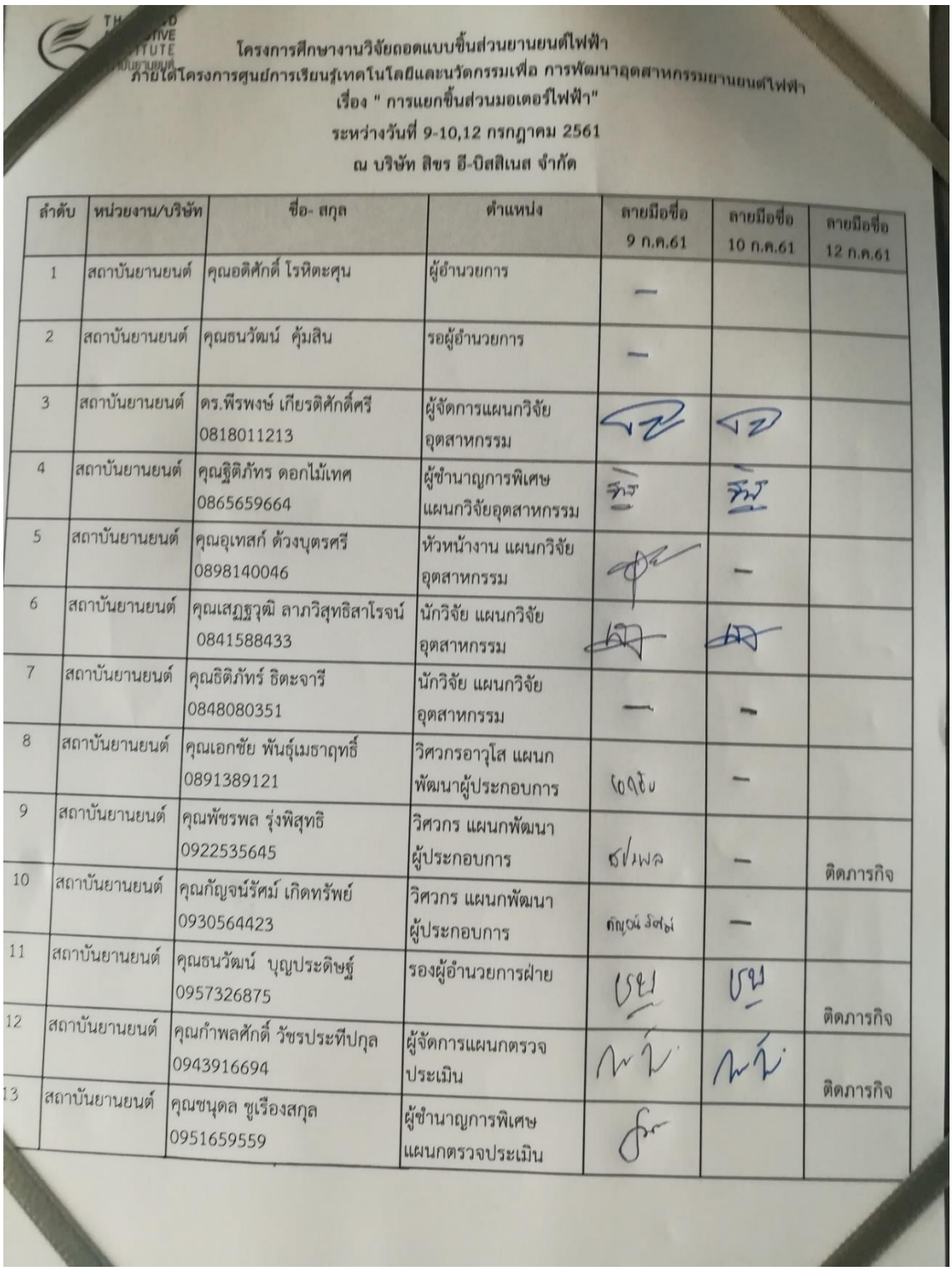
รูป ก-5 การถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่สถาบันยานยนต์ภาคปฏิบัติ: ฝึกการถอดมอเตอร์โดยทางสถาบัน

## ก.3 รายชื่อผู้เข้ารับการอบรม



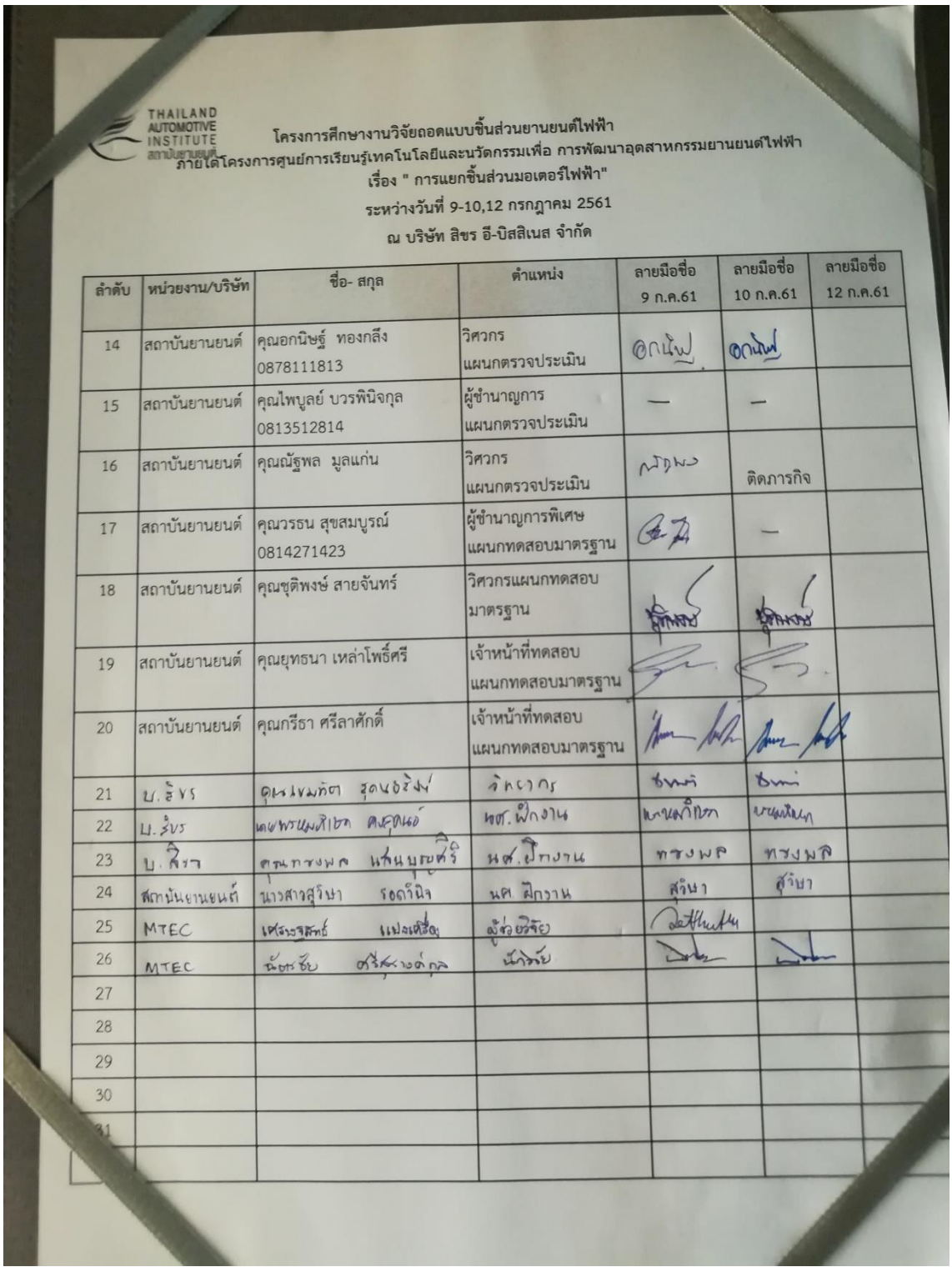
โครงการศึกษางานวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า
ภายใต้โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อ การพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า
เรื่อง " การแยกชิ้นส่วนแบตเตอรี่ไฟฟ้า"
ระหว่างวันที่ 3-5 กรกฎาคม 2561
ณ บริษัท สิขร อี-บิสสิเนส จำกัด

| ลำดับ | หน่วยงาน/บริษัท | ชื่อ- สกุล | ตำแหน่ง | ลายมือชื่อ 3 ก.ค.61 | ลายมือชื่อ 4 ก.ค.61 | ลายมือชื่อ 5 ก.ค.61 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | สถาบันยานยนต์ | คุณอดิศักดิ์ โรหิตะศุน | ผู้อำนวยการ | | | |
| 2 | สถาบันยานยนต์ | คุณธนวัฒน์ คุ้มสิน | รองผู้อำนวยการ | | | |
| 3 | สถาบันยานยนต์ | ดร.พีรพงษ์ เกียรติศักดิ์ศรี | ผู้จัดการแผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | | |
| 4 | สถาบันยานยนต์ | คุณฐิติภัทร ดอกไม้เทศ | ผู้ชำนาญการพิเศษ แผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | | |
| 5 | สถาบันยานยนต์ | คุณเสฏฐวุฒิ ลาภวิสุทธิสาโรจน์ | นักวิจัย แผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | | |
| 6 | สถาบันยานยนต์ | คุณธิติภัทร์ ธิตะจารี | นักวิจัย แผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | | |
| 7 | สถาบันยานยนต์ | คุณกัญจน์รัศม์ เกิดทรัพย์ | วิศวกร แผนกพัฒนาผู้ประกอบการ | | | |
| 8 | สถาบันยานยนต์ | คุณชนุดล ชูเรืองสกุล | ผู้ชำนาญการพิเศษ แผนกตรวจประเมิน | | ติดภารกิจ | ติดภารกิจ |
| 9 | สถาบันยานยนต์ | คุณไพบูลย์ บวรพินิจกุล | ผู้ชำนาญการ แผนกตรวจประเมิน | ติดภารกิจ | | |
| 10 | สถาบันยานยนต์ | คุณชุติพงษ์ สายจันทร์ | วิศวกรแผนกทดสอบมาตรฐาน | | | |
| 11 | สถาบันยานยนต์ | คุณยุทธนา เหล่าโพธิ์ศรี | เจ้าหน้าที่ทดสอบ แผนกทดสอบมาตรฐาน | | | |
| 12 | สถาบันยานยนต์ | คุณกรีธา ศรีลาศักดิ์ | เจ้าหน้าที่ทดสอบ แผนกทดสอบมาตรฐาน | | | |
| 13 | สถาบันยานยนต์ | คุณวรธน สุขสมบูรณ์ | ผู้ชำนาญการพิเศษ แผนกทดสอบมาตรฐาน | | | |



โครงการศึกษางานวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า
ภายใต้โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อ การพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า
เรื่อง " การแยกชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้า"
ระหว่างวันที่ 9-10,12 กรกฎาคม 2561
ณ บริษัท สิขร อี-บิสสิเนส จำกัด

| ลำดับ | หน่วยงาน/บริษัท | ชื่อ- สกุล | ตำแหน่ง | ลายมือชื่อ 9 ก.ค.61 | ลายมือชื่อ 10 ก.ค.61 | ลายมือชื่อ 12 ก.ค.61 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | สถาบันยานยนต์ | คุณอดิศักดิ์ โรหิตะศุน | ผู้อำนวยการ | – | | |
| 2 | สถาบันยานยนต์ | คุณธนวัฒน์ คุ้มสิน | รอผู้อำนวยการ | – | | |
| 3 | สถาบันยานยนต์ | ดร.พีรพงษ์ เกียรติศักดิ์ศรี 0818011213 | ผู้จัดการแผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | | |
| 4 | สถาบันยานยนต์ | คุณฐิติภัทร ดอกไม้เทศ 0865659664 | ผู้ชำนาญการพิเศษ แผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | | |
| 5 | สถาบันยานยนต์ | คุณอุเทสก์ ด้วงบุตรศรี 0898140046 | หัวหน้างาน แผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | – | |
| 6 | สถาบันยานยนต์ | คุณเสฏฐวุฒิ ลาภวิสุทธิสาโรจน์ 0841588433 | นักวิจัย แผนกวิจัยอุตสาหกรรม | | | |
| 7 | สถาบันยานยนต์ | คุณธิติภัทร์ ธิตะจารี 0848080351 | นักวิจัย แผนกวิจัยอุตสาหกรรม | – | – | |
| 8 | สถาบันยานยนต์ | คุณเอกชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์ 0891389121 | วิศวกรอาวุโส แผนกพัฒนาผู้ประกอบการ | | – | |
| 9 | สถาบันยานยนต์ | คุณพัชรพล รุ่งพิสุทธิ 0922535645 | วิศวกร แผนกพัฒนาผู้ประกอบการ | | – | ติดภารกิจ |
| 10 | สถาบันยานยนต์ | คุณกัญจน์รัศม์ เกิดทรัพย์ 0930564423 | วิศวกร แผนกพัฒนาผู้ประกอบการ | | – | |
| 11 | สถาบันยานยนต์ | คุณธนวัฒน์ บุญประดิษฐ์ 0957326875 | รองผู้อำนวยการฝ่าย | | | ติดภารกิจ |
| 12 | สถาบันยานยนต์ | คุณกำพลศักดิ์ วัชรประทีปกุล 0943916694 | ผู้จัดการแผนกตรวจประเมิน | | | ติดภารกิจ |
| 13 | สถาบันยานยนต์ | คุณชนุดล ชูเรืองสกุล 0951659559 | ผู้ชำนาญการพิเศษ แผนกตรวจประเมิน | | | |



THAILAND AUTOMOTIVE INSTITUTE สถาบันยานยนต์

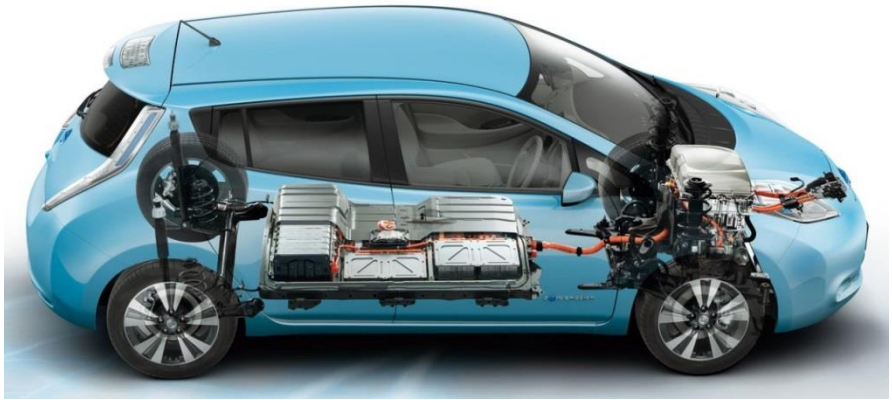
**โครงการศึกษางานวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า**
**ภายใต้โครงการศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อ การพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า**
**เรื่อง " การแยกชิ้นส่วนมอเตอร์ไฟฟ้า"**
**ระหว่างวันที่ 9-10,12 กรกฎาคม 2561**
**ณ บริษัท สิขร อี-บิสสิเนส จำกัด**

| ลำดับ | หน่วยงาน/บริษัท | ชื่อ- สกุล | ตำแหน่ง | ลายมือชื่อ 9 ก.ค.61 | ลายมือชื่อ 10 ก.ค.61 | ลายมือชื่อ 12 ก.ค.61 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 14 | สถาบันยานยนต์ | คุณอกนิษฐ์ ทองกลึง 0878111813 | วิศวกร แผนกตรวจประเมิน | อกนิษ | อกนิษ | |
| 15 | สถาบันยานยนต์ | คุณไพบูลย์ บวรพินิจกุล 0813512814 | ผู้ชำนาญการ แผนกตรวจประเมิน | — | — | |
| 16 | สถาบันยานยนต์ | คุณณัฐพล มูลแก่น | วิศวกร แผนกตรวจประเมิน | ณัฐพล | ติดภารกิจ | |
| 17 | สถาบันยานยนต์ | คุณวรธน สุขสมบูรณ์ 0814271423 | ผู้ชำนาญการพิเศษ แผนกทดสอบมาตรฐาน | | — | |
| 18 | สถาบันยานยนต์ | คุณชุติพงษ์ สายจันทร์ | วิศวกรแผนกทดสอบ มาตรฐาน | ชุติพงษ์ | ชุติพงษ์ | |
| 19 | สถาบันยานยนต์ | คุณยุทธนา เหล่าโพธิ์ศรี | เจ้าหน้าที่ทดสอบ แผนกทดสอบมาตรฐาน | | | |
| 20 | สถาบันยานยนต์ | คุณกรีธา ศรีลาศักดิ์ | เจ้าหน้าที่ทดสอบ แผนกทดสอบมาตรฐาน | | | |
| 21 | บ.สิขร | คุณเขมทัต สุดนอรัญ | จัดการ | ธนา | ธนา | |
| 22 | บ.สิขร | นายพรเมศวิโรจ ศรีคูณ | นศ.ฝึกงาน | นายศวิโรจ | นายศวิโรจ | |
| 23 | บ.สิขร | คุณทรงพล แสนบุญศิริ | นศ.ฝึกงาน | ทรงพล | ทรงพล | |
| 24 | สถาบันยานยนต์ | นางสาวสุวิษา รอดก้านิจ | นศ ฝึกงาน | สุวิษา | สุวิษา | |
| 25 | MTEC | เศรษฐสิทธ์ แปงเหรียญ | ผู้ช่วยวิจัย | | | |
| 26 | MTEC | น้ำทิพย์ ศรีสุวงค์กุล | นักวิจัย | | | |
| 27 | | | | | | |
| 28 | | | | | | |
| 29 | | | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |

**ข. คู่มือการถอดชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้า**

# คู่มือการถอดชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้า

# โครงการศึกษางานวิจัยถอดแบบชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้า



**จัดทำโดย**

**บริษัท สิขร จำกัด**

**เสนอ**

**สถาบันยานยนต์**

# กระบวนการถอดแบตเตอรี่ขับเคลื่อน

## การถอดแบตเตอรี่ขับเคลื่อน

การถอดแบตเตอรี่ขับเคลื่อน สามารถแบ่งออกได้เป็น

1. การถอดชุดแบตเตอรี่ออกจากตัวรถ
2. การเปิดชุดแบตเตอรี่
3. การถอดชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery controller)
4. การถอดกล่องพักสายไฟแบตเตอรี่ (Battery Junction box)
5. การถอดสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง (Service plug switch)
6. การถอดกองโมดูลด้านหน้า (Front module stack)
7. การถอดโมดูลจากกองโมดูลด้านหน้า (Battery module at front module stack)
8. การถอดกองโมดูลด้านท้าย (Rear module stack)
9. การถอดโมดูลจากกองโมดูลด้านท้าย (Battery module at rear module stack)

| **การเตรียมความพร้อม** |
| --- |
| **ข้อพึงระวัง**<br>1) ก่อนทำการถอดแบตเตอรี่ ต้อง discharge แบตเตอรี่ให้ระดับแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้<br>2) ใช้อุปกรณ์ที่มีฉนวน เพื่อป้องกันไฟฟ้าแรงสูง<br>3) ระวังเครื่องมือตกหล่น หรือเศษโลหะกระเด็นหล่น ซึ่งอาจทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น<br>4) ต้องทำการถอดในสถานที่ที่แห้ง สะอาด พื้นเรียบและเสมอ มีแสงสว่างเพียงพอ |

**อุปกรณ์เครื่องมือ**

**อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้**

- Insulated gloves (ถุงมือกันไฟฟ้า)

- Leather gloves (ถุงมือหนัง)

- Insulated safety shoes (รองเท้าเซฟตี้)

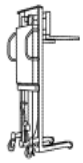
- Safety glasses (แว่นเซฟตี้)

- Hydraulic floor jack / Car lift (แม่แรง)

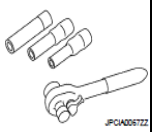
- Jack stands (ขาตั้ง)

- Pallet (พาเล็ต)

- Stacker (แท่นยก)



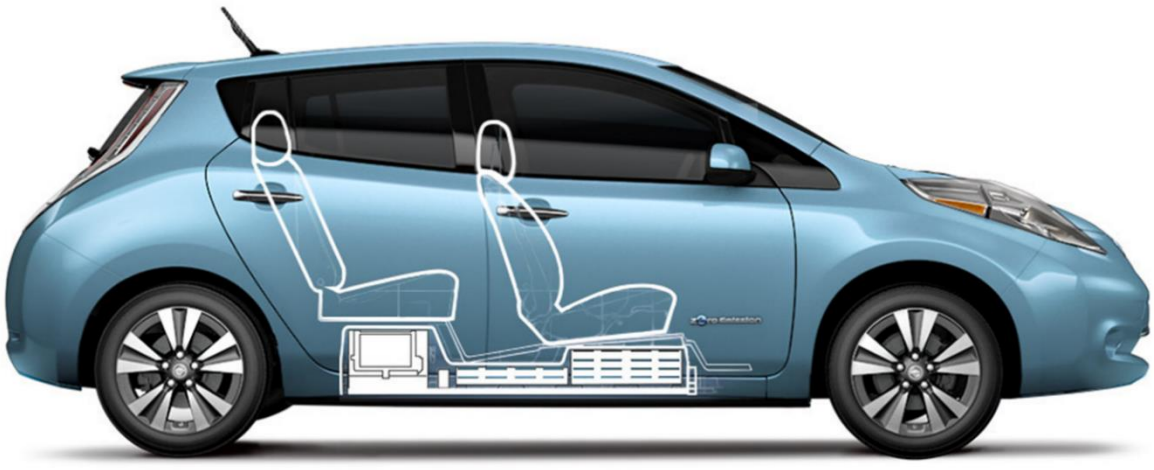
- Insulated hand tools (ชุดเครื่องมือขันประกอบ)



- Multimeter (มัลติมิเตอร์)

**ตำแหน่งของแบตเตอรี่ขับเคลื่อน**

- ก่อนทำการถอดแบตเตอรี่ขับเคลื่อน ต้องศึกษาตำแหน่งและการจัดวางแพ็คแบตเตอรี่จากคู่มือประจำรถก่อน
- โดยส่วนมากแพ็คแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า มักจัดวางไว้บริเวณใต้ท้องรถ
- จัดเตรียมพื้นที่การทำงานให้มีบริเวณกว้างเพียงพอ



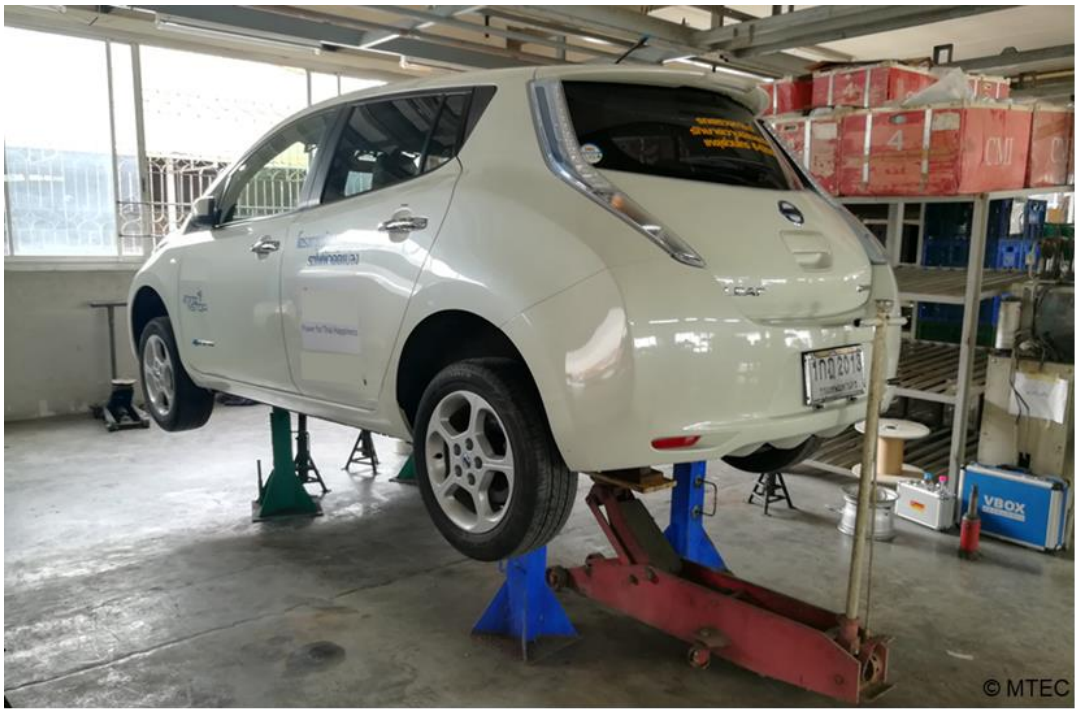
**การถอดชุดแบตเตอรี่ออกจากตัวรถ**

**ถอดเซฟตี้ปลั๊ก (safety plug)**

- ปลดเซฟตี้ปลั๊กออก เซฟตี้ปลั๊กเข้าถึงจากภายในห้องโดยสารและอยู่ระหว่างแถวที่นั่งด้านหน้าและหลัง
- หลังการถอดให้ครอบปิดปากเซฟตี้ปลั๊กด้านแบตเตอรี่ด้วยพลาสติกและเทปพันสายไฟ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุการลัดวงจร

**ยกรถขึ้นตั้ง**

- หากมีลิฟต์ยกรถแบบสองเสาให้ใช้ลิฟต์ยกรถในการยกรถขึ้นและคงรถในระดับความสูงที่ต้องการ หลังการยกรถต้องมีความมั่นคงเพียงพอ หากไม่มีลิฟต์ยกรถให้ยกรถขึ้นตั้งบนขาตั้ง โดยใช้แม่แรง ให้ขาตั้งค้ำที่ตำแหน่งชิ้นส่วนซึ่งสามารถรองรับน้ำหนักรถได้ และไม่กีดขวางการทำงานในขั้นตอนต่อไป



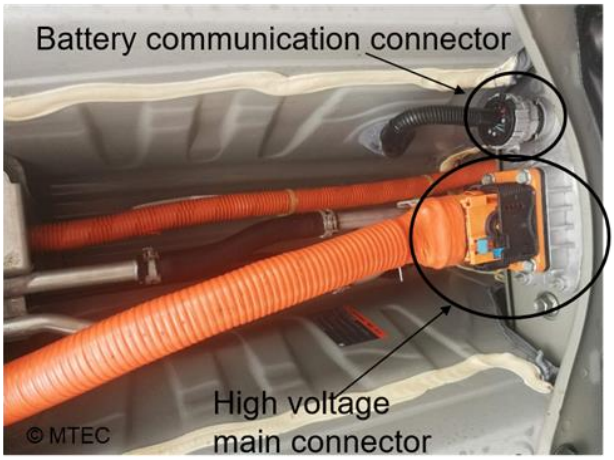

**ถอดฝาครอบใต้ท้องรถ (Under Cover)**

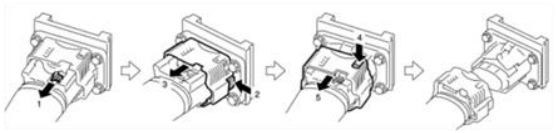
- ฝาครอบใต้ท้องรถมีทั้งหมด 3 ชิ้น ชิ้นหน้า ชิ้นกลาง และชิ้นท้าย

- ขันสกรูเพื่อถอดฝาครอบใต้ท้องรถออก
- ขณะปลดฝาครอบออก ระวังสิ่งแปลกปลอมเช่น ก้อนหิน ที่อาจจะเข้าไปแทรกเข้าไปในระหว่างการใช้งานรถยนต์ ตกลงมา

**ปลดคอนเนคเตอร์ไฟฟ้าแรงสูง (High voltage connector)**

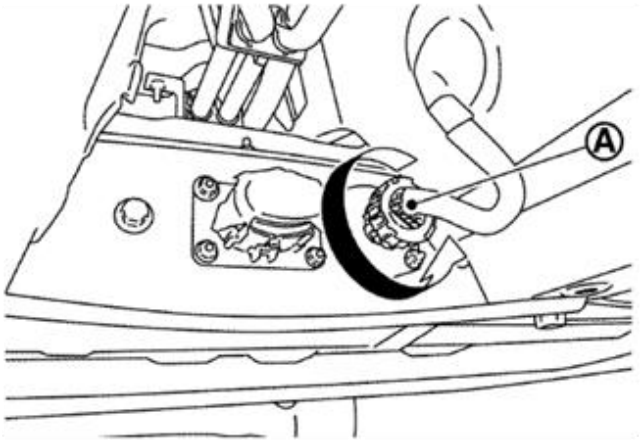
- ปลดคอนเนคเตอร์ไฟฟ้าแรงสูงออกจากแพ็คแบตเตอรี่ ตามวิธีที่ระบุในคู่มือ
- หลังการถอดให้ครอบปิดคอนเนคเตอร์ไฟฟ้าแรงสูงด้วยพลาสติกและเทปพันสายไฟ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุการลัดวงจร



**ปลดคอมมูนิเคชั่น-คอนเนคเตอร์ (Communication connector)**

- ปลดคอมมูนิเคชั่น-คอนเนคเตอร์ ออกจากแพ็คแบตเตอรี่ ตามวิธีที่ระบุในคู่มือ (หมุนทวนเข็มนาฬิกา)
- หลังการถอดให้ครอบปิดคอนเนคเตอร์ด้วยพลาสติกและเทปพันสายไฟ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุการลัดวงจร

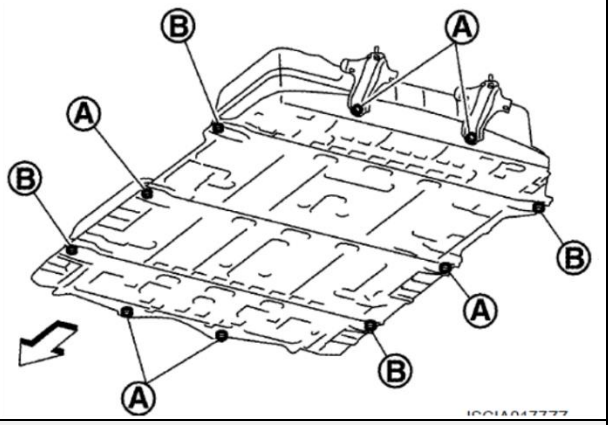



**ถอดแผ่นเชื่อม (Bonding Plate)**

-ถอดแผ่นเชื่อม ที่ยึดแพ็คแบตเตอรี่กับตัวถังของรถออก

**ขันน็อตที่ยึดแพ็คแบตเตอรี่กับตัวถัง**

-ขันน็อตที่ยึดแพ็คแบตเตอรี่กับตัวถังรถออก โดยให้ขันน็อตชุด A ก่อน (ห้ามขันน็อตชุด B ก่อนทำขั้นตอนต่อไป)



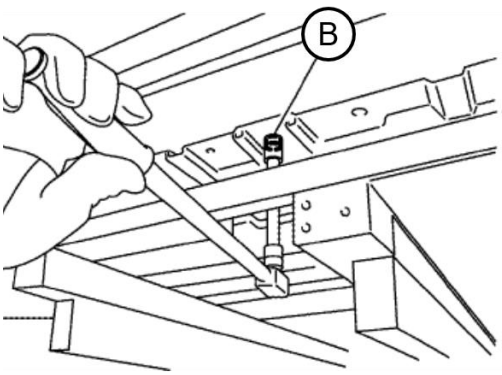

**เตรียมพาเล็ตเข้ากับแท่นยก**

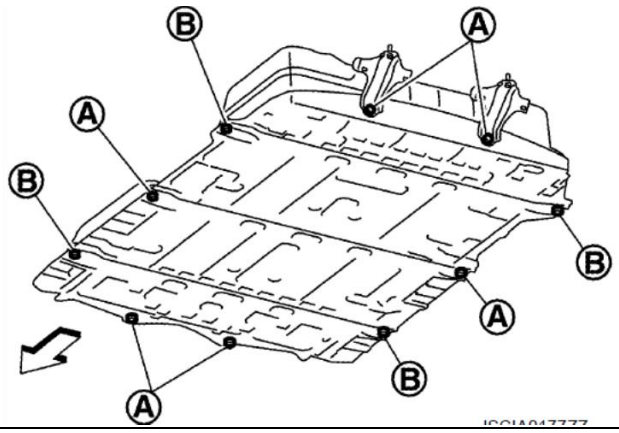
- ติดตั้งพาเล็ตเข้ากับแท่นยก

**เลื่อนพาเล็ตเข้าไปใต้แพ็คแบตเตอรี่**

-เลื่อนพาเล็ตเข้าไปใต้ท้องรถ โดยให้พาเล็ตสัมผัสกับแพ็คแบตเตอรี่ เพื่อเตรียมรับน้ำหนักของแพ็คแบตเตอรี่ที่จะตกลงมา

-ระวังพาเล็ตเข้าไปขวางการเข้าถึงน็อตชุด B



**นำแพ็คแบตเตอรี่ออกจากใต้ท้องรถ**

-เมื่อปลดน็อตชุด B แล้วให้ลดระดับแท่นยกลงอย่างระมัดระวังและเลื่อนแพ็คแบตเตอรี่ออกจากใต้ท้องรถ

**การเปิดชุดแบตเตอรี่**

**ขั้นตอนการถอดแพ็คแบตเตอรี่**

ข้อควรระวัง

-ควรทำงานให้สถานทีที่แห้ง สะอาดและมีที่กำบังกันฝน ทราย หิน

-ระวังการเข้าไปของสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ

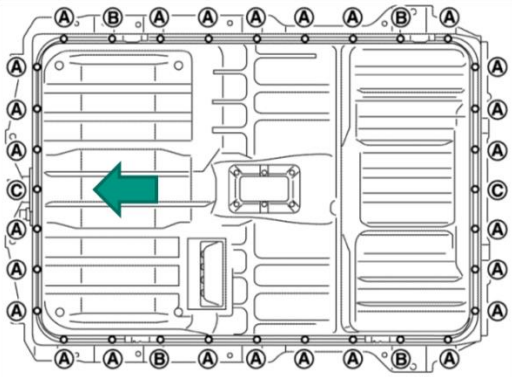
-เตรียมอุปกรณ์ดับเพลิงสำหรับเหตุฉุกเฉิน

**ถอดเซอร์วิสปลั๊กคอนเทนเนอร์ (Service plug container)**

- ถอดเซอร์วิสปลั๊กคอนเทนเนอร์ออก

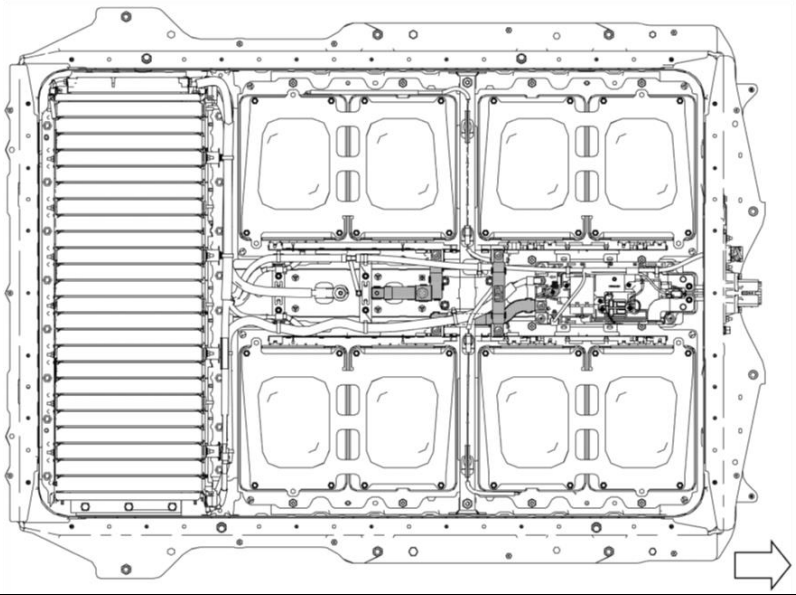
**ขันโบลท์ฝาครอบแบตเตอรี่ออก**

-ขันโบลท์ฝาครอบแบตเตอรี่ออกตามลำดับ เรียงจากชุด A ไป B และ C



**ยกฝาครอบออก**

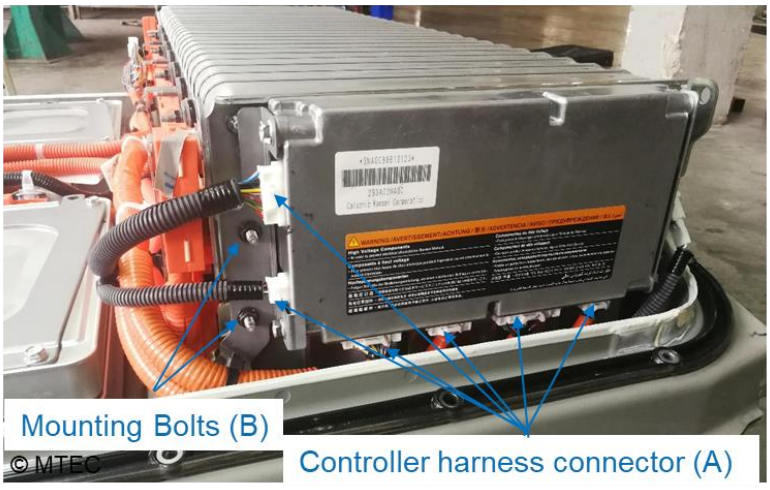
- ยกฝาครอบแพ็คแบตเตอรี่ออกด้วยความระมัดระวัง

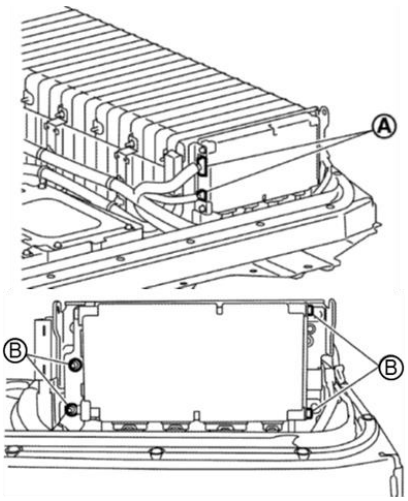


## การถอดชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery controller)

**ปลดสายและถอดสกรูชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery controller)**

- ปลดคอนแน็กเตอร์ที่ต่อกับชุดควบคุมแบตเตอรี่ออก (ด้านข้าง 2 คอนแน็กเตอร์ และด้านใต้ 4 คอนแน็กเตอร์)
- ขันสกรูยึดชุดควบคุมแบตเตอรี่ออก แล้วถอดชุดควบคุมแบตเตอรี่ (พร้อมโครงยึด)

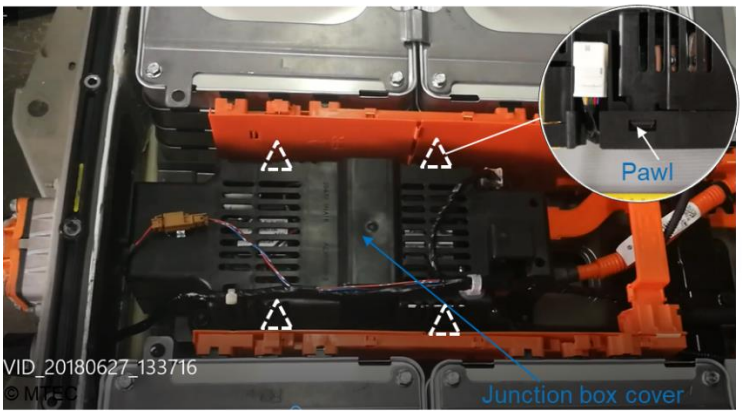


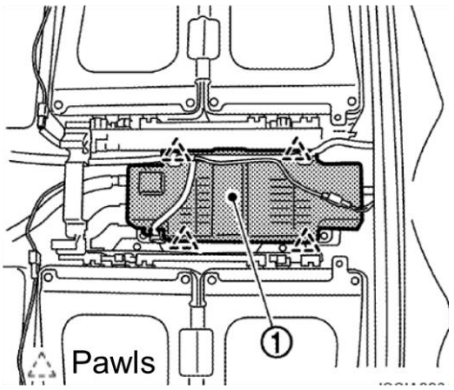




## การถอดกล่องพักสายไฟแบตเตอรี่ (Battery Junction box)

**ถอดฝากล่องพักสายไฟแบตเตอรี่ (Battery junction box)**

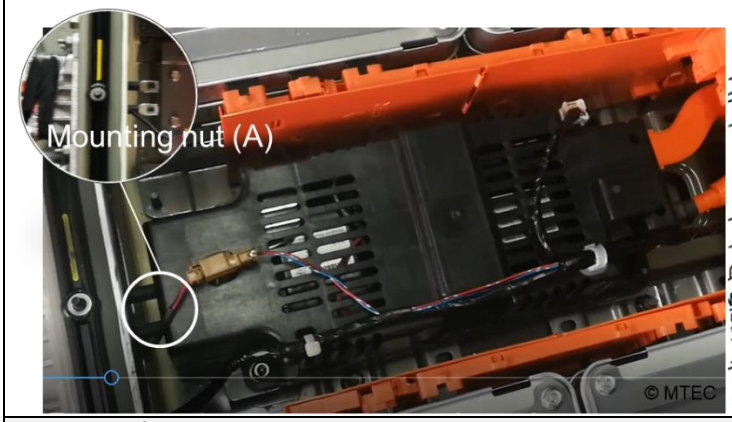
- ถอดสายสัญญาณควบคุมที่กล่องพักสายไฟ
- ปลดตัวล็อกฝากล่องพักสายไฟ จากนั้นถอดฝากล่องพักสายไฟออก

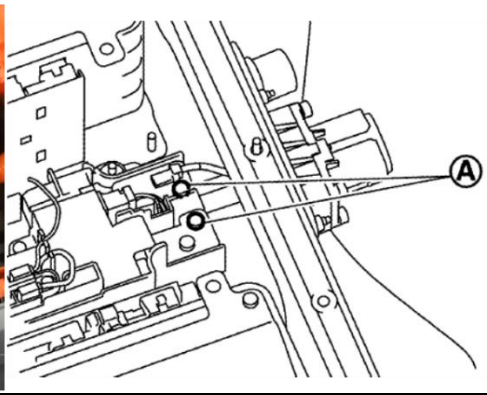



**ถอดขั้วทางเดินไฟแรงสูง (High voltage harness connector)**

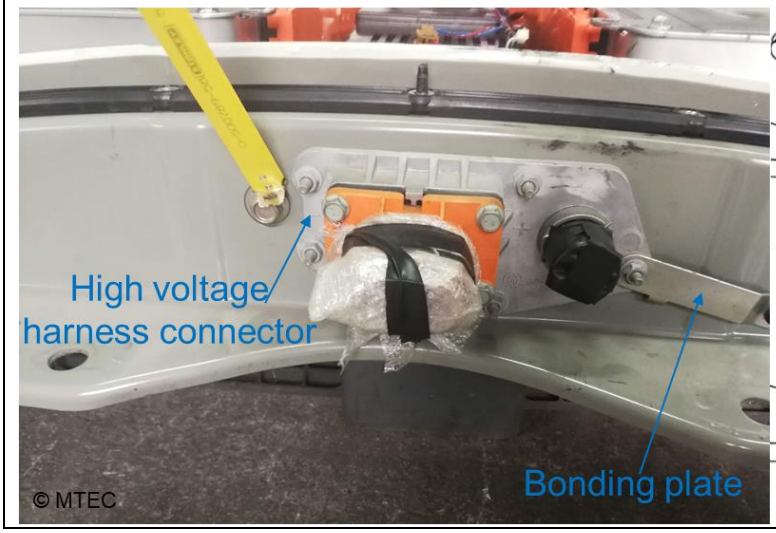
- คลายสกรูขั้วทางเดินไฟแรงที่ด้านหน้ากล่องพักสายไฟ

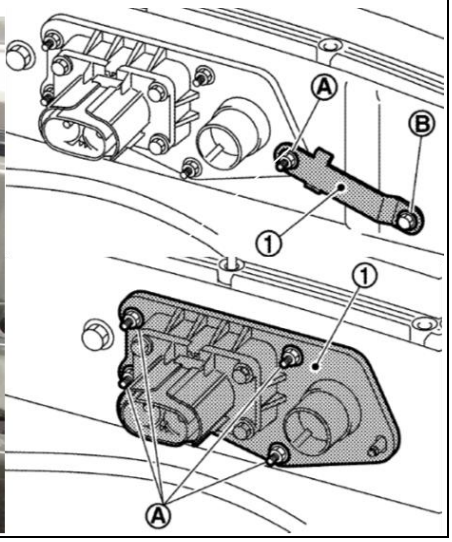



**ถอดแผ่นเชื่อม (High voltage harness connector)**

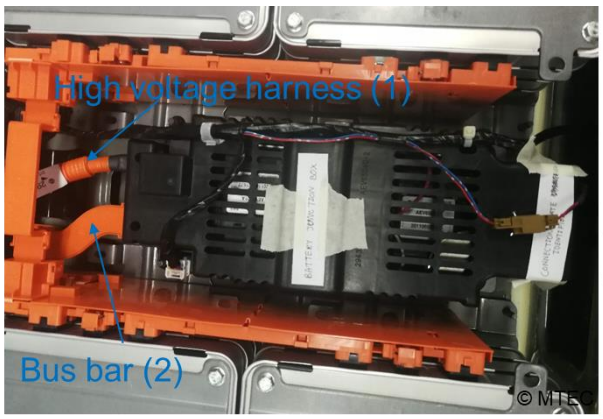
- คลายสกรูและถอดแผ่นเชื่อม (Bonding plate) จากนั้นคลายสกรูและถอดหน้าแปลนขั้วไฟแรงสูง

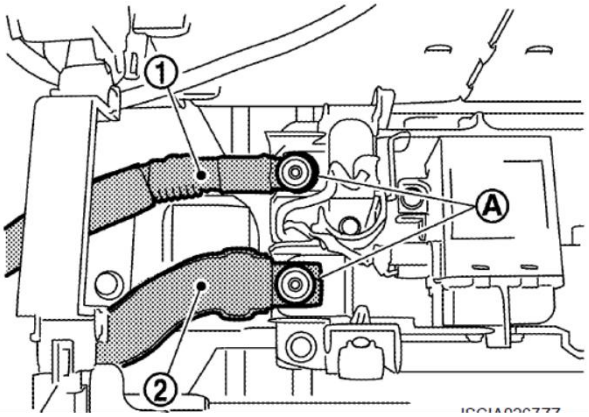


**ถอดสายไฟแรงสูงและบัสบาร์ที่กล่องพักสายไฟ**

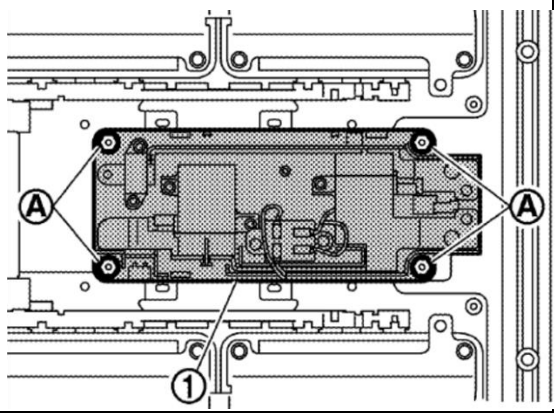
- ถอดน็อต (A) ที่เชื่อมสายไฟแรงสูงและบัสบาร์ภายในกล่องพักสายไฟออก และหุ้มปลายสายไฟและบัสบาร์ด้วยเทปพันสายไฟ




**ถอดกล่องพักสายไฟ**

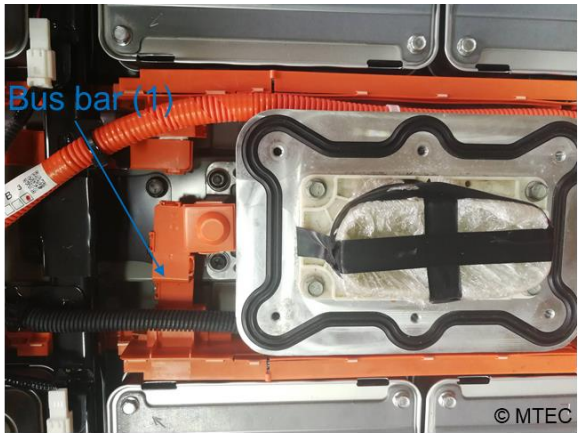
- ถอดน็อต (A) ที่ฐานกล่องพักสายไฟแบตเตอรี่ แล้วยกกล่องพักสายไฟออก

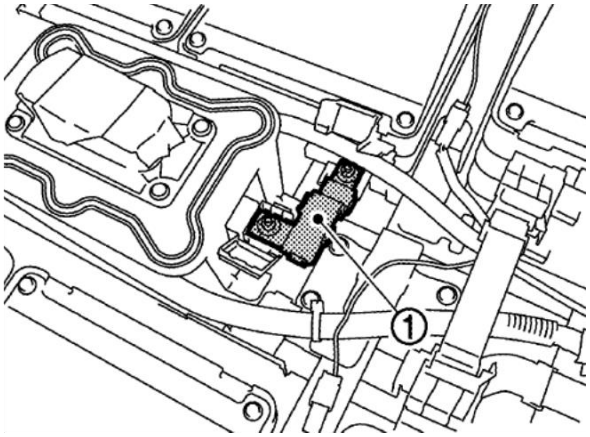



**การถอดสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง (Service plug switch)**

**ถอดบัสบาร์ที่เชื่อมต่อกับสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง**

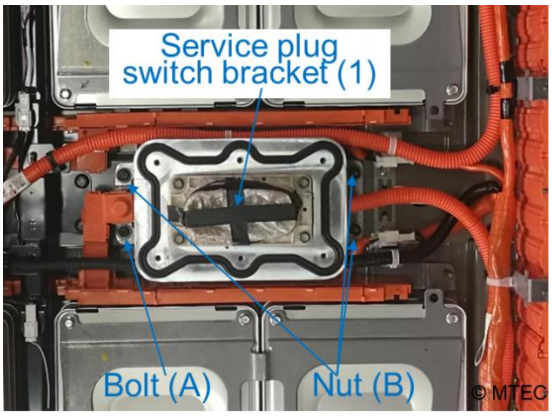
- คลายน็อตที่ยึดบัสบาร์กับสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุงออก และพันบัสบาร์ที่เปลือยด้วยเทปพันสายไฟ

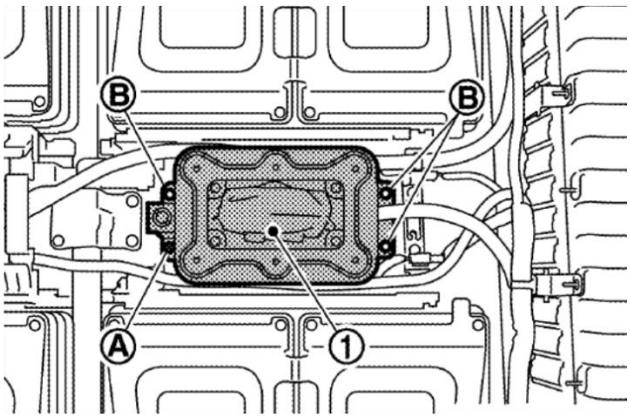


**ถอดสกรูและน็อตยึดแท่นรองสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง (Service plug switch bracket)**

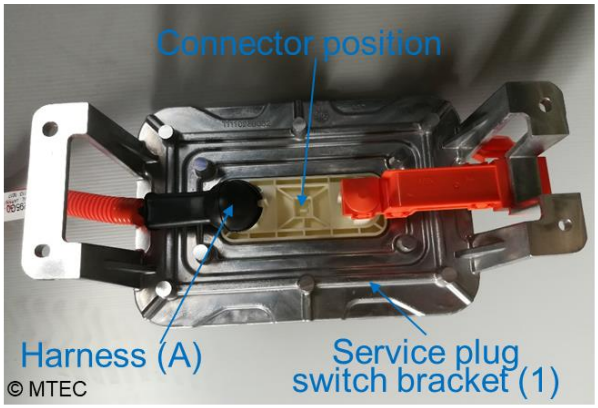
- ถอดสกรู (A) และน็อต (B) ที่ยึดแท่นรองสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุงออก

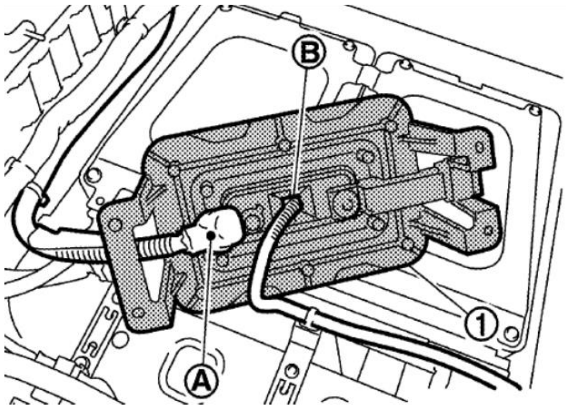



**ถอดแท่นรองสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง (Service plug switch bracket)**

- ปลดสายไฟแรงดันสูง (A) ที่เชื่อมต่อกับแท่นรองสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง
- ปลดคอนแน็กเตอร์ (B) ที่เชื่อมต่อกับแท่นรองสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง
- ถอดแท่นรองสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุงจากชุดแบตเตอรี่

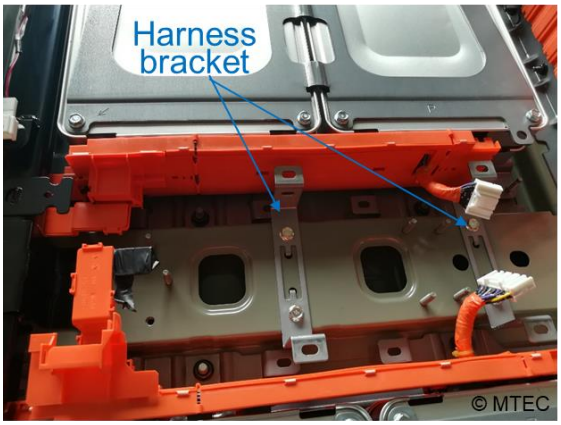


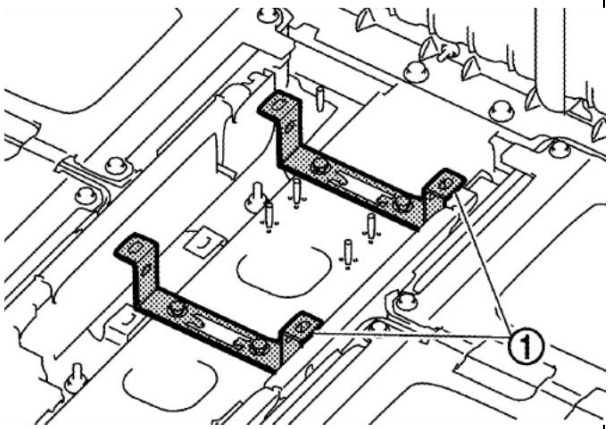




**การถอดกองโมดูลด้านหน้า (Front module stack)**

**ถอดแท่นรองรับสายไฟ (Harness bracket)**

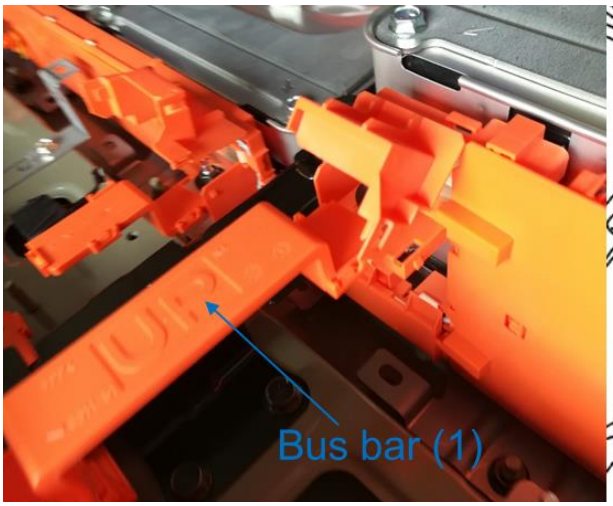
- ถอดสกรูยึดแท่นรองรับสายไฟ (1) และถอดแท่นรองรับออก

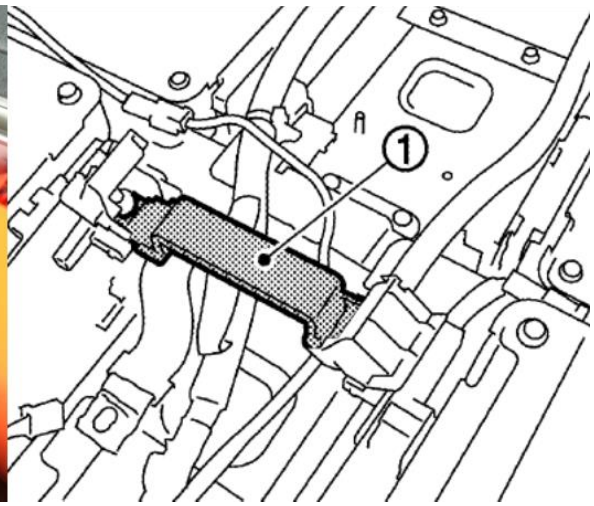



**ถอดบัสบาร์ที่เชื่อมระหว่างกองโมดูลหน้า (Bus bar connecting left and right module stacks)**

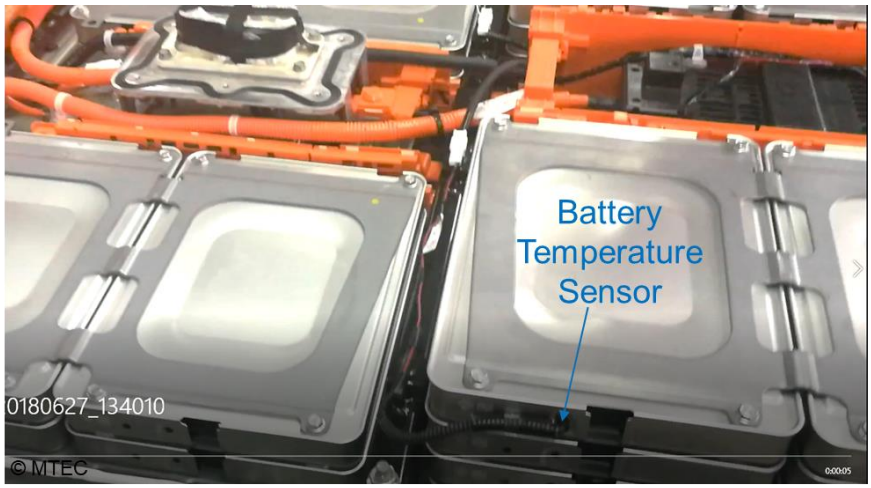
- คลายน็อตและถอดบัสบาร์ (1) ที่เชื่อมระหว่างกองโมดูลด้านหน้าซ้ายกับกองโมดูลด้านหน้าขวาออก

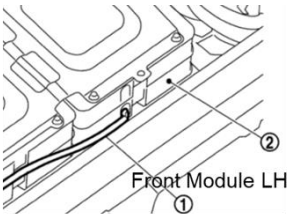


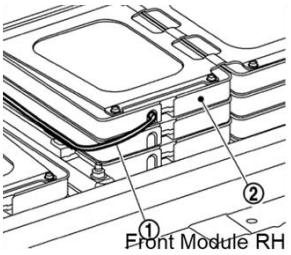




**ถอดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Battery temperature sensor)**

- ถอดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและปลดสายเซนเซอร์ตามจุดยึด

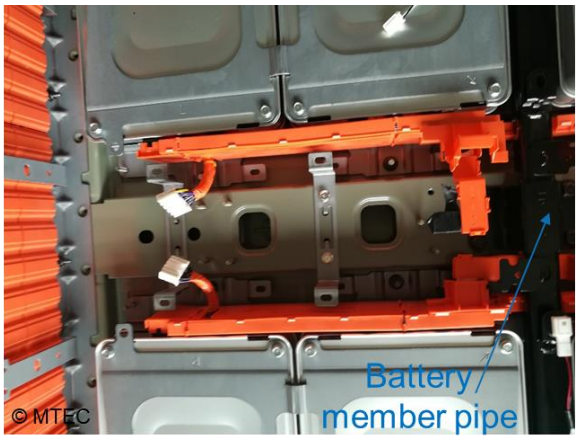


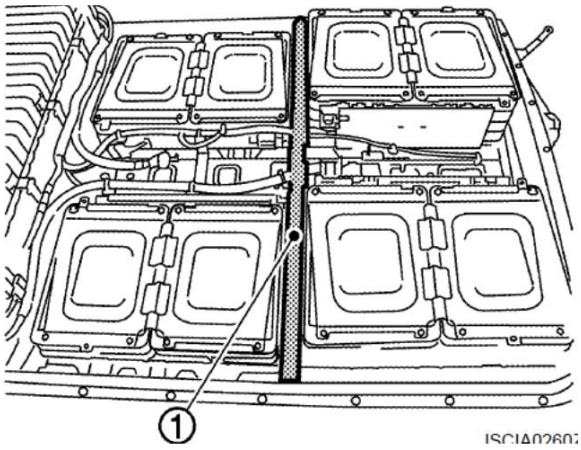




**ถอดท่อหลักชุดแบตเตอรี่ (Battery member pipe)**

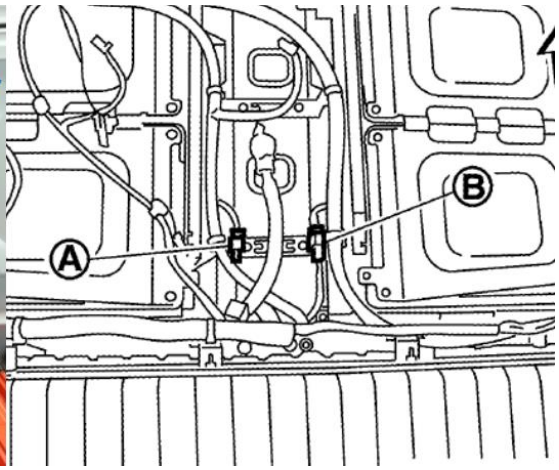
- ถอดสกรูยึดท่อหลักชุดแบตเตอรี่ (1) และถอดท่อหลักออก



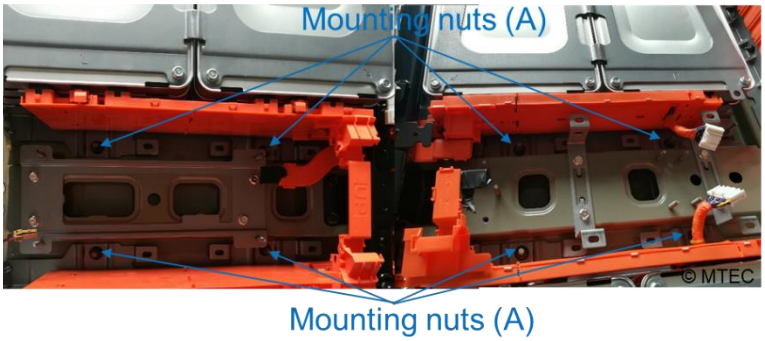
**ถอดคอนแน็กเตอร์สายสัญญาณ (Vehicle communication harness connector)**

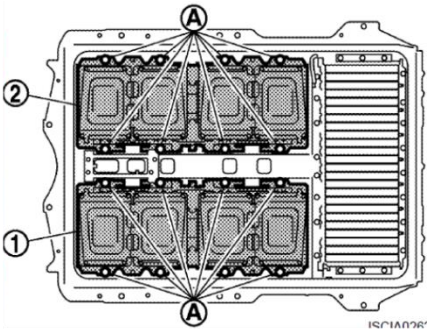
- ปลดคอนแน็กเตอร์สายสัญญาณวัดแรงดันไฟฟ้าของกองโมดูลด้านหน้าซ้ายกับกองโมดูลด้านหน้าขวาออก




**ถอดกองโมดูลด้านหน้า (Front module stacks) จากชุดแบตเตอรี่**

- ถอดน็อต (A) ที่ยึดซับเฟรมของกองโมดูลด้านหน้าออก
- ถอดกองโมดูลด้านหน้าออกจากชุดแบตเตอรี่

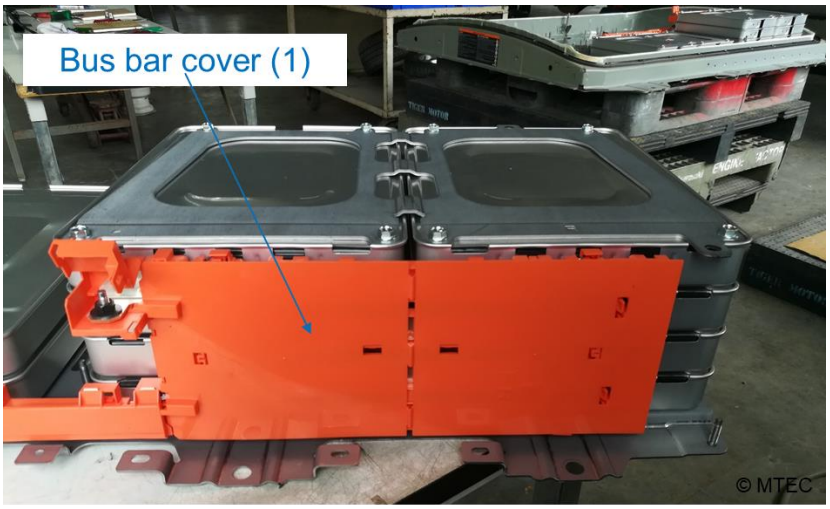



**การถอดโมดูลจากกองโมดูลด้านหน้า (Battery module at front module stack)**

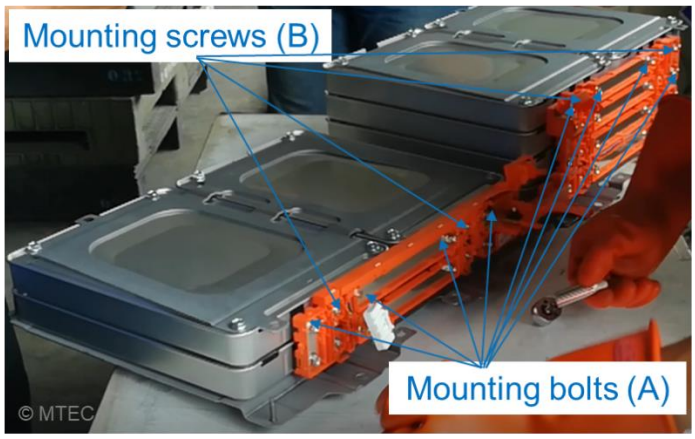
**ถอดฝาครอบบัสบาร์ (Bus bar cover)**

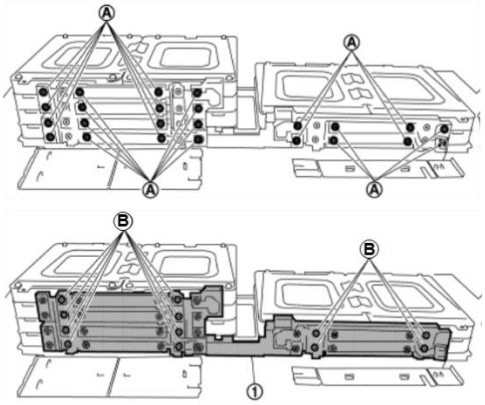
- ถอดฝาครอบบัสบาร์ (Bus bar cover) (1)




**ถอดสกรูขั้วแบตเตอรี่ (Terminal mounting bolts and voltage detection mounting screws)**

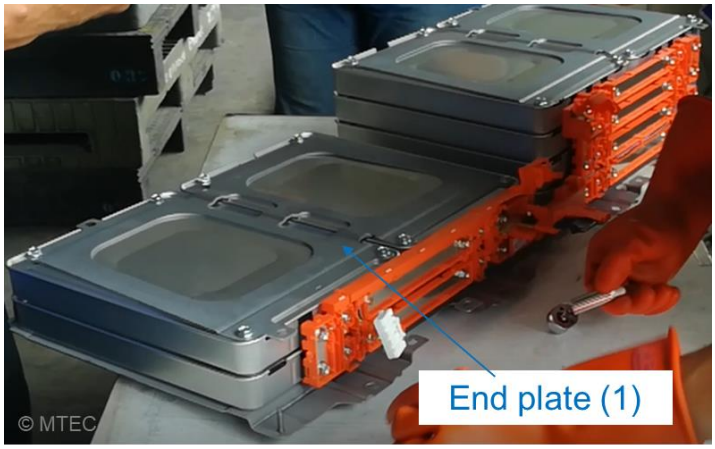
- ถอดสกรูขั้วแบตเตอรี่ (Terminal mounting bolts, A) และสกรูยึดขั้ววัดแรงดันไฟฟ้าออก (Voltage detection mounting screws, B)




**ถอดโมดูลแบตเตอรี่ (Battery module)**

- ถอดฝาปิดหัวท้าย (End plate, 1) และถอดโมดูลแบตเตอรี่จากกองโมดูล



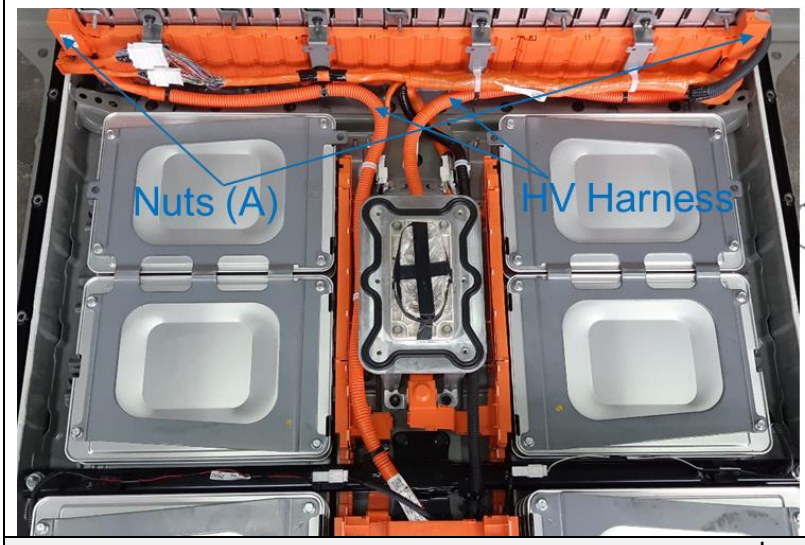

**การถอดกองโมดูลด้านท้าย (Rear module stack)**

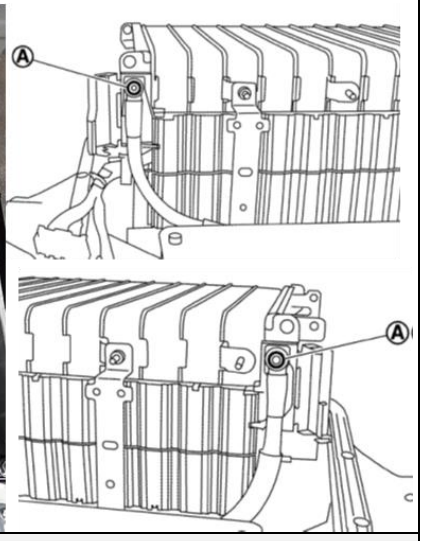
**ถอดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและคลิปยึดสายไฟ**

- ถอดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (A) และปลดสายเซนเซอร์ตามจุดยึด จากนั้นถอดคลิปยึดสายไฟ (B)

**ถอดสายไฟแรงสูงที่เชื่อมต่อกับกองโมดูลด้านหลัง (HV harness at rear module stacks)**

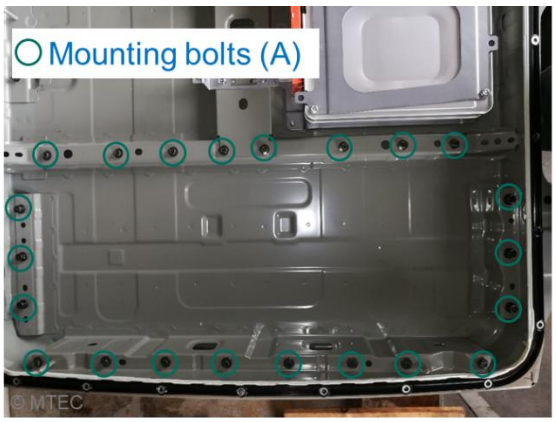
- ถอดน็อต (A) ที่เชื่อมต่อสายไฟแรงสูงกับกองโมดูลด้านท้ายออก และปลดสายไฟแรงสูง

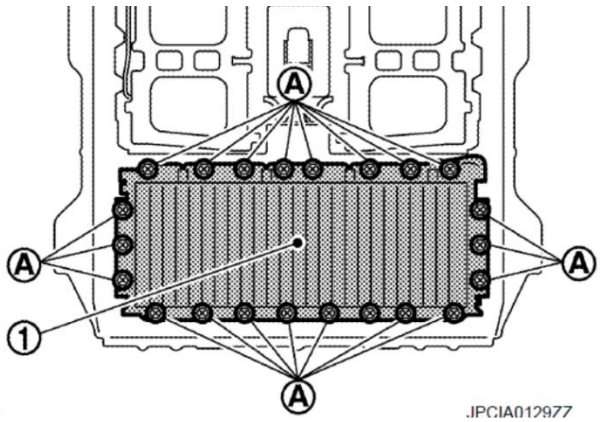



**ถอดกองโมดูลด้านท้าย (Rear module stack) จากชุดแบตเตอรี่**

- ถอดสกรู (A) ที่ยึดซับเฟรมของกองโมดูลด้านท้ายออก และยกกองโมดูลด้านท้ายออกจากชุดแบตเตอรี่

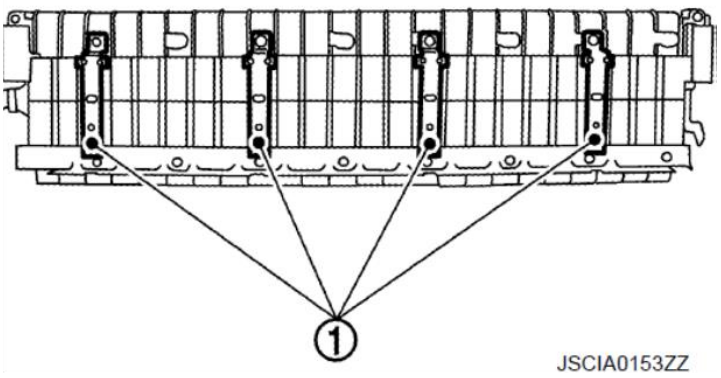



**การถอดโมดูลจากกองโมดูลด้านท้าย (Battery module at rear module stack)**

**ถอดขารองรับสายไฟ (Harness bracket)**

- ถอดขารองรับสายไฟ (Harness bracket, 1) ที่ติดกับกองโมดูลท้าย (Rear module stack)

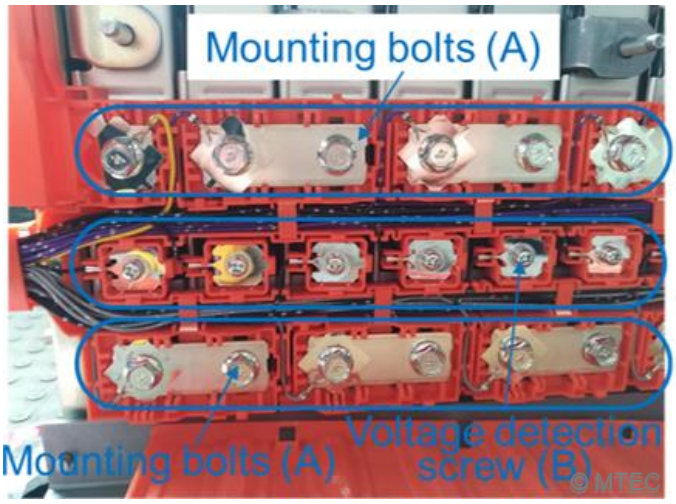


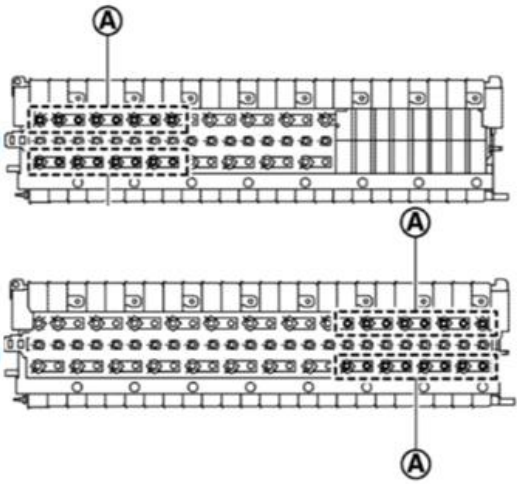

**ถอดฝาครอบบัสบาร์ (Bus bar cover)**

- ถอดฝาครอบบัสบาร์ (Bus bar cover) (1)

**ถอดสกรูขั้วแบตเตอรี่ (Terminal mounting bolts and voltage detection mounting screws)**

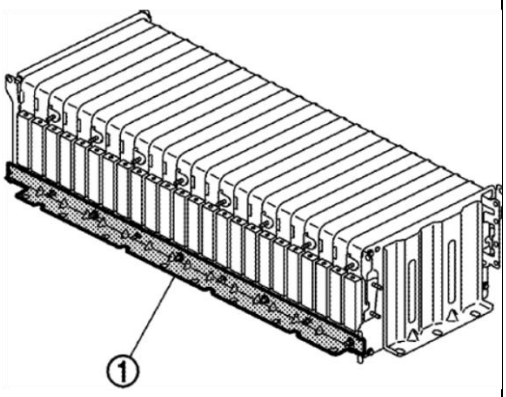
- ถอดสกรูขั้วแบตเตอรี่ (Terminal mounting bolts, A) และสกรูยึดขั้ววัดแรงดันไฟฟ้าออก (Voltage detection mounting screws, B)



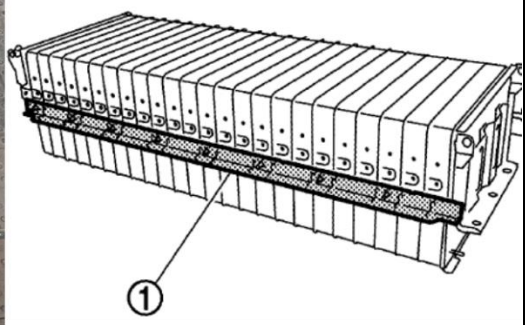

**ถอดคานค้ำหน้า (Front stack member)**

- ถอดน็อต (A) ยึดคานค้ำหน้า (Front stack member) และถอดคานค้ำหน้าออก




**ถอดคานค้ำหลัง (Rear stack member)**

- ถอดน็อต (A) ยึดคานค้ำหลัง (Rear stack member) และถอดคานค้ำหลังออก




**ถอดโมดูลแบตเตอรี่ (Battery module)**

- กองโมดูลด้านท้ายมีสกรูยาว 4 ตัวยึดแต่ละโมดูลเข้าไว้ด้วยกัน ให้ถอดน็อต (A) ที่หัวท้ายของสกรูทั้งสี่ จากนั้นจึงถอดโมดูลแบตเตอรี่จากกองโมดูล

# กระบวนการถอดมอเตอร์ขับเคลื่อน

## การถอดมอเตอร์ขับเคลื่อน

การถอดแบตเตอรี่ขับเคลื่อน สามารถแบ่งออกได้เป็น

1. การถอดชุดแบตเตอรี่ออกจากตัวรถ
2. การเปิดชุดแบตเตอรี่
3. การถอดชุดควบคุมแบตเตอรี่ (Battery controller)
4. การถอดกล่องพักสายไฟแบตเตอรี่ (Battery Junction box)
5. การถอดสวิตช์ปลั๊กซ่อมบำรุง (Service plug switch)
6. การถอดกองโมดูลด้านหน้า (Front module stack)
7. การถอดโมดูลจากกองโมดูลด้านหน้า (Battery module at front module stack)
8. การถอดกองโมดูลด้านท้าย (Rear module stack)
9. การถอดโมดูลจากกองโมดูลด้านท้าย (Battery module at rear module stack)

### การเตรียมความพร้อม

| **การเตรียมความพร้อม** |
| --- |
| **ข้อพึงระวัง**<br>1) ก่อนทำการถอดมอเตอร์ขับเคลื่อน ต้อง discharge แบตเตอรี่ให้ระดับแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้<br>2) ใช้อุปกรณ์ที่มีฉนวน เพื่อป้องกันไฟฟ้าแรงสูง<br>3) ระวังเครื่องมือตกหล่น หรือเศษโลหะกระเด็นหล่น ซึ่งอาจทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้น<br>4) ต้องทำการถอดในสถานที่ที่แห้ง สะอาด พื้นเรียบและเสมอ มีแสงสว่างเพียงพอ |

**อุปกรณ์เครื่องมือ**

**อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้**

- Insulated gloves (ถุงมือกันไฟฟ้า)

- Leather gloves (ถุงมือหนัง)

- Insulated safety shoes (รองเท้าเซฟตี้)

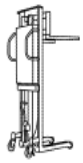
- Safety glasses (แว่นเซฟตี้)

- Hydraulic floor jack / Car lift (แม่แรง)

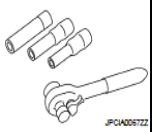
- Jack stands (ขาตั้ง)

- Pallet (พาเล็ต)

- Stacker (แท่นยก)



- Insulated hand tools (ชุดเครื่องมือขันประกอบ)



- Multimeter (มัลติมิเตอร์)

**ตำแหน่งของมอเตอร์ขับเคลื่อน**

- ก่อนทำการถอดมอเตอร์ขับเคลื่อน ต้องศึกษาตำแหน่งและการเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนอื่นๆจากคู่มือประจำรถก่อน
- จัดเตรียมพื้นที่การทำงานให้มีบริเวณกว้างเพียงพอ

**ยกรถขึ้นตั้ง**

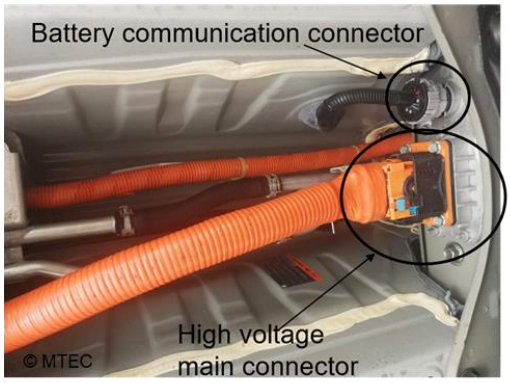
- หากมีลิฟต์ยกรถแบบสองเสาให้ใช้ลิฟต์ยกรถในการยกรถขึ้นและคงรถในระดับความสูงที่ต้องการ หลังการยกรถต้องมีความมั่นคงเพียงพอ หากไม่มีลิฟต์ยกรถให้ยกรถขึ้นตั้งบนขาตั้ง โดยใช้แม่แรง ให้ขาตั้งค้ำที่ตำแหน่งชิ้นส่วนซึ่งสามารถรองรับน้ำหนักรถได้ และไม่กีดขวางการทำงานในขั้นตอนต่อไป

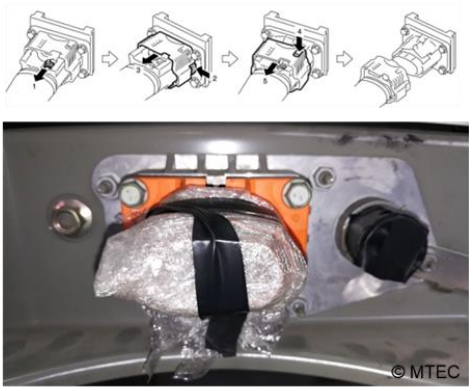
**ถอดฝาครอบแบตเตอรี่แพ็คใต้ท้อง (Battery Under Cover)**

- ถอดฝาครอบแบตเตอรี่แพ็คใต้ท้องรถออก
- ขณะปลดฝาครอบออก ระวังสิ่งแปลกปลอมเช่น ก้อนหิน ที่อาจจะเข้าไปแทรกเข้าไปในระหว่างการใช้งานรถยนต์ ตกลงมา

**ปลดคอนเนคเตอร์ไฟฟ้าแรงสูง (High voltage connector)**

- ปลดคอนเนคเตอร์ไฟฟ้าแรงสูงออกจากแพ็คแบตเตอรี่ ตามวิธีที่ระบุในคู่มือ
- หลังการถอดให้ครอบปิดคอนเนคเตอร์ไฟฟ้าแรงสูงด้วยพลาสติกและเทปพันสายไฟ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุการลัดวงจร



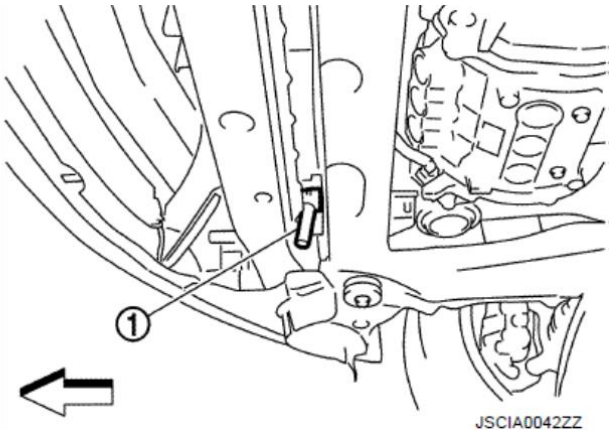




**ถอดฝาครอบด้านหน้าใต้ห้องเครื่อง**

- ถอดฝาครอบด้านหน้าใต้ห้องเครื่องออก
- ขณะปลดฝาครอบออก ระวังสิ่งแปลกปลอมเช่น ก้อนหิน ที่อาจจะเข้าไปแทรกเข้าไปในระหว่างการใช้งานรถยนต์ ตกลงมา

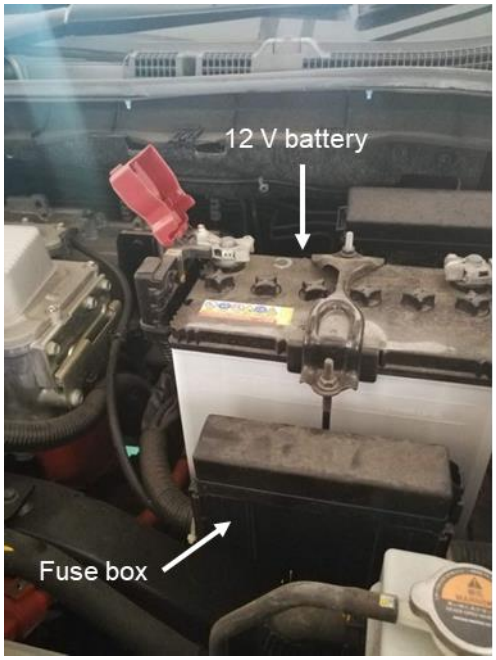
**ถ่ายน้ำยาหล่อเย็น**

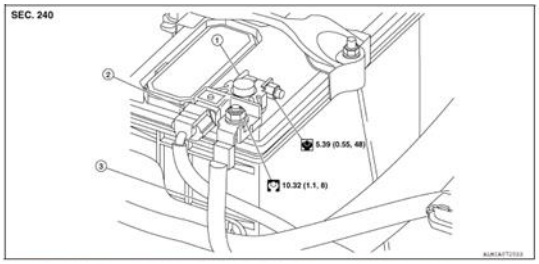
- ถ่ายน้ำยาหล่อเย็นสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าทิ้ง
- ตำแหน่งของท่อปล่อยน้ำ ตามคู่มือประจำรถ
- ระวังมิให้น้ำยาหล่อเย็นไปสัมผัสชิ้นส่วนอื่นๆของรถ

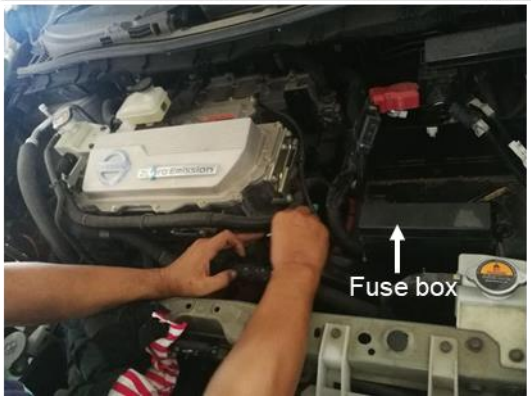


**ปลดระบบไฟฟ้า 12 V**

- ทำการปลดระบบไฟฟ้า 12 โวลต์ด้วยการถอดขั้วแบตเตอรี่
- เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการทำงานขั้นต่อไป ยกแบตเตอรี่ออกจากฐาน พร้อมกับถอดฐานวางแบตเตอรี่ 12 โวลต์ออก
- ถอดกล่องฟิวส์ (Fuse box) ออกจากตำแหน่งที่ติดตั้งไว้ และจัดให้แนบผนังห้องเครื่องด้านใดด้านหนึ่งเพื่อช่วยเพิ่มพื้นที่การทำงาน

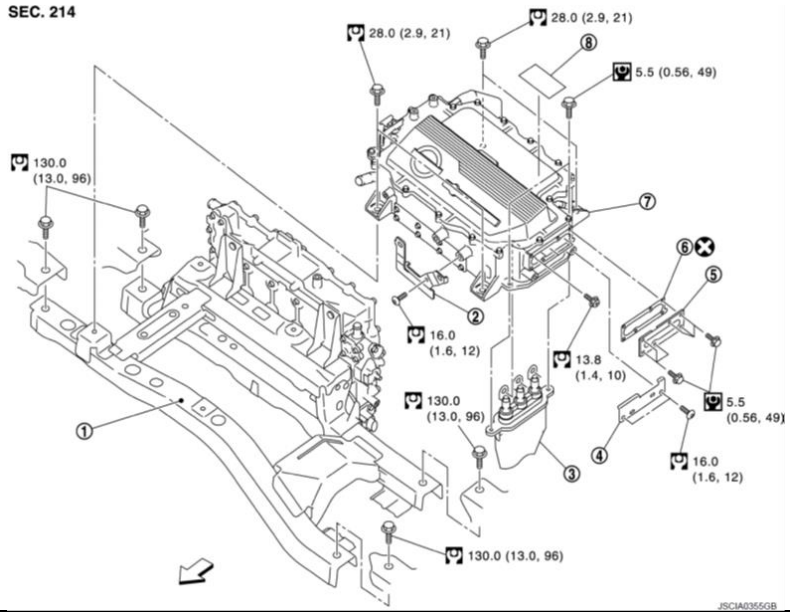


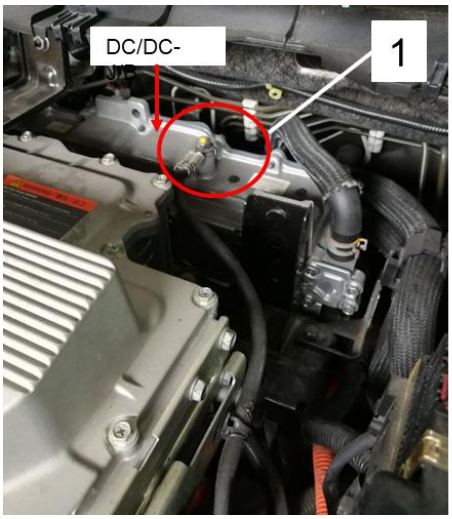



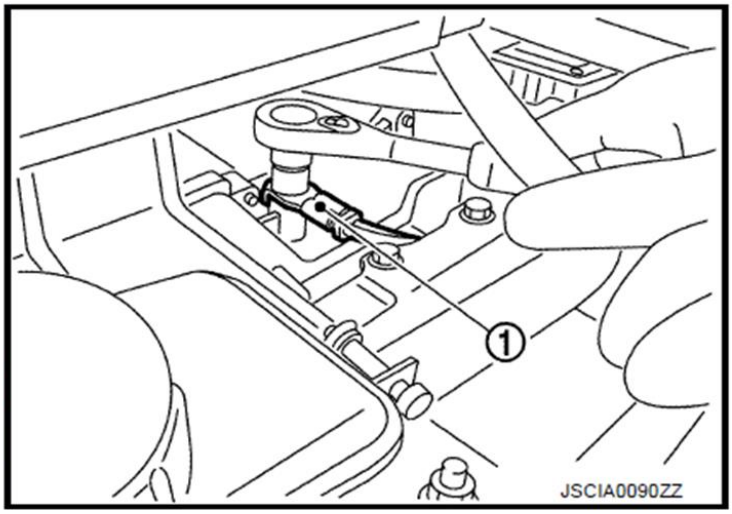
**การถอดมอเตอร์อินเวอร์เตอร์**

| Motor Inverter |
| --- |
| -- ตำแหน่งของอินเวอร์เตอร์มักจะติดตั้งอยู่ด้านบนของมอเตอร์ขับเคลื่อน<br>- ควรศึกษาการเชื่อมทางไฟฟ้าระหว่างอินเวอร์เตอร์กับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Traction Motor Traction Battery DC/DC-Junction box อย่างละเอียดก่อนลงมือถอดประกอบ |




| ปลดสายกราวด์ ออกจาก DC/DC-J/B |
| --- |
| -- ปลดสายกราวด์ของอินเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับ DC/DC-J/B ออก |



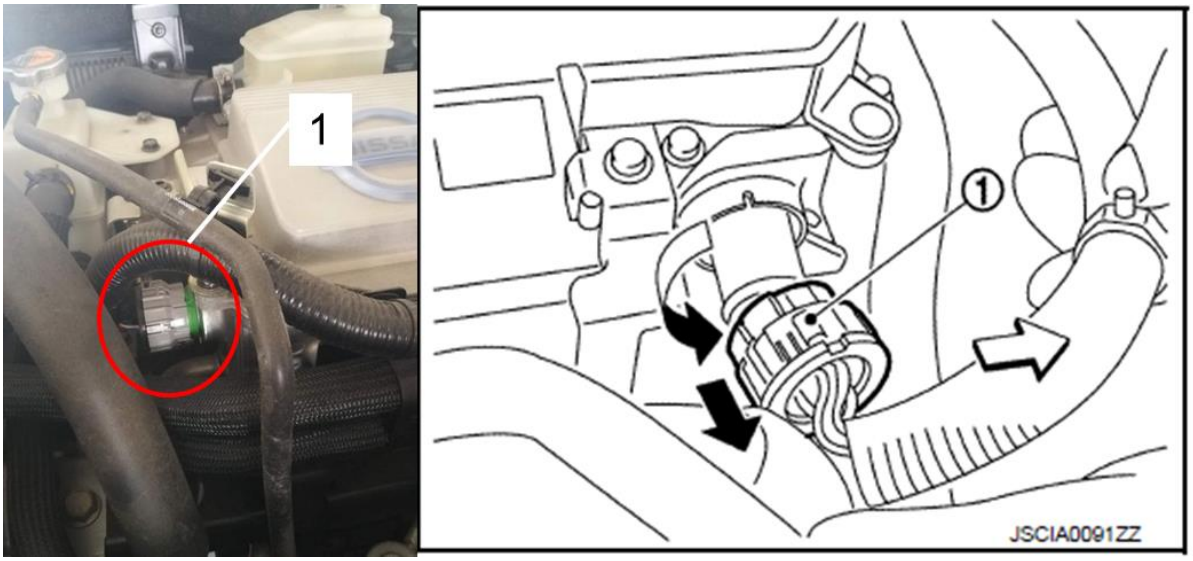



**ปลดคลิปล็อคสายสัญญาณและท่อน้ำหล่อเย็นออก**

-- ปลดคลิปล็อคสายสัญญาณและท่อน้ำหล่อเย็น ที่ติดอยู่บริเวณโดยรอบอินเวอร์เตอร์ออก จัดสายสัญญาณและท่อน้ำออกจากบริเวณอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำงานในขั้นตอนต่อไป

**ปลดคอนเนคเตอร์สายสัญญาณ**

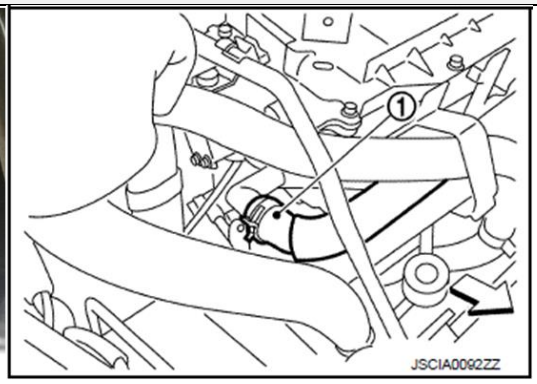
-- ถอดคอนเนคเตอร์สายสัญญาณ โดยหมุนทวนเข็มนาฬิกาแล้วดึงออก



**ปลดถังเก็บน้ำหล่อเย็นและถังเก็บน้ำมันเบรค**

-- ปลดถังเก็บน้ำหล่อเย็นและถังเก็บน้ำมันเบรกที่ติดตั้งโดยรอบอินเวอร์เตอร์เพื่อสร้างพื้นที่การทำงาน

**ปลดท่อน้ำหล่อเย็นออกจากอินเวอร์เตอร์**

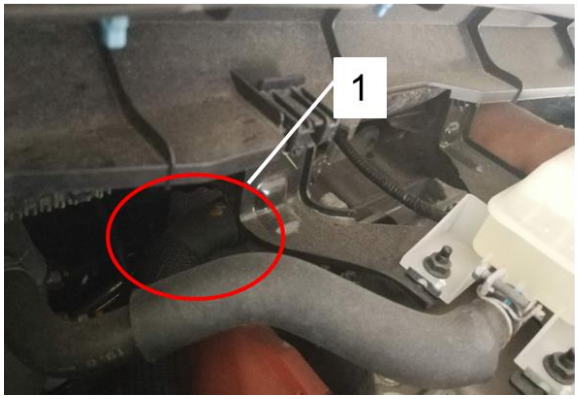


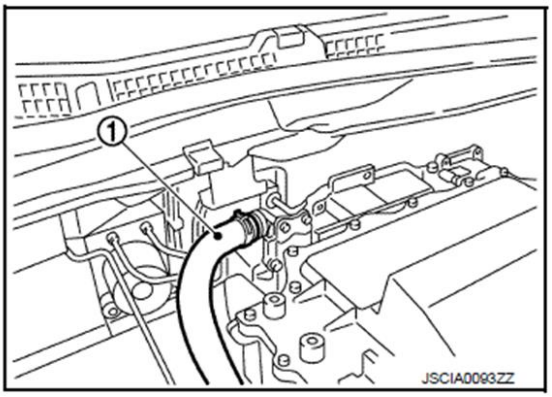

--

ปลดท่อน้ำหล่อเย็นออกจากอินเวอร์เตอร์

**ปลดท่อน้ำหล่อเย็นออกจาก DC/DC-J/B**

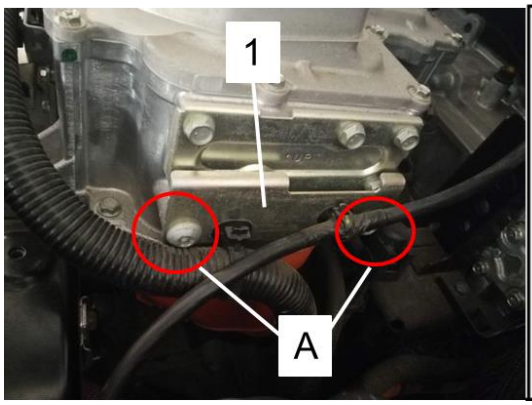
-- ปลดท่อน้ำหล่อเย็นที่เชื่อมกับ DC/DC-J/B ออก

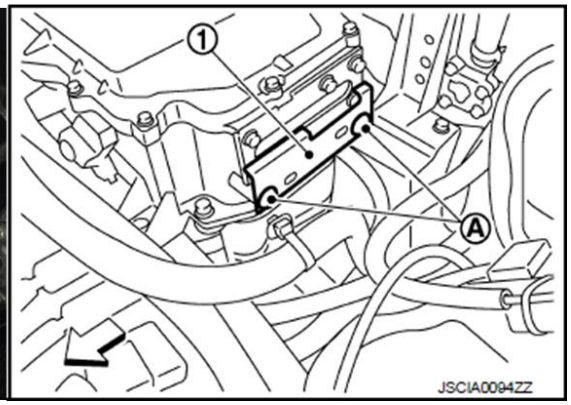


**ถอดฝาครอบป้องกันไฟแรงสูง**

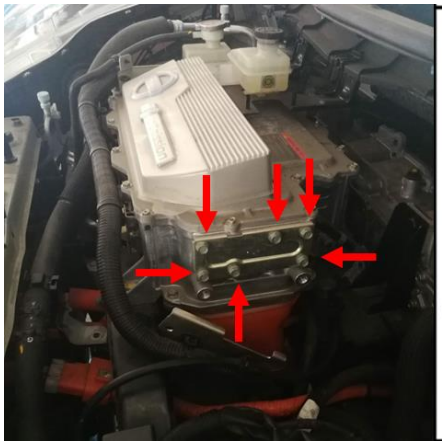
-- ขันและถอดโบลต์ (A) แล้วถอดฝาครอบป้องกันไฟแรงสูง (1) (high voltage safety cover)

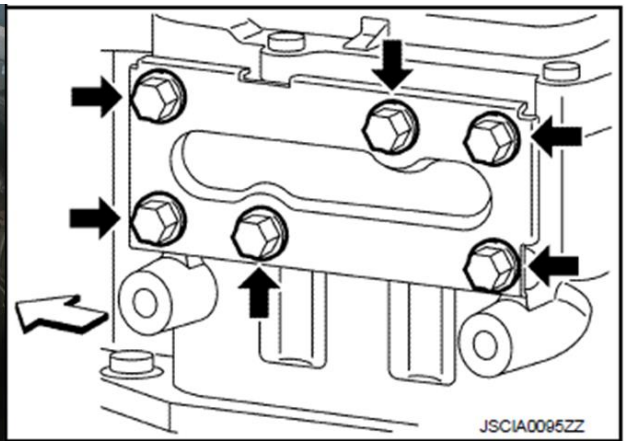



**ถอดฝาครอบสายไฟ 3 เพส**

-- ขันโบลต์ฝาครอบไฟ 3 เพสและถอดฝาครอบออก

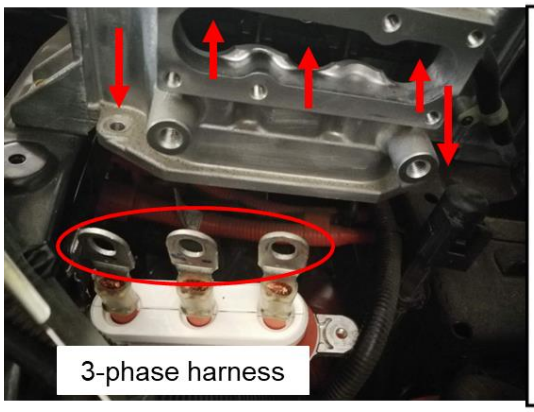


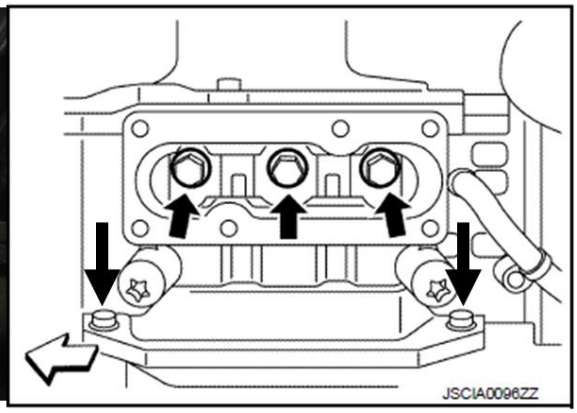



**ถอดสายไฟ 3 เพส**

-- ขันโบลต์คลายตัวยึดสายไฟ 3 เพส และปลดสายไฟ 3 เพสออก

-- ควรพันปลายโลหะสายไฟ 3 เพสหลังจากที่ปลดสายไฟออกมาแล้ว เพื่อป้องกันไฟฟ้ารั่วที่อาจจะเกิดขึ้นได้

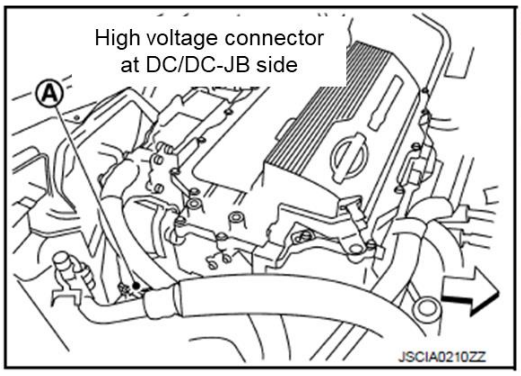


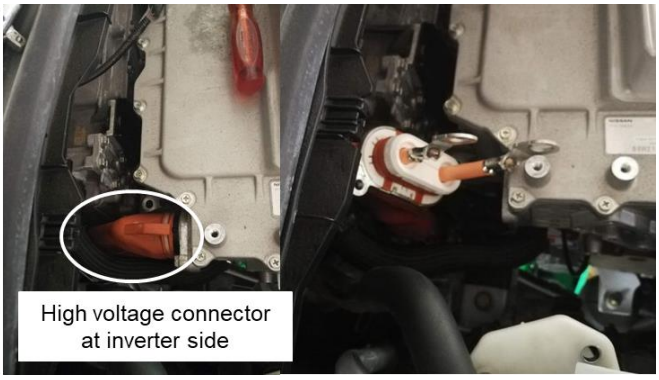



**ถอดคอนเนคเตอร์สายไฟแรงสูง (3-step type) ด้านที่ติดกับ DC/DC-J/B ออก**

-- ถอดคอนเนคเตอร์สายไฟแรงสูง (3-step type) ด้านที่ติดกับ DC/DC-J/B ออก

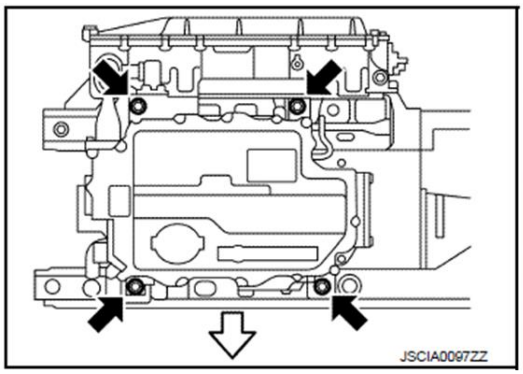
-- ในกรณีที่เข้าไม่ถึงคอนเนคเตอร์สายไฟแรงสูงด้านDC/DC-J/B ให้สายไฟแรงสูง ด้านที่ติดกับอินเวอร์เตอร์ออกแทน (ต้องปลดโบลต์ที่ยึดออกสายไฟแรงสูงออกก่อน)




**ขันโบลต์ยึดฐานอินเวอร์เตอร์ออก**

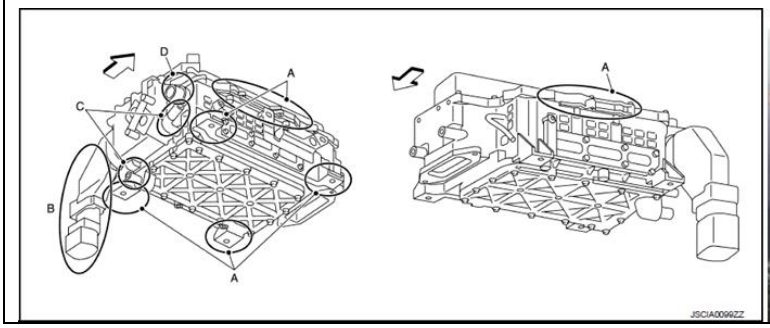
-- ขันโบลต์ยึดฐานอินเวอร์เตอร์ออก



**ยกอินเวอร์เตอร์ออก**

-- ยกอินเวอร์เตอร์ออกทางด้านบน

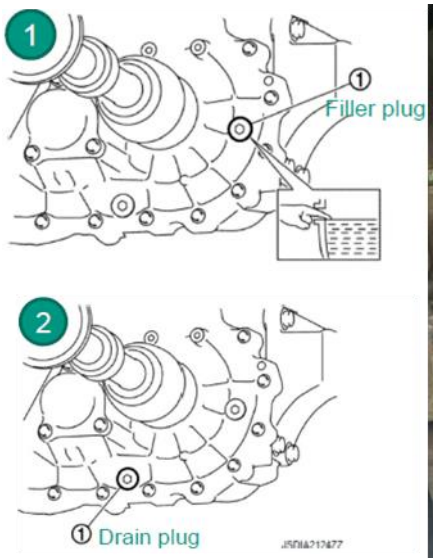
-- ข้อแนะนำ: ให้จับบริเวณ (A) เพื่อทำการยกออก หลีกเลี่ยงการจับสายไฟแรงสูง จุดเชื่อมระบบไฟฟ้า 12 โวลต์และข้อต่อท่อหล่อเย็น

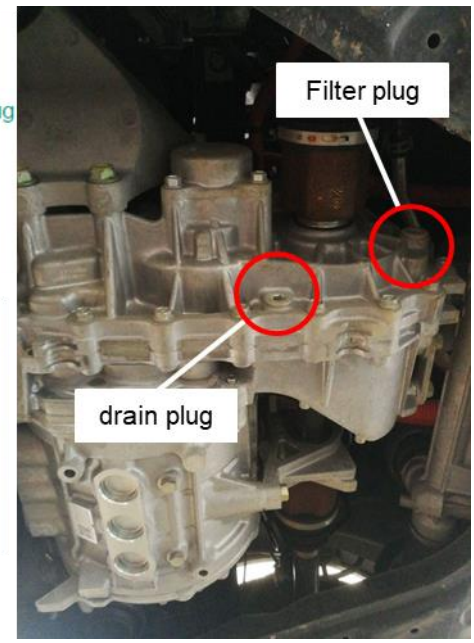


**การถอดมอเตอร์ขับเคลื่อน**

| **ข้อแนะนำ** |
| --- |
| -- การถอดมอเตอร์ขับเคลื่อน จะถอดออกจากตัวรถพร้อมชุดเกียร์และส่วนของช่วงล่างด้านหน้า ซึ่งใช้เป็นฐานรองมอเตอร์และเกียร์ โดยการถอดจะเป็นการถอดออกทั้งชุดพร้อมกัน และจะมาทำการถอดชุดเกียร์ออกจากมอเตอร์ในภายหลัง<br>- ในกรณีที่ไม่สามารถถอดเพลาขับออกจากชุดเกียร์ก่อนได้ ให้ปลดเพลาขับออกมาพร้อมกับชุดมอเตอร์และเกียร์ จากนั้นให้มาทำการถอดอีกครั้งหลังจากชิ้นส่วนทั้งชุดถูกถอดออกจากตัวรถแล้ว<br>- การยกชุดมอเตอร์และเกียรร์ออกจากตัวรถ ให้ยกลงทางด้านล่าง และควรเตรียมเครื่องมือยก เช่น แท่นยกที่มีความสามารถเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักชิ้นส่วนทั้งชุดได้<br>- ควรศึกษาคู่มือประจำรถอย่างละเอียดก่อนลงมือ |

| **ถ่ายน้ำมันเกียร์ออก** |
| --- |
| -- ถ่ายน้ำมันเกียร์ออก โดยปลด Drain plug ออก<br>- ระวังไม่ให้น้ำมันเกียร์หยดพื้นหรือสัมผัสกับชิ้นส่วนอื่นๆ |

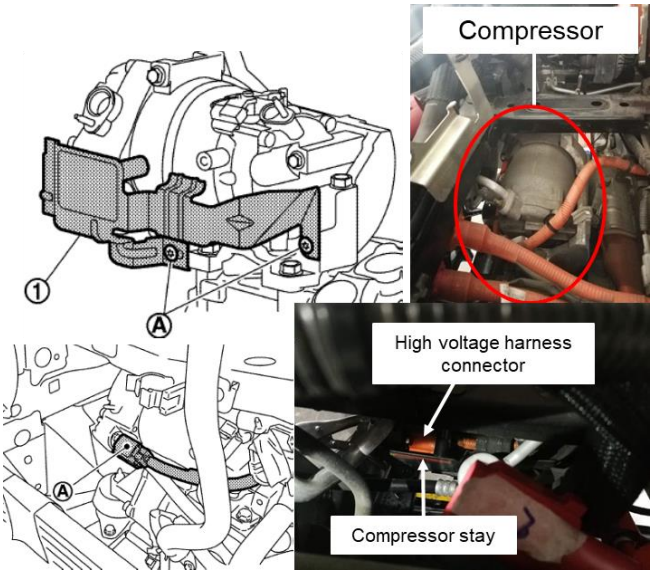


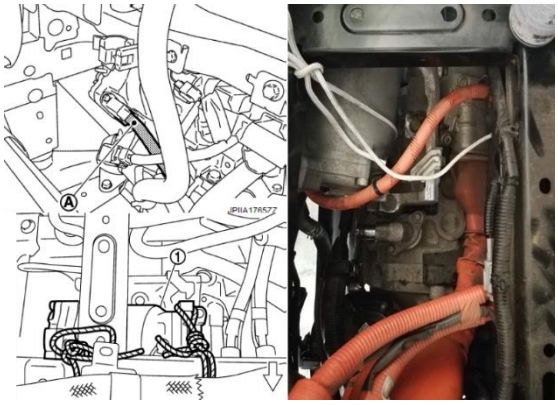
**ปลดคอมเพรสเซอร์**

-- ให้ปลดคอมเพรสเซอร์ออกโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

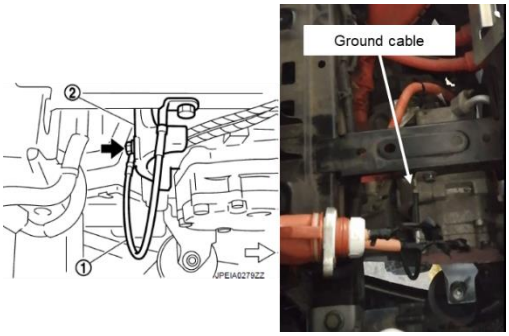
- 1. ขันโบลต์ที่ยึด Compressor stay ออกและถอด Compressor stay ออกไว้ด้านนอก
- 2. ปลดสายไฟแรงสูง (A) ที่เชื่อมต่อกับคอมเพรสเซอร์ออก




- 3. ปลดสายไฟแรงดันต่ำที่เชื่อมต่อกับคอมเพรสเซอร์ออก
- 4. ยกคอมเพรสเซอร์ออกและมัดไว้ด้วยเชือกเข้ากับตัวรถ เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำงาน

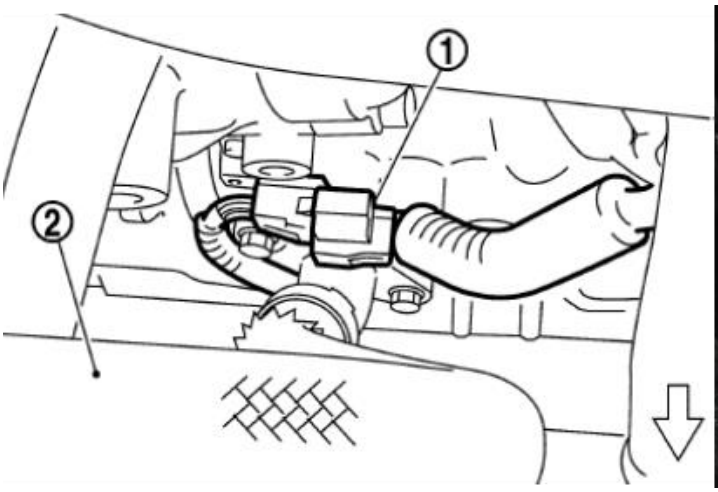


- 5. ปลดสายกราวด์ออกจากแท่นยึดคอมเพรสเซอร์และขันโบลต์เพื่อถอดแท่นยึดออก



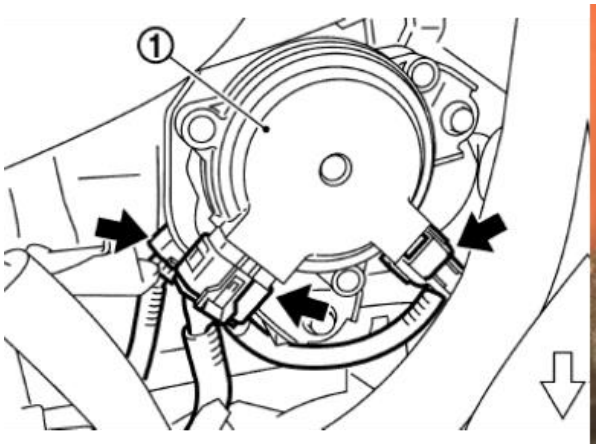
**ปลดคอนเนคเตอร์สายสัญญาณมอเตอร์ขับเคลื่อน**

-- ปลดคอนเนคเตอร์สายสัญญาณมอเตอร์ขับเคลื่อน



**ปลดคอนเนคเตอร์สายไฟแรงดันต่ำออกจาก Parktin actuator**

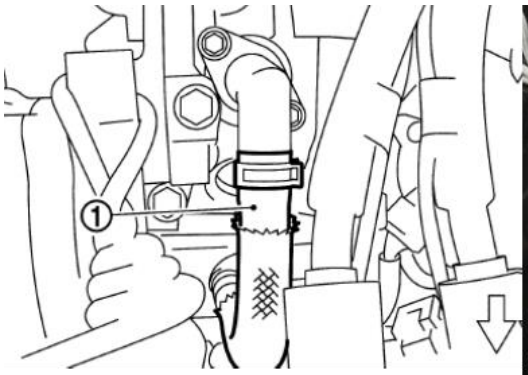
-- ปลดคอนเนคเตอร์สายไฟแรงดันต่ำออกจาก Parking actuator (Parking actuator ที่ติดอยู่กับชุดเกียร์)



**ปลดท่อน้ำหล่อเย็น**

-- ปลดท่อน้ำหล่อเย็นทั้งด้านที่เชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์ด้านบนและด้านล่าง

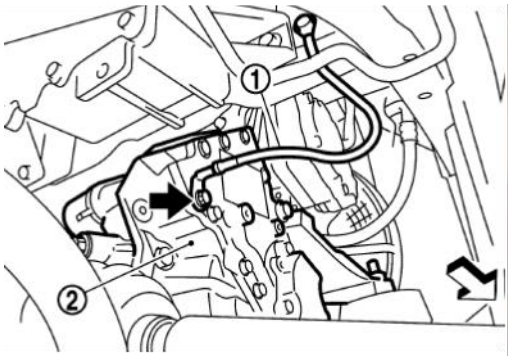
คำแนะนำ: การปลดท่อน้ำหล่อเย็นด้านล่าง ควรเข้าทำงานจากด้านใต้ท้องรถ

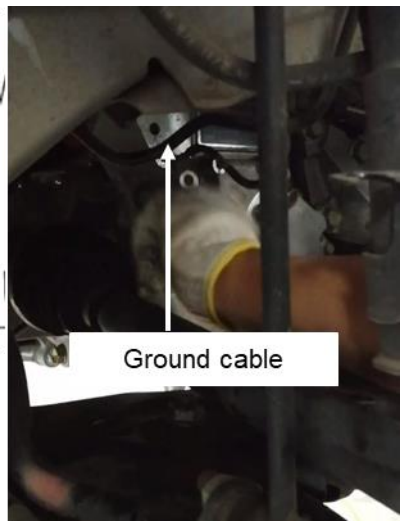


**ปลดสายกราวด์**

-- ปลดสายกราวด์ออกจากมอเตอร์ไฟฟ้า

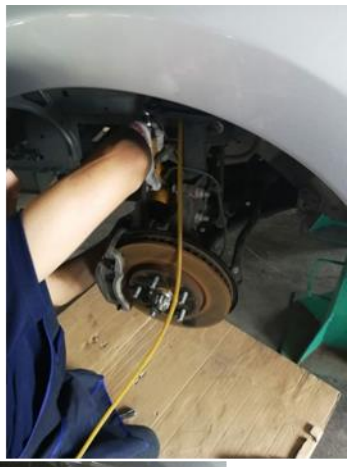
คำแนะนำ: เพื่อให้เข้าถึงสายกราวด์จำเป็นต้องถอดล้อรถ (ด้านขวา) ออกก่อน



**ถอดชิ้นส่วนช่วงล่างออกจากตัวรถ**

- -ให้ปลดชิ้นส่วนช่วงล่าง ในส่วนที่เป็นฐานรองมอเตอร์และชุดเกียร์ออกจากตัวถัง โดยมีขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้
- 1. ถอดเพลาขับ โดยให้ทำตามวิธีการถอดเพลาขับตามในคู่มือประจำรถ
- 2. ถอดแขนเชื่อมเหล็กกันโคลงออกจากชุดกันสะเทือน
- 3. ถอดเพลากลางออกจากชุดเกียร์
- 4. ใช้แท่นยกรองรับน้ำหนักของชุดช่วงล่าง
- 5. ปลดจุดยึด stopper กับตัวถังออกจากกัน
- 6. ปลดโบลต์ตัวยึดช่วงล่างออกทั้งหมด
- 6. ลดระดับแท่นยกลง พร้อมกับยกชุดมอเตอร์ เกียร์และช่วงล่าง ออกจากตัวรถ



หมายเหตุ: ในกรณีที่ไม่สามารถปลดเพลาขับและเหล็กันโคลงออกก่อนได้ ให้ถอดชิ้นส่วนทั้งหมดออกมาพร้อมกัน

**ถอดมอเตอร์ออกจากฐานรองและชุดเกียร์**

- -

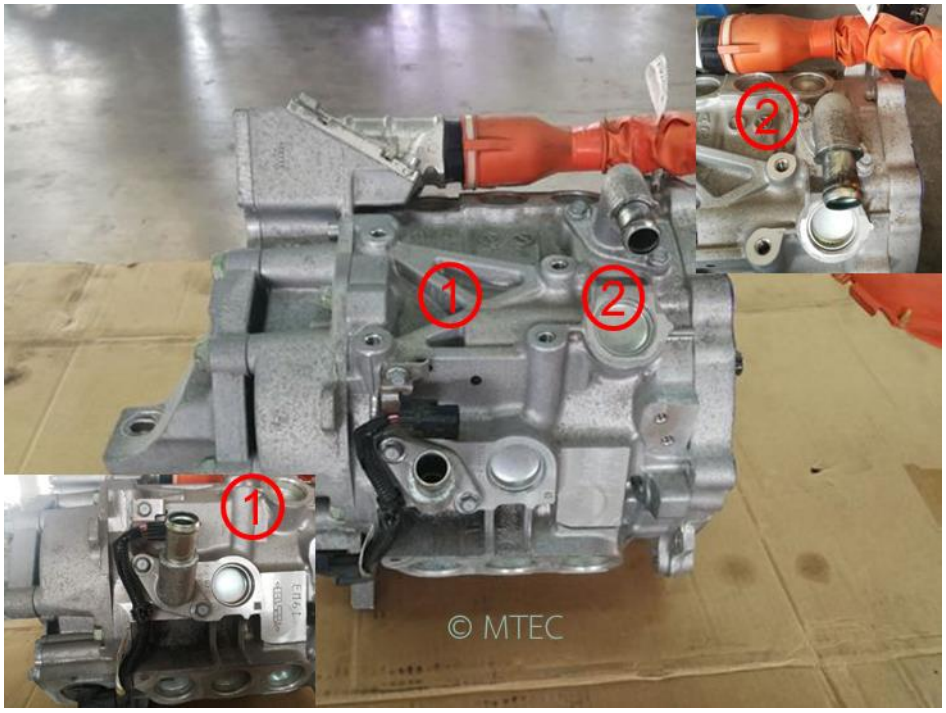
โดยมีขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

- 1. ถอดชุดเกียร์และมอเตอร์ออกจากช่วงล่าง
- 2. ถอดมอเตอร์ออกจากชุดเกียร์

**การถอดแยกชิ้นมอเตอร์**

**ถอด Water In-and Out-let**

- -ถอด Water Inlet (1) และ Water outlet (2) ด้วยการขันโบลต์ที่ยึดโดยรอบ




**ถอด Cover Terminal**

- - โดยมีขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้
- 1. ถอด Motor mounting (1) ออกด้วยการขันโบลต์ที่ยึดโดยรอบ
- 2. ถอด Resolver cover (2) ออกด้วยการขันโบลต์ที่ยึดโดยรอบ
- 3. ถอด Terminal cover (3) ออกด้วยการขันโบลต์ที่ยึดโดยรอบ

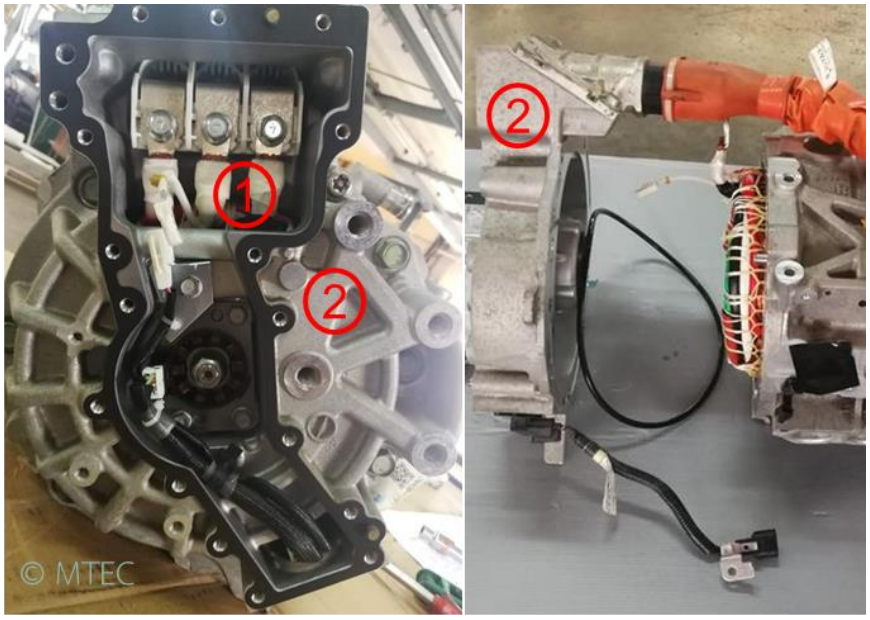
**ถอด Motor end cover (back)**

- - โดยมีขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

- 1. ขันโบลต์ยึดคอนเนคเตอร์ สายไฟแรงสูง (1) ออก

- 2. ถอด Motor end cover (back) (2) ออกด้วยการขันโบลต์ที่ยึดโดยรอบ

ข้อควรระวัง: ต้องใช้เครื่องมือพิเศษสำหรับโบลต์บางตัวของ Motor end cover

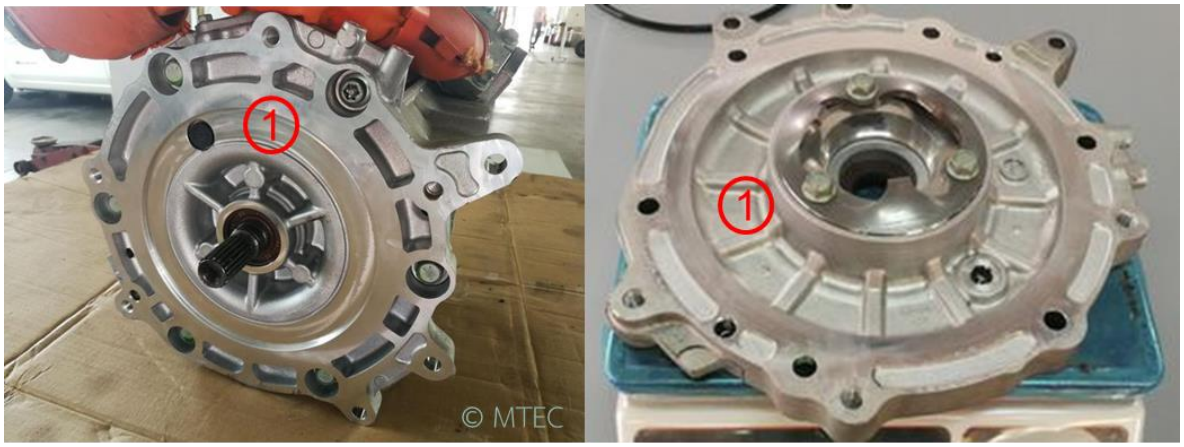



**ถอด Motor end cover (front)**

- - โดยมีขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

- 1. ถอด Motor end cover (front) (1) ออกด้วยการขันโบลต์ที่ยึดโดยรอบ

ข้อควรระวัง: ต้องใช้เครื่องมือพิเศษสำหรับโบลต์บางตัวของ Motor end cover



**ถอด Rotor ออกจาก Stator**

- 1. ดึง Rotor (1) ออกจาก Stator ด้วยเครื่องมือช่วยพิเศษ (2)

ข้อควรระวัง: ต้องทำงานด้วยความระมัดระวัง มิเช่นนั้นอาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนได้