

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยเรื่องผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคา และการชาร์จรถไฟฟ้าต่อระบบจำหน่าย ผู้วิจัยได้ศึกษาทางด้านทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำเสนอหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 แนวคิด
- 2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
- 2.3 ลักษณะระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.4 เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์
- 2.5 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.6 อินเวอร์เตอร์
- 2.7 รถไฟฟ้า
- 2.8 สถานการณ์รถไฟฟ้าโลกและไทย
- 2.9 การอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า
- 2.10 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้า
- 2.11 แบตเตอรี่รถไฟฟ้า
- 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด

จากสถานการณ์พลังงานในปัจจุบันส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจของประเทศไทย ในขณะที่เดียวกันความต้องการใช้พลังงานของประเทศมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ทุกภาคส่วนต้องเร่งหาแหล่งพลังงานและมาตรการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อจัดการความต้องการการใช้พลังงานให้เกิดคุณภาพและเกิดความมั่นคงด้านพลังงาน ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย $17.6 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ การพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานอาทิตย์และการประยุกต์ใช้งานจึงมีความเหมาะสมมาก เซลล์แสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่นับวันจะมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้นเป็นผลจากสถานะเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ เข้าสู่จุดวิกฤต เนื่องจากอัตราการบริโภคพลังงานที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันอยู่ในค่าที่เกินสมดุล เมื่อเทียบกับการเกิดเชื้อเพลิงขึ้นตามธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า เพื่อทดแทนการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบเดิม เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ใช้ไม่มีวันหมด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงแค่มีสว่างจากดวงอาทิตย์เท่านั้น คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) จึงได้เตรียมระเบียบ และหลักเกณฑ์ การรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

(Solar PV Rooftop) ภาคประชาชน 100 เมกะวัตต์แรกได้ช่วงไตรมาส 2 และเกิดการรับซื้อไฟฟ้าได้จริงช่วงปลายปี 2562 ประกอบกับปัจจุบันเทคโนโลยีการใช้รถไฟฟ้า (Electric Vehicle) ภาคการขนส่งเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นในระดับที่มีนัยสำคัญจากประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวอาศัยพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเก็บสะสมอยู่ในแบตเตอรี่มาเป็นแหล่งพลังงานหลักในการขับเคลื่อนยานพาหนะ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ในปัจจุบันที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ซึ่งใช้น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก พบว่ายานพาหนะไฟฟ้าจะไม่ปล่อยมลพิษในรูปของไอเสียสู่สภาพแวดล้อมเลย นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานตั้งต้น หรือพลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy) การใช้เชื้อเพลิงความร้อนมาผลิตไฟฟ้าเพื่อนำมาจ่ายให้กับยานพาหนะไฟฟ้ามีความคุ้มค่า หรือมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าการนำเชื้อเพลิงความร้อนมาใช้ในยานพาหนะที่เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยตรง และในอนาคตหากมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนการชาร์จรถไฟฟ้า จะส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายอย่างไร และถ้ามีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการชาร์จรถไฟฟ้ามีผลกระทบต่อระบบจำหน่ายอย่างไรเช่นกัน

2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสงจำเป็นต้องทราบศักยภาพรังสีตรงด้วย ในกรณีของประเทศไทยศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณต่าง ๆ โดยเฉลี่ยทั้งปี สามารถแสดงได้ด้วยแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ดังภาพประกอบที่ 2.1 ซึ่งแสดงถึงการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ของทุกภาคของประเทศไทย ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วง 17-20 MJ/m²-day โดยบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m²-day ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุรินทร์ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ บุรีรัมย์ ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง จากการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีของประเทศไทย พบว่า มีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m²-day ที่ผ่านมาโครงการวิจัยที่ได้ดำเนินการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2542 พบว่า ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยมีค่า 18.2 MJ/m²-day และในปี พ.ศ. 2553 พบว่า ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทยมีค่า 18.0 MJ/m²-day สำหรับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนของประเทศไทย ในรายงานวิจัยนี้มีค่า 17.6 MJ/m²-day จะเห็นว่าค่าศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่าลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากส่วนหนึ่งมาจากค่าของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อนส่งผลให้สภาวะอากาศโลกมีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อากาศแห้ง สามารถรับปริมาณความชื้นได้เพิ่มขึ้น ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ลดทอนแสงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงยังพื้นโลกอย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน สำหรับประเทศไทย

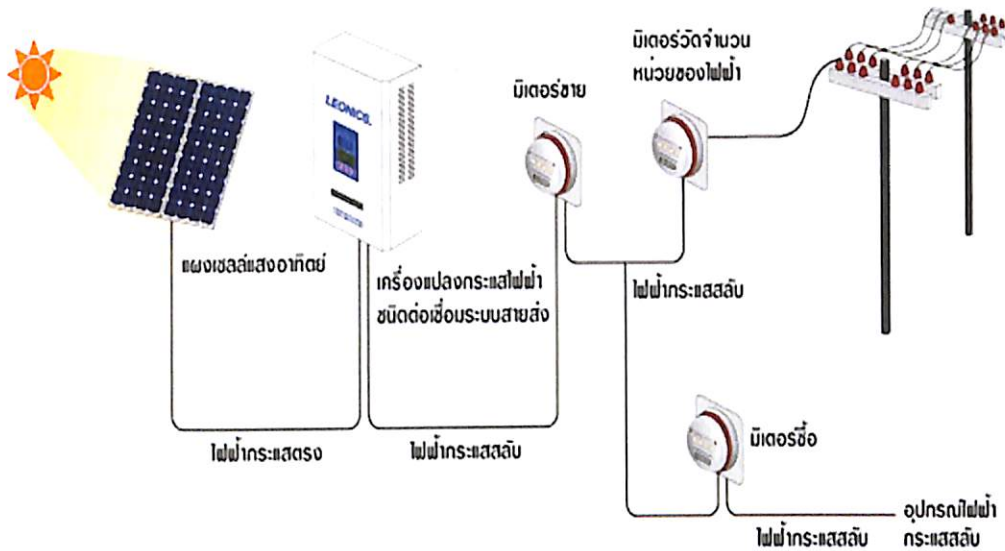
จะเห็นได้ว่ามีค่าสูงเหมาะแก่การใช้งานเป็นพลังงานทางเลือก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2560)



ภาพประกอบที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี
ที่มา : โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียม
สำหรับประเทศไทย ปี 2560

2.3 ลักษณะระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) เข้าอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าชนิดต่อเข้าระบบจำหน่าย (Grid Connected Inverter) เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Current) และจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (Watt Hour Meter) ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือการไฟฟ้านครหลวง ดังภาพประกอบที่ 2.2



ภาพประกอบที่ 2.2 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/pd_ecs/GCS.php

2.3.1 รูปแบบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

สามารถแบ่งการติดตั้งใช้งานได้ 3 รูปแบบ คือ แบบไม่เชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายของการไฟฟ้า (off-Grid) แบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายของการไฟฟ้า (Grid-Connected) และแบบผสมผสาน (Hybrid) เช่น ระบบแสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลม ก๊าซชีวภาพ พลังงานน้ำ เป็นต้น ระบบแบบเชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายของการไฟฟ้าจะใช้ในพื้นที่ระบบไฟฟ้าเข้าถึง ส่วนระบบแบบไม่เชื่อมต่อบริษัทจำหน่ายของการไฟฟ้าเป็นระบบอยู่ในเขตพื้นที่ห่างไกลไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง และระบบแบบผสมผสานส่วนใหญ่ถูกติดตั้งใช้งานในพื้นที่ห่างไกลไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง

2.3.2 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บ้านพักอาศัย

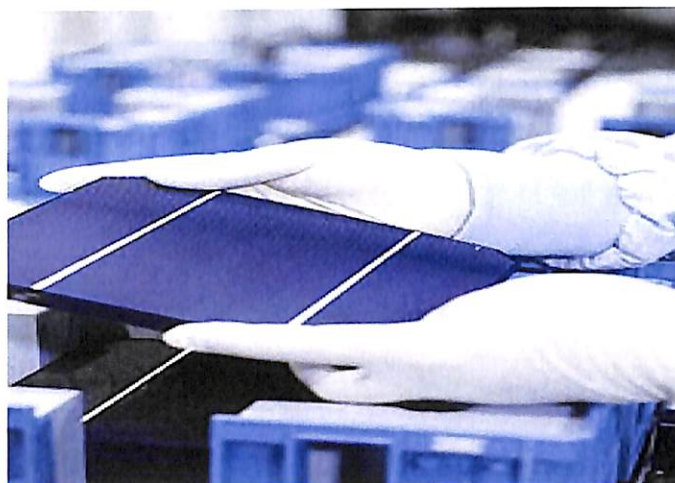
บ้านพักอาศัยที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องมีพื้นที่ที่สามารถรองรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน ไม่มีต้นไม้ สิ่งปลูกสร้าง หรือสิ่งของอื่น ๆ มาบดบังการรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถติดตั้งได้ทั้งบนหลังคาบ้าน โรงจอดรถ และบนพื้นดิน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ และทำมุมเอียงประมาณ 10-15 องศากับพื้นโลก

2.3.3 ลักษณะการทำงานของระบบ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) เมื่อได้รับแสงอาทิตย์ จากนั้นจะไหลผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Grid Connected Type Inverter) โดยจะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC, 230/400 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ต) ไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้จะไหลออกจากบ้านไปสู่มิเตอร์ขายไฟฟ้า (Kilowatt Meter Selling Meter) สำหรับเวลากลางคืน เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์จะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือถ้ามีก็มีปริมาณน้อย และระบบจะผลิตไฟฟ้าในวันรุ่งขึ้นเมื่อได้รับแสงอาทิตย์

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) หรือ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานแสง หรือโฟตอนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ดังภาพประกอบที่ 2.3 โดยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก นั่นก็คือ คุณสมบัติของสาร เช่น ค่าความต้านทาน แรงดัน และกระแสจะเปลี่ยนไปเมื่อมีแสงตกกระทบโดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก และเมื่อต่อโหลดจะทำให้เกิดกระแสไหลผ่านโหลดนั้นได้



ภาพประกอบที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell)

ที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/เซลล์แสงอาทิตย์>

2.4.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

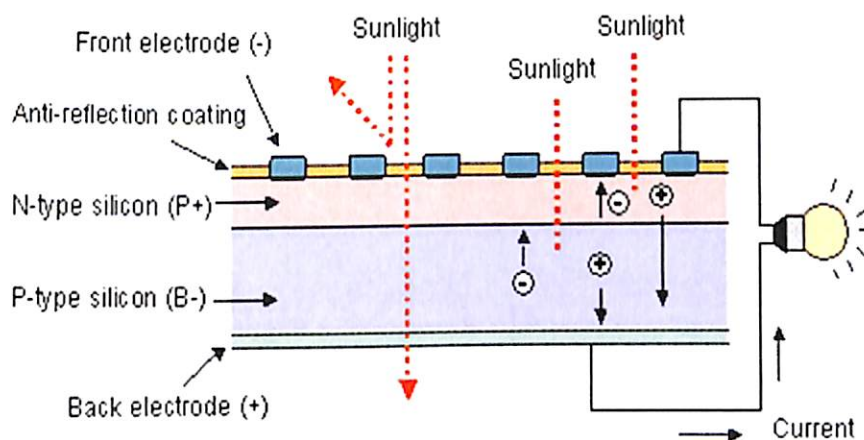
เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้า เมื่อแสงกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้ และต้องมีคุณสมบัติพื้นฐาน 3 อย่าง ดังนี้

- การดูดซึมของแสงเพื่อสร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮล หรือเอ็กซิตอน อย่างไม่อย่างหนึ่ง
- การแยกต่างหากของตัวขนส่งประจุที่ต่างชนิดกัน
- การสกัดการแยกออกจากกันของตัวขนส่งเหล่านั้นออกไปยังวงจรรภายนอก

ในทางตรงข้าม ตัวสะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์จะจ่ายความร้อนโดยการดูดซับแสงแดด เพื่อวัตถุประสงค์ในการให้ความร้อนโดยตรง หรือใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยอ้อมอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งมีหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ

ชนิด เอ็น (n-Type) ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ป (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัส ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซิลิคอน ชนิด พี (p-Type) คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วยรอยต่อ พี-เอ็น (p-n Junction) จึงทำให้เกิดเป็น “ โซลาร์เซลล์ ” ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดดชนิด เอ็น ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้านหน้าของชนิด เอ็น จะมีแถบโลหะเรียกว่า อิเล็กโทรดตัวหน้า (Front Electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

ส่วนชนิด พี ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของชนิด พี ซิลิคอน จะมีแถบโลหะเรียกว่า อิเล็กโทรดตัวหลัง (Back Electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวเมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้นชนิด เอ็น และโฮลจะวิ่งไปยังชั้นชนิด พี เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ดังภาพประกอบที่ 2.4



ภาพประกอบที่ 2.4 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_pg5.htm

เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้นชนิด เอ็น และโฮลจะวิ่งไปยังชั้นชนิด พี อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่อิเล็กโทรดตัวหน้า (Front Electrode) และโฮลวิ่งไปรวมกันที่อิเล็กโทรดตัวหลัง เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดตัวหน้าและอิเล็กโทรดตัวหลังให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กันตัวแปรสำคัญที่มีส่วนทำให้โซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบ หรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ คือ ความเข้มของแสงและอุณหภูมิ

2.4.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, หน้า 12-15) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนกับการผลิตจากสารประกอบชนิดอื่น ๆ เช่น แกลเลียมอาเซไน (GaAs) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) เป็นต้น กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบที่อยู่ในรูปของผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ชนิด คือ ชนิดเป็นก้อนผลึก (Bulk) และชนิดฟิล์มบาง (Thin film) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกึ่งอนผลึกยังแบ่งออกเป็น ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน

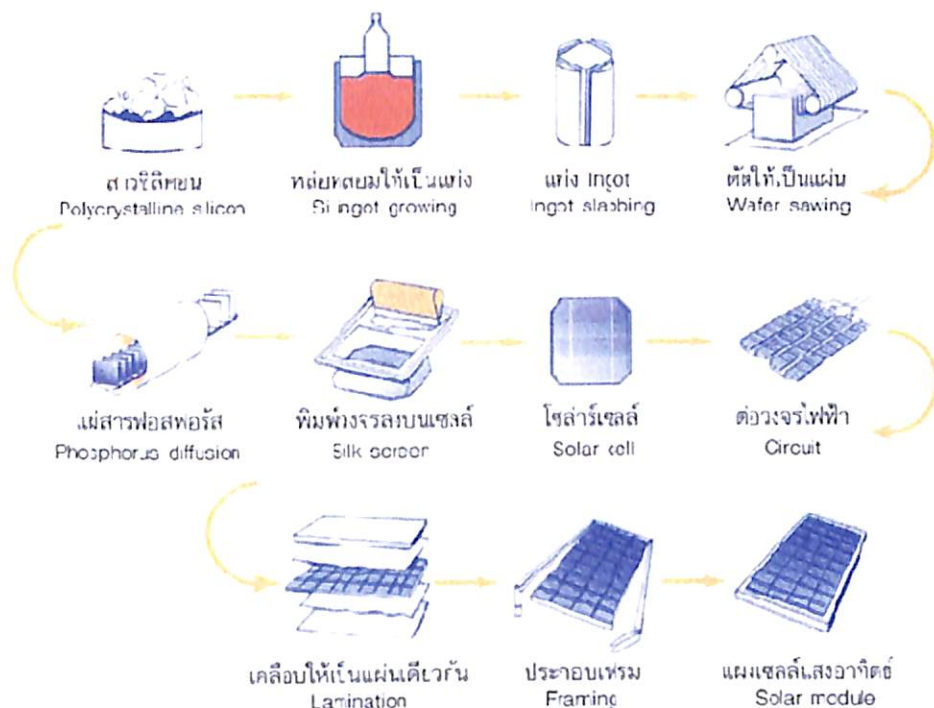
(Mono Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิด

1. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ดังภาพประกอบที่ 2.5 เริ่มจากการนำเอาซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.999%) ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 °C เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว) จากต้นผลึก (Seed Crystal) ด้วยการดึงผลึกคุณภาพของผลึกเดี่ยว สำคัญมากต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อไปก็จะนำแท่งผลึกเดี่ยวนี้ไปตัดเป็นแผ่น ๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และขัดความเรียบของผิว จากนั้น จะนำไปเจือสารที่จำเป็น ในการทำให้เกิดเป็นรอยต่อ พี-เอ็น ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ที่อุณหภูมิระดับ 1,000 °C หลังจากนั้น เป็นขั้นตอนการทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ จากนั้นเป็นการเคลือบฟิล์มผิวหน้า เพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุดในขั้นตอนนี้จะได้เซลล์ที่พร้อมใช้งาน แต่เนื่องจากการใช้งานจริงจะนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกัน เพื่อเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้ได้ตามต้องการ จากนั้นนำไปประกอบเข้าแผง โดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์ และใช้ซิลิโคนและอีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) ช่วยป้องกันความชื้น ดังภาพประกอบที่ 2.6



ภาพประกอบที่ 2.5 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

ที่มา : www.sunenergytech.com/product/18/แผงโซล่าเซลล์-ชนิด-mono-crystalline-ขนาด-300w-2



ภาพประกอบที่ 2.6 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

ที่มา : http://www4.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_pg4.htm

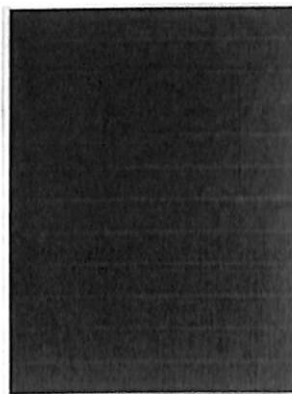
2. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม ดังภาพประกอบที่ 2.7 ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบผลึกรวม คือ การนำซิลิคอนบริสุทธิ์รวมถึงซิลิคอนที่เหลือทิ้งจากการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว มาหลอมในเตาให้เป็นแท่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงช้า ๆ หลังจากนั้นนำมาตัดเป็นแผ่น ๆ เรียกว่า เวเฟอร์ มีความหนาประมาณ 300-400 ไมโครเมตร แล้วนำไปทำรอยต่อ พี-เอ็น ต่อไป



ภาพประกอบที่ 2.7 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม

ที่มา : <https://www.indiamart.com/proddetail/poly-crystalline-solar-panel-6118167433.html>

3. การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิส เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิส ดังภาพประกอบที่ 2.8 มีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง โดยเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบาง ไม่ใช่เวเฟอร์ โดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองใช้เทคนิคที่ใช้ในการผลิตหลายเทคนิค แต่ที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่เป็นสารประกอบประเภทซิลิคอน เช่น ก๊าซไฮเลน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศ ก๊าซจะถูกทำการกระตุ้นด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น โดยพลาสมา เพื่อส่งพลังงานให้ก๊าซสารประกอบซิลิคอนแยกตัวและซิลิคอนเข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง ที่ถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $200\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$ โดยแผ่นฐานรองส่วนใหญ่จะเป็นแก้ว สเตนเลส หรือพลาสติก ซึ่งได้ทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่นด้วยอุณหภูมิการผลิตที่ไม่สูงมาก ซิลิคอนที่เกิดขึ้นเป็นแบบอะมอร์ฟิสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้หากใส่ก๊าซที่มีโบรอน (Boron) เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วย จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟิสซิลิคอนชนิด พี และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสฟอรัส (Phosphorus) เช่น PH_3 จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟิสซิลิคอนชนิด เอ็น จะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้จะสามารถควบคุมการไหลของก๊าซ เพื่อสร้างให้เกิดชั้นของพิน (Pin) อะมอร์ฟิสซิลิคอนขึ้นได้อย่างง่าย หลังจากได้โครงสร้างพินแล้วก็จะสร้างส่วนของขั้วไฟฟ้าให้เสร็จเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

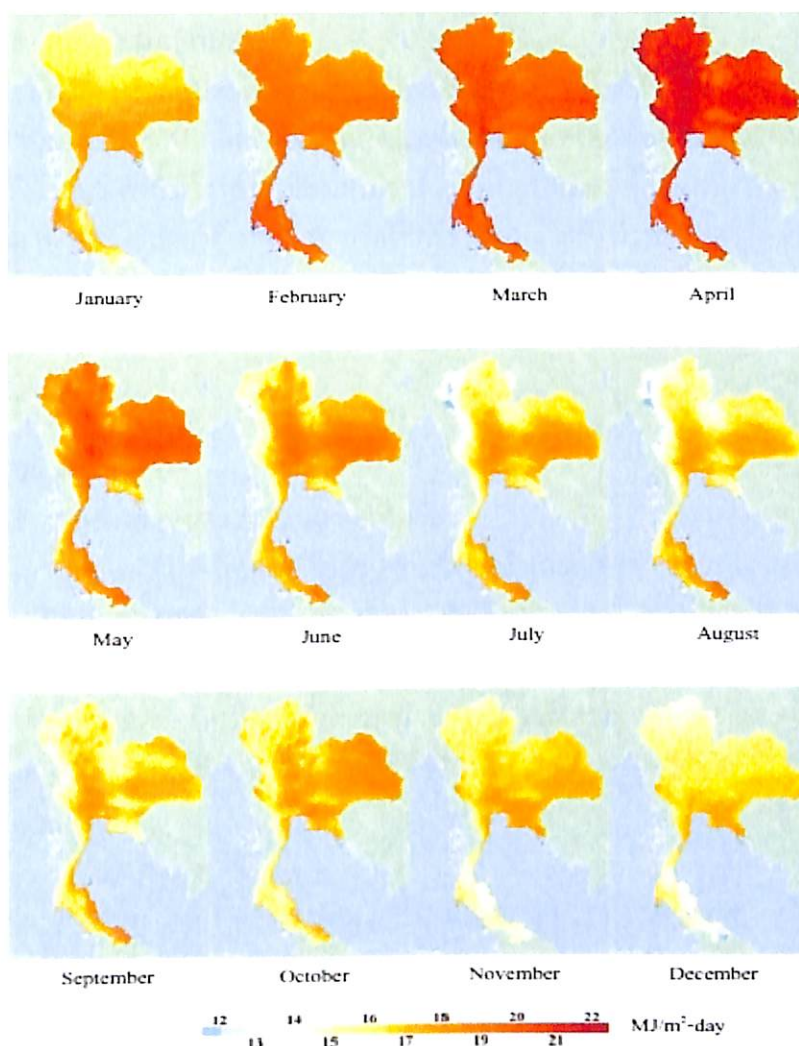


ภาพประกอบที่ 2.8 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟิส

ที่มา : <https://www.klcbright.com/solarcellpanel-mono-poly-thinfilm.php>

2.4.3 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือที่เรียกว่า “ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ” (Global Radiation) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็นเมกกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มาก จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวัน และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี ดังภาพประกอบที่ 2.9 กล่าวคือ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่เที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (Air Mass) รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาถึงพื้นผิวโลก และผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ



ภาพประกอบที่ 2.9 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่าง ๆ
ที่มา : โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียม
สำหรับประเทศไทย ปี 2560

2.4.4 อุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

(ชาติชาย โสบุญ และสร จารุวรรณชัย, 2556) ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการออกแบบระบบการใช้เซลล์แสงอาทิตย์จะต้องเผื่อไว้สำหรับความร้อนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิด ขึ้นภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์พวกอะตอมจะสั่นสะเทือนแรงขึ้นเมื่อมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นการที่อิเล็กทรอนิกส์จะหลุดออกมาจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงได้ หมายความว่าในแสงแดดที่มีความเข้มเท่ากันในอุณหภูมิสูงกว่า แต่พร้อมกันนั้นพวกอิเล็กทรอนิกส์และโฮลล์จะมีพลังงานมากขึ้นที่จะข้ามแดน และวิ่งในทางตรงข้ามซึ่งมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง

2.4.5 สภาวะรบกวนต่าง ๆ

การที่มีสิ่งสกปรกตกค้างบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ว่าจะเป็น ฝุ่น มูลนก ใบไม้ หรือ ละอองของเขม่า เป็นต้น สิ่งสกปรกเหล่านี้จะบดบังแสงที่มากกระทบบนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้ลดลง ดังนั้นถ้าพบว่ามีสิ่งสกปรกตกค้างอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ใช้น้ำสะอาด ล้างทำความสะอาด ห้ามใช้น้ำยาอื่น ๆ ล้าง หรือใช้กระดาษทรายขัดผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การทำความสะอาดเช่นนี้ควรทำเป็นระยะ ๆ หรือเมื่อสังเกตเห็นว่ามีสิ่งสกปรกตกค้างบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.5 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.1 ค่าพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์

(ถนอมพล เกษโกมล, พิธิวัตร พระสุพรรณ และณัฐกุล เมฆอรุณ, 2557, หน้า 18-20) กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photo Current) เกิดจากแสงสว่างไปทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ สร้างประจุพาหะอิสระ ให้ไหลผ่านโหนดที่ต่ออยู่เป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มแสงตกกระทบรอยต่อ พี-เอ็น (p-n Junction) เขียนแทนด้วยไดโอด และแหล่งจ่ายกระแส ดังสมการที่ 2.1 แสดงถึงคุณลักษณะ ทางกระแส และแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล (Exponential Equation)

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \frac{q(V+I R_s)}{N.K.T} - 1 \right] - \frac{(V+I R_s)}{R_{sh}} \quad (2.1)$$

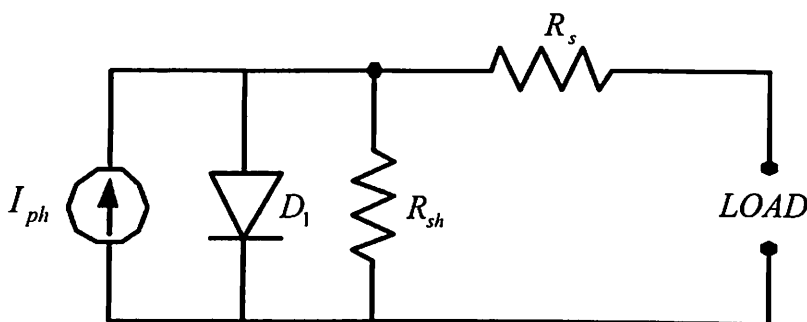
เมื่อ

I_{ph}	คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง ; A
I_s	คือ กระแสไบอัสอิมิตัวย้อนกลับของไดโอด ; A
q	คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} C
N	คือ แฟกเตอร์ผลของไดโอด (Ideal factor)
K	คือ ค่าคงที่โบลทซ์มันน์ (Boltzman Constant) มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$ J/Kevin
T	คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์ ; Kevin
V	คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด ; V
R_s	คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ ; Ω
R_{sh}	คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์ ; Ω

ค่าแฟกเตอร์ผลของไดโอด ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ตามตารางที่ 2.1 และจากสมการสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพประกอบที่ 2.10

ตารางที่ 2.1 ค่าแฟกเตอร์ผลของไดโอด

เทคโนโลยี	ผลของไดโอด	เทคโนโลยี	ผลของไดโอด
Si-mono	1.2	a-Si:H triple	5
Si-poly	1.3	CdTe	1.5
a-Si:H	1.8	CIS	1.5
a-Si:H tandem	3.3	AsGa	1.3



ภาพประกอบที่ 2.10 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

จากวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพประกอบที่ 2.10 จะเห็นว่ามี 5 ตัวแปรที่มีผลต่อกระแสและแรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์คือ I_s , N เป็นผลของไดโอดค่า I_{ph} เป็นผลของแสงที่ตกกระทบ และค่า R_s , R_{sh} เป็นค่าความต้านทานซึ่งถือเป็นการสูญเสียที่เซลล์แสงอาทิตย์

2.5.2 ผลกระทบจากระดับของแสงอาทิตย์

ค่า I_{ph} เป็นกระแสที่สร้างขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ซึ่งค่ากระแสที่สร้างขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงและอุณหภูมิ ดังสมการที่ 2.2

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_I(T - T_{ref})] \cdot \lambda \quad (2.2)$$

เมื่อ

- I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25 °C ; A
- K_I คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร ; A/°C
- T คือ อุณหภูมิขณะนั้น ; Kevin
- T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์ ; Kevin
- λ คือ ความเข้มแสง ; kW/m²

2.5.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ

หากกำหนดให้ความเข้มแสงมีค่าคงที่ จากสมการค่าอุณหภูมิมีผลกระทบต่อกำลังไฟฟ้าขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากค่ากระแสลัดวงจรสัมพันธ์กับอุณหภูมิ อีกทั้งอุณหภูมิยังมีผลกระทบต่อกระแสไอส์อิมิตัวย้อนกลับของไดโอด ที่เรียกว่า Reverse saturation current of diode (I_s) ดังสมการที่ 2.3

$$I_s(t) = I_s \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^3 \exp \left[\left(\frac{T}{T_{ref}} - 1 \right) \frac{E_g}{N \cdot V_t} \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ

E_g คือ ค่าพลังงานระหว่างสารกึ่งตัวนำ ; W
 V_t คือ แรงดันที่อุณหภูมิห้อง ; V

2.5.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมดูล เป็นการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับพิกัดแรงดันของแบตเตอรี่ คือ 12 V ส่วนการต่อแบบขนานจะเป็นการเพิ่มกระแสไฟฟ้าโดยแรงดันและกระแสของเซลล์ จะแปรผันตามตัวแปรในสมการที่ 2.2 หากไม่คิดผลของ R_s และ R_{sh} จะได้สมการของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการที่ 2.4

$$I = n_p \cdot I_{ph} - n_p \cdot I_s \left[\exp \frac{q \cdot V}{N \cdot K \cdot T n_s} - 1 \right] \quad (2.4)$$

เมื่อ

n_p คือ จำนวนเซลล์ที่ต่อขนาน
 n_s คือ จำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรม

2.5.5 การหาค่าขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำการหาได้จากสูตร

จากการคำนวณโหลดที่ได้ใช้ในแต่ละวันแล้วจะต้องมีขนาดของโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสมกับขนาดของโหลดที่ใช้ในครัวเรือนเพียงพอกับการใช้งาน ดังสมการที่ 2.5

$$PV = \frac{P_{load}}{\frac{Q \cdot C \cdot H \cdot L}{S}} \quad (2.5)$$

เมื่อ

PV คือ กำลังวัตต์ของโซลาร์เซลล์ ; W
 Q คือ ค่าพลังงานแสงที่ได้รับ/วัน (ประมาณ 4 kW-Hour/m²)
 C คือ ค่าความสูญเสียของเซลล์ (ประมาณ 0.8)
 H คือ ค่าความสูญเสียเชิงความร้อน (ประมาณ 0.85)
 L คือ ค่าประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (ประมาณ 0.8-0.9)
 S คือ ค่าความเข้มของแสงบนโลก (ประมาณ 1 kW/m²)

2.6 อินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับตามขนาดที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต้องการ มี 3 ชนิด คือ

1. แบบออฟกริดอินเวอร์เตอร์ (Off-Grid Inverter) เป็นเครื่องแปลงไฟฟ้าที่ไม่ต้องขนานหรือเชื่อมต่อบรรยากาศจำหน่ายของการไฟฟ้า สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.11 อินเวอร์เตอร์ แบบออฟกริด

ที่มา : <https://zerohomebills.com/product/sma-sunny-island-6-0h-12-battery-inverter-sma-si6-0h-12/>

2. แบบออนกริดอินเวอร์เตอร์ (On-Grid Inverter) เป็นเครื่องแปลงไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบเชื่อมต่อบรรยากาศจำหน่ายไฟฟ้า โดยจะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้เหมือนกับรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้าที่มาจากกริดไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่สายส่งระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือการไฟฟ้านครหลวง ดังภาพประกอบที่ 2.12



ภาพประกอบที่ 2.12 อินเวอร์เตอร์ แบบออนกริด

ที่มา : <https://www.alma-solarshop.com/sma-inverter/789-sma-inverter-sunny-tripower-20000tl-30.html>

3. แบบไฮบริดอินเวอร์เตอร์ (Hybrid Inverter) เป็นเครื่องแปลงไฟฟ้าที่สามารถรับไฟได้จากหลายแหล่ง เช่น ระบบแสงอาทิตย์ กังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น แล้วระบบก็สามารถมีแบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้า กรณีไม่มีแสงแดด ปัจจุบันไฮบริดอินเวอร์เตอร์สามารถใช้งานได้ทั้งในระบบออฟกริด และออนกริด ดังภาพประกอบที่ 2.13



ภาพประกอบที่ 2.13 อินเวอร์เตอร์ แบบไฮบริด
ที่มา : <https://www.solaxpower.com/en/x-hybrid/>

2.6.1 โครงสร้างภายในของอินเวอร์เตอร์

โครงสร้างภายในของตัวอินเวอร์เตอร์ ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มากมาย สามารถแบ่งส่วนประกอบออกเป็นหลัก ๆ ได้ 3 ส่วนด้วยกันคือ

- ชุดคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้
- ชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของชุดคอนเวอร์เตอร์ และชุดอินเวอร์เตอร์

2.6.2 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

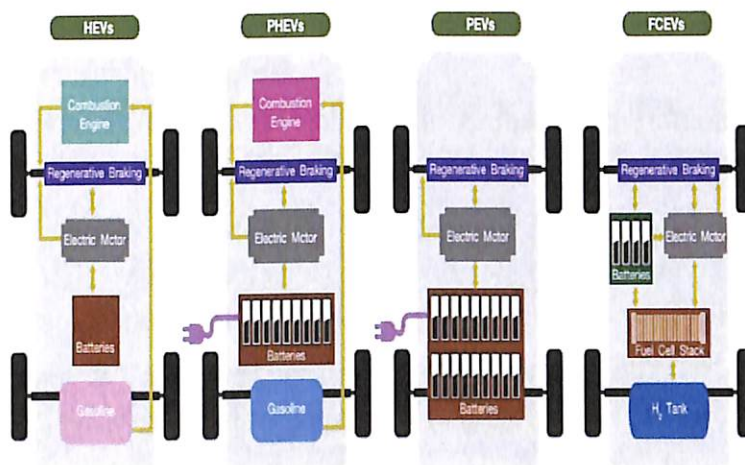
อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) จากแหล่งจ่ายไฟทั่วไป ที่มีแรงดันและความถี่คงที่ให้เป็นไฟกระแสตรง (DC) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter Circuit) จากนั้นไฟกระแสตรงจะถูกแปลงเป็นไฟกระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) วงจรทั้งสองนี้จะเป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์ โดยทั่วไปแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับมีรูปคลื่นไซน์แต่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะมีรูปคลื่นแตกต่างจากรูปไซน์ นอกจากนั้นยังมีชุดวงจรควบคุม (Control Circuit) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงจรอินเวอร์เตอร์

2.6.3 มาตรฐานของอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าชนิดต่อกับระบบจำหน่าย (Grid Connected Inverter)

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานต้องได้รับการรับรองตามมาตรฐาน เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามระเบียบว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 หรือระเบียบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และได้รับการขึ้นทะเบียนรายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.7 รถไฟฟ้า

รถไฟฟ้า (Electric Vehicles) คือ ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเก็บอยู่ในแบตเตอรี่ และด้วยข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ให้แรงบิดได้ทันที ทำให้รถไฟฟ้ามีอัตราเร่งที่เรียบและรวดเร็ว โดยจะมีชุดอุปกรณ์หลักคือ ตัวแบตเตอรี่ที่มีความจุพลังงานไฟฟ้าสูงซึ่งเก็บไว้ในรถ และตัวมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อน โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ส่วนมากระยะเวลาและระยะทางของรถไฟฟ้ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดความจุของแบตเตอรี่เป็นสำคัญ (ยศพงษ์ ลออนวล, และคณะ, 2558, หน้า 7-8) ซึ่งรถพลังงานไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังภาพประกอบที่ 2.14 ดังนี้



ภาพประกอบที่ 2.14 ประเภทรถไฟฟ้า

ที่มา : การศึกษาการพัฒนาของเทคโนโลยีรถไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้น
สำหรับประเทศไทย, 2558, หน้า 7

1. ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEVs) ประกอบด้วย เครื่องยนต์ลูกสูบเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหลัก ซึ่งใช้เชื้อเพลิงที่บรรจุในยานยนต์ และทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มกำลังของยานยนต์ให้เคลื่อนที่ ทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ายานยนต์ปกติ กำลังที่ผลิตจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้าทำให้อัตราเร่งของยานยนต์สูงกว่ารถยนต์ที่มีเครื่องยนต์ลูกสูบขนาดเดียวกัน รวมทั้งยังสามารถนำพลังงานกลที่เหลือหรือไม่ใช้ประโยชน์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเก็บในแบตเตอรี่

2. ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEVs) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด โดยสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งภายนอก (Plug-in) ทำให้อานยนต์สามารถใช้พลังงานพร้อมกันจาก 2 แหล่ง จึงสามารถวิ่งในระยะทางและความเร็วที่เพิ่มขึ้นด้วยพลังงานจากไฟฟ้าโดยตรง

3. ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอิน (Plug-in Electric Vehicle, PEVs) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จึงขึ้นอยู่กับการออกแบบขนาดและชนิดของแบตเตอรี่รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันบริษัทรถยนต์ได้มีการผลิตและจำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ขึ้นในประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา เป็นต้น ทำให้เทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่มีความเป็นไปได้มากขึ้น

4. ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEVs) เป็นรถไฟฟ้าที่มีเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงมีข้อดีหลายประการ ข้อที่สำคัญที่สุดคือ ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงถึง 60% และความจุพลังงานจำเพาะที่สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน รถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทรถยนต์เชื่อว่าเป็นคำตอบที่แท้จริงของพลังงานสะอาดในอนาคต อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจนและโครงสร้างพื้นฐาน

2.7.1 หลักการทำงานของรถไฟฟ้า

รถไฟฟ้าจะเก็บไฟฟ้าในแบตเตอรี่ และนำมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เมื่อต้องการ โดยมีเครื่องควบคุมการทำงานของชุดแบตเตอรี่ การไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าจากที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ไปยังมอเตอร์จะถูกกำหนดโดยตัวควบคุมเครื่อง (Motor Controller) ซึ่งเป็นเสมือน “สมอง” ของรถ และเป็นองค์ประกอบหลักของระบบพลังงาน ถ้ารถไฟฟ้ามีระบบมอเตอร์แบบกระแสสลับ ระบบพลังงานจะมีส่วนที่เป็นตัวแปลงกลับ (Inverter) เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล และถูกส่งไปยังล้อผ่านเพลาเพื่อขับเคลื่อนรถไฟฟ้า

2.7.2 เทคโนโลยีการพัฒนาเครื่องอัดประจุไฟฟ้า

สถานีอัดประจุสามารถจัดประเภทได้ตามความแตกต่างของพื้นฐานเวลาในการอัดประจุและระบบการเชื่อมต่อ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การอัดประจุด้วยระบบไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับสถานีอัดประจุจะปล่อยไฟฟ้ากระแสสลับและจะถูกปรับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยอุปกรณ์อัดประจุที่ติดมากับรถไฟฟ้านั้น ๆ และการอัดประจุด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงส่วนมากจะใช้กับการอัดประจุแบบเร็ว (quick charge) ซึ่งสถานีอัดประจุจะปล่อยกระแสไฟฟ้าตรงเพื่อการอัดประจุโดยตรง ระยะเวลาในการอัดประจุจะเริ่มตั้งแต่ประมาณ 30 นาทีถึงประมาณ 20 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับประเภทและรายละเอียดของอุปกรณ์การอัดประจุรวมไปถึงประเภทของแบตเตอรี่ และขนาดความจุพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถบรรจุได้ ซึ่งโดยส่วนมากแล้วรถไฟฟ้าจะมีขนาดความจุของแบตเตอรี่มากกว่ารถไฟฟ้าไฮบริด เพราะฉะนั้นรถไฟฟ้าใช้เวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็มมากกว่ารถไฟฟ้าไฮบริด

2.7.3 ระบบการชาร์จแบตเตอรี่

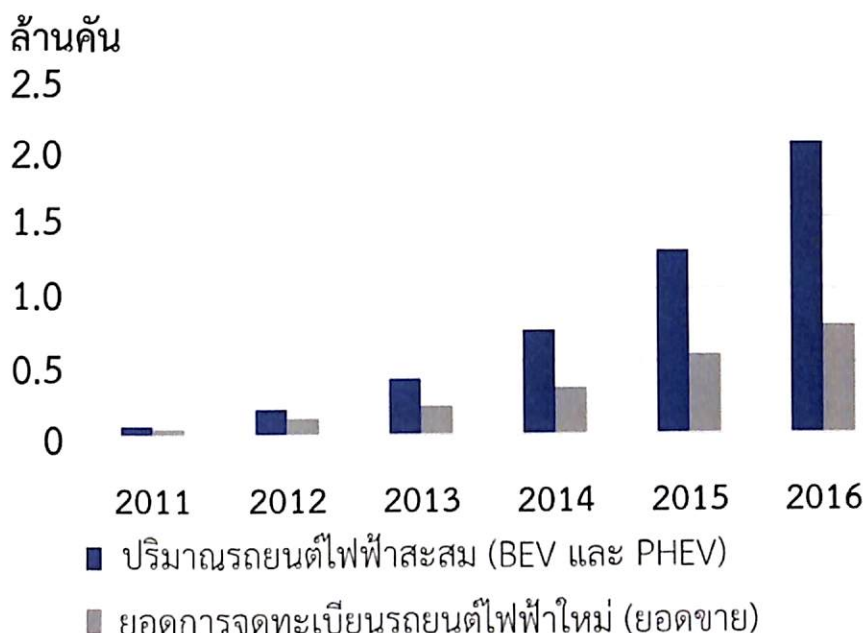
เครื่องชาร์จจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อป้อนให้กับแบตเตอรี่ ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าหลังจากได้ใช้พลังงานไฟฟ้าไปจนหมด ซึ่งรถไฟฟ้าบางประเภทมีเครื่องประจุแบตเตอรี่อยู่บนตัวรถ ขณะที่รถไฟฟ้าบางประเภทใช้เครื่องชาร์จติดตั้งภายนอก และทำการชาร์จในบริเวณที่จัดไว้ กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปยังรถโดยผ่านเครื่องชาร์จ

2.7.4 การอัดประจุไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย

การอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย คือ การอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถไฟฟ้าจากที่อยู่อาศัย ซึ่งเจ้าของรถไฟฟ้าเป็นเจ้าของอาคาร และบ้านเรือน ทำให้การบริหารจัดการเป็นสิทธิของเจ้าของรถไฟฟ้า โดยทั่วไปจากพฤติกรรมของผู้ใช้งานรถไฟฟ้าจะมีการอัดประจุไฟฟ้าจากบ้านอยู่อาศัยเป็นหลัก เมื่อผู้ใช้รถไฟฟ้าได้ซื้อรถไฟฟ้ามาใช้แล้ว จะมีการซื้อที่อัดประจุไฟฟ้าสำหรับบ้านอยู่อาศัยบางครั้งอาจมาพร้อมกับรถไฟฟ้า ซึ่งลักษณะที่อัดประจุไฟฟ้านั้น ควรเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานของการไฟฟ้า หรือหน่วยงานที่ดูแลด้านความปลอดภัย โดยทั่วไปจะมีพิกัดกำลังไฟฟ้าไม่มาก และใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าค่อนข้างนาน ซึ่งจะเป็นการอัดประจุในลักษณะของการใช้งานในชีวิตประจำวัน เช่น การอัดประจุไฟฟ้าช่วงค่ำและนำไปใช้งานในช่วงเช้า โดยเป็นหัวจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิด 2 หรือตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) กำหนด การติดตั้งที่อัดประจुरถไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยจะมีลักษณะไม่ซับซ้อน โดยจะต้องดำเนินการตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าที่จะทำการเชื่อมต่อ และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญทางไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองจากการไฟฟ้า ทั้งนี้ การไฟฟ้าจะคิดค่าไฟฟ้าตามอัตราที่การไฟฟ้ากำหนด ซึ่งอาจจะมีการติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้าแบบแยกจากบ้านเรือนหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายนั้น ๆ

2.8 สถานการณ์รถไฟฟ้าโลกและไทย

(อรรถสิทธิ์ แจ่มฟ้า, 2561, หน้า 1) จากรายงานฉบับล่าสุดของ International Energy Agency : IEA พบว่า ปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังภาพประกอบที่ 2.15 โดยในปี 2016 ทั่วโลกมีปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าบนท้องถนน (คลังสินค้า) จำนวน 2.01 ล้านคัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 59.52 (% yoy) และมียอดการจดทะเบียนใหม่ (ยอดขาย) จำนวน 7.53 แสนคัน เพิ่มขึ้น ร้อยละ 37.66 (% yoy) ทั้งนี้ ประเทศที่มีปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น นอร์เวย์ และเนเธอร์แลนด์ โดยมีปริมาณอยู่ที่ 6.49 5.64 1.51 1.33 และ 1.12 แสนคัน ตามลำดับ ขณะที่ประเทศที่มีอัตราการขยายตัวของปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าสะสมสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ จีน เกาหลีใต้ สวีเดน สหราชอาณาจักร และแคนาดา โดยมีอัตราการเติบโตอยู่ที่ร้อยละ 107.43 88.40 84.35 78.15 และ 65.46 (% yoy) ตามลำดับ

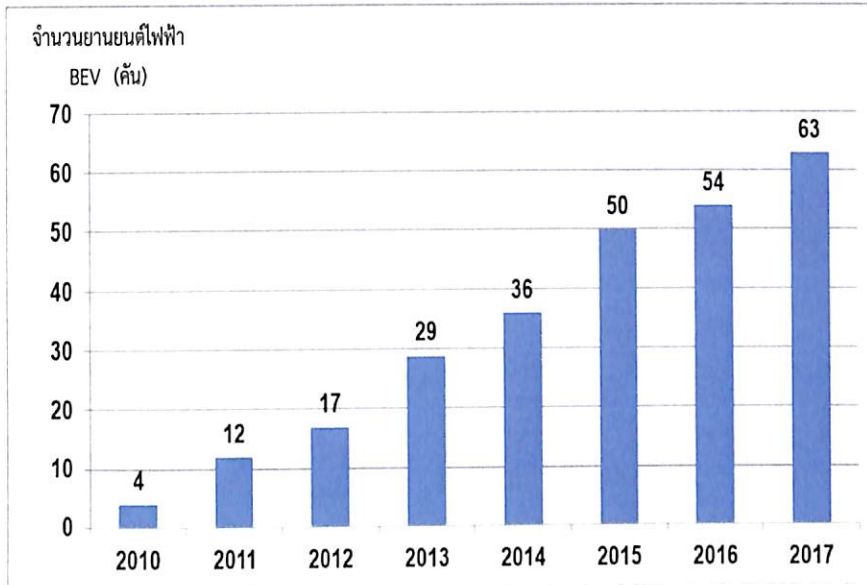


ภาพประกอบที่ 2.15 สถานการณ์รถไฟฟ้าโลก (BEV และ PHEV)

ที่มา : รถยนต์ไฟฟ้ากับอุตสาหกรรมยนต์ไทย ธนาคารอมสิน ฉบับเดือน มีนาคม, 2561, หน้า 1

2.8.1 สถานการณ์การใช้งานรถไฟฟ้าในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันภาครัฐบาลและกระทรวงพลังงานกำลังผลักดันนโยบายพลังงานไทย 4.0 เพื่อขับเคลื่อนให้ประเทศไทยกลายเป็นสมาร์ทซิตี (Smart City) โดยมีปริมาณการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าประเภท BEV เพิ่มขึ้นทุกปี ดังภาพประกอบที่ 2.16 และภายในระยะเวลา 19 ปีข้างหน้า หรือในปี พ.ศ. 2579 ตั้งเป้าไว้ว่าประเทศจะเปลี่ยนจากการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลเป็นพึ่งพาพลังงานทดแทนให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและยานยนต์ไฟฟ้าเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของแผนการดำเนินการดังกล่าว โดยรัฐตั้งเป้าหมายว่าในปี พ.ศ. 2579 ประเทศไทยจะต้องมียานยนต์ไฟฟ้าใช้บนถนนให้ได้มากถึง 1.2 ล้านคัน จากสถานการณ์การเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนเห็นความจำเป็นในการสร้างระบบนิเวศน์ และโครงสร้างพื้นฐานที่จะเอื้อต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าให้เหมาะสม ซึ่งวิธีที่ชัดเจนคือการเร่งสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าให้เพิ่มจำนวนมากขึ้น เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้ผู้บริโภคที่สนใจใช้ยานยนต์ไฟฟ้า



ภาพประกอบที่ 2.16 แนวโน้มการใช้รถไฟฟ้าประเภท BEV สะสมของประเทศไทย
ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้า
ของประเทศ, 2560, หน้า 2-4

2.8.2 นโยบายส่งเสริมรถไฟฟ้าของประเทศต่างๆ

นโยบายของรัฐบาลประเทศต่าง ๆ ให้ความสำคัญและลงทุนพัฒนาอย่างจริงจัง เพราะนอกจากจะเป็นนวัตกรรมที่ช่วยให้ผู้ใช้ประหยัดเงินได้แล้ว พลังงานไฟฟ้ายังเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากยานยนต์ไฟฟ้าอีกด้วย ประเทศต่าง ๆ ได้กำหนดเป้าหมายปีที่ยุติการขายรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและเบนซินทั้งหมด เช่น เมื่อปลายเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ประเทศสหราชอาณาจักรตัดสินใจยุติการขายยานยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและเบนซินทั้งหมด ภายในปี พ.ศ. 2583 ซึ่งเป็นเป้าหมายเดียวกับประเทศฝรั่งเศสที่ประกาศไปก่อนแล้วในช่วงต้นเดือนเดียวกัน ตามแผนลดมลพิษทางอากาศ และบรรลุเป้าหมายรักษาอุณหภูมิโลกให้ต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส ภายใต้ข้อตกลงปารีสของรัฐบาลฝรั่งเศส ประเทศนอร์เวย์ประกาศแผนยุติการขายยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินและดีเซลภายในปี พ.ศ. 2578 เช่นเดียวกับอีกหลายประเทศในยุโรปอย่างประเทศสวีเดน ประเทศฟินแลนด์ และประเทศเยอรมนี ที่แสดงเจตจำนงยุติเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ในอนาคตอันใกล้เช่นกัน ทางด้านเอเชียประเทศที่แสดงเจตจำนงชัดเจนแล้ว คือ ประเทศจีน โดยประกาศแผนเลิกขายยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในไม่เกินปี พ.ศ. 2573 ประเทศอินเดียกำหนดเป้าหมายว่า ปี พ.ศ. 2573 จะผลิตแต่ยานยนต์ไฟฟ้าเช่นกันหลังปล่อยมลพิษสูงสุดอันดับ 3 ของโลก อีกประเทศหนึ่ง คือ ประเทศญี่ปุ่น แม้ยังไม่กำหนดเป้าหมายชัดเจนแต่เป็นที่ทราบกันว่าประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้นำด้านการผลิตรถยนต์ในเวทีโลก และยังเป็นหนึ่งในประเทศที่ให้ความสำคัญของยานยนต์พลังงานสะอาดรูปแบบนี้มานาน ผ่านนโยบายของรัฐบาลที่รณรงค์ส่งเสริมให้พลเมืองในประเทศหันมาใช้ยานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น แลกกับการลดหย่อนภาษีราคาารถและภาษีประจำปี โดยได้สรุปสถานการณ์ด้านนโยบายในแต่ละประเทศ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558, หน้า 5-7) ตามตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 สรุปสถานการณ์ด้านนโยบายในแต่ละประเทศ

ประเทศ	ด้านการเงิน	ด้านโครงสร้างพื้นฐาน	ด้านงานวิจัยและพัฒนา
จีน	อุดหนุนด้านการซื้อขายยานยนต์ไฟฟ้าสูงสุด 60,000 หยวน (ประมาณ 312,600 บาท)	-	โครงการตัวอย่าง ในมูลค่า 6.96 พันล้านหยวน (ประมาณ 36,260 ล้านบาท)
เดนมาร์ก	งดเว้นภาษีจดทะเบียนและภาษีถนน	พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับประจุไฟฟ้า มูลค่า 70 ล้านโคเนเดนมาร์ก (ประมาณ 413 ล้านบาท)	มุ่งเน้นด้านการนำยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ
ฟินแลนด์	งบประมาณ 5 ล้านยูโร (220 ล้านบาท) สำหรับยานยนต์ที่เข้าร่วมโครงการพัฒนารถไฟฟ้า	งบประมาณ 5 ล้านยูโร (220 ล้านบาท) สำหรับโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งโครงการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้า	-
ฝรั่งเศส	เงินคืนสำหรับผู้บริโภคที่ซื้อรถที่มีประสิทธิภาพ (90% งบประมาณ) และสำหรับการช่วยเหลือทางตรง 10% งบประมาณ) งบประมาณ รวม 450 ล้านยูโร (ประมาณ 19,913 ล้านบาท)	50% ของมูลค่าอุปกรณ์ประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ทั้งค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งด้วยมูลค่ารวม 50 ล้านยูโร (ประมาณ 2,200 ล้านบาท)	งบประมาณ 140 ล้านยูโร (ประมาณ 6,164 ล้านบาท) เพื่อวิจัยในส่วนของรถไฟฟ้า
เยอรมัน	ยกเว้นภาษีถนน	4 ภูมิภาคตัวอย่างสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEVs) และรถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV)	ช่วยเหลือทางด้านการเงินแก่การวิจัยด้านการขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า วิจัยการสร้างและปรับปรุงในห่วงโซ่อุปทาน วิจัยด้านสารสนเทศ วิจัยด้านแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.2 สรุปสถานการณ์ด้านนโยบายในแต่ละประเทศ (ต่อ)

ประเทศ	ด้านการเงิน	ด้านโครงสร้างพื้นฐาน	ด้านงานวิจัยและพัฒนา
อินเดีย	10,000 รูปี หรือ 20% ของมูลค่ายานยนต์ ลดการเรียกเก็บภาษีกับยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่และยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด	เป้าหมายระดับชาติสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เตรียมโครงสร้างพื้นฐานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	อาคารวิจัยด้วยความร่วมมือระหว่างรัฐบาล อุตสาหกรรมและมหาวิทยาลัยและวิจัยมุ่งเน้นส่วนของเซลล์แบตเตอรี่ และระบบแม่เหล็กไฟฟ้า
อิตาลี	มูลค่า 1.5 ล้านยูโร (ประมาณ 66 ล้านบาท) สำหรับเงินอุดหนุนผู้บริโภค	-	-
ญี่ปุ่น	เงินช่วยเหลือ 50% ของราคาต่างระหว่างยานยนต์ไฟฟ้า และยานยนต์ปกติ หรือสูงสุดถึง 1 ล้านเยนต่อคัน (ประมาณ 320,000 บาท)	เงินช่วยเหลือ 50% ของราคา อุปกรณ์ประจุไฟฟ้า (สูงสุด 1.5 ล้านเยน หรือประมาณ 480,000 บาท)	งานวิจัยส่วนใหญ่ มุ่งเน้นที่วิจัยด้านโครงสร้างพื้นฐาน
ฮอลแลนด์	ลดภาษีในมูลค่ายานยนต์ไฟฟ้าถึง 10-20% ของการลงทุน	อุดหนุนจุดประจุไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าจำนวน 400 จุด	งานวิจัยด้านแบตเตอรี่ 30%
สเปน	สร้างกระตุ้นถึง 25% ของการซื้อยานยนต์ไฟฟ้า ก่อนคิดมูลค่าภาษี (ถึง 6,000 ยูโร หรือ 264,000 บาท) รวมทั้งเพิ่มการ อุดหนุนสูงสุดถึง 2,000 ยูโร หรือประมาณ 88,000 บาทต่อ EV/PHEV	อุดหนุนสถานีประจุไฟฟ้าสาธารณะสำหรับโครงการ ตัวอย่าง ; อุดหนุนสำหรับโครงสร้างพื้นฐานสำหรับสถานีประจุไฟฟ้า ในความร่วมมือระหว่างรัฐบาลกลาง และรัฐบาลท้องถิ่น	5 โปรแกรมงานวิจัยหลักในการพัฒนาโครงการการกระตุ้น
สวีเดน	เงินอุดหนุน 4,500 ยูโร สำหรับ ยานยนต์ที่มีมลพิษน้อยกว่า 50 กรัมต่อคาร์บอนไดออกไซด์ กิโลเมตร และ งบประมาณเงิน คืนในช่วงปี ค.ศ. 2012-2014 super car rebate	ไม่มีการช่วยเหลือชัดเจน สำหรับ สถานีประจุไฟฟ้า นอกจาก กองทุนการวิจัย (1 ล้านยูโร ปี ค.ศ. 2012)	2.5 ล้านยูโร (ประมาณ 110 ล้านบาท) เพื่องานวิจัยและพัฒนา ด้านแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.2 สรุปสถานการณ์ด้านนโยบายในแต่ละประเทศ (ต่อ)

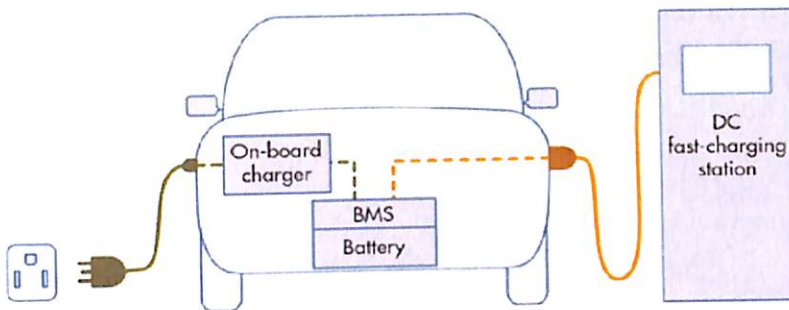
ประเทศ	ด้านการเงิน	ด้านโครงสร้างพื้นฐาน	ด้านงานวิจัยและพัฒนา
อังกฤษ	-	มูลค่า 37 ล้านปอนด์ (ประมาณ 1,819 ล้านบาท) เพื่อติดตั้งสถานีประจุไฟฟ้าทั้งสำหรับที่อยู่อาศัย ถนนรางรถไฟ และจุดสาธารณะ เพื่อความพร้อมในปี ค.ศ. 2015	คณะกรรมการด้านยุทธศาสตร์ เทคโนโลยี ประเทศอังกฤษ สนับสนุน 60 โครงการ ด้านการ วิจัยร่วม เพื่อยานยนต์มลพิษต่ำ
สหรัฐอเมริกา	สามารถหักภาษีถึง 7,500 ดอลลาร์ (ประมาณ 243,00 บาท) สำหรับยานยนต์ขึ้นอยู่กับขนาดแบตเตอรี่และยกเล็ก เมื่อมีจำนวนยานยนต์ถึง 200,000 คัน	สามารถหักภาษีถึง 30% ของมูลค่าแต่ไม่เกิน 30,000 ดอลลาร์ (ประมาณ 973,500 บาท) สำหรับสถานีประจุไฟฟ้าสำหรับเชิงพาณิชย์ ; สามารถหัก ภาษีถึง 1,000 ดอลลาร์(ประมาณ 32,450 บาท) สำหรับ สถานีประจุไฟฟ้าสำหรับที่อยู่อาศัย ; งบประมาณ 360 ล้านดอลลาร์ (ประมาณ 11,682 ล้านบาท) สำหรับการ โครงการ ตัวอย่างด้าน โครงสร้างพื้นฐาน	งบประมาณ ปี ค.ศ. 2012 มูลค่า 268 ล้านดอลลาร์ (ประมาณ 8,686 ล้านบาท) สำหรับ งานวิจัยทางด้าน แบตเตอรี่ เซลล์เชื้อเพลิง ระบบยานยนต์ และโครงสร้างพื้นฐาน

2.9 การอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า

(นายวรารุช ศิริผล และคณะ, 2559, หน้า 4-3-4-11) เทคโนโลยีการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging) และการอัดประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Charging) นอกจากการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังมีแนวคิดเรื่องการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Swapping) ซึ่งเป็นอีกรูปแบบการให้บริการที่สามารถช่วยแก้ปัญหาเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าได้

2.9.1 การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging)

การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ เป็นการอัดประจุแบตเตอรี่โดยเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยตรงผ่านสายเคเบิล (หรือสายชาร์จ) ซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า ดังภาพประกอบที่ 2.17 การอัดประจุไฟฟ้าวิธีนี้จะอาศัยหลักการนำไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านสายเคเบิลเข้าสู่แบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าที่มีการใช้งานแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถติดตั้งได้ง่าย มีประสิทธิภาพสูง และสามารถใช้ได้ทั้งการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับและกระแสตรง



ภาพประกอบที่ 2.17 การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ

ที่มา: <http://electronicdesign.com/power/optocouplers-help-promote-safe-efficient-ev-charging-stations>

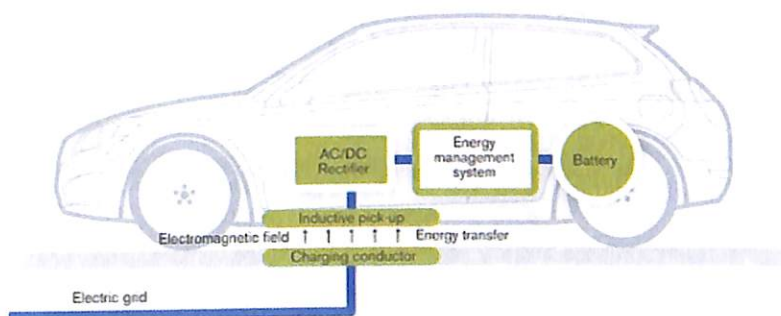
การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ ยังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ และการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง

1. การอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นการอัดประจุไฟฟ้าโดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้า จากนั้นอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าภายในยานยนต์ไฟฟ้า (On-board Charger) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในยานยนต์ไฟฟ้าจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่ต่อไป การอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทั่วไปจะเป็นการอัดประจุไฟฟ้าแบบปกติ เนื่องจากใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำด้วยข้อจำกัดของ อุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าภายในยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปรองรับกระแสไฟฟ้าได้เพียง 16-32 A ดังนั้นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ จึงเหมาะสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าในบ้านพักอาศัย อาคารสำนักงาน และห้างสรรพสินค้า ซึ่งสามารถจอดรอได้เป็นระยะเวลานาน โดยทั่วไปจะมีขนาด 3.3 kW และ 6.6 kW สำหรับระบบการอัดประจุไฟฟ้าแบบ 1 เฟส ไปจนถึง 11 kW และ 22 kW สำหรับระบบการอัดประจุไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ซึ่งการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับที่ 22 kW จะเรียกว่าการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับแบบกึ่งเร็ว (AC Semi-Quick Charge) นอกจากนี้ สามารถรองรับการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับแบบเร็ว (AC Quick Charge) ได้ที่ 43 kW โดยเป็นระบบการอัดประจุไฟฟ้า 3 เฟส และกระแสไฟฟ้าพิกัด 63 A ต่อเฟส

2. การอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง เป็นการอัดประจุไฟฟ้าโดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้า โดยกรณีนี้ สถานีอัดประจุไฟฟ้าจะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้าจะจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่โดยตรง โดยมีระบบจัดการแบตเตอรี่ (Battery Management System: BMS) ทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุ การอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงถือเป็นการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว โดยสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้าได้สูง เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดเรื่องอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าภายในยานยนต์ไฟฟ้า โดยทั่วไปสามารถอัดประจุไฟฟ้าครึ่งหนึ่งของความจุแบตเตอรี่ได้ภายในระยะเวลาเพียง 10-15 นาที และเนื่องจากเป็นการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง (ปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 50 kW) จึงต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส ที่มีพิกัดกระแสสูงการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงมักเป็นการใช้งานในแหล่งสาธารณะ ซึ่งต้องการความรวดเร็วในการอัดประจุในลักษณะคล้ายกับสถานีบริการน้ำมัน และมีความเหมาะสมกับยานยนต์ไฟฟ้าที่ต้องการอัดประจุไฟฟ้าหลายครั้งระหว่างวันหรือสำหรับการเดินทางระยะทางไกล เช่น การเดินทางระหว่างจังหวัด เป็นต้น

2.9.2 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Charging)

การอัดประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ หรือการอัดประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย (Wireless Charging) เป็นเทคโนโลยีการอัดประจุไฟฟ้าที่อาศัยหลักการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า โดยเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านตัวส่งซึ่งติดตั้งอยู่บนพื้นดินขดลวดเหนี่ยวนำ (Induction Coil) ในตัวส่งจะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ขดลวดเหนี่ยวนำของตัวรับซึ่งติดตั้งอยู่ในยานยนต์ไฟฟ้า จากนั้นยานยนต์ไฟฟ้าจะนำไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นไปอัดประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่อไป ดังภาพประกอบที่ 2.18 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ มีข้อดีในเรื่องความสะดวกและปลอดภัย เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเสียบปลั๊กและสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากการอัดประจุไฟฟ้า เช่น การลัดวงจร แต่ก็มีข้อด้อยที่สำคัญคือ มีประสิทธิภาพต่ำและทำให้เกิดความร้อน จึงไม่สามารถรองรับการอัดประจุไฟฟ้าด้วยกำลังไฟฟ้าสูงได้ นอกจากนี้ การอัดประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจะเป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าภายในยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่



ภาพประกอบที่ 2.18 การอัดประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

ที่มา : <https://www.goauto.com.au/news/volvo/volvo-working-on-wireless-ev-charging/2011-05-25/9536.html>

2.9.3 สถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

เพื่อรองรับการเกิดขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้า นอกจากการสร้างและขยายสถานีอัดประจุไฟฟ้าทั้งในบ้านอยู่อาศัยและที่สาธารณะ ยังมีอีกแนวคิดหนึ่งคือการพัฒนาสถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ดังภาพประกอบที่ 2.19 โดยในกรณีที่พลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าใกล้หมดสามารถใช้บริการสถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ เพื่อสับเปลี่ยนแบตเตอรี่กับแบตเตอรี่ที่ได้รับการอัดประจุไฟฟ้าจนเต็มแล้ว แนวคิดนี้จะช่วยให้ข้อต่อยวดยิ่งระยะทางขับขี่ของยานยนต์ไฟฟ้าและความไม่สะดวกของการอัดประจุไฟฟ้าหมดไป เนื่องจากการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่สามารถทำได้รวดเร็ว (เช่น ไม่เกิน 5 นาที) จึงเหมาะสำหรับสภาวะเร่งรีบ เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วก็ยังคงใช้เวลาอย่างน้อย 15 นาที ซึ่งถือว่าช้าเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมน้ำมันของยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายใน รูปแบบการให้บริการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่จะเป็นลักษณะการทำสัญญากับผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าแบบจ่ายเงินตามระยะทาง โดยผู้ให้บริการจะเป็นผู้รับภาระค่าใช้จ่ายทั้งค่าแบตเตอรี่ โครงสร้างพื้นฐานการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่รวมทั้งค่าไฟฟ้า แนวคิดนี้ยังมีข้อดีคือเจ้าของยานยนต์ไฟฟ้าไม่มีภาระค่าใช้จ่ายในด้านแบตเตอรี่ ทำให้การซื้อยานยนต์ไฟฟ้ามีราคาถูกลง และลดความเสี่ยงในการซื้อยานยนต์ไฟฟ้ามาใช้งาน เนื่องจากโดยทั่วไปอายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะต่ำกว่าอายุการใช้งานของยานยนต์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดของยานยนต์ไฟฟ้าจะต้องออกแบบให้สามารถถอดสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ จึงจะใช้บริการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อีกทั้งยังมีปัญหาสำคัญด้านมาตรฐานและคุณภาพของแบตเตอรี่ ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้น บริการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่จำเป็นต้องมีระบบควบคุมและดูแลอย่างใกล้ชิดแม้แนวคิดเรื่องสถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าจะเป็นแนวคิดที่ดี แต่การนำมาใช้งานจริงในปัจจุบันยังมีน้อยมาก เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาสถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าทั่วไป และการใช้งานจริงยังไม่สามารถสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้รวดเร็วตามที่ต้องการ เทคโนโลยีการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า จึงยังจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้นด้วยระบบอัตโนมัติ นอกจากนี้การติดตั้งแบตเตอรี่และระบบบริหารจัดการแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นมีความหลากหลายจึงเป็นเรื่องยากที่สถานีบริการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่จะรองรับได้ครบทุกรุ่น



ภาพประกอบที่ 2.19 สถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

ที่มา: http://www.greencarreports.com/news/1090933_standardized-electric-car-battery-swapping-won't-happen-heres-why

2.10 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้า

2.10.1 เต้าเสียบและเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า

(นายวรารุช ศิริผล และคณะ, 2559, หน้า 4-12-4-21) เต้าเสียบและเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้าที่กำหนดอยู่ในอนุกรมมาตรฐาน IEC 62196 แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. เต้าเสียบและเต้ารับแบบกระแสสลับ มาตรฐาน IEC 62196-2 กำหนดรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ สำหรับการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับทั้งหมด 3 ชนิด ซึ่งชนิดที่นิยมใช้ทั่วโลก คือ ชนิด 1 และชนิด 2 สำหรับชนิด 3 มีการใช้งานน้อยมาก จึงขอกล่าวถึงเฉพาะชนิด 1 และชนิด 2 ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เต้าเสียบและเต้ารับแบบกระแสสลับ ชนิด 1 และชนิด 2

ชนิด	ขนาดพิกัด	ภาพตัวอย่าง	ประเทศที่ใช้งาน
ชนิด 1	1 เฟส: 250 VAC, 32 A		สหรัฐอเมริกา, ญี่ปุ่น
ชนิด 2	1 เฟส: 250 VAC, 70 A 3 เฟส: 480 VAC, 63 A		ยุโรป

2. เต้าเสียบและเต้ารับแบบกระแสดตรง และรวมกระแสสลับ/กระแสดตรง มาตรฐาน IEC 621963 กำหนดรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ สำหรับการอัดประจุไฟฟ้ากระแสดตรงทั้งหมด 4 รูปแบบ ตามตารางที่ 2.4 โดยรูปแบบ AA และ BB เป็นเต้าเสียบและเต้ารับแบบกระแสดตรงเท่านั้น ส่วนรูปแบบ EE และ FF จะเป็นเต้าเสียบและเต้ารับแบบกระแสสลับ/กระแสดตรง หรือที่เรียกว่า Combo

ตารางที่ 2.4 เต้าเสียบและเต้ารับแบบกระแสดตรง และแบบรวมกระแสสลับ/กระแสดตรง

รูปแบบ	ขนาดพิกัด	ภาพตัวอย่าง	ประเทศที่ใช้งาน
AA	600 VDC, 200 A		ญี่ปุ่น
BB	750 VDC, 250 A		จีน

ตารางที่ 2.4 เต้าเสียบและเต้ารับแบบกระแสตรง และแบบรวมกระแสสลับ/กระแสตรง (ต่อ)

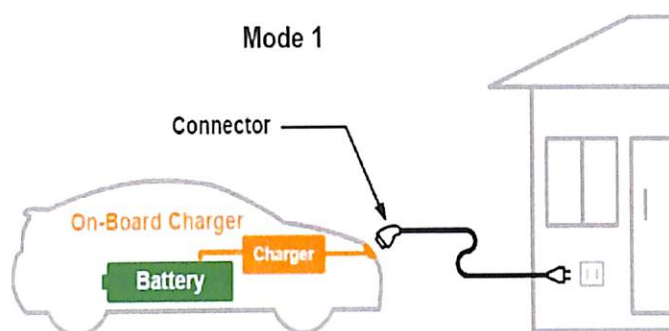
รูปแบบ	ขนาดพิกัด	ภาพตัวอย่าง	ประเทศที่ใช้งาน
EE	กระแสตรง: 600 VDC, 200 A กระแสสลับ: ชนิด 1		สหรัฐอเมริกา
FF	กระแสตรง: 1000 VDC, 200 A กระแสสลับ: ชนิด 2		ยุโรป

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้มีความพยายามที่จะกำหนดมาตรฐานเต้าเสียบและเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า ในประเทศไทยให้มีเพียงรูปแบบเดียวหรือมีรูปแบบให้น้อยที่สุดโดยมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับเต้าเสียบและเต้ารับรถไฟฟ้า มอก. 2749 เล่ม 2-2559 กำหนดรูปแบบเต้าเสียบและเต้ารับกระแสสลับเป็นแบบ ชนิด 2 โดยยินยอมให้รถไฟฟ้าที่มีเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า (Vehicle Inlet) เป็นแบบอื่น ๆ สามารถใช้อุปกรณ์เสริมเพื่อปรับมาใช้กับชนิด 2 ได้ หากผู้ทำยานยนต์ หรือผู้ทำสถานีอัดประจุไฟฟ้าเป็นผู้จัดเตรียมและรับรองอุปกรณ์เสริม ส่วนมาตรฐาน มอก. 2749 เล่ม 3-2559 ยังไม่กำหนดรูปแบบเต้าเสียบและเต้ารับกระแสตรงและกระแสสลับ/กระแสตรง สำหรับประเทศไทยให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62196-3:2014 Ed 1.0

2.10.2 ระบบอัดประจุไฟฟ้า

การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าออกเป็น 4 โหมด ซึ่งกำหนดอยู่ในมาตรฐาน IEC 61851-1 โดยโหมด 1 ถึง 3 เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ ในขณะที่โหมด 4 เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง รายละเอียดรูปแบบของการอัดประจุไฟฟ้าทั้ง 4 โหมด ดังนี้

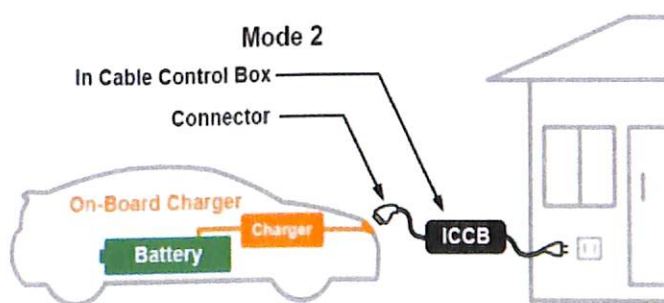
โหมด 1: เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเต้ารับไฟฟ้ามาตรฐานตามบ้านหรืออาคารโดยตรง กำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 16 A และขนาดแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 Vac (สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส) และไม่เกิน 480 Vac (สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส) ดังภาพประกอบที่ 2.20 โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบสายดินและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกิน (Circuit Breaker) และสายเคเบิลที่ใช้ต้องมีสายดินด้วยเช่นกัน เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้า โหมด 1 เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับเต้ารับไฟฟ้าตามบ้านหรืออาคารโดยตรง โดยไม่มีอุปกรณ์อื่น ๆ เพิ่มเติม ดังนั้น จึงไม่มีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ (Control Pilot Function) อีกทั้ง เต้ารับตามบ้านหรืออาคารหลายแห่งไม่มีระบบสายดิน จึงอาจเกิดอันตรายได้ต่อผู้ใช้งานได้ หากเกิดกระแสไฟฟ้าวหรือลัดวงจร บางประเทศจึงห้ามใช้การอัดประจุไฟฟ้า โหมด 1 เช่น สหรัฐอเมริกา



ภาพประกอบที่ 2.20 การอัดประจุไฟฟ้า โหมด 1

ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559, หน้า 4-17

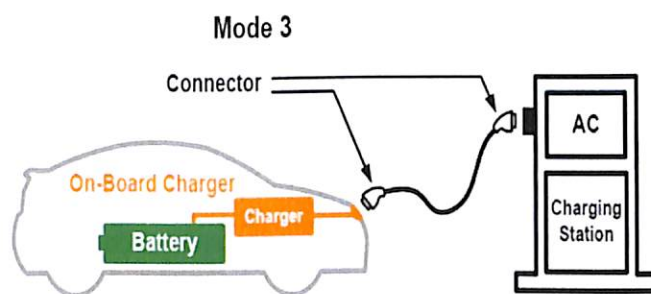
โหมด 2: เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเต้ารับไฟฟ้ามาตรฐานตามบ้านหรืออาคารโดยตรง กำหนดขนาดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 32 A และขนาดแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 Vac (สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส) และไม่เกิน 480 Vac (สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส) ดังภาพประกอบที่ 2.21 โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องมีระบบสายดินและอุปกรณ์ป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินและสายเคเบิลที่ใช้ต้องมีสายดินด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ ในโหมด 2 สายเคเบิล จะต้องมีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ และระบบป้องกันอันตรายจากไฟฟ้ารั่ว (Residual Current Device: RCD) ซึ่งอาจติดตั้งอยู่ภายในกล่องควบคุมในสายเคเบิล (In-cable Control Box : ICCB) โดย ICCB จะต้องมียุ่ห่างจากเต้าเสียบ ไม่เกิน 0.3 เมตร หรือติดตั้งอยู่ภายในฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุของเต้าเสียบ (Plug Control Pilot Function) มีหน้าที่ในการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและตรวจสอบระบบป้องกันระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า เช่น ตรวจสอบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีการต่อสายดินอยู่หรือไม่หรือสั่งให้ลดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุเมื่อแบตเตอรี่เกิดความร้อนสูง เป็นต้น โดยฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุจะสื่อสารกับรถไฟฟ้า โดยใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM)



ภาพประกอบที่ 2.21 การอัดประจุไฟฟ้า โหมด 2

ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559, หน้า 4-18

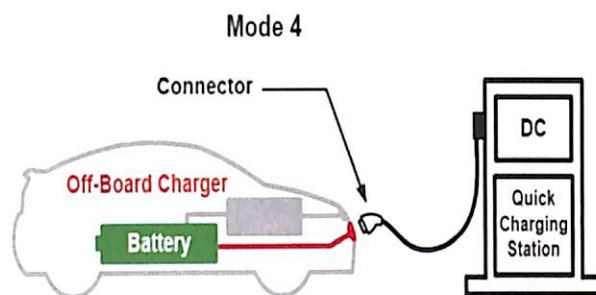
โหมด 3: เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles Supply Equipment) ดังภาพประกอบที่ 2.22 เช่น สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยที่เครื่องอัดประจุไฟฟ้าจะเชื่อมต่ออย่างถาวรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ มาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้การอัดประจุไฟฟ้า โหมด 3 เป็นรูปแบบที่เห็นทั่วไปในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะที่สามารถจอดรถเป็นระยะเวลาานานได้ เช่น ที่ทำงาน ห้างสรรพสินค้า รวมถึงเครื่องอัดประจุไฟฟ้ารูปแบบติดตั้งในบ้านอยู่อาศัย โดยที่เครื่องอัดประจุไฟฟ้า โหมด 3 จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน เช่น อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน อุปกรณ์ป้องกันกระแสรั่ว (Earth Leakage Circuit Breaker) และอุปกรณ์สำหรับตัดต่อการจ่ายไฟฟ้า (Contactor) และต้องมีฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุ เพื่อควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าและตรวจสอบระบบป้องกันในระหว่างการอัดประจุไฟฟ้า เช่น ตรวจสอบว่าขณะนี้ยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับเครื่องอัดประจุไฟฟ้าอยู่หรือไม่ ตรวจสอบว่ามีการเชื่อมต่อระบบป้องกันอยู่หรือไม่ รวมทั้งการสื่อสารเพื่อควบคุมระดับกระแสไฟฟ้าในการอัดประจุโดยฟังก์ชันควบคุมการอัดประจุจะสื่อสารกับรถไฟฟ้าโดยใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ เช่นเดียวกับ โหมด 2



ภาพประกอบที่ 2.22 การอัดประจุไฟฟ้า โหมด 3

ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559, หน้า 4-18

โหมด 4 : เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้างดภาพประกอบที่ 2.23 เช่น สถานีอัดประจุไฟฟ้า โดยที่เครื่องอัดประจุไฟฟ้าจะเชื่อมต่ออย่างถาวรกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และมีอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้าภายนอกยานยนต์ไฟฟ้า (Off-board Charger) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่ยานยนต์ไฟฟ้า ขนาดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในการอัดประจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ มาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้การใช้งานการอัดประจุไฟฟ้า โหมด 4 ส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะเท่านั้น เครื่องอัดประจุไฟฟ้าโหมด 4 จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเช่นเดียวกับโหมด 3 แต่การควบคุมการอัดประจุและการสื่อสารกับยานยนต์ไฟฟ้าในโหมด 4 จะซับซ้อนกว่าโหมด 3 และมีรูปแบบของการควบคุม การสื่อสารที่แตกต่างกันไปตามรูปแบบของเต้าเสียบและเต้ารับ มาตรฐานของการอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ ข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการสื่อสารระหว่างสถานีอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงกับยานยนต์ไฟฟ้าจะถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน IEC 61851-23 และ IEC 61851-24

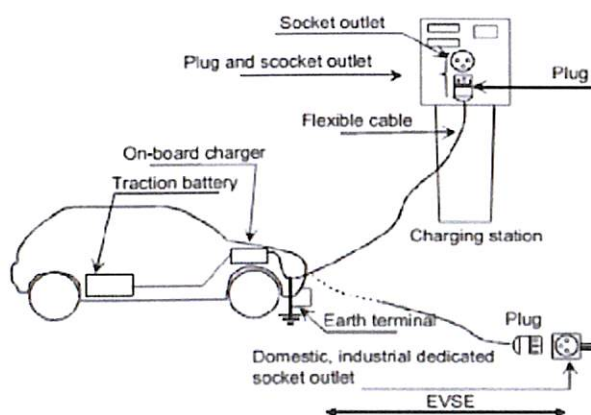


ภาพประกอบที่ 2.23 การอัดประจุไฟฟ้า โหมด 4

ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559, หน้า 4-19

มาตรฐาน IEC 61851-1 ยังได้กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้สายเคเบิล โดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

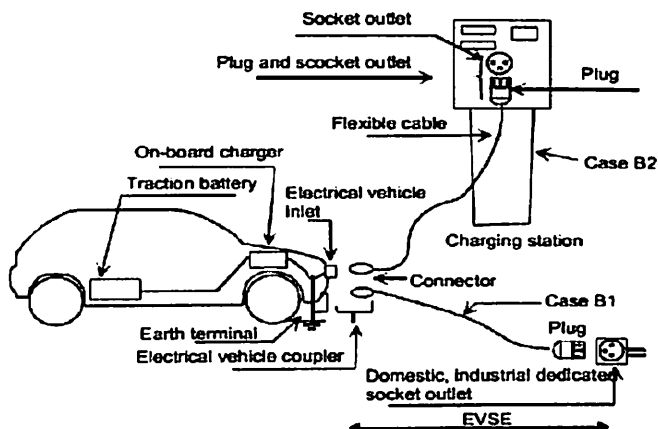
กรณี เอ: เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้สายเคเบิลที่ปลายข้างหนึ่งติดตั้งถาวรกับยานยนต์ไฟฟ้า โดยที่ปลายอีกข้างหนึ่งของสายเคเบิลจะเป็นเต้าเสียบที่ใช้เชื่อมต่อกับเต้ารับไฟฟ้าทั่วไปตามบ้านหรือเต้ารับของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า ดังภาพประกอบที่ 2.24



ภาพประกอบที่ 2.24 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้า กรณี เอ

ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559, หน้า 4-20

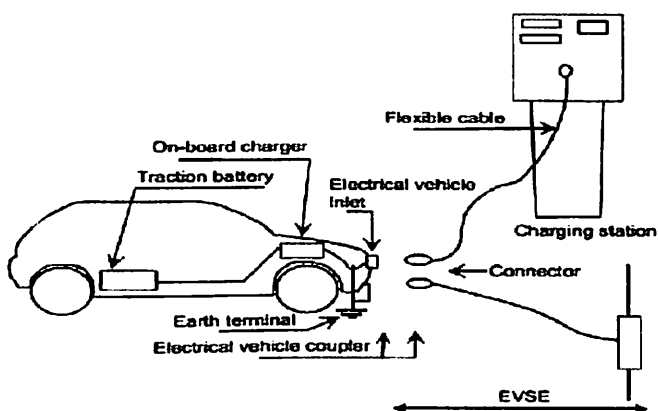
กรณี บี : เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้สายเคเบิลซึ่งปลายทั้งสองข้างสามารถเสียบเข้าและถอดออกจากกรณไฟฟ้า และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้ ทั้งนี้ กรณี บี ยังแบ่งย่อยได้เป็น กรณี บี 1 คือ กรณีที่เชื่อมต่อกับเต้ารับไฟฟ้าทั่วไปตามบ้าน และกรณี บี 2 คือ กรณีเชื่อมต่อกับเต้ารับของเครื่องอัดประจุไฟฟ้า ดังภาพประกอบที่ 2.25



ภาพประกอบที่ 2.25 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้า กรณี บี

ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559, หน้า 4-20

กรณี ซี : เป็นการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ โดยใช้สายเคเบิลซึ่งปลายข้างหนึ่งติดตั้งถาวรกับเครื่องอัดประจุไฟฟ้า โดยที่ปลายอีกข้างหนึ่งของสายเคเบิลเสียบเข้ากับเต้ารับของยานยนต์ไฟฟ้า (Vehicle Connector) ซึ่งสามารถเสียบเข้าและถอดออกจากยานยนต์ไฟฟ้าได้ ดังภาพประกอบที่ 2.26 ทั้งนี้การอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง (โหมด 4) จะต้องใช้รูปแบบการเชื่อมต่อในกรณี ซี เท่านั้น



ภาพประกอบที่ 2.26 รูปแบบการอัดประจุไฟฟ้า กรณี ซี

ที่มา : รายงานแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย, 2559, หน้า 4-21

2.11 แบตเตอรี่รถไฟฟ้า

(บรรณณัติ บริบูรณ์, 2015) แบตเตอรี่ของรถไฟฟ้า แตกต่างจากแบตเตอรี่ที่ใช้กันโดยทั่วไป ต้องสามารถรองรับพลังงานและกำลังที่สูงในระดับกิโลวัตต์หรือกิโลวัตต์ชั่วโมงตามลำดับ จากข้อมูลชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้าของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ ตามตารางที่ 2.5 แบตเตอรี่ที่นิยมใช้กับรถไฟฟ้าในปัจจุบันคือ ลิเทียมไอออน และนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์

ตารางที่ 2.5 ชนิดของแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถไฟฟ้าของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์

บริษัท	ประเทศ	รุ่นของรถไฟฟ้า	ชนิดแบตเตอรี่
GM	สหรัฐอเมริกา	Chevy – Volt Saturn Vue Hybrid	Li-ion NiMH
Ford	สหรัฐอเมริกา	Escape, Fusion, MKZ HEV	Li-ion NiMH
Toyota	ญี่ปุ่น	Prius, Lexus	NiMH
Honda	ญี่ปุ่น	Civic, Insight	NiMH
Hyundai	เกาหลีใต้	Sonata	Lithium polymer
Chrysler	สหรัฐอเมริกา	Chrysler 200C EV	Li-ion
BMW	เยอรมัน	X6 Mini 5 (2012)	NiMH Li-ion
BYD	จีน	E6	Li-ion
Daimler Benz	เยอรมัน	ML450, S400 Smart EV (2010)	NiMH Li-ion
Mitsubishi	ญี่ปุ่น	IMiEV (2010)	
Nissan	ญี่ปุ่น	Altima Leaf EV (2010)	NiMH Li-ion
Tesla	สหรัฐอเมริกา	Roadster (2009)	Li-ion
Think	นอร์เวย์	Think EV	Li-ion, Sodium/Metal Chloride

2.11.1 พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่เป็นสิ่งที่ผู้ใช้งานต้องทราบและเข้าใจในความสำคัญของพารามิเตอร์นั้น เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้งานรถไฟฟ้า และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รายละเอียดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ มีดังต่อไปนี้

1. ความจุ

ความจุของแบตเตอรี่ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณประจุที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ ก่อนที่แบตเตอรี่จะปล่อยประจุเต็มที่ หน่วย SI ของความจุแบตเตอรี่คือคูลอมบ์ (C) แต่หน่วยทั่วไปของความจุแบตเตอรี่คือแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) เมื่อกำหนดให้แบตเตอรี่มีความจุ 20 Ah แสดงว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสคงที่ 20 A ได้ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จ่ายกระแสคงที่ 2 A ภายใน 10 ชั่วโมง หรือจ่ายกระแสคงที่ 1 A ภายใน 20 ชั่วโมง โดยที่ความจุของแบตเตอรี่ที่เวลาใด ๆ ขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยประจุ สำหรับแบตเตอรี่ความจุ 1.6 Ah หากปล่อยประจุในอัตรา C แสดงว่าแบตเตอรี่จ่ายกระแส 1.6 A ด้วยระยะเวลา 1 ชั่วโมง แต่ถ้ากำหนดอัตรา 0.1 C หรือ C/10 แสดงว่าแบตเตอรี่จ่ายกระแส 0.16 A ด้วยระยะเวลา 10 ชั่วโมง และสำหรับอัตรา 2 C แสดงว่าแบตเตอรี่จ่ายกระแส 3.2 A ด้วยระยะเวลา 0.5 ชั่วโมง

2. พลังงานที่สะสม

พลังงานที่สะสมเป็นพารามิเตอร์ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันและปริมาณประจุของแบตเตอรี่ สำหรับกรณีที่แรงดันของแบตเตอรี่คงที่ สมการคำนวณพลังงานที่สะสมได้ในหน่วย Wh ดังสมการที่ 2.6

$$E = VC \quad (2.6)$$

เมื่อ

E คือ พลังงานที่สะสม

V คือ แรงดัน ; V

C คือ ความจุแบตเตอรี่ ; Ah

3. สถานะของประจุ

สถานะของประจุเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของการใช้งานแบตเตอรี่ในรถไฟฟ้า คือ สถานะของประจุ(State Of Charge , SOC) เนื่องจากเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความจุที่คงเหลือของแบตเตอรี่สำหรับช่วงเวลาอัดประจุด้วยกระแสเท่ากับประจุสะสมเต็มที่ของแบตเตอรี่มีค่าดังสมการที่ 2.7

$$Q_0 = \int_{t_0}^t I_b(t) dt \quad (2.7)$$

เมื่อแบตเตอรี่ปล่อยประจุด้วยกระแส $i(t)$ สมการคำนวณสถานะของประจุที่เวลา t โดยค่า Q_0 คือ ประจุสะสมเต็มที่ของแบตเตอรี่ และ I_b คือ กระแสที่ใช้อัดประจุ ดังสมการที่ 2.8

$$SOC = \frac{\int_{t_0}^t i(t) dt}{Q_0} \quad (2.8)$$

ระดับแรงดันไม่ใช่พารามิเตอร์บ่งชี้ค่าของ SOC ของแบตเตอรี่ในบางกรณี แรงดัน 12.6 V แบตเตอรี่อาจมีค่า SOC เท่ากับ 100% แต่ที่แรงดัน 12 V อาจพบว่า SOC มีค่าเท่ากับ 0% โดยทั่วไป SOC ของแบตเตอรี่จะถูกควบคุมให้มีค่าอยู่ในช่วง 20 – 95% และไม่ควรถ่ำกว่า 40% สำหรับการใช้งานจริง

4. ความลึกของการปล่อยประจุ (Depth Of Discharge, DOD)

ความลึกของการปล่อยประจุเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกปล่อยประจุ สำหรับแบตเตอรี่ชนิดวัฏจักรลึก (Deep-Cycle) อาจมีค่า DOD มากกว่า 80% สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง SOC และ DOD ดังสมการที่ 2.9

$$DOD = 1 - SOC \quad (2.9)$$

5. สถานะของสุขภาพ (State Of Health , SOH)

สถานะของสุขภาพคือ อัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้วต่อค่าสูงสุดของความจุแบตเตอรี่ใหม่ เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งชี้การเสื่อมสภาพและอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ สมการคำนวณ SOH ดังสมการที่ 2.10

$$SOH = \frac{\text{ความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว}}{\text{ความจุที่กักแบตเตอรี่ใหม่}} \quad (2.10)$$

6. จำนวนวัฏจักร

จำนวนวัฏจักรคือ จำนวนครั้งของการอัดประจุ-ปล่อยประจุของแบตเตอรี่ ในเงื่อนไขที่กำหนดค่า DOD ก่อนที่แบตเตอรี่จะสิ้นสภาพการใช้งานได้ สิ่งที่มีผลต่อจำนวนวัฏจักรคือ อัตราการอัดประจุปล่อยประจุ DOD และอุณหภูมิแบตเตอรี่ที่มีค่า DOD สูงกว่าจะมีจำนวนวัฏจักรน้อยกว่า ดังนั้นการใช้งานแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขค่า DOD ต่ำจะช่วยให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น

7. พลังงานจำเพาะของแบตเตอรี่

ปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถสะสมได้ต่อหนึ่งหน่วยของมวล (Wh/kg) เนื่องจากปริมาณของพลังงานที่สะสมขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยประจุของแบตเตอรี่ ดังนั้น พลังงานจำเพาะจึงมีค่าไม่คงที่ ค่าพลังงานจำเพาะของแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าพลังงานที่ระบุของแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน

แหล่งพลังงาน	พลังงานจำเพาะ (Wh/kg)
แก๊สโซลีน	12,500
แก๊สธรรมชาติ	9,350
เมทานอล	6,050
ไฮโดรเจน	33,000
ถ่านหิน	8,200
แบตเตอรี่ตะกั่วกรด	35
แบตเตอรี่โลหะนิกเกิลผสม	50
แบตเตอรี่ลิเทียมพอลิเมอร์	200
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	120
คาร์บอนไฟเบอร์	30
ตัวเก็บประจุยิ่งยวด	3.3

8. กำลังจำเพาะและความหนาแน่นกำลัง

ปริมาณกำลังที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ต่อมวลกิโลกรัมของแบตเตอรี่ หน่วย SI ของกำลังจำเพาะคือ W/kg การที่แบตเตอรี่มีกำลังจำเพาะมาก แสดงว่ามีความเร็วในการอัดประจุและคายประจุมากขึ้น กำลังจำเพาะเชิงปริมาตรมีชื่อเรียกว่า ความหนาแน่นกำลัง (W/m^3) เป็นค่าที่แสดงอัตราการถ่ายโอนพลังงานของแบตเตอรี่ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ในบางกรณีแบตเตอรี่อาจมีพลังงานจำเพาะสูงแต่มีกำลังจำเพาะต่ำ

9. ประสิทธิภาพแอมแปร์-ชั่วโมง

อัตราส่วนของประจุที่แบตเตอรี่จ่ายออกไปในระหว่างการปล่อยประจุต่อประจุที่แบตเตอรี่ต้องการ เพื่อกลับคืนไปสู่ระดับก่อนหน้าการปล่อยประจุ ประจุทั้งสองสภาวะนี้ไม่เท่ากันประสิทธิภาพแอมแปร์-ชั่วโมงของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 65 – 90%

10. ประสิทธิภาพพลังงาน

อัตราส่วนของพลังงานที่แบตเตอรี่จ่ายต่อพลังงานที่แบตเตอรี่ต้องการ เพื่อกลับคืนสู่ค่า SOC ก่อนหน้าการปล่อยประจุเป็นปริมาณสำคัญที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการแปลงผันพลังงานและขึ้นกับค่าความต้านภายในของแบตเตอรี่ การอัดประจุหรือปล่อยประจุในอัตราที่รวดเร็ว จะส่งผลให้ประสิทธิภาพพลังงานมีค่าลดลง ประสิทธิภาพพลังงานของแบตเตอรี่โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 55-95 %

11. จำนวนวัฏจักรลึกและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่มีจำนวนวัฏจักรลึกมากกว่าแสดงว่ามีอายุการใช้งานที่มากกว่า ในบางกรณี แบตเตอรี่รถไฟฟ้าอาจประสบกับจำนวนวัฏจักรลึกที่มีค่า DOD ต่ำกว่า 80% เนื่องจากจำนวนวัฏจักรลึกและค่า DOD มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และต้นทุนการใช้ EV ดังนั้นการควบคุมการทำงานของ EV จึงควรหลีกเลี่ยงกรณีที่จะเกิดผลกระทบต่อค่า DOD ของแบตเตอรี่

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Ali S. Masoum, Paul S. Moses, Mohammad A. S. Masoum & Ahmed Abu-Siada, 2012) ศึกษาผลกระทบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาต่อหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายและแรงดันไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยในรัฐเวสต์เท็กซัส การวิจัยได้ทำการจำลองบ้านพักอาศัย 97 หลัง โดยความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของบ้านเฉลี่ย 0.7 กิโลวัตต์ และทำการเพิ่มกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 10 20 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดพิกัดหม้อแปลงเพื่อทำการประเมินกำลังสูญเสียหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบและระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 415 โวลต์ จากผลการวิจัย พบว่าเมื่อทำการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของขนาดพิกัดหม้อแปลงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเกินขอบเขต แต่ถ้ามีการควบคุมกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของบ้านพักอาศัยก็จะสามารถลดปัญหาแรงดันไฟฟ้า และลดกำลังสูญเสียหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายได้

(Rung Punyachai & Weerakorn Ongsakul, 2014) ได้ทำการประเมินแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ และ 230 โวลต์ ที่เชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของบ้านพักอาศัย 288 คริวเรือน ในพื้นที่ชานเมืองจังหวัดเชียงใหม่ การวิจัยได้ทำการจำลองบ้านพักอาศัย 288 คริวเรือน โดยความต้องการใช้โหลดสูงสุด 10 กิโลโวลต์แอมแปร์ต่อคริวเรือน และทำเพิ่มระดับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาขนาดกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อคริวเรือน จากผลการวิจัยพบว่าสามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดได้ 20 กิโลวัตต์ต่อคริวเรือน (พิกัดกระแสตรง) และ 13 กิโลวัตต์ต่อคริวเรือน (พิกัดกระแสสลับ) โดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เกินขอบเขตที่ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

(Noraidah Binti Mohd Shariff, Mohammed Al Essa & Liana Cipcigan, 2016) ศึกษาผลกระทบแรงดันไฟฟ้าและกำลังสูญเสียของระบบแรงต่ำ 230 โวลต์ ที่มีการชาร์จรถไฟฟ้า EV และมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (DG) ของบ้านพักอาศัย 96 คริวเรือนในประเทศอังกฤษ โดยความต้องการใช้โหลดสูงสุดและต่ำสุด 1.3 กิโลวัตต์ และ 0.16 กิโลวัตต์ ตามลำดับ และรถไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองเป็นรถไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) และรถไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) การวิจัยได้ทำการจำลองบ้านพักอาศัย 96 หลัง และทำการชาร์จรถไฟฟ้า EV ประกอบการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาจำนวนการชาร์จรถไฟฟ้าสูงสุด จากผลการวิจัย พบว่าเมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 20% และ 100% ของจำนวนบ้านพักอาศัยสามารถชาร์จรถไฟฟ้าได้ถึง 71% โดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เกินขอบเขตที่กำหนด และกำลังสูญเสียจะเกิดขึ้นเมื่อมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าปริมาณการชาร์จรถไฟฟ้า

(กรชัย จูนวนวัฒนกุล สำเร็จ อินท่าไม้ และวันชัย จันไกรผล, 2559) ศึกษาผลกระทบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในระบบจำหน่ายด้านแรงต่ำ พื้นที่บ้านพักอาศัย 54 หลัง โดยความต้องการใช้โหลดของที่อยู่อาศัยแต่ละหลัง 0.43-3.3 กิโลโวลต์แอมแปร์ การจำลองระบบเริ่มจากการนำข้อมูลโหลดที่พักอาศัยและการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา กำลังผลิตรวมเท่ากับ 3.36 กิโลวัตต์ ในช่วงเวลา 1 วัน มาทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทำการเพิ่มระดับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ เพื่อหาขนาดกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสอยู่ในขอบเขตของแรงดันไฟฟ้า ไม่เกิน $\pm 5\%$ ของแรงดันพิกัด การวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ วิเคราะห์จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแต่ละหลังแบบสมดุลและติดตั้งแบบไม่สมดุล จากผลการวิจัย พบว่าสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบสมดุลได้ถึง 60.48 เปอร์เซ็นต์ของขนาดพิกัดหม้อแปลง และไม่ควรถัดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่สมดุลเนื่องจากจะทำให้แรงดันเกินในระบบเพิ่มขึ้นจนส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบ

(ฮาฟิซ แมแรรากาเจ และสมพร สิริสารานุกุล, 2560, หน้า 362-373) ศึกษาผลกระทบของการเชื่อมต่อแหล่งผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาจำนวนมากต่อแรงดันไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นกรณีศึกษา โดยสมมติให้สายป้อนของระบบนั้นจ่ายไฟให้กับบ้านอยู่อาศัย 360 หลัง ที่มีปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนจาก 1 กิโลวัตต์ ไปจนถึง 15 กิโลวัตต์ การวิเคราะห์ได้รวมถึงการติดตั้ง

แบตเตอรี่สำหรับแต่ละหลังคาเรือน จากผลการวิจัยพบว่า การเชื่อมต่อแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า แสงอาทิตย์ที่ 15 กิโลวัตต์ ทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบ 400/230 โวลต์ และทำให้พลังงานไฟฟ้า สูญเสียเพิ่มมากขึ้น ผลกระทบในแง่ลบดังกล่าวมาจากความจริงที่ว่ากำลังผลิตจากพลังงาน แสงอาทิตย์ และความต้องการใช้ไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยไม่ได้อยู่ภายในช่วงเวลาเดียวกัน ดังนั้น กำลังไฟฟ้าสามารถไหลย้อนกลับไปยังสถานีไฟฟ้าได้ จากผลการวิจัยยังพบว่าการติดตั้งแบตเตอรี่ สามารถช่วยรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในระดับมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และช่วยลด พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเป็นอย่างมาก

(Shady A. El Batawy & Walid G Morsi, 2017, p. 93-100) ศึกษาผลกระทบการเชื่อมต่อ ของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาต่ออายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า ระบบจำหน่าย โดยทำการประเมินความร้อนและการใช้โพลต์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 25 กิโลโวลต์ แอมแปร์ และ 50 กิโลโวลต์แอมแปร์ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 0% 20% 40% 60% 80% และ 100% ของบ้านพักที่อยู่อาศัยในอเมริกาเหนือ จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อมีการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 60% สามารถลดความร้อนของหม้อแปลง ได้ดีที่สุดและเป็นการยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงระบบจำหน่าย

(Ranther Ferreira de Melo, Lucas de Souza D'Oliveira, Carlos Edilson Santana dos Santos & Bruno Soares Moreira Cesar Borba, 2018, p. 1-6) ศึกษาผลกระทบหม้อแปลงไฟฟ้า ระบบจำหน่ายที่มีการชาร์จรถไฟฟ้า บ้านพักอาศัย 16 คริวเรือน ในประเทศบราซิลโดยใช้เครื่องชาร์จ ขนาด 3.3 กิโลวัตต์ และ ขนาด 6.6 กิโลวัตต์ การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดย ขั้นตอนที่ 1 ทำการชาร์จรถไฟฟ้าที่ 25% 50% 75% และ 100% ของจำนวนบ้านพักอาศัย ขั้นตอนที่ 2 ทำการชาร์จรถไฟฟ้าพร้อมกับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดกำลังติดตั้ง เท่ากัน และขั้นตอนที่ 3 ทำการชาร์จรถไฟฟ้ามากที่สุด จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อทำการชาร์จรถไฟฟ้าที่ 100% จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าตก และเกิดการโอเวอร์โพลต์ของหม้อแปลงไฟฟ้า แต่ถ้ามมีการติดตั้ง ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถชาร์จรถไฟฟ้าได้ถึง 100% และสามารถใช้โหมด การชาร์จแบบเร็ว ขนาด 6.6 กิโลวัตต์ ได้

(Mahmoud Draz, Marcus Voß, Daniel Freund & Sahin Albayrak, 2018) ศึกษาผลกระทบ ของการชาร์จรถไฟฟ้าต่อระบบจำหน่ายด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ในเขตเมืองและเขตชานเมือง กรุงเบอร์ลิน ประเทศเยอรมัน โดยในเขตเมืองประกอบด้วย อาคารพาณิชย์ 21 อาคาร บ้านพักอาศัย 389 คริวเรือน และร้านค้า 11 ร้าน สำหรับเขตชานเมืองประกอบด้วย บ้านพักอาศัย 226 คริวเรือน จากผลการวิจัยพบว่า เขตเมืองและเขตชานเมืองสามารถชาร์จรถไฟฟ้าได้ 50% และ 100% ตามลำดับ ของพิกัดหม้อแปลง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการชาร์จรถไฟฟ้าในจำนวนมากมีผลกระทบต่อระบบจำหน่าย ดังนั้นจึงต้องศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเพื่อนำผลที่ได้มาประกอบการตัดสินใจในการแก้ปัญหาต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ดี ยังไม่พบการศึกษาผลกระทบของระบบจำหน่าย เมื่อมีการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและการชาร์จรถไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นบทความนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและการชาร์จรถไฟฟ้าต่อระบบจำหน่าย เพื่อหาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายด้วยโปรแกรมติกไซเรน