

ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

UTILITY IMPACTS OF ELECTRIC VEHICLE QUICK CHARGING STATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-139

ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

UTILITY IMPACTS OF ELECTRIC VEHICLE QUICK CHARGING STATION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-020-139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTILITY IMPACTS OF ELECTRIC VEHICLE QUICK CHARGING STATION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-020-139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

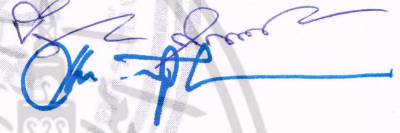
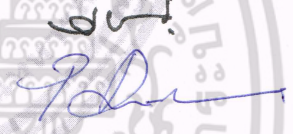
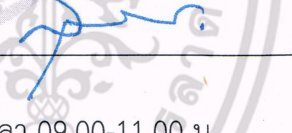

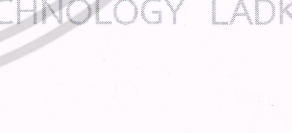
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า
Thesis Title Utility Impacts of Electric Vehicle Quick Charging Station
นักศึกษา นายภาคภูมิ สุดแสง
รหัสประจำตัว 55610702
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-020-139

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.เปี่ยมภูมิ	สถกพฤกษ์	
ผศ.ดร.ชาย	ชมภูอินไหว	
รศ.ดร.ไพบุลย์	นาคมหาชลาสินธุ์	
รศ.ประภาช	ไพรสวรรณา	
รศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 09.00-11.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วต่อระบบ จำหน่ายไฟฟ้า
นักศึกษา	นายภาคภูมิ สุตแสง
รหัสประจำตัว	55610702
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว (Quick Charging) เนื่องจากสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วเป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) เพิ่มมากขึ้นในอนาคต โดยการศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าจากการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วในวงจรไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) และคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) โดยใช้โปรแกรม DigSILENT ในการวิเคราะห์ อีกทั้งยังได้นำเสนอโครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมซึ่งสามารถลดภาระความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ได้นำเสนอนั้น สามารถลดภาระความต้องการไฟฟ้าสูงสุดลงได้ 17% ของวงจรที่ได้ทำการศึกษา

Thesis	Utility Impacts of Electric Vehicle Quick Charging Station
Student	Mr.Pakpoom Sudsaeng
Student ID.	55610702
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Surin Khomfoi

ABSTRACT

Utility impacts of electric vehicle (EV) quick charger are studied in this paper. Since EV quick charger is one of a primary support for EV users, the impacts to the grid should be carefully considered. The power flow, additional losses and power quality are analyzed in the case of EV quick charger installation to the grid feeder using DIgSILENT. The suitable infrastructure is also introduced to reduce the peak load demand. The results show that the proposed EV quick charger can reduce the peak demand upto 17% based on particular studied feeder.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากความกรุณาจาก รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ให้คำปรึกษาและแนวทางการวิจัย ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย รวมถึงการเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่าน ที่ได้มอบความรู้ทางวิชาการให้กับข้าพเจ้าตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรี และปริญญาโท

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (REAL LAB) ที่เอื้อเพื่อสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในการระหว่างการจัดทำงานวิจัย และขอขอบคุณ คุณภูมิพัฒน์ จำปีทอง คุณเจตนาภัทร ไพโรสุวรรณา คุณปัญญา เข็มมขุ คุณกฤษฎา พรหมพินิจ และคุณปรกากร อินทพัฒน์ ที่คอยช่วยเหลือดูแลเอาใจใส่และให้คำปรึกษาที่ดีตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกๆคน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ต้องขอโทษด้วยที่ไม่ได้กล่าวถึง

ขอขอบคุณ ท่านผู้บริหารของฝ่ายวิจัยและพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาค้นคว้าในระดับปริญญาโท และขอขอบคุณ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาระดับปริญญาโท

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดคือ บิดา มารดา รวมถึงครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจทุกเวลาและให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำระลึกในพระคุณและกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ภาคภูมิ สุดแสง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 เทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า.....	4
2.1 หลักการอัดประจุแบตเตอรี่.....	4
2.1.1 หลักการพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่.....	4
2.1.1.1 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่.....	5
2.1.1.2 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	6
2.1.1.3 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	7
2.1.2 ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่และสถานะการอัดประจุเริ่มต้น.....	8
2.2 มาตรฐานการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า.....	9
2.2.1 มาตรฐาน IEC (International Electro-technical Commission).....	9
2.2.1.1 รูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196-1.....	11
2.2.1.2 ลักษณะของหัวเชื่อมต่อการอัดของประจุตามมาตรฐาน IEC 62196-2.....	14
2.2.2 การอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Charging) และการอัดประจุแบบรวม (AC/DC Charging) ตามมาตรฐาน IEC 62196-3.....	19
2.2.3 มาตรฐาน CHAdeMO.....	24
2.2.3.1 ข้อดีของการอัดประจุตามมาตรฐาน CHAdeMO.....	25
2.2.3.2 หลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 เทคโนโลยีโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ	28
2.4 โครงสร้างการเชื่อมต่อของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่	29
2.4.1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ AC bus	29
2.4.2 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ DC bus	30
บทที่ 3 การจำลองความต้องการไฟฟ้าของการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า.....	31
3.1 สมมติฐานเบื้องต้นในการสร้างแบบจำลองความต้องการไฟฟ้า.....	31
3.2 พิกัดกำลังไฟฟ้าและการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า (Charging Power).....	33
3.2.1 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วรองรับมาตรฐาน CHAdeMO	34
3.2.2 การอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วรองรับมาตรฐาน CHAdeMO	36
3.3 การประเมินจำนวนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า.....	41
3.4 ช่วงเวลาในการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า	43
3.5 ระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน	43
บทที่ 4 การประเมินผลกระทบของสถานีอัดประจุต่อระบบจำหน่าย.....	45
4.1 ระบบที่ใช้ศึกษา	45
4.1.1 ระบบจำหน่าย 22 kV พื้นที่เมืองพญา จ.ชลบุรี	45
4.2 การจำลองความต้องการทางไฟฟ้าและตำแหน่งการติดตั้งสถานีอัดประจุแบบรวดเร็ว .49	
4.2.1 การจำลองความต้องการทางไฟฟ้าจากการอัดประจุแบบรวดเร็ว	49
4.2.2 ตำแหน่งการติดตั้งสถานีประจุแบบรวดเร็ว	53
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วต่อระบบจำหน่าย	54
4.4 ปัญหาและแนวทางในการปรับปรุงผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	58
4.4.1 ปัญหาพิกัดกำลังของหม้อแปลงในระบบจำหน่าย.....	58
4.4.2 ปัญหาแรงดันตกในสายป้อนของระบบจำหน่ายไฟฟ้า	59
4.4.3 แนวทางการปรับปรุงผลกระทบต่อระบบจำหน่าย.....	60

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	73
5.1 ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วใน ระบบที่ทำการศึกษา.....	73
5.2 รูปแบบการของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสม.....	73
5.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....	75
เอกสารอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก ก.....	77
ภาคผนวก ข.....	76
ภาคผนวก ค.....	103
ประวัติผู้เขียน.....	110



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีและข้อเสียของการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่	5
2.2 ข้อดีและข้อเสียของการอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	7
2.3 ข้อดีและข้อเสียของการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	8
2.4 แสดงการเปรียบเทียบการอัดประจุแบตเตอรี่แต่ละประเภท	8
2.5 ระดับแรงดันในการอัดประจุไฟฟ้าที่ระบุในมาตรฐาน IEC 62196-1	11
2.6 สรุปรูปแบบการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC 62196-1	13
3.1 ข้อมูลและแหล่งข้อมูลของรถยนต์ไฟฟ้าที่จำเป็นในการศึกษา	32
3.2 ข้อมูลทางเทคนิคของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf (Technical Specification)	33
3.3 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็ว (Technical Specification).....	35
3.4 สถิติรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง ของประเทศไทย.....	41
3.5 ข้อมูลอัตราสิ้นเปลืองของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf.....	43
4.1 แรงดันพิกัดในกรณีปกติและกรณีฉุกเฉิน	46
4.2 พิกัดการรับรับโหลดในกรณีปกติและกรณีฉุกเฉิน	47
4.3 ชีตความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง.....	48
4.4 ข้อกำหนดการใช้งานของสายแต่ละประเภท.....	48
4.5 การตั้งค่ากระแสลัดวงจรให้กับ External Grid	51
4.6 ข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จุดเชื่อมต่อก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ	56
4.7 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า	61
4.8 ข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโหลดหม้อแปลงก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ	68
4.9 ข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จุดเชื่อมต่อหลังติดตั้งสถานีอัดประจุและสถานีอัดประจุที่นำเสนอ	70
4.10 กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิคที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย.....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่.....	4
2.2 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่	5
2.3 การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	6
2.4 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่.....	7
2.5 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อระยะเวลาคายประจุ.....	9
2.6 รูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 1.....	11
2.7 รูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 2.....	12
2.8 รูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 3.....	13
2.9 รูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 4.....	13
2.10 รูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยตัวควบคุมการอัดประจุประจุ.....	14
2.11 รูปแบบของเต้ารับเต้าเสียบในมาตรฐาน SAE J1772.....	15
2.12 รูปแบบของหัวปลั๊กในมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2	17
2.13 รูปแบบหัวปลั๊กของ EV Plug Alliance	18
2.14 การเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าในการอัดประจุ.....	19
2.15 รูปแบบหัวปลั๊กตามมาตรฐาน CHAdeMO.....	20
2.16 อุปกรณ์แปลงหัวปลั๊กสำหรับอัดประจุในตามมาตรฐาน CHAdeMO.....	21
2.17 รถยนต์ BMW i3 ได้ออกแบบหัวปลั๊กแบบ Combo สามารถอัดประจุได้ทั้งรูปแบบ AC และ DC.....	23
2.18 ตารางสรุปการใช้งานของหัวปลั๊กที่ระดับการอัดประจุแต่ละระดับในประเทศต่างๆ.....	23
2.19 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอัดประจุตามมาตรฐาน CHAdeMO.....	27
2.20 วิสัยทัศน์สำหรับการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของ กฟผ.....	29
2.21 โครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบ AC bus.....	30
2.22 โครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบ DC bus.....	30
3.1 รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO.....	33
3.2 ช่องสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf.....	34
3.3 ความสัมพันธ์ของเวลาและกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุ.....	35
3.4 ลักษณะเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วตามมาตรฐาน CHAdeMO.....	36
3.5 การแจ้งเตือนของระบบเตือนแบตเตอรี่เมื่อ %SOC ต่ำกว่า 20.....	36
3.6 ย่านการอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf.....	37
3.7 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 20-80%.....	38
3.8 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 20-80%.....	38
3.9 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 35-80%.....	39
3.10 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 35-80%	39
3.11 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 35-80%.....	40
3.12 การทดสอบเครื่องอัดประจุแบบรวดเร็ว	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 สถิติรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง ของประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2550 - 2558.....	41
3.14 สถิติจำนวนรถจักรยานตามชนิดเชื้อเพลิง ทั่วประเทศ	42
3.15 การจำลองพฤติกรรมการอัดประจุแบตเตอรี่	43
4.1 แผนผังการจ่ายกระแสไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าพญาเหนือ Feeder 4	46
4.2 โมดูล Network Analysis and Power Flow Modeling ของระบบ GIS	49
4.3 การนำข้อมูลที่ Export ได้จากระบบ GIS บ้อนเข้าสู่โปรแกรม DigSILENT.....	50
4.4 การใช้ PEA Main Library ตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับพีดีเตอร์ PYN04.....	50
4.5 การสร้างและตั้งค่าให้กับสถานีไฟฟ้าพญาเหนือในโมเดลจำลอง	51
4.6 การจำลองพฤติกรรมการอัดประจุแบตเตอรี่.....	52
4.7 การสร้างโมเดลสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ในโปรแกรม DigSILENT	53
4.8 ตำแหน่งการจำลองติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่.....	53
4.9 ฟังก์ชัน Calculation Load Flow.....	54
4.10 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า Feeder 4 ของสถานีไฟฟ้าพญาเหนือ	54
4.11 พฤติกรรมการของแรงดันไฟฟ้า Feeder 4 ของสถานีไฟฟ้าพญาเหนือ.....	55
4.12 แรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า.....	55
4.13 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ	56
4.14 พฤติกรรมการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า.....	58
4.15 หม้อแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	60
4.16 แบบจำลองต้นแบบสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว.....	64
4.17 ต้นแบบสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วมาตรฐาน CHAdeMO ของ กพภ.	65
4.18 การจ่ายพลังงานกรณีมีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า.....	65
4.19 พฤติกรรมลักษณะการใช้ไฟฟ้า(Load Profile) ของ กพภ.	66
4.20 การจ่ายพลังงานกรณีไม่มีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า.....	66
4.21 การจ่ายพลังงานกรณีระบบเกิดความไม่เสถียร.....	67
4.22 การจำลองการวิเคราะห์ห้สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบ	68
4.23 เปรียบเทียบโหลดหม้อแปลงก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ	68
4.24 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าของสถานีอัดประจุที่นำเสนอ	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในหลายประเทศทั่วโลกได้มีนโยบายและผลักดันแนวคิดการหาพลังงานทดแทนที่สะอาดมากขึ้นและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาใช้ในยานยนต์มากยิ่งขึ้น ยานยนต์พลังงานไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) เป็นยานพาหนะซึ่งขับเคลื่อนด้วยระบบมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนหลัก โดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีการเก็บสะสมและจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่แทนการใช้เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้สันดาปภายใน ซึ่งหากเทียบกับพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ซึ่งใช้น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ แล้วจะพบว่า ยานพาหนะไฟฟ้าจะไม่มีมลพิษจากยานยนต์ระหว่างการขับเคลื่อน ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในการเดินทางที่พื้นที่ที่มีการจราจรคับคั่งหรือเมืองท่องเที่ยว นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานตั้งต้นหรือพลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy) แล้ว การใช้เชื้อเพลิงความร้อนมาผลิตไฟฟ้าเพื่อนำมาจ่ายให้กับยานพาหนะไฟฟ้าก็ยังคงมีความคุ้มค่าหรือมีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานสูงกว่าการนำเชื้อเพลิงความร้อนมาใช้ในยานพาหนะที่เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยตรงมาก ดังนั้นเทคโนโลยีการใช้น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติจึงเป็นหนึ่งในทางเลือกสำคัญของการกระจายแหล่งและประเภทพลังงานให้มีความหลากหลายเหมาะสม และยั่งยืน เพื่อลดการพึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีแนวโน้มขาดแคลนมากขึ้นในอนาคตและมีความผันผวนของราคาสูง อีกทั้งยังช่วยลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ สำหรับประเทศไทยหากพิจารณาถึงแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2573) ของกระทรวงพลังงาน พบว่าประเทศไทยมีเป้าหมายที่จะอนุรักษ์การใช้พลังงานทั้งหมดในภาพรวมของประเทศโดยเฉพาะภาคขนส่งซึ่งได้ถูกวางเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงานให้ได้ 6,400 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) และลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ 20 ล้านตันต่อปี ภายในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งแผนดังกล่าวได้กำหนดให้มีการส่งเสริมการใช้น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติเป็นมาตรการหนึ่งในแผนการดำเนินการดังกล่าว

อย่างไรก็ตามปัจจัยที่มีผลต่อการขยายตัวของยานยนต์ไฟฟ้าคือ ระยะทางในการขับขี่หากต้องเดินทางไกล ความสะดวกในการอัดประจุแบตเตอรี่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องอัดประจุ ซึ่งระยะทางในการขับขี่นั้นจะขึ้นอยู่กับความจุพลังงานของแบตเตอรี่ ในขณะที่ความสะดวกในการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบในการติดตั้งใช้งานภายในบ้าน รวมถึงการสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ให้ครอบคลุมทั่วถึง

สำหรับในประเทศไทยภายหลังการประกาศนโยบายโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของ กฟผ. (PEA Smart Grid) [1] ซึ่งจากแผนยุทธศาสตร์ของ กฟผ. ที่มุ่งเน้นการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคคมนาคมขนส่งเพื่อเสริมสร้างบทบาทในการเป็นผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้าในภาคคมนาคมขนส่งของประเทศ โดยส่งเสริมให้มีการใช้งานรถยนต์ส่วนบุคคลพลังงานไฟฟ้า รถโดยสารพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวถูกคาดหวังว่าจะเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้า

ปัจจัยที่จะส่งเสริมและให้ความมั่นใจให้กับผู้ใช้งานรถยนต์จากระบบเชื้อเพลิงมาเป็นรถยนต์ไฟฟ้าคือ สถานีบริการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งในอนาคตหากประเทศไทยมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ปัญหาที่หนึ่งที่จะเกิดขึ้นคือ หากผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าทำการอัดประจุพร้อมๆ กันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณที่มากอาจก่อผลกระทบต่อความคับคั่งของกำลังไฟฟ้า (Network Congestion) ปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ในระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้าที่ไม่ได้มีการออกแบบเพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าหลายๆคันพร้อมกัน

ดังนั้นการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างรอบคอบ เพื่อเตรียมความพร้อมรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทยจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องศึกษาผลกระทบต่างๆ ชำรงต้น รวมไปถึงเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานระบบไฟฟ้าต่างๆ เพื่อรองรับการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงรูปแบบโครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบไฟฟ้าของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า การจ่ายโหลดของหม้อแปลง กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และแรงดันในสายส่ง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว (Quick Charging Station)

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว ในเรื่องของการไหลของกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และคุณภาพไฟฟ้า ในการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 kV

1.2.3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว

1.2.4 เพื่อศึกษารูปแบบโครงสร้างของสถานีประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วที่เหมาะสมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.2.5 เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว

1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.3.1 ศึกษาเทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่ มาตรฐานการอัดประจุ พฤติกรรมการอัดประจุ การเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ประสิทธิภาพการใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้า และแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของรถไฟฟ้าในอนาคต เพื่อใช้ในการจำลองความต้องการทางไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.3.2 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วในระบบจำหน่าย 22 kV

1.3.3 ศึกษาหลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสำหรับปรับปรุงหรือขยายระบบจำหน่ายไฟฟ้า จากการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว

1.3.4 ศึกษารูปแบบโครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานและรูปแบบของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

1.4.2 ศึกษาเทคโนโลยีและมาตรฐานในการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

1.4.3 ศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อใช้ในการประเมินตำแหน่งการติดตั้งของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่

1.4.4 จำลองรูปแบบของความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว เมื่อมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

1.4.5 วิเคราะห์ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วที่มีต่อระบบจำหน่ายของ กฟภ. โดยใช้โปรแกรม Digsilent Power Factory โดยทำวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า การจ่ายโหลดของหม้อแปลง กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และแรงดันในสายส่ง

1.4.6 นำเสนอรูปแบบโครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ในการติดตั้งใช้งานจริง

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของการศึกษา แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการศึกษารูปแบบการอัดประจุไฟฟ้า มาตรฐานของการอัดประจุ และการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

บทที่ 3 กล่าวถึงการจำลองความต้องการทางไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วที่เกิดจากการกำหนดสมมติฐานทางสถิติและการทดสอบการใช้ทั้งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่และรถยนต์ไฟฟ้า

บทที่ 4 กล่าวถึงการศึกษาผลกระทบต่อระบบจำหน่าย 22 kV ในการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เข้ากับระบบไฟฟ้า โดยใช้พื้นฐานการจำลองความต้องการทางไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

เทคโนโลยีการอัดประจุแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า

2.1 หลักการอัดประจุแบตเตอรี่

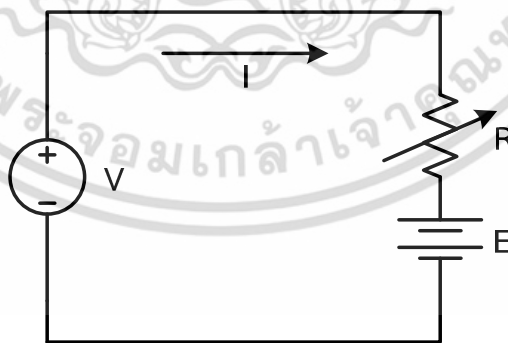
2.1.1 หลักการพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่

การอัดประจุแบตเตอรี่ คือ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันคร่อมขั้วแบตเตอรี่ จึงทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ โดยขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่สามารถกำหนดได้โดยความต่างศักย์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงกับแรงดันไฟฟ้าคร่อมขั้วแบตเตอรี่ จึงทำให้ได้สมการการอัดประจุแบตเตอรี่ดังสมการที่ 2.1 จากรูปโครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะทำให้ได้สมการที่ 2.1

$$V = E + IR \quad (2.1)$$

$$I = \frac{V - E}{R} \quad (2.2)$$

โดยที่	V	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าในการอัดประจุแบตเตอรี่
	E	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่
	I	คือ	ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่
	R	คือ	ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของการอัดประจุแบตเตอรี่

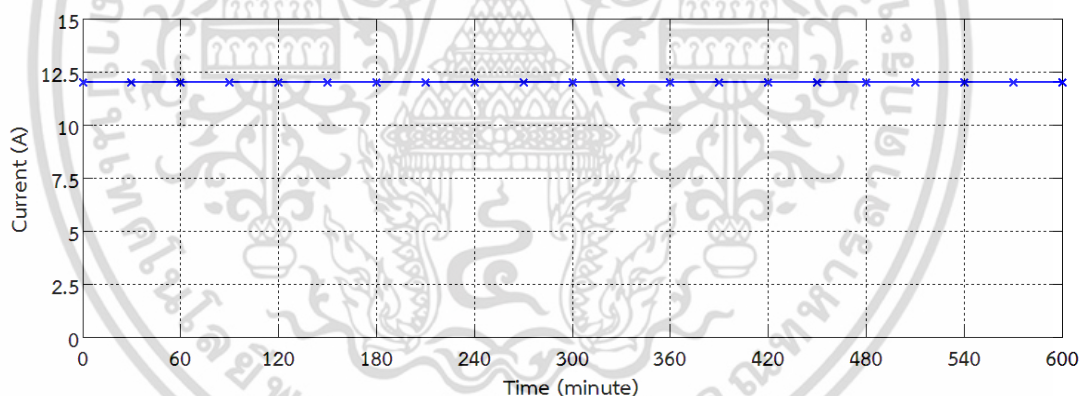
จากรูปที่ 2.1 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุ (V) มีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ (E) จะไม่เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า (I) ในวงจร และเมื่อแรงดันไฟฟ้าคร่อมแบตเตอรี่มีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งจ่ายพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่มีค่าน้อยมากซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิโอห์ม แต่ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแบตเตอรี่มีพลังงานลดลง หรือเริ่มมีการเสื่อมสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาหลักการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ โดยหลักการอัดประจุแบตเตอรี่สามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

2.1.1.1 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ (Constant Current: CC) คือ การอัดประจุด้วยการจ่ายกระแสไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสมแก่แบตเตอรี่นั้นๆ ตลอดช่วงการอัดประจุ โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่การอัดประจุสามารถคำนวณได้จากค่าอัตราความจุ (Capacity Rate: C-Rate) โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่การอัดประจุแบตเตอรี่ในแต่ละประเภทจะเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่การนำไปอัดประจุ โดยจะไม่ส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย ตัวอย่างเช่น การอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์ชั่วโมง ค่ากระแสไฟฟ้าที่สามารถอัดประจุได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อแบตเตอรี่จะมีค่าไม่เกิน 20 แอมป์ โดยการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จำเป็นต้องมีการจำกัดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไว้เนื่องจาก เมื่อทำการอัดประจุแบตเตอรี่ไปในระยะเวลาหนึ่ง ค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมขั้วแบตเตอรี่จะค่อยๆ เพิ่มค่าสูงขึ้นจนทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน ส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสามารถกำหนดได้จากค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ทำการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อเซลล์ ตัวอย่างเช่น จะทำการหยุดการอัดประจุแบตเตอรี่แบบกระแสไฟฟ้าคงที่เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์มีค่าเท่ากับ 2.3 โวลต์ คือ ถ้าแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 6 เซลล์ ก็จะทำให้การตัดการอัดประจุเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่มีค่าเท่ากับ 13.8 โวลต์ ซึ่งลักษณะการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

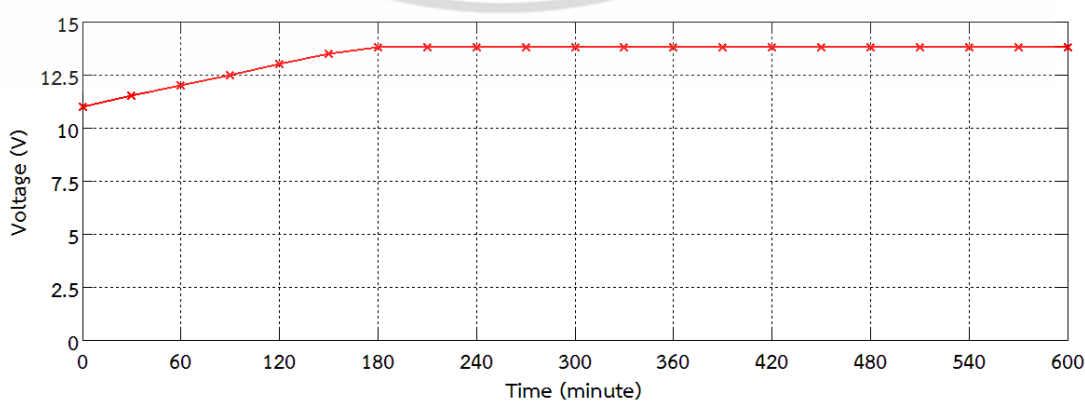
ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ให้เต็มได้รวดเร็ว โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าแปรผันตรงต่อความเร็วในการอัดประจุแบตเตอรี่	1. หากไม่มีการควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่แล้ว จะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและมีอายุการใช้งานที่สั้นลง 2. ก่อให้เกิดการสะสมอุณหภูมิที่สูงภายในแบตเตอรี่ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะแปรผันตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุให้แก่

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ข้อดีและข้อเสียของการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่

ข้อดี	ข้อเสีย
	<p>แบตเตอรี่ หากเกิดความร้อนสะสมปริมาณมาก จะส่งผลให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง</p> <p>3. ไม่สามารถอัดประจุแบตเตอรี่จนเต็มได้ ถ้าหากต้องการให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานตามปกติ</p> <p>4. การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จนแบตเตอรี่เต็ม จะทำให้แบตเตอรี่เสียหายและเสื่อมสภาพได้เนื่องจากปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นจนเกินพิกัดการแรงดันไฟฟ้าสำหรับการอัดประจุมาตรฐานของแบตเตอรี่นั้นๆ</p>

2.1.1.2 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Voltage: CV) คือ การอัดประจุด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสมแก่แบตเตอรี่นั้นๆ ตลอดช่วงการอัดประจุ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่การอัดประจุสามารถคำนวณได้จากจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ โดยหากค่าที่เหมาะสมสำหรับการอัดประจุต่อเซลล์มีค่าประมาณ 2.3 โวลต์ต่อเซลล์ เนื่องจากจะไม่ส่งผลให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหาย ตัวอย่างเช่น การอัดประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 6 เซลล์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 13.8 โวลต์ โดยการอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ในช่วงแรกจำเป็นต้องมีการจำกัดกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นไว้เนื่องจากถ้าหากแบตเตอรี่มีค่าความลึกของการคายประจุสูง (Deep of Discharge: DOD) จะทำให้กระแสไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูง[2] และอาจเกินค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้แบตเตอรี่เสียหายหรือเสื่อมสภาพได้ ดังนั้นจึงต้องทำการจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าในช่วงแรกไว้ หลังจากอัดประจุได้ระยะเวลาหนึ่งค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งเท่ากับ 0 แอมป์ หรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้จึงทำการหยุดการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งลักษณะการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีแรงดันไฟฟ้าคงที่จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

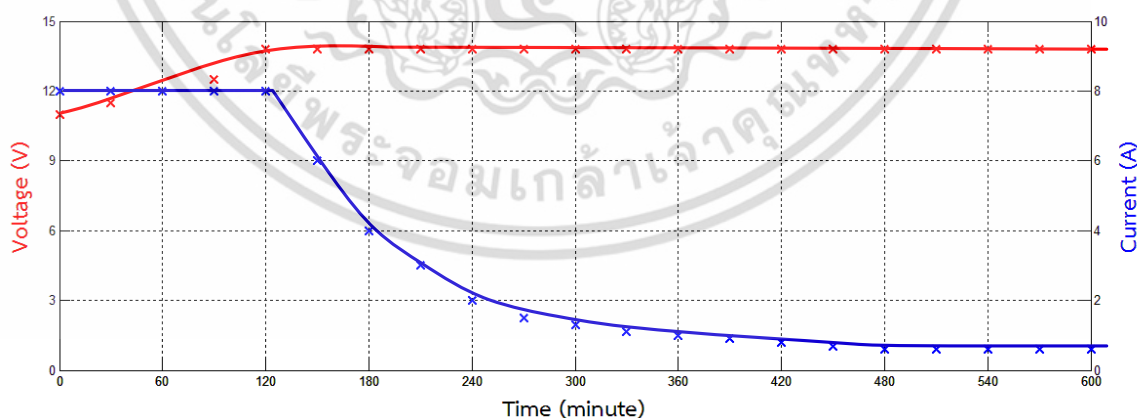
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของการอัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่

ข้อดี	ข้อเสีย
1. สามารถอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ได้จนเต็มได้	1. หากไม่มีการควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่แล้ว จะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและมีอายุการใช้งานที่สั้นลง 2. หากไม่มีการจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ทำการอัดประจุ อาจทำให้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าที่เหมาะสมแก่แบตเตอรี่นั้นๆ จะรับได้ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่

2.1.1.3 การอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่ (Constant Current Constant Voltage: CC-CV) เป็นการอัดประจุที่เหมาะสมที่สุดต่อการนำมาใช้ในเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบ เนื่องจากเป็นวิธีที่นำการอัดประจุแบบกระแสไฟฟ้าคงที่ และการอัดประจุแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่เข้ามาใช้ร่วมกัน โดยในช่วงเริ่มการอัดประจุแบตเตอรี่จะทำการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าที่กำหนด เครื่องอัดประจุจะทำการเปลี่ยนรูปแบบการอัดประจุจากการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่เป็นแรงดันไฟฟ้าคงที่ ซึ่งในขณะที่อัดประจุด้วยแรงดันไฟฟ้าคงที่ค่ากระแสไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าถึง 0 แอมป์ หรือถึงค่าที่กำหนด โดยที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม และค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งลักษณะการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยวิธีกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.4 การอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าคงที่

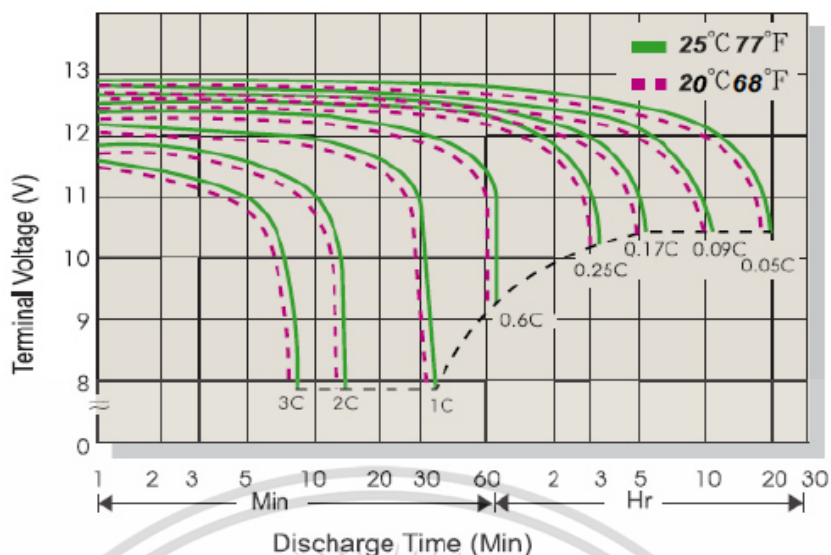
ข้อดี	ข้อเสีย
1. เหมาะสมต่อการนำไปอัดประจุแบตเตอรี่เนื่องจากสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้รวดเร็วแล้วยังสามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้จนเต็มได้	1. ก่อให้เกิดอุณหภูมิสะสมในแบตเตอรี่อยู่ในช่วงของการอัดประจุด้วยกระแสไฟฟ้าคงที่ 2. ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบการอัดประจุแบตเตอรี่แต่ละประเภท

	กระแสไฟฟ้าคงที่	แรงดันไฟฟ้าคงที่	กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าคงที่
ข้อดี	สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้รวดเร็ว	สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้จนเต็มและแบตเตอรี่มีอุณหภูมิต่ำขณะทำการอัดประจุ	สามารถอัดประจุแบตเตอรี่ได้จนเต็มและอัดประจุได้เร็วกว่าแบบแรงดันไฟฟ้าคงที่
ข้อเสีย	ไม่สามารถอัดประจุได้เต็ม และแบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงขณะทำการอัดประจุ	ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่จนเต็ม	ใช้ระยะเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่นานกว่าแบบกระแสไฟฟ้าคงที่

2.1.2. ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่และสถานะการอัดประจุเริ่มต้น

ค่าความลึกของการคายประจุแบตเตอรี่ (Deep of Discharge: DOD) คือ ค่าที่บ่งบอกอัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ คือ ในขณะที่แบตเตอรี่มีประจุเต็ม ค่า DOD จะมีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ และค่าสถานะการอัดประจุเริ่มต้น (State of Charge: SOC) จะมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อแบตเตอรี่มีการคายประจุค่า DOD จะมีค่าเพิ่มขึ้น และค่า SOC จะลดลง ตามอัตราส่วนที่คายประจุ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยบริเวณเส้นประสีด่างทั้งหมด จะถือว่ามีค่า DOD เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า DOD จะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ทำการคายประจุด้วย โดยค่าความจุแบตเตอรี่จะมีค่าเท่ากับ 1 C เช่น แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 33 แอมป์ชั่วโมง ถ้าทำการคายประจุที่ 1 C คือทำการคายประจุที่ 33 แอมป์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการอัดประจุแบตเตอรี่โดยให้ค่า DOD มีค่าเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ หรือค่า SOC มีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วต่อระยะเวลาคายประจุ

2.2 มาตรฐานการอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ถือได้ว่าเป็นสื่อกลางในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าเข้าสู่ตู้แบตเตอรี่ของตัวรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในโครงสร้างพื้นฐานสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่ออัดประจุไฟให้กับรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมาตรฐานของระบบอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีดังนี้

2.2.1 มาตรฐาน IEC (International Electro-technical Commission)

โดยปกติแล้วระบบไฟฟ้าที่ให้บริการในพื้นที่บ้านพักอาศัยจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 1 เฟส โดยมีระดับแรงดันใช้งานอาจแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ซึ่งการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่บ้านพักอาศัยส่วนใหญ่จะเป็นการอัดประจุไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ (Normal Charging) ซึ่งสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าตามสถานีบริการอัดประจุสาธารณะ (Public Charging Station) หรือในสถานที่ต่าง ๆ นั้น ผู้ใช้บริการจะมีสัดส่วนของการอัดประจุไฟฟ้าแบบรวดเร็ว (Quick Charging) มากกว่าการอัดประจุไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ ทั้งนี้เครื่องอัดประจุตามบ้านพักอาศัย และตามสถานีให้บริการอาจมีลักษณะที่แตกต่างกัน ด้วยลักษณะการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า

ในมาตรฐานทั่วไปแล้วการอัดประจุไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ เครื่องอัดประจุจะทำการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ซึ่งอาจเป็นแรงดัน 110-120 โวลต์ หรือ 210-240 โวลต์ ตามแต่ระดับแรงดันที่ใช้ในแต่ละประเทศ ซึ่งการอัดประจุไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ ตัวอุปกรณ์อาจถูกจำกัดพลังงานในการอัดประจุด้วยพิกัดกระแสที่ตัวปลั๊ก เช่น 16 แอมป์ หรือ 32 แอมป์ เป็นต้น สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว จะเป็นการอัดประจุโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันใช้งานสูง 400-600 Vdc และมีพิกัดกระแสที่สูงถึง 400 A ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วที่ใช้พิกัดกำลังไฟฟ้าที่สูงเพื่อทำการอัดประจุแบตเตอรี่ให้เร็วกว่าการอัดประจุไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ

มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับหลายประเทศ และถูกนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างแพร่หลายก็คือมาตรฐาน IEC (International Electrotechnical Commission) โดยมาตรฐาน IEC ได้กำหนดมาตรฐานการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าไว้เช่นกัน โดยมีมาตรฐาน IEC 62196 ที่กล่าวถึงมาตรฐานการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งก็คือปลั๊ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Electrical connector) และรูปแบบของการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า (Mode of Charging) ซึ่งมาตรฐาน IEC 62196 นี้เกิดขึ้นหลังจากที่ในประเทศต่างๆ มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ามาระยะเวลาหนึ่งแล้ว ในมาตรฐาน IEC 62196 จะเป็นการรวบรวมลักษณะหรือรูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศต่างๆ และได้จำแนกเป็นประเภทไว้ โดยรูปแบบที่ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน IEC นี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ซึ่งคือ อุปกรณ์หัวต่อ (Connector) ที่ระดับแรงดันใช้งาน และตามมาตรฐาน IEC 62196 นี้ยังแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) IEC 62196-1 จะกล่าวถึงเรื่องทั่วไป เช่น ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสการใช้งาน การเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับรถยนต์ไฟฟ้า การแบ่งประเภทของอุปกรณ์ต่าง อุปกรณ์หัวต่อ การป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้า รายละเอียดการต่อลงดิน และฉนวน เป็นต้น โดยมีการระบุระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

- 690 Vac, 50 – 60 Hz, 250 แอมป์
- 1,500 Vdc, 400 แอมป์

2) IEC 62196-2 จะกล่าวถึงรายละเอียดของเต้าเสียบเต้ารับเฉพาะชนิดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยระบุไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

- 500 Vac., 50 - 60 Hz, 63 แอมป์ สำหรับระบบไฟฟ้าสามเฟส และ 70 แอมป์ สำหรับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

2) IEC 62196-3 จะกล่าวถึงรายละเอียดของเต้าเสียบเต้ารับเฉพาะชนิดที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงและชนิดรวม (กระแสสลับและกระแสตรง) โดยระบุไฟฟ้าสูงสุดไว้ดังนี้

- 1,500 Vdc, 250 แอมป์
- 1,000 Vac, 250 แอมป์

นอกจากมาตรฐาน IEC 62196 ที่ระบุถึงรูปแบบการอัดประจุ และมาตรฐานของหัวปลั๊กที่ใช้ในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังมีมาตรฐาน IEC 61851 [3] ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ระบุถึงการใส่สัญญาณในการควบคุมการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าผ่านหัวปลั๊กอีกมาตรฐานหนึ่ง โดยปกติแล้วที่บริเวณจุดเชื่อมต่อหรือหัวปลั๊กของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป เมื่อเชื่อมต่อกับปลั๊กไฟแล้วจะมีแรงดันไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ในการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าจะมีพิกัดใช้งานที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับการป้องกันการจ่ายไฟมาที่หัวปลั๊กในการอัดประจุไฟฟ้าโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62196

สำหรับในการใช้งานทั่วไปของหัวปลั๊กในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า ที่หัวปลั๊กจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านก็ต่อเมื่อมีสัญญาณจากขั้วสัญญาณ (Signal Pin) ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61851 เท่านั้น ไม่เช่นนั้นเครื่องอัดประจุจะไม่จ่ายไฟออกมาที่หัวปลั๊ก และหากเครื่องอัดประจุสามารถตรวจสอบสัญญาณจากขั้วสัญญาณอีกช่องสัญญาณหนึ่งได้ เครื่องอัดประจุก็จะจ่ายกระแสไฟฟ้าตามค่าพิกัดของอุปกรณ์และสามารถกำหนดรูปแบบการอัดประจุเฉพาะที่รถยนต์ไฟฟ้าต้องการได้ ซึ่งอาจเป็นการอัดประจุแบบแรงดันปกติหรือแบบรวดเร็ว จะเห็นได้ว่านอกจากขั้วสัญญาณที่ใช้ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของหัวปลั๊กแล้ว สัญญาณควบคุมดังกล่าวยังเป็นตัวกำหนดค่าพิกัดในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าอีกด้วย

จะเห็นได้ว่ามาตรฐาน IEC 62196 จะเป็นมาตรฐานหลักสำหรับกำหนดรูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า และมีมาตรฐาน IEC 61851 เป็นมาตรฐานควบคู่กันที่ใช้ในการระบุถึงสัญญาณควบคุมการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ทั้งผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าและเครื่องอัดประจุไฟฟ้าจะต้องอ้างอิงถึงมาตรฐานดังกล่าวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเอง ซึ่งมาตรฐาน IEC 62196 จะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

2.2.1.1 รูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 62196 -1

สำหรับมาตรฐาน IEC 62196-1 จะระบุถึงรูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าว่ามีรูปแบบใดบ้าง และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการอัดประจุนยนต์ไฟฟ้า เช่น หัวปลั๊ก, สายไฟฟ้า หรือหัวปลั๊ก จะต้องสามารถใช้งานกับระบบไฟฟ้าอย่างไร ซึ่งในส่วนนี้เองผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า และอุปกรณ์เสริมของรถยนต์ไฟฟ้าอื่นๆ จะต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองให้ได้ตามมาตรฐาน เพื่อให้รูปแบบการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ทั้งนี้มาตรฐาน IEC 62196-1 ได้ระบุถึงระดับแรงดันที่ใช้ในการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้างดตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ระดับแรงดันในการอัดประจุไฟฟ้าที่ระบุในมาตรฐาน IEC 62196-1

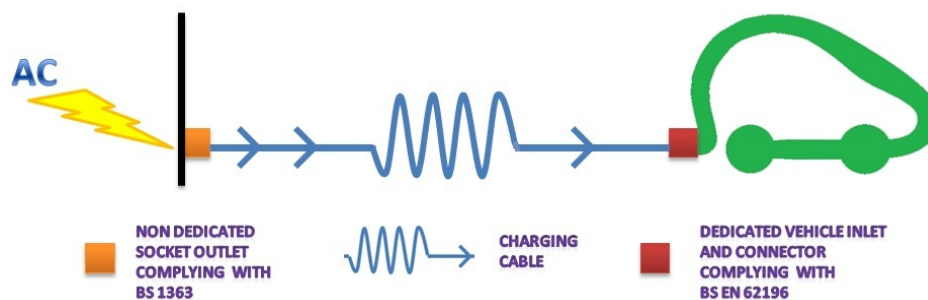
ชนิดของระบบไฟฟ้า	แรงดันสูงสุดในการอัดประจุ	พิกัดกระแสสูงสุดในการอัดประจุ
กระแสสลับ 50-60 Hz	690 Vac	250 แอมป์
กระแสตรง	1,500 Vdc	400 แอมป์

สำหรับรูปแบบการอัดประจุ (Mode of Charging) นั้นมาตรฐาน IEC 62196-1 [4] ได้กำหนดรูปแบบในการอัดประจุโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 61851-1 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) โหมด 1 : การอัดประจุไฟฟ้าแบบเข้าจากเต้ารับทั่วไป

การอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 1 เป็นการอัดประจุนยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรงผ่านเต้ารับมาตรฐาน โดยกำหนดขนาดกระแสไม่เกิน 16 แอมป์ และขนาดแรงดันไม่เกิน 250 Vac สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และไม่เกิน 480 Vac สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยแหล่งจ่ายไฟต้องมีการเดินระบบสายดินไว้ด้วย ซึ่งในการอัดประจุไฟโหมด 1 อุปกรณ์หัวต่อไม่จำเป็นต้องมีขาชี้สำหรับสัญญาณควบคุมการอัดประจุไฟฟ้า

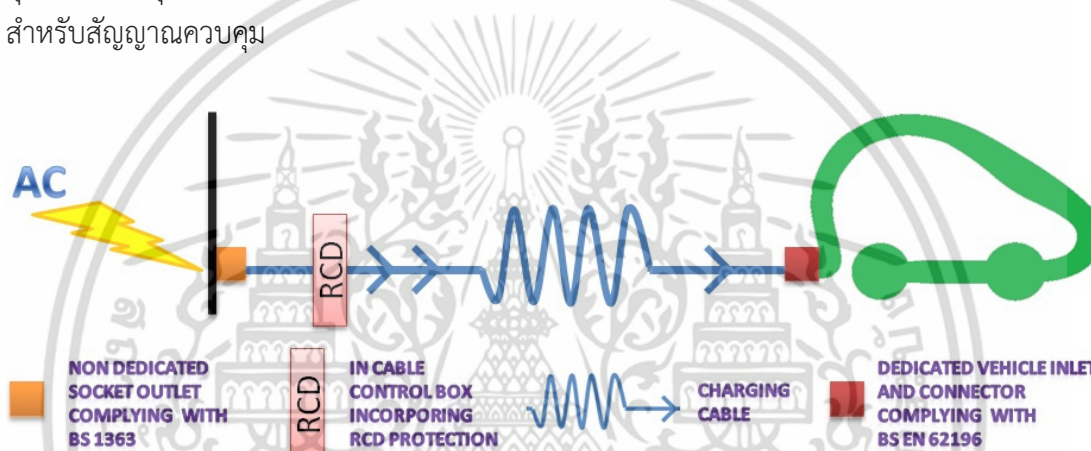
ในบางประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา มีกฎหมายห้ามใช้การอัดประจุไฟโหมด 1 เนื่องจากรูปแบบการอัดประจุไม่สามารถควบคุมมาตรฐานในด้านความปลอดภัย เนื่องจากรูปแบบการอัดประจุไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันหรือควบคุมการอัดประจุใดๆ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 2.6** รูปแบบการอัดประจุนยนต์ไฟฟ้าใน Mode 1 ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) โหมด 2: การอัดประจุไฟฟ้าแบบช้าจากเต้ารับทั่วไป โดยมีอุปกรณ์ป้องกันติดตั้งภายในสายไฟ

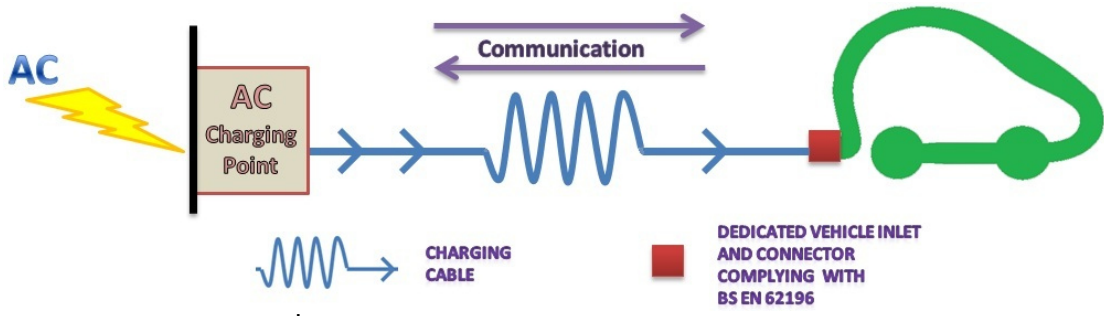
การอัดประจุไฟในโหมด 2 เป็นการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับโดยตรงผ่านเต้ารับมาตรฐาน โดยกำหนดขนาดกระแสไม่เกิน 32 แอมป์ และขนาดแรงดันไม่เกิน 250 VAC สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส และไม่เกิน 480 VAC สำหรับระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดนนอกจากต้องมีการเดินระบบสายดินแล้ว ยังต้องมีฟังก์ชันควบคุมเพิ่มเติม โดยจะมีอุปกรณ์ควบคุมการอัดประจุไฟติดตั้งภายในสายไฟ ซึ่งอาจติดตั้งในตัวปลั๊กหรือห่างจากปลั๊กไม่เกิน 0.3 เมตร และต้องมีอุปกรณ์ตัดไฟรั่ว (Residual-current device : RCD) เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดูดด้วย และหัวข้อสำหรับโหมด 2 จะต้องมีขาสำหรับสัญญาณควบคุม โดยจะมีอุปกรณ์ควบคุมซึ่งติดตั้งอยู่ในสายไฟทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายไฟ ขาสำหรับสัญญาณควบคุมจะมีเฉพาะในสายไฟทางด้านอุปกรณ์ควบคุมไปยังรถยนต์ไฟฟ้าเท่านั้น ส่วนสายไฟทางด้านต่อกับแหล่งจ่ายไฟไม่จำเป็นต้องมีขาสำหรับสัญญาณควบคุม



รูปที่ 2.7 รูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 2

3) โหมด 3: การอัดประจุไฟฟ้าแบบช้าหรือเร็ว โดยใช้อุปกรณ์จ่ายไฟเฉพาะ ซึ่งมีฟังก์ชันด้านความปลอดภัยและการควบคุมภายในตัว

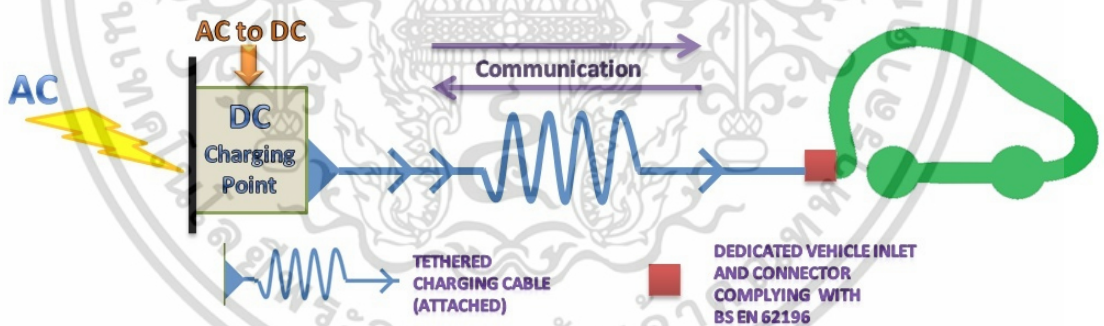
การอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 3 เป็นการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับผ่านทางอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า (Electric Vehicle Supply Equipment: EVSE) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่ออัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ โดยอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแบบถาวร โดยฟังก์ชันด้านความปลอดภัยและการควบคุมการจ่ายไฟจะถูกติดตั้งไว้ในอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าแล้ว การจ่ายไฟฟ้าไปยังรถยนต์ไฟฟ้าในโหมด 3 ยังคงเป็นการจ่ายไฟกระแสสลับ โดยอาจเป็นการอัดประจุแบบช้าหรือแบบเร็วก็ได้ ขึ้นอยู่กับพิกัดกระแสในการอัดประจุ โดยที่หัวข้อสำหรับโหมด 3 จำเป็นต้องมีขาสำหรับสัญญาณควบคุมทั้งสองด้านของสายไฟคือทั้งด้านที่เชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้าและด้านที่ต่อกับอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 3 ถือเป็นระบบอัดประจุไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าสาธารณะ



รูปที่ 2.8 รูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 3

4) โหมด 4: การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วโดยใช้เครื่องอัดประจุภายนอก

การอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 4 จะเป็นการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าโดยเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับผ่านทางเครื่องอัดประจุภายนอก (Off-board charger) ซึ่งจะถูกติดตั้งฟังก์ชันสำหรับควบคุมการจ่ายไฟไว้แล้ว โดยการอัดประจุไฟในโหมด 4 เครื่องอัดประจุภายนอกจะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงก่อน ดังนั้นการอัดประจุไฟฟ้าในโหมดนี้ จะจ่ายไฟมายังรถยนต์ไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งต้องมีการกำหนดรูปแบบหัวต่อที่แน่นอนเพื่อให้เชื่อมต่อได้เฉพาะรถยนต์ไฟฟ้าที่รองรับการอัดประจุไฟโหมดนี้เท่านั้น โดยการอัดประจุไฟฟ้าในโหมด 4 นี้ อาจเรียกว่า การอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงแบบเร็ว ซึ่งจะจ่ายกระแสสูงมากถึง 400 A และหัวต่อสำหรับโหมด 4 ยังจำเป็นต้องมีจำนวนขาสำหรับสัญญาณควบคุมมากกว่าโหมด 3 และด้วยกระแสใช้งานที่สูงถึง 125 A จึงไม่เหมาะสมที่จะติดตั้งเครื่องอัดประจุในโหมด 4 ตามบ้านพักอาศัย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเครื่องอัดประจุในโหมด 4 นี้จะเหมาะกับการติดตั้งในสถานีอัดบริการประจุไฟฟ้าสาธารณะมากกว่า



รูปที่ 2.9 รูปแบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าใน Mode 4

ตารางที่ 2.6 สรุปรูปแบบการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC 62196-1

รูปแบบการอัดประจุ	หัวต่อโดยเฉพาะ	ระบบไฟฟ้า	กระแสสูงสุด	การป้องกัน	โครงสร้างเฉพาะ
โหมด 1	×	AC	16 A	ติดตั้งสายดิน	เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับตามเงื่อนไขการเชื่อมต่อด้านกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการ อัดประจุ	หัวต่อ โดยเฉพาะ	ระบบไฟฟ้า	กระแสสูงสุด	การป้องกัน	โครงสร้างเฉพาะ
โหมต 2	×	AC	32 A	ติดตั้ง RCD	ใช้งานสายไฟฟ้าที่ เฉพาะและมีการ ป้องกัน
โหมต 3	✓	Slow หรือ Semi-quick	ขึ้นอยู่กับ หัวต่อที่ใช้	รวมอยู่ใน โครงสร้าง เฉพาะ สำหรับ รถยนต์ ไฟฟ้า	เชื่อมต่อกับรถยนต์ ไฟฟ้าในระบบ ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ใช้อุปกรณ์เฉพาะ
โหมต 4	✓	DC	ขึ้นอยู่กับ เครื่องอัด ประจุ	มีการติดตั้ง ในโครงสร้าง	เชื่อมต่อกับรถยนต์ ไฟฟ้าโดยเครื่องอัด ประจุภายนอก

2.2.1.2 ลักษณะของหัวเชื่อมต่อของการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC 62196-2

สำหรับมาตรฐาน IEC 62196-1 ที่มีการระบุถึงรูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าไว้ถึง 4 รูปแบบ ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามหากพิจารณาแล้วเราก็อาจจำแนกรูปแบบการอัดประจุได้ออกเป็นการอัดประจุไฟฟ้าแบบแรงดันปกติและการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว และหากรูปแบบการอัดประจุดังกล่าวมีการใช้ระบบควบคุมการอัดประจุผ่านตัวสัญญาณ ก็จะสามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบไฟฟ้าไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ได้ ทั้งนี้การกำหนดรูปแบบการอัดประจุของรถยนต์นั้นจะถูกกำหนดด้วยรูปแบบหรือลักษณะของหัวปลั๊กที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องอัดประจุนั้นเอง ซึ่งเครื่องอัดประจุที่ออกแบบมาให้ใช้กับลักษณะการอัดประจูปแบบหนึ่งจะไม่สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องอัดประจูปแบบอื่นได้โดยตรง ซึ่งการเชื่อมต่อหัวปลั๊กในรูปแบบต่างชนิดกันจำเป็นจะต้องใช้หัวแปลง (Adaptor) เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ อย่างไรก็ตามการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC 62196-2 นี้จะเป็นการอัดประจุนต์ไฟฟ้าด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นรูปแบบของหัวปลั๊กจะเป็นตัวกำหนดพิกัดกระแสใช้งานในการอัดประจุ และควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าภายนอกไปยังเครื่องอัดประจุภายในรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและอัดประจุเข้ากับแบตเตอรี่ภายในรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.10 รูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยตัวควบคุมการอัดประจุประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละประเทศที่มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะมีการกำหนดรูปแบบการอัดประจุที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบไฟฟ้าที่ผู้ให้บริการกำหนดขึ้นมา โดยการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในระยะเริ่มแรกนั้นถูกกำหนดในทิศทางที่แตกต่างกัน โดยมีการใช้หัวปลั๊กที่มีลักษณะของขั้วที่แตกต่างกัน และเนื่องจากการพัฒนาระบบการเชื่อมต่อของหัวปลั๊กในแต่ละประเทศมาจากการใช้งานคนละช่วงเวลา อีกทั้งลักษณะของระบบไฟฟ้าที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดการกำหนดรูปแบบการอัดประจุ และหัวปลั๊กที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เราสามารถแบ่งประเภทของหัวปลั๊กสำหรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มประเทศได้ 3 กลุ่มตามมาตรฐาน IEC 62196-2 ได้ดังนี้

1) รูปแบบที่ 1 (Type 1) หัวปลั๊ก 1 เฟส (มาตรฐาน SAE J1772)

รูปแบบมาตรฐานสำหรับหัวปลั๊ก SAE J1772 [5] ได้ถูกประกาศใช้งานเป็นครั้งแรก ซึ่ง รูปแบบหัวปลั๊กนี้ถูกออกแบบโดย บริษัท Yazaki โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมประกอบด้วยขั้วจำนวน 5 ขั้ว โดยมีขั้วสำหรับการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 2 ขั้ว มีสายของระบบสายดิน (Grounding) 1 ขั้ว และ 2 ขั้ว สุดท้ายสำหรับขั้วควบคุม (Control pin : CP) และ ขั้ว Proximity (PP) ซึ่งเป็นลักษณะสัญญาณควบคุมการอัดประจุตามมาตรฐาน IEC 61851 สำหรับในมาตรฐาน SAE J1772 นี้จะครอบคลุมการใช้งานอัดประจุในรถยนต์ไฟฟ้าตั้งแต่ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ระดับแรงดัน 120 โวลต์, 12/16 แอมป์ ไปจนถึง 240 โวลต์, 32/80 แอมป์ ทั้งนี้ในมาตรฐาน SAE (Society of Automotive Engineers) นี้จะไม่ครอบคลุมการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือรูปแบบการอัดประจุในโหมด 4 ซึ่งลักษณะของหัวปลั๊กในมาตรฐาน SAE J1772 นี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ทั้งนี้รูปแบบการอัดประจุตามมาตรฐาน SAE J1772 นี้จะมีตัวควบคุมการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า และส่งผ่านไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องอัดประจุภายในของรถยนต์ไฟฟ้าด้วยสายอัดประจุ และหัวปลั๊ก



รูปที่ 2.11 รูปแบบของเต้ารับเต้าเสียบในมาตรฐาน SAE J1772

จากรูปแบบของหัวปลั๊กในมาตรฐาน SAE J1772 นี้ นอกเหนือจากขั้วที่ใช้ในการเชื่อมต่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้ามายังรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว ยังมีขั้วเพิ่มเติมที่ใช้ในการควบคุมการอัดประจุไฟฟ้ายนต์ก็คือ ขั้วควบคุม (CP) และขั้ว Proximity (PP) ซึ่งสำหรับหัวปลั๊กตามมาตรฐาน IEC 62196 ทุกชนิดจะต้องมีการควบคุมการอัดประจุรถยนต์จากขั้วที่เพิ่มขึ้นมาดังกล่าวนี้ โดยมีมาตรฐาน IEC 61851 เป็นมาตรฐานอ้างอิง

สำหรับ CP และ PP ที่เพิ่มเติมขึ้นมาจะเป็นตัวช่วยเครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ในการระบุว่ามียนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่หรือไม่ ในกรณีที่ไม่มี การเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้านั้น เครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะอยู่ในโหมดพร้อมใช้งาน (Standby Mode) ซึ่งตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้มาใช้ประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากมีโอกาสที่ผู้ใช้งานจะสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าและเกิดอันตรายได้ เมื่อผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับหัวปลั๊กแล้ว ชั่วควบคุมจะเป็นตัวตรวจสอบว่าการเชื่อมต่อหัวปลั๊กแน่นสมบูรณ์หรือไม่ โดยหากการเชื่อมต่อสมบูรณ์แล้วเครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจึงรู้ว่ามีการยนต์ไฟฟ้ามารวมเข้าและพร้อมที่จะทำการอัดประจุ ทั้งนี้เครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะยังไม่จ่ายไฟฟ้าจนกว่าจะมีสัญญาณจากรยนต์ผ่านชั่วควบคุมมาที่ตัวเครื่องอัดประจัวร์ยนต์มีความพร้อมที่จะอัดประจุ

ในทางกลับกันหากแบตเตอรี่รถยนต์ถูกอัดประจุจนเต็ม รถยนต์ไฟฟ้าก็จะไม่ส่งสัญญาณขออัดประจุดังกล่าวมาที่เครื่องควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าอีก สำหรับการใช้งานรูปแบบสัญญาณร้องขอเพื่ออัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้านี้สามารถนำมาใช้กับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะได้ เมื่อมีสัญญาณร้องขอเพื่ออัดประจุจากรยนต์ไฟฟ้า ผู้ให้บริการระบบจะสามารถตรวจสอบได้ว่าในพื้นที่ที่มีการร้องขอการอัดประจัวร์ยนต์ไฟฟ้านั้นอยู่ในสายป้อนใด และสายป้อนดังกล่าวมีปริมาณการส่งผ่านไฟฟ้าเหลืออยู่หรือไม่ เมื่อตัดสินใจได้แล้วจึงอนุญาตให้เครื่องอัดประจุทำการอัดประจัวร์ยนต์ไฟฟ้าได้ แต่หากสายป้อนดังกล่าวมีการใช้งานสูงผู้ให้บริการไฟฟ้าก็จะตัดสินใจไม่ให้เครื่องอัดประจุทำงาน เป็นการควบคุมการอัดประจัวร์ยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้าอัจฉริยะผ่านชั่วควบคุมที่เชื่อมต่อระหว่างรถยนต์ไฟฟ้าและเครื่องอัดประจุ

สำหรับชั่ว Proximity (PP) จะช่วยในการระบุถึงพิกัดของเครื่องอัดประจุในรถยนต์ไฟฟ้า เมื่อมีการเชื่อมต่อกับตัวควบคุมซึ่งอาจเป็น 16 แอมป์, 32 แอมป์ หรือ 63 แอมป์ เพื่อที่จะให้ตัวควบคุมกำหนดพิกัดการส่งผ่านไฟฟ้าไปยังรยนต์ไฟฟ้า ทั้งนี้สัญญาณของชั่ว Proximity (PP) ก็จะเป็นตัวควบคุมการป้องกันโหลดเกินของตัวควบคุมนั่นเอง

2) รูปแบบที่ 2 (Type 2) หัวปลั๊ก 1 เฟส และ 3 เฟส (VDE-AR-E 2623-2-2)

หลังจากที่มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของหัวปลั๊กในประเทศแถบยุโรปในหลากหลายรูปแบบ German DKE/VDE (The VDE Association for Electrical, Electronic and Information Technologies German) ซึ่งเป็นสมาคมที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีด้านไฟฟ้า และระบบสารสนเทศของประเทศเยอรมัน ได้ประกาศรูปแบบของหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ที่ใช้สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยมีบริษัท Mennekes [6] เป็นผู้ออกแบบ ทั้งนี้เนื่องจากในประเทศแถบยุโรปนั้นมีการใช้งานของหัวปลั๊กตามมาตรฐาน IEC 60309 กันอย่างแพร่หลาย และมีผู้ผลิตรยนต์บางยี่ห้อได้ออกแบบหัวปลั๊กให้สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC 60309 ไปแล้วก่อนหน้านี้การประกาศใช้งานนี้ เช่น Peugeot เป็นต้น หัวปลั๊กนี้จะเป็นหัวปลั๊กที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส, กระแสใช้งาน 16 A ไปจนถึงไฟฟ้า 3 เฟส, กระแสใช้งาน 32 แอมป์ แต่หัวปลั๊กดังกล่าวยังไม่สามารถใช้งานสำหรับการอัดประจุในโหมด 3 ได้ เนื่องจากหัวปลั๊กดังกล่าวไม่ได้ถูกออกแบบให้ใช้งานร่วมกับชั่วควบคุมที่ช่วยควบคุมการอัดประจัวร์ยนต์ไฟฟ้านั่นเอง ดังนั้นมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2 จึงถูกกำหนดขึ้น และเนื่องจากในประเทศแถบยุโรปมีการใช้งานหัวปลั๊กแบบเก่ากันอย่างแพร่หลายมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ACEA (European Automobile Manufacturers Association) ได้กำหนดแผนในการปรับเปลี่ยนรูปแบบหัวปลั๊กในการอัดประจัวร์ยนต์ไฟฟ้ามารูปแบบเดียวกัน โดยในช่วงแรกได้กำหนดให้ใช้รูปแบบของหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ในโหมด 3 (ใช้กับแรงดัน 1 เฟส หรือ 3 เฟส โดยมีชั่วควบคุมซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการอัดประจุ) กับอุปกรณ์ที่อัดประจัวร์ยนต์ไฟฟ้าในที่สาธารณะ (Public Charging Station) และอนุโลมให้บ้านพักอาศัยมีการอัดประจัวร์ยนต์ไฟฟ้าโดยใช้หัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ในโหมด 2 ซึ่งไม่มีการควบคุมการอัดประจุด้วยชั่วสัญญาณได้ และสำหรับในเฟสถัดไป ปี ค.ศ. 2017 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทาง ACEA มีแผนที่จะกำหนดรูปแบบให้เป็นมาตรฐานเดียวกันคือหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 ใน โหมด 3 ซึ่งสามารถควบคุมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าผ่านระบบ Smart grid ได้

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบของหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 จะประกอบไปด้วย Pin ทั้งหมด 7 Pin คือ 4 Pin แรกจะเป็น Pin สำหรับเชื่อมต่อไฟฟ้ากระแสสลับในระบบ 3 เฟส 4 สาย (เฟส A,B,C และ Neutral) ระบบการต่อลงดินจะเป็น Pin ที่อยู่ตรงกลาง และอีก 2 Pin จะเป็น Control Pin (CP) และ Proximity Pin (PP) ซึ่งรูปแบบของหัวปลั๊กแบบ VDE-AR-E 2623-2-2 จะ แสดงได้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 2.12 รูปแบบของหัวปลั๊กในมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2

จะเห็นได้ว่าการออกมาตรฐานหัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2 สำหรับการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศแถบยุโรปนั้นอาจเป็นการเพิ่มภาระให้กับผู้ใช้งานบ้างในช่วงต้นของการประกาศใช้มาตรฐาน ทั้งนี้เนื่องจากประชาชนในแถบยุโรปมีการใช้งานหัวปลั๊กตามมาตรฐาน IEC 60309 มาก่อนหน้านี้แล้ว แต่จากการประกาศใช้ทำให้เกิดผลดีในด้านของผู้ผลิตรถยนต์มีแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์ให้เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน ลดการจัดซื้อ/จัดหาอะไหล่ หรืออุปกรณ์ที่ต่างชนิดกัน ทำให้สามารถผลิตได้ในปริมาณมาก และลดต้นทุนในด้านอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าค่ายยุโรปในระยะยาว

ข้อดีอีกประการหนึ่งของรูปแบบหัวปลั๊กตามมาตรฐาน VDE-AR-E 2623-2-2 (IEC 62196-2 “TYPE 2” หรือเป็นที่รู้จักกันนามหัวปลั๊กแบบ Type 2, Mode 3) นั้นมีระบบป้องกันความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน กล่าวคือมีระบบป้องกันการจ่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ใช้งานเชื่อมต่อหัวปลั๊กไม่แน่น โดยหากไม่มีระบบการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าด้วยขั้วควบคุม ผู้ใช้งานอาจได้รับอันตรายจากไฟฟ้าได้ อีกทั้งสำหรับผู้ให้บริการไฟฟ้าเอง ในหัวปลั๊กชนิดนี้มีการวางระบบขั้วควบคุมไว้รองรับการควบคุมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) อีกด้วย ซึ่งหากเป็นไปตามแผนงานของ ACEA ในปี ค.ศ. 2017 ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัยจะเปลี่ยนหัวปลั๊กเป็นแบบเดียวกันทั้งหมด และผู้ให้บริการไฟฟ้าสามารถควบคุมการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ ซึ่งช่วยลดการเกิดปัญหาพิภักดินของสายป้อน และสามารถพัฒนาไปเป็นระบบ V2G (Vehicle to Grid) หรือการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเมื่อรถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุจนเต็มได้อีกด้วย

3) รูปแบบที่ 3 (Type 3) หัวปลั๊ก 1 เฟส และ 3 เฟส (EV Plug Alliance)

จากหัวปลั๊กทั้ง 2 รูปแบบที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ ในหัวปลั๊กแบบที่ 3 นี้ถูกนำเสนอโดยบริษัท Schneider Electric ในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งได้พัฒนารูปแบบของหัวปลั๊กดังกล่าวจากหัวปลั๊ก Libera ซึ่งผลิตโดย บริษัท Scaem ในประเทศอิตาลี หัวปลั๊กชนิดนี้สามารถรองรับการอัดประจุได้ทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส โดยมีพิภักสูงสุด 32 A และการออกแบบหัวปลั๊กชนิดนี้มีจุดเด่นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างจากหัวปลั๊กแบบ Type 1 และ Type 2 คือมีระบบ Shutter ปิดที่หัวปลั๊ก และตัวปลั๊กด้วย โดยทางผู้ออกแบบพิจารณาว่าการออกแบบตัวปลั๊กนั้นต้องออกแบบให้ปลอดภัยกับผู้ใช้งาน ซึ่งในกรณีทั่วไปแล้วผู้ใช้งานมีโอกาสที่จะสัมผัสส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าของหัวปลั๊ก เช่น การสัมผัสส่วนที่เป็นโลหะของตัวปลั๊ก

ในหัวปลั๊กแบบ Type 1 และ Type 2 นั้นมีการออกแบบให้มีขั้วควบคุมให้มีการตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้า โดยในกรณีที่เครื่องอัดประจุหรือเครื่องควบคุม EVSE ไม่มีการเชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์จะไม่จ่ายกระแสไฟฟ้ามาที่หัวปลั๊กจนกว่าจะมีการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์จึงจะจ่ายกระแสไฟฟ้ามาและพร้อมที่จะอัดประจุ ซึ่งผู้ออกแบบหัวปลั๊ก Type 3 มองว่าการใช้สัญญาณทางไฟฟ้ามาเป็นตัวตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อดังกล่าวและนำมาควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุ (EVSE) นั้นอาจจะยังก่อให้เกิดความเสี่ยงได้หากขั้วควบคุมดังกล่าวมีปัญหาหรือขัดข้องในขณะใช้งาน ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าก็ยังมีโอกาสที่จะสัมผัสส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานโดยที่ผู้ใช้งานไม่ทราบเลยว่าระบบป้องกันดังกล่าวชำรุด โดยการออกแบบให้หัวปลั๊กและตัวปลั๊กมี Shutter ปิดจะช่วยป้องกันปัญหาดังกล่าวได้อย่างถาวร และนอกจากการป้องกันเรื่องความปลอดภัยแล้ว ฝาปิดหัวปลั๊กดังกล่าวยังช่วยในด้านการป้องกันน้ำและฝุ่น (Ingress Protection, IP) ได้อีกด้วย



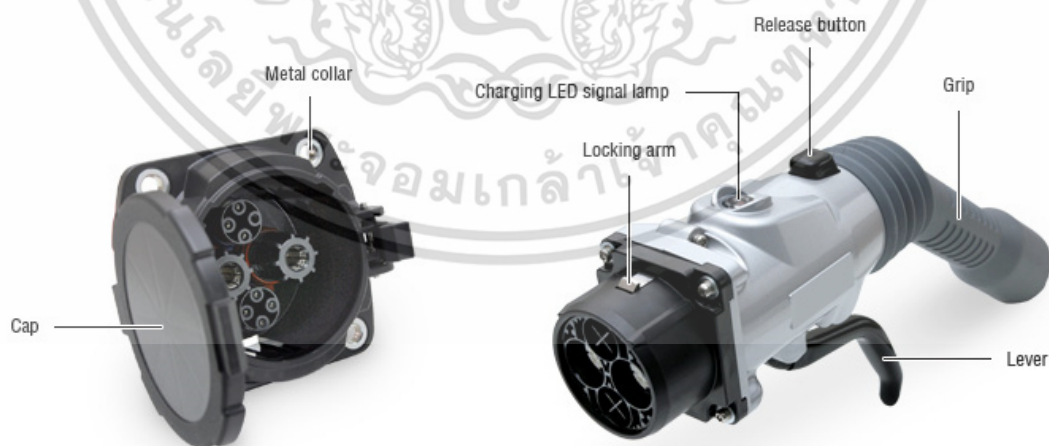
รูปที่ 2.13 รูปแบบหัวปลั๊กของ EV Plug Alliance

โดยทั่วไปแล้วการเชื่อมต่อปลั๊กในการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้านั้นจะต้องทำการเชื่อมต่อใน 2 ส่วนก็คือ ส่วนที่เชื่อมต่อกับเครื่องอัดประจุหรือตัวควบคุม EVSE และส่วนที่เชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้าตามรูปที่ 3.17 ผู้ออกแบบ EV Plug Alliance ได้นำเสนอว่าแทนที่เราจะพิจารณาเลือกรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งจากรูปแบบทั้ง 3 ชนิด คือ Type 1, Type 2 และ Type 3 อาจจะพิจารณารูปแบบ Type 3 นี้สำหรับหัวปลั๊กด้านเครื่องอัดประจุหรือตัวควบคุม EVSE เนื่องจากสามารถป้องกันปัญหาการสัมผัสส่วนที่มีไฟฟ้าของปลั๊กได้ดีที่สุดและปล่อยให้ปลั๊กด้านของรถยนต์ไฟฟ้าสามารถกำหนดได้อย่างเสรีจากรูปแบบปลั๊กตามที่มาตรฐาน IEC 62196 ได้ระบุไว้

ประจูดัวยไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้หัวปลั๊กอีกรูปแบบหนึ่งคล้ายกับระบบอัดประจุที่ใช้ในประเทศญี่ปุ่น ดังรูปที่ 2.18

จะเห็นได้ว่าในประเทศญี่ปุ่นและประเทศจีนนั้นจะมีหัวปลั๊กสำหรับการอัดประจุแยกกันใน รูปแบบแรงดันปกติและแบบรวดเร็ว แต่สำหรับหัวปลั๊กแบบ Combo ในหัวปลั๊กแบบ SAE J1772 และ VDE-AR-E 2623-2-2 นั้นจะถูกรวมเข้ากันเป็นหัวเดียวซึ่งมีความสะดวกต่อผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้า และผู้ใช้งานที่สะดวกในการเชื่อมต่อหัวปลั๊ก อย่างไรก็ตามการพิจารณานำเอารูปแบบของระบบหัว ปลั๊กในประเทศไทยหากมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตนั้นต้องพิจารณาในหลายองค์ประกอบ การตัดสินใจพิจารณากำหนดรูปแบบและมาตรฐานหัวปลั๊กสำหรับของประเทศไทยควรพิจารณาตั้งแต่ ก่อนนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้า เพื่อที่จะกำหนดรูปแบบการนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าและระบุมาตรฐานของ หัวปลั๊กที่คาดว่าเหมาะสมกับประเทศไทยมากที่สุด หากไม่มีการระบุรูปแบบแล้วจะทำให้เกิดการ นำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าซึ่งมีรูปแบบของหัวปลั๊กที่แตกต่างกัน การก่อสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อ รองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจะมีหลากหลายรูปแบบ และอาจทำให้ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเกิดความ ไม่สะดวกในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในกรณีที่จำเป็นต้องอัดประจุในสถานีบริการอัดประจุสาธารณะ (Public Charging Station) หรืออาจจะเป็นภาระของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าต้องเสียค่าใช้จ่ายในการ ปรับปรุงหรือซื้ออุปกรณ์แปลงหัวปลั๊ก (Plug Adapter) เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันกับโครงสร้าง พื้นฐานของเครื่องอัดประจุซึ่งอาจมีหลายรูปแบบในอนาคต

จากที่กล่าวมาข้างต้น ในการอัดประจูดัวยไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นการอัดประจุแบบ รวดเร็ว ตามข้อของรถยนต์ Nissan Leaf ได้ระบุไว้ว่าสามารถอัดประจุได้ถึง 80% ของความจุพิกัดภายใน เวลา 30 นาที ด้วยรูปแบบการอัดประจุที่ใช้เวลาเพียงไม่นาน ทำให้เครื่องอัดประจุแบบรวดเร็วอาจ ถูกติดตั้งในสถานีอัดประจุตามถนนทางหลวงเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่ ต้องเดินทางระหว่างเมือง หากมีการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อความต่อเนื่อง ในการเดินทางของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าเราอาจจะต้องพิจารณาติดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบรวดเร็วใน เส้นทางระหว่างเมือง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 รูปแบบหัวปลั๊กตามมาตรฐาน CHAdeMO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 อุปกรณ์แปลงหัวปลั๊กสำหรับอัดประจุในตามมาตรฐาน CHAdeMO

จากมาตรฐาน IEC 62196 ในส่วนที่ 1 ถึง 3 ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เราอาจพิจารณาการอัดประจุไฟฟ้าออกเป็นระดับแรงดัน และชนิดของระบบไฟฟ้าได้เป็น 3 ระดับ (Charging Level) ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

1) การอัดประจุไฟฟ้าในระดับ 1 (Charging Level 1) เป็นการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่ระดับแรงดันไม่เกิน 120 V การอัดประจุที่ระดับแรงดันนี้จะใช้ในประเทศอเมริกา และญี่ปุ่น เนื่องจากการอัดประจุด้วยแรงดันต่ำจึงทำให้การอัดประจุในระดับ 1 นี้ใช้เวลานานกว่าระดับอื่น ซึ่งอุปกรณ์อัดประจุหรือตัวควบคุมการอัดประจุสามารถติดตั้งได้ในบ้านพักอาศัย และเหมาะกับการอัดประจุในรถยนต์ที่เดินทางไม่กี่กิโลเมตร ยกตัวอย่างในกรณีของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf นั้น ตามคู่มือของรถสำหรับการอัดประจุที่ Level 1 นี้ในเวลา 1 ชั่วโมงสามารถอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าให้วิ่งได้ระยะทางประมาณ 7.24 กิโลเมตร ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf มีระยะทางสูงสุดที่ 160 กิโลเมตร ทำให้การอัดประจุรถยนต์ Nissan Leaf จนเต็มด้วยการอัดประจุที่ระดับ 1 ใช้เวลาถึง 22 ชั่วโมง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้งานเท่าใดนัก การอัดประจุที่ระดับ 1 นี้จึงเหมาะกับการใช้งานอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็กหรือผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่มีพฤติกรรมการใช้งานน้อยในแต่ละวัน

2) การอัดประจุไฟฟ้าในระดับ 2 (Charging Level 2) เป็นการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แรงดันไม่เกิน 240 โวลต์ หรือ 3 เฟส แรงดันไม่เกิน 400 โวลต์ สำหรับการอัดประจุที่ระดับ 2 นี้จะต้องติดตั้งเครื่องอัดประจุหรือตัวควบคุมการอัดประจุด้วย การอัดประจุที่แรงดัน 240 โวลต์ นั้นมีใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น เยอรมัน, อิตาลี และกลุ่มประเทศในแถบยุโรป ผู้จำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้ามักนำเสนอการติดตั้งเครื่องควบคุมการอัดประจุที่บ้านพักอาศัยด้วย เนื่องจากสามารถติดตั้งได้ง่ายและช่วยเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ใช้งานว่ารถยนต์ไฟฟ้าสามารถถูกอัดประจุให้เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละวัน ซึ่งในกรณีการอัดประจุที่ Level 2 นี้ก็จะมีกำลังไฟฟ้ามากกว่าการอัดประจุใน Level 1

3) การอัดประจุไฟฟ้าในระดับ 3 (Charging Level 3) เป็นการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงระดับแรงดันไม่เกิน 500 V สำหรับการอัดประจุระดับ 1 และ 2 นั้นจะเป็นการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับโดยจ่ายไฟฟ้าเข้าที่ตัวเครื่องอัดประจุภายในรถยนต์ แต่สำหรับการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะจ่ายไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ภายในของรถยนต์โดยตรงทำให้เครื่องอัดประจุต้องมีเครื่องอัดประจุอยู่นอกตัวรถยนต์ไฟฟ้าและการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะเป็นการอัดประจุแบบรวดเร็ว ในกรณีของรถยนต์ Nissan Leaf ตามคู่มือได้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัดประจุแบบรวดเร็ว ไว้ว่าสามารถอัดประจุให้แบตเตอรี่มีพลังงาน 80% ภายในเวลาเพียง 30 นาที ด้วยคุณสมบัติการอัดประจุแบบเร็วนี้ทำให้เครื่องอัดประจุชนิดนี้ใช้กำลังไฟฟ้าในการอัดประจุมาก ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานในบ้านพักอาศัย แต่เหมาะสำหรับการติดตั้งในสถานีบริการอัดประจุไฟฟ้า เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่ต้องเดินทางไกลหรือการเดินทางระหว่างเมือง ซึ่งในประเด็นนี้ในประเทศที่ส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้านั้นจะพิจารณาว่าการก่อสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้านั้นรัฐบาลควรสนับสนุนให้เกิดขึ้น สถานีบริการอัดประจุไฟฟ้าถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานตัวหนึ่งที่สำคัญในการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค ในการเลือกใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า หากขาดซึ่งปัจจัยพื้นฐานนี้แล้วการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า อาจเกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากผู้บริโภคยังมองว่าการเดินทางไกลด้วยรถยนต์ไฟฟ้ายังเป็นอุปสรรคในการใช้งานนั่นเอง จากรูปแบบหัวปลั๊ก และการอัดประจุที่ระดับแรงดันต่างๆ (Level of Charging) เราสามารถสรุปภาพรวมทั้งหมดของการใช้งานได้ดังรูปที่ 2.18

จากการพัฒนารูปแบบของหัวปลั๊กเพื่อใช้ในการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าของประเทศในแถบยุโรป (หัวปลั๊ก VDE-AR-E 2623-2-2) และประเทศอเมริกา (หัวปลั๊กแบบ SAE J1772) ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 รัฐบาลของประเทศอเมริกา และเยอรมันก็ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการร่วมกันกำหนดรูปแบบของหัวปลั๊กสำหรับอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้า และได้ทำข้อตกลงร่วมกันที่จะขยายการใช้งานของหัวปลั๊กแบบ SAE J1772 ของประเทศอเมริกา โดยให้สามารถใช้งานอัดประจุได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง (DC Quick Charging) ที่เรียกว่า EV Combined Charging System (Combo) การใช้งานนี้หัวปลั๊กนี้เป็นการเพิ่มขั้วสำหรับการอัดประจุชนิดไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มเข้าไปอีก 2 ขั้ว ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.12 อีกทั้งยังออกแบบให้ยังสามารถใช้กับหัวปลั๊ก SAE J1772 ในรูปแบบเดิมได้ด้วย สำหรับหัวต่อเพื่อการอัดประจุชนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่เพิ่มเข้าไปนี้สามารถอัดประจุที่แรงดัน 500 Vdc กระแสใช้งาน 200 A



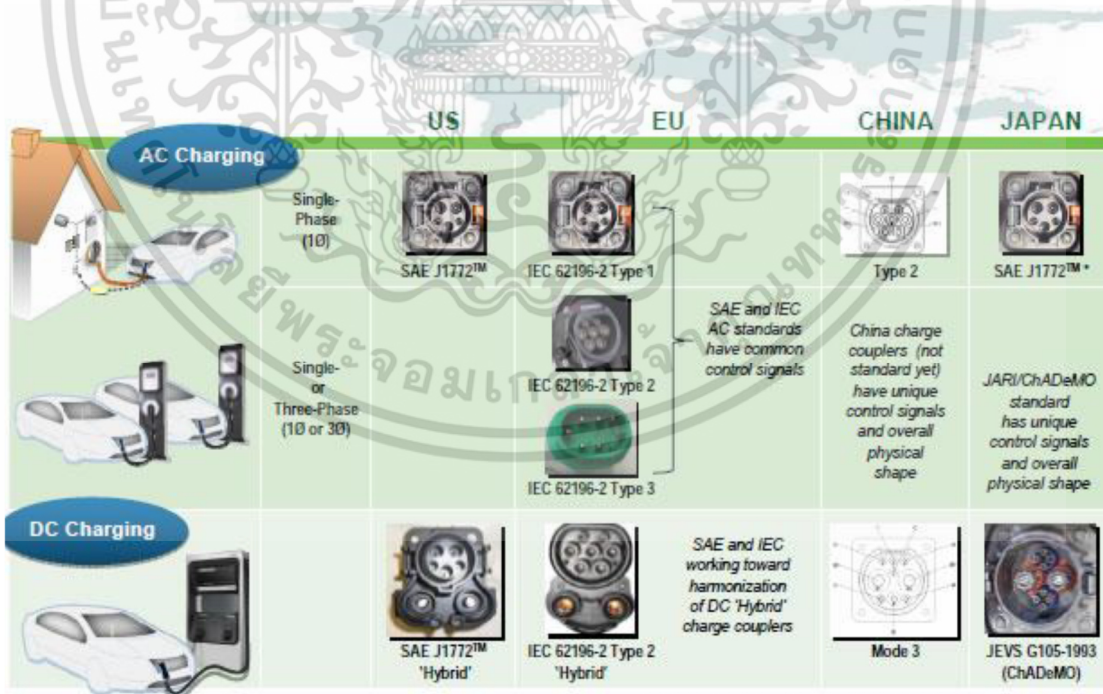
รูปที่ 3.12 รูปแบบของหัวปลั๊กแบบ Combo

สำหรับประเทศในแถบยุโรป และอเมริกานั้น เป็นกรณีศึกษาหนึ่งของประเทศไทย ในการพิจารณารูปแบบมาตรฐานของหัวปลั๊กสำหรับการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ในประเทศไทยเองหากมีการนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าจากหลากหลายประเทศซึ่งอาจมีมาตรฐานของหัวปลั๊กที่ใช้เชื่อมต่อในรูปแบบที่แตกต่างกัน ในระยะเริ่มแรกนั้นอาจไม่ประสบปัญหาเท่าใดนัก เนื่องจากการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ายังไม่แพร่หลาย อีกทั้งเครื่องอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในช่วงแรกนั้นอาจถูกจำหน่ายพร้อมรถยนต์ไฟฟ้า และสามารถติดตั้งตามบ้านพักอาศัย และมีรูปแบบของหัวปลั๊กตามมาตรฐานของรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละยี่ห้อ แต่ในระยะยาวหากรถยนต์ไฟฟ้าอาจขยายตลาดมากขึ้น เมื่อมีผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ามากขึ้นการก่อสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้า (Charging Station) อาจจะต้องมีการติดตั้งไม่จำกัดที่ใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอัดประจุหลากหลายรูปแบบตามมาเพื่อตอบสนองต่อผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าหลากหลายยี่ห้อ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาความไม่แน่นอนของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในกรณีที่ต้องใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล การวางแผนออกมาตรฐานหรือกำหนดรูปแบบการนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้า, เครื่องอัดประจุ รวมไปถึงอุปกรณ์แปลงหัวปลั๊ก สำหรับแปลงหัวปลั๊กจึงเป็นเรื่องที่อาจจะต้องนำมาพิจารณา เพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทย



รูปที่ 2.17 รถยนต์ BMW i3 ได้ออกแบบหัวปลั๊กแบบ Combo สามารถอัดประจุได้ทั้งรูปแบบ AC และ DC



* SAE J1772™ AC connector has also been adopted by Korea and Australia

รูปที่ 2.18 ตารางสรุปการใช้งานของหัวปลั๊กที่ระดับการอัดประจุแต่ละระดับในประเทศต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.18 สามารถสรุปได้ว่าประเทศอเมริกายึดมาตรฐาน SAE J1772 สำหรับการอัดประจุ โดยในบ้านพักอาศัยจะเป็นการอัดประจุแบบแรงดันปกติด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่แรงดันใช้งาน 120 V ซึ่งเป็นแรงดันมาตรฐานในบ้านพักอาศัยของประเทศอเมริกา และสำหรับการอัดประจุแบบรวดเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะอาศัยหัวปลั๊กแบบ Combo ซึ่งเป็นการเพิ่มขั้วสำหรับการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงอีก 2 ขั้ว และสำหรับประเทศในกลุ่มยุโรปมีการใช้งานของหัวปลั๊กหลากหลายรูปแบบตั้งแต่ Type 1 จนถึง Type 3 แต่สำหรับการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสตรงแบบรวดเร็ว นั้นก็จะเป็นหัวปลั๊ก Combo ในลักษณะที่คล้ายคลึงกันกับประเทศอเมริกา ซึ่งในหัวปลั๊กแบบ Combo นี้สามารถใช้งานได้กับหัวปลั๊กที่อัดประจุในระดับ 1 และ 2 ได้

ในประเทศจีนนั้นได้นำเอารูปแบบหัวปลั๊ก IEC 62196-2 Type 2 มาใช้งานในการอัดประจุด้วยไฟฟ้ากระแสสลับในระดับ 1 และมีรูปแบบของหัวปลั๊กสำหรับการอัดประจุแบบรวดเร็วแยกต่างหาก เช่นเดียวกันกับประเทศญี่ปุ่นซึ่งพัฒนาหัวปลั๊กสำหรับการอัดประจุแบบรวดเร็วด้วยไฟฟ้ากระแสตรงหรือหัวปลั๊กแบบ CHAdeMO และใช้หัวปลั๊กแบบ SAE J1772 ตามแบบประเทศอเมริกา สำหรับการอัดประจุระดับ 1 ด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 120 โวลต์ ซึ่งจากรูปแบบการใช้งานแบบแยกหัวปลั๊กสำหรับการอัดประจุแบบรวดเร็วของประเทศจีนและญี่ปุ่นทำให้รถยนต์ไฟฟ้าจะมีเต้ารับของปลั๊กทั้งสองชนิดเพื่อแยกประเภทการอัดประจุว่าเป็นแบบรวดเร็วหรือแบบแรงดันปกติ ในขณะที่รถยนต์จากค่ายยุโรป เช่น BMW i3 มีหัวปลั๊กแบบ Combo จึงทำให้การอัดประจุแบบรวดเร็วหรือแบบแรงดันปกติใช้หัวปลั๊กร่วมกันได้

สำหรับในประเทศไทยแล้วมีประเด็นที่ต้องนำมาพิจารณาเพิ่มเติมเพื่อรองรับการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต หากเรามองว่าประเทศไทยควรสนับสนุนให้เกิดการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกและส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในประเทศที่เปลี่ยนแปลงไป การพิจารณานำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าอาจจะต้องกำหนดมาตรฐานของหัวปลั๊กที่จะเชื่อมต่อกับเครื่องอัดประจุหรือตัวควบคุมการอัดประจุ เพื่อให้เกิดการนำเข้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยมีการกำหนดมาตรฐานของหัวปลั๊กให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน ทั้งนี้ผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยอาจมีพฤติกรรมการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่ไม่แตกต่างจากรถยนต์ระบบเชื้อเพลิงมากนัก อาจมีบางกลุ่มบริโภคนิยมการใช้งานรถยนต์ในแถบยุโรป เช่น BMW หรือ Volkswagen และอาจมีผู้บริโภคอีกกลุ่มหนึ่งนิยมใช้งานรถยนต์ของประเทศญี่ปุ่น เช่น Nissan, Mitsubishi หรือ Toyota ทางภาครัฐบาลอาจกำหนดให้ผู้ผลิตรถยนต์ทั้ง 2 ค่าย นำเข้าหรือประกอบรถยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐานกลางที่ทางรัฐบาลกำหนดเพื่อให้ทิศทางของอุปกรณ์อัดประจุเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

2.2.3 มาตรฐาน CHAdeMO

มาตรฐาน CHAdeMO ย่อมาจาก “CHArge de MOve” ซึ่งมีหมายความว่า “Charge for Moving” เป็นมาตรฐานสำหรับการชาร์จไฟกระแสตรงแบบเร็วมีการใช้งานกันแพร่หลายในหลายประเทศโดยเฉพาะในญี่ปุ่น และอีกหลายๆ ประเทศในยุโรป ในขณะที่มาตรฐานอื่นๆ กำลังอยู่ในระหว่างการพัฒนา

เครื่องชาร์จไฟในมาตรฐาน CHAdeMO จะมีมาตรการด้านความปลอดภัยสูงมาก โดยก่อนจะเริ่มทำการชาร์จ เครื่องชาร์จไฟจะตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อในขณะนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องชาร์จและรถยนต์ไฟฟ้าสมบูรณ์ดีแล้ว รวมถึงตรวจสอบว่าสายเคเบิลและหัวต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความเป็นฉนวนอย่างสมบูรณ์ การชาร์จไฟจะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการตรวจสอบและมั่นใจในความปลอดภัยแล้วเท่านั้น นอกจากนี้มาตรฐาน CHAdeMO ยังมีมาตรการด้านความปลอดภัยอื่นๆ เช่น การออกแบบโดยแยกวงจรขาออกกระแสตรง และวงจรตรวจสอบ ground fault ออกจากกัน, กลไกล็อกหัวต่อขณะชาร์จไฟ และมีโปรแกรมควบคุมโดยใช้ทั้งสัญญาณแอนะล็อกและดิจิทัล เป็นต้น

2.2.3.1 ข้อดีของการอัดประจุตามมาตรฐาน CHAdeMO

1) การออกแบบเรื่องความปลอดภัย ในเรื่องความปลอดภัยของผู้ใช้งาน เป็นสิ่งสำคัญที่สุด ดังนั้นมาตรฐาน CHAdeMO จึงได้มีการกำหนดหลักการเรื่องความปลอดภัยเพื่อการันตีกระบวนการทำงานให้มีความปลอดภัย

- ในส่วนของระบบการสื่อสาร ได้มีการส่งสัญญาณและข้อมูลผ่าน CAN Communication ซึ่งเส้นทางของการสื่อสารทั้งสองจะสามารถป้องกันการดำเนินงานที่ผิดพลาด โดยการกำหนดให้ระบบทำงานจากเงื่อนไขของ AND Condition และ หยุดการทำงานจากเงื่อนไขของ OR Condition

- ในส่วนโครงสร้างของการ Interlocking Hardware นั้น สำหรับ Connector จะไม่มีการเชื่อมต่อจาก inlet ในช่วงระหว่างการชาร์จ และไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลไปยัง Terminal เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อ

- สามารถป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหลจากการออกแบบวงจรไฟฟ้าเฉพาะและจากกระบวนการตรวจสอบฉนวน แต่หากกระแสไฟฟ้างอกเกิดขึ้นก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากถูกจำกัดอยู่ในขอบเขตของย่านความปลอดภัยที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน

2) ระบบสื่อสารแบบ CAN (Control Area Network) ในปัจจุบัน CAN ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในแผงควบคุมระบบการสื่อสารสำหรับรถยนต์ทั่วไปและรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายปีที่ผ่านมา โดยมีความน่าเชื่อถือและได้มีการพิสูจน์วิธีการ โดย CHAdeMO ได้เลือกโปรโตคอลดังกล่าวในการสร้างความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยสูงสุดรวมทั้งสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ใช้งาน

3) ความยืดหยุ่นด้านการใช้งานในอนาคต ซึ่ง CHAdeMO โปรโตคอล ได้กำหนดขอบเขตของมาตรฐานอย่างเข้มงวดเพื่อสร้างความมั่นใจในขณะเริ่มต้นและขณะทำการชาร์จให้มีความปลอดภัยและการทำงานร่วมกัน โดยที่มีการเปิดฟังก์ชันการทำงานที่สามารถเชื่อมต่อตามความต้องการเฉพาะและการสื่อสารกับภายนอก และเพื่อให้เป็นที่ยอมรับเพิ่มมากขึ้นในการใช้งานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าทั้งในด้านความยืดหยุ่น โดยมีการกระตุ้นด้านเทคโนโลยีของผู้ลงทุนทั้งในส่วนของรถยนต์ไฟฟ้าและโครงสร้างต่างๆ

4) การประยุกต์ใช้งานกับโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ สำหรับการพัฒนาในส่วนของรถยนต์ไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นอีกครั้งหลังจากการมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้ ซึ่งต้องทำการเปลี่ยนแปลงโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น และ CHAdeMO ก็สามารถตอบสนองระบบดังกล่าว อาทิเช่น การอัดประจุสองทิศทาง(Bidirectional charging) ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ และการปรับปรุงด้านรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นจึงทำให้เหมาะกับการเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้าบ้านที่อยู่อาศัย (Vehicle to Home : V2H) หรือเชื่อมต่อรถยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า(Vehicle to Grid : V2G) โดย CHAdeMO จึงกลายเป็นทางออกสำหรับการใช้งานใน Smart City ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้งานแล้วในประเทศญี่ปุ่น สเปน ฝรั่งเศส และสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การใช้งานหัวปลั๊กชาร์จ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อจะประกอบไปด้วยเต้ารับและเต้าเสียบของรถยนต์ไฟฟ้า โดย CHAdeMO ได้มีการออกแบบเพื่อสร้างความมั่นใจให้มีความสมดุลที่เหมาะสมระหว่างการออกแบบอุปกรณ์ให้มีความปลอดภัย สะดวกต่อการใช้งาน และประสิทธิภาพในการอัดประจุ โดยในการออกแบบใช้งานไฟฟ้ากระแสตรงฝั่งขาเข้าของการอัดประจุทำให้ CHAdeMO ยังคงสามารถรักษาความปลอดภัยในการใช้งานหัวปลั๊กชาร์จของผู้ใช้งาน

6. พิกัดกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ในการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมจะพิจารณาจากต้นทุนสำหรับโครงสร้างในการจ่ายกระแสไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการอัดประจุ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่รองรับการใช้งานของ CHAdeMO ได้กำหนดค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมไว้ที่ 50 kW อย่างไรก็ตามในส่วนของการออกแบบหัวชาร์จจะสามารถใช้งานได้ทั้ง 2 ระดับ ซึ่งได้มีการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดประจุขนาด 20 kW โดยมีพิกัดกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าและสามารถทำการอัดประจุให้กับผู้ใช้งานที่อาศัยในพื้นที่เมืองและพื้นที่อุตสาหกรรม สำหรับโครงสร้างที่ใช้ในการอัดประจุของ CHAdeMO ที่มีความยืดหยุ่นจึงทำให้ได้เปรียบในตลาดผู้ใช้งาน

2.2.3.2 หลักการทำงานของมาตรฐาน CHAdeMO

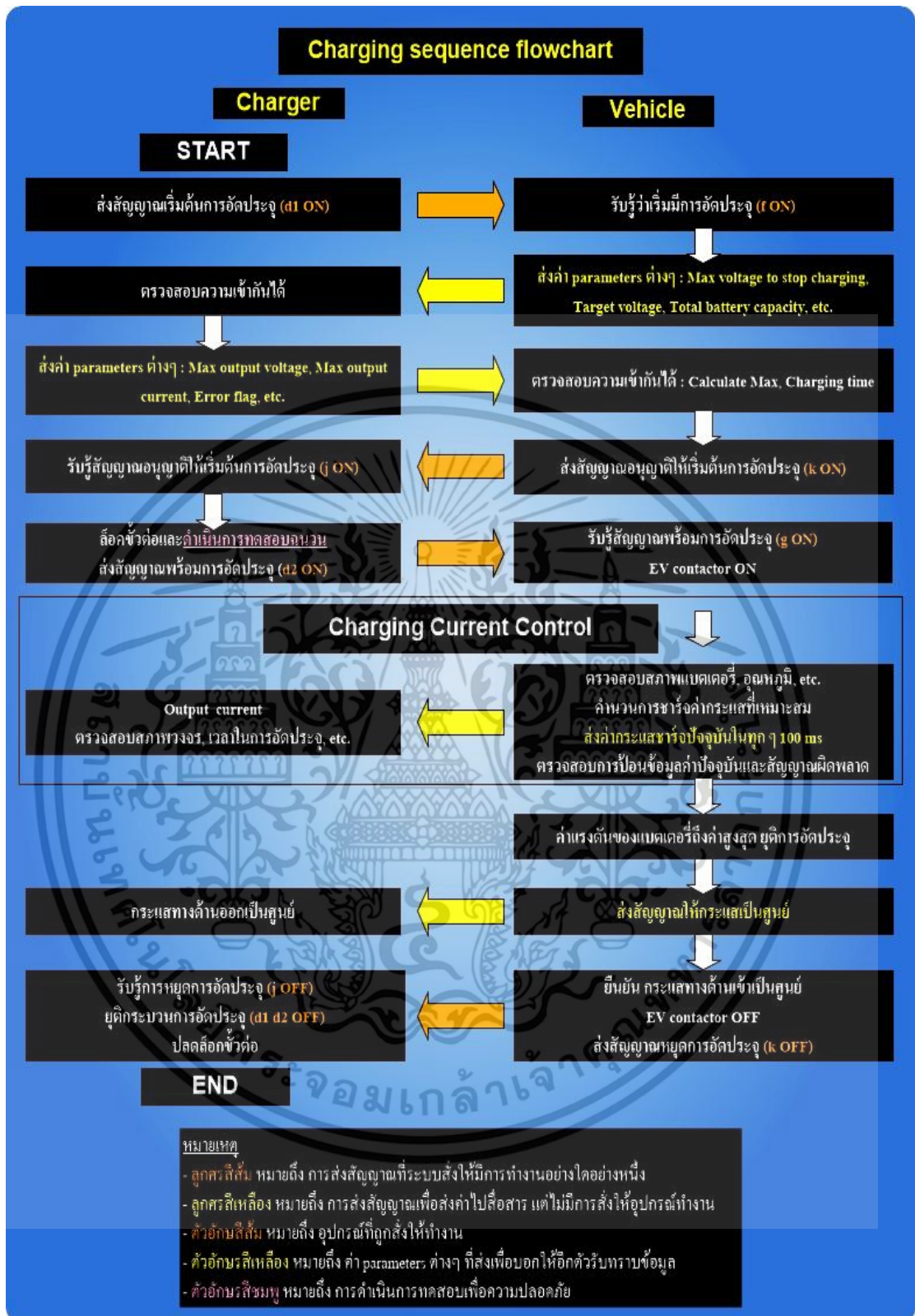
สำหรับเครื่องอัดประจุมาตรฐาน CHAdeMO นั้น จะใช้การส่งผ่านข้อมูลทั้งสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลผ่านทางวิธีการสื่อสารแบบ CAN สาเหตุที่ต้องส่งผ่านข้อมูลทั้งวิธีอนาล็อกและดิจิทัลเพื่อ

1. ป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเริ่มทำการอัดประจุเนื่องจากการทำงานผิดพลาดของส่วนระบบควบคุมแบบดิจิทัล (Digital control system)

2. ช่วยในการยืนยันลำดับการทำงานของทั้งเครื่องอัดประจุและรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง

3. เมื่อสัญญาณอนาล็อกขาดหาย ขั้นตอนการอัดประจุจะทำการปิดตัวเองลงอย่างทันที (การปิดตัวเองลงอย่างทันทีจะเร็วกว่าการส่งข้อมูลผ่านทางสัญญาณอนาล็อก)

การทำงานของเครื่องอัดประจุนั้นในระหว่างการทำงานจะมีการตอบสนองกันระหว่างเครื่องอัดประจุและรถยนต์พลังงานไฟฟ้าทั้งแบบพาสซีฟ (Passive) และแบบแอคทีฟ (Active) เพื่อการรับรู้และกำหนดเงื่อนไขข้อตกลงในการอัดประจุระหว่างเครื่องอัดประจุและรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอัดประจุมี 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมการสำหรับการอัดประจุ เริ่มทำการอัดประจุ และจบการอัดประจุ



รูปที่ 2.19 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอัดประจุตามมาตรฐาน CHAdeMO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

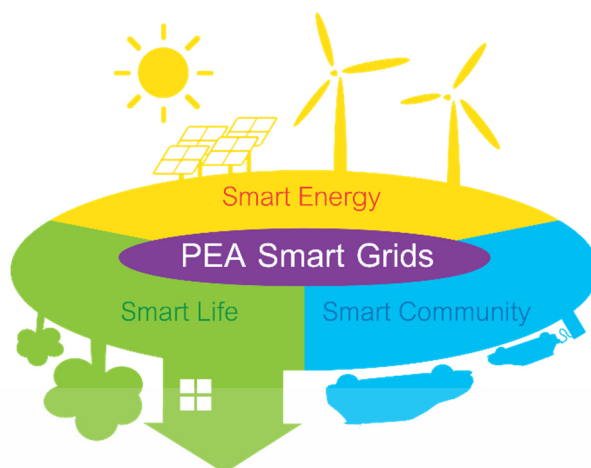
2.3 เทคโนโลยีโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) เป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาบริหารจัดการ ควบคุมการผลิต ส่ง และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งความอัจฉริยะของโครงข่ายไฟฟ้านี้ เกิดจากการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ระบบสารสนเทศ ระบบสื่อสาร เข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงข่าย ซึ่งโครงข่ายดังกล่าวจะสนับสนุนการทำงานซึ่งกันและกันอย่างเป็นระบบ โดยอาศัยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่

- 1) เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และระบบฝังตัว (Electronics and Embedded Systems)
- 2) เทคโนโลยีระบบควบคุมอัตโนมัติ (System Control and Automation)
- 3) เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication)

การผสมผสานระบบสารสนเทศและสื่อสารเข้าไว้ในโครงข่ายไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้าสามารถเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งจากระบบส่งและระบบจำหน่าย รวมถึงข้อมูลจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกือบจะเป็นแบบเวลาจริง (Real-time) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งทั้งสำหรับผู้ให้บริการด้านไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น ผู้ให้บริการด้านไฟฟ้าสามารถตรวจสอบความสามารถในการผลิตไฟฟ้า (Supply) หรือปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า (Demand) ในช่วงเวลาใดๆ ได้ตลอดเวลา รวมถึงต้นทุนค่าใช้จ่าย และคุณภาพของไฟฟ้าด้วย นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้ให้บริการด้านไฟฟ้าสามารถใช้งานระบบอัตโนมัติต่างๆ ได้เต็มประสิทธิภาพ เช่น Substation Automation (SA), Distribution Automation (DA) รวมถึงการใช้งาน Demand Response (DR) เพื่อควบคุมความต้องการใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในระดับเหมาะสมกับกำลังการผลิต ทำให้เกิดการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบไฟฟ้ามีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพไฟฟ้าได้มาตรฐานสากล นอกจากนี้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะยังสามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generations) และแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป (Distributed Energy Resource: DER) เป็นระบบบริหารการใช้สินทรัพย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy) ที่เป็นพลังงานสะอาดลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และช่วยชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ลดค่าใช้จ่ายเงินตราต่างประเทศในการนำพลังงานเข้ามา

ด้วยระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะจะทำให้รูปแบบการใช้ไฟฟ้าในอนาคตจะเป็นรูปแบบที่ทั้งผู้ให้บริการและผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องร่วมมือเพื่อผลประโยชน์ร่วมกัน ผู้ใช้ไฟสามารถเลือกที่จะบริหารจัดการการใช้ไฟภายในบ้านเรือน สำนักงานหรืออาคารต่างๆ ได้อย่างคุ้มค่าตามรูปแบบที่ต้องการสามารถประหยัดเงินที่ต้องชำระค่าไฟ และสามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองโดยติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop), กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) เป็นต้น นอกจากนี้การนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ในภาคคมนาคมขนส่งโดยเฉพาะหากมีการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) นอกเหนือจากการช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศแล้ว พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้ายังสามารถจ่ายกลับคืนสู่โครงข่ายไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละวัน (ช่วง Peak Demand) และเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรองในภาวะไฟดับหรือยามฉุกเฉินได้อีกด้วย



รูปที่ 2.20 วิสัยทัศน์สำหรับการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของ กฟผ.

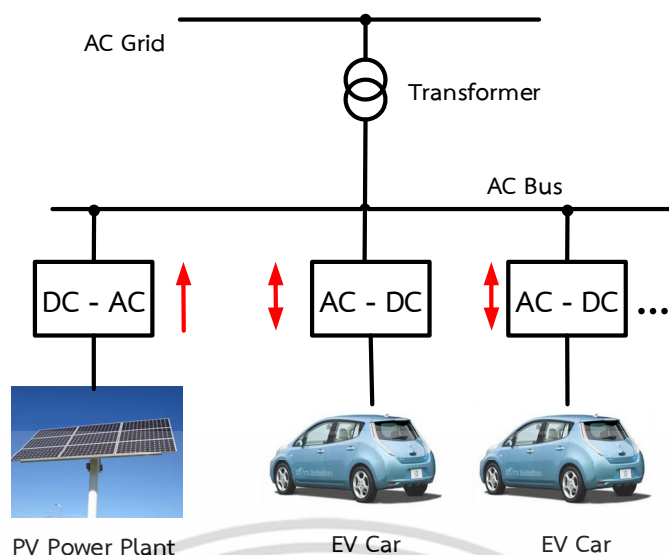
2.4 โครงสร้างการเชื่อมของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่

โครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ในปัจจุบันได้มีการออกแบบการเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไว้ 2 แบบคือ

2.4.1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ AC bus

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ AC bus แสดงดังรูปที่ 3.3 สามารถเชื่อมต่อได้ทั้งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่และเซลล์แสงอาทิตย์ เข้ากับโครงข่ายไฟฟ้าในระบบ AC bus โดยมีการส่งจ่ายพลังงานผ่านคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งโครงสร้างในลักษณะนี้เหมาะแก่การนำแบตเตอรี่ของรถไฟฟ้านำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง แต่อย่างไรก็ตามในการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นต้องการไฟฟ้ากระแสตรงในการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วหากทำการเชื่อมต่อเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ในลักษณะ AC bus จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากต้องมีการแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (AC-DC Converter) จากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนใหญ่ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับระบบ จึงทำให้ต้องแปลงผันแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อทำการเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายไฟฟ้า จากนั้นทำการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ภายในรถไฟฟ้า ซึ่งการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง นั้นมีข้อเสียก็คือเกิดความสูญเสียที่สูง

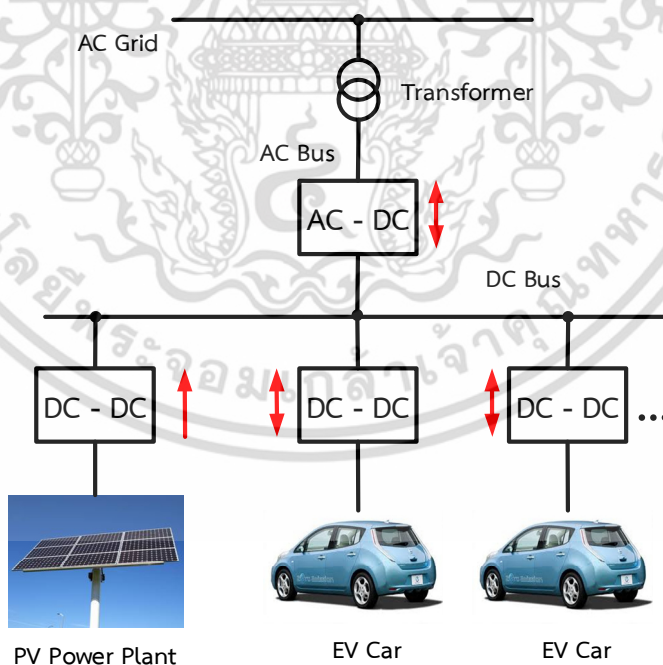
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 โครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบ AC bus

2.4.2 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ DC bus

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบ DC bus แสดงดังรูปที่ 3.4 จะมีการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้อยู่ในรูปแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ได้ง่ายกว่าโครงสร้างแบบ AC bus จึงส่งผลให้เกิดความสูญเสียที่น้อยกว่าและลดต้นทุนในการสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากการเชื่อมต่อกับรถไฟฟ้าจะผ่าน DC-DC Converter แทนที่ AC-DC Converter ทำให้ประสิทธิภาพสูงและลดต้นทุนในการสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 2.22 โครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบ DC bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจำลองความต้องการไฟฟ้าของการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า

ในบทนี้จะอธิบายถึงการสร้างแบบจำลองโหลดในกรณีที่มีการอัดประจुरถยนต์ในระบบไฟฟ้า โดยปกติแล้วความต้องการไฟฟ้าในระบบจากการใช้งานปกติของผู้ใช้ไฟฟ้าจะมีอยู่ในปริมาณหนึ่ง ซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า แต่เมื่อมีการอัดประจุในรถยนต์ไฟฟ้าเกิดขึ้นในระบบ ไฟฟ้าก็จะมีความต้องการส่วนเพิ่มอันเนื่องมาจากพฤติกรรมของการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้านั้นเอง ซึ่งรูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าในกรณีของการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว (Quick Charging) จะมีค่ากำลังไฟฟ้าในการอัดประจุสูงกว่าในกรณีที่มีการอัดประจุไฟฟ้าแบบแรงดันปกติ (Normal Charging) หากในระบบไฟฟ้ามีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในระบบไฟฟ้า ในปริมาณมากและช่วงเวลาพร้อมๆกัน ก็ส่งผลให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจทำงานเกินค่าพิกัด

ในการศึกษาปริมาณความต้องการไฟฟ้าของระบบอันเนื่องมาจากการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จะต้องดำเนินการศึกษาเพื่อประเมินถึงการใช้งานของระบบไฟฟ้าในอนาคต เพื่อรองรับพฤติกรรมความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นการสร้างแบบจำลองของโหลดอันเนื่องมาจากการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้านั้นอาจจะต้องใช้สมมติฐานเพื่อนำมา กำหนดรูปแบบการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้า จากเครื่องอัดประจุแบบเร็ว เนื่องจากการอัดประจุในรูปแบบดังกล่าวเหมาะสำหรับการใช้งานใน สถานีบริการอัดประจุสาธารณะ (Public Charging Station)

3.1 สมมติฐานเบื้องต้นในการสร้างแบบจำลองความต้องการไฟฟ้า

เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจริงในชีวิตประจำวันอย่างแพร่หลาย จึงยังไม่ทราบพฤติกรรมที่แน่ชัดในการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่จะส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวันหรือสิ่งแวดล้อมอย่างไร ซึ่งประโยชน์ของการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าก็คือ เป็นการช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคขนส่งในเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานคร มีการจราจรที่หนาแน่นและเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการติดตั้งสถานีอัดประจุ หรือตามพื้นที่ต่างๆที่มีศักยภาพรองลงมา เช่น ชลบุรี, นครราชสีมา, เชียงใหม่ และภูเก็ต ซึ่งในช่วงที่การจราจรติดขัด รถยนต์ในระบบเชื้อเพลิงจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมในเมืองใหญ่ โดยหากมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลายแล้วย่อมส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมอย่างแน่นอน แต่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าแล้วการอัดประจุไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นเทียบเท่ากับการเติมน้ำมันของรถยนต์ในระบบเชื้อเพลิง ในช่วงแรกของการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าการอัดประจุของรถยนต์จะใช้เวลานาน และอาจไม่เพียงพอต่อการใช้งานรถยนต์ในชีวิตประจำวัน แต่ด้วยเทคโนโลยีการพัฒนาแบตเตอรี่และเครื่องอัดประจุทำให้สามารถอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้เวลาสั้นลง ทำให้รถยนต์ไฟฟ้าดูน่าสนใจและสามารถนำมาใช้งานได้ในชีวิตประจำวัน

ในการจัดทำแบบจำลองโหลดของการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้า สมมติฐานแรกๆที่ควรพิจารณาก็คือ ปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าจะมีปริมาณมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณประจุที่หลงเหลืออยู่ในแบตเตอรี่ ก่อนที่รถยนต์ไฟฟ้าจะถูกอัดประจุใหม่กับเครื่องอัดประจุ ซึ่งรถยนต์แต่ละคันจะมีปริมาณแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่ไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากการขับขี่ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกัน รถยนต์บางประเภทที่มีการใช้งานน้อยก็จะมีประจุเหลือในแบตเตอรี่มากกว่ารถยนต์ที่มีการใช้งานหนักกว่า ดังนั้นเราจึงพิจารณาได้ว่าระยะทางหรือการใช้งานของรถยนต์แต่ละประเภทจะเป็นตัวกำหนดปริมาณประจุที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ และปริมาณประจุที่เหลือนี้เองจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาที่รถยนต์แต่ละคันใช้ในการอัดประจุนั้นเอง

สมมติฐานข้อถัดไปก็คือ ระยะทางการใช้งานของรถยนต์นั้นขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการใช้งานของผู้ขับขี่ซึ่งมีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น รถยนต์ประเภทส่วนบุคคลอาจจะมีระยะทางการขับขี่ประจำวันน้อยกว่ารถยนต์ประเภทโดยสาร จึงทำให้รถยนต์ประเภทโดยสารมีจำนวนครั้ง, ช่วงเวลา และชนิดการอัดประจุประจุเป็นแบบเร็ว (Fast Charging) เพื่อให้สามารถมีพลังงานเพียงพอรองรับกับการใช้งาน

จากพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกันนี้เองจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ช่วงเวลาในการขับขี่รถยนต์บนท้องถนนและนำรถยนต์กลับมาอัดประจุของผู้ใช้งานในรถยนต์แต่ละประเภทแตกต่างกันด้วย ดังนั้นสมมติฐานที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมในการศึกษาจึงสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุ
2. ปริมาณประจุที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ (Stage of Charge, SOC)
3. การประเมินจำนวนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า
4. ช่วงเวลาในการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า

จากสมมติฐานเกี่ยวกับรถยนต์ไฟฟ้าข้างต้น ดังนั้นข้อมูลที่จะใช้ในการจำลองความต้องการไฟฟ้าที่เกิดจากการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลและแหล่งข้อมูลของรถยนต์ไฟฟ้าที่จำเป็นในการศึกษา

รายการข้อมูล	แหล่งที่มา
ปริมาณกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุ	ข้อมูลจากการทดสอบ
ปริมาณประจุที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่	ข้อมูลจากการทดสอบ
การประเมินจำนวนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า	สถิติของกรมขนส่งทางบก
ช่วงเวลาในการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า	เอกสารอ้างอิง [4]

จากตารางที่ 3.1 ข้อมูลในส่วนแรกจะทราบปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุของรถยนต์ในระบบไฟฟ้า และสำหรับข้อมูลในส่วนที่ 2 จะทำให้เราทราบว่าในการใช้งานจริงแล้วรถยนต์ไฟฟ้าจะมีปริมาณประจุที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ (Stage of Charge) เป็นปริมาณเท่าใด เพื่อนำข้อมูลมาประเมินระยะเวลาในการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ส่วนที่ 3 จะเป็นสิ่งที่ถึงปริมาณหรือสัดส่วนของรถยนต์ไฟฟ้าที่คาดการณ์ว่าจะมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับสถิติการจดทะเบียนรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง โดยแยกตามประเภทของกรมการขนส่งทางบก และข้อมูลในส่วนที่ 4 จะเป็นการประเมินช่วงเวลาในการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งจะใช้ในการประเมินการรองรับความต้องการทางไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นของสถานีไฟฟ้าที่มีการจ่ายโหลดแบบปกติอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 พิกัดกำลังไฟฟ้าและการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า (Charging Power)

ในการพิจารณาพิกัดกำลังในการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว เครื่องอัดประจุจะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่แบตเตอรี่ภายในรถยนต์โดยตรง โดยเครื่องอัดประจุจะเป็นตัวกำหนดพิกัดกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุ

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้งานเครื่องอัดประจุแบบรวดเร็วรองรับมาตรฐาน CHAdeMO เนื่องจากในปัจจุบันรถยนต์ที่มีสัดส่วนปริมาณการใช้งานในประเทศไทยค่อนข้างสูงและมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูง อาทิเช่น Nissan Leaf ซึ่งมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วตามมาตรฐาน CHAdeMO และประกอบกับเครื่องอัดประจุในมาตรฐาน CHAdeMO จะมีมาตรการด้านความปลอดภัยสูงมาก โดยก่อนจะเริ่มทำการอัดประจุ เครื่องอัดประจุจะตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อในขณะนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอัดประจุและรถยนต์ไฟฟ้าสมบูรณ์ดีแล้ว รวมถึงตรวจสอบว่าสายเคเบิลและหัวต่อมีความเป็นฉนวนอย่างสมบูรณ์ โดยการอัดประจุไฟจะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการตรวจสอบและมั่นใจในความปลอดภัยแล้วเท่านั้น นอกจากนี้มาตรฐาน CHAdeMO ยังมีมาตรการด้านความปลอดภัยอื่นๆ เช่น การออกแบบโดยแยกวงจรขาออกกระแสตรงและวงจรตรวจสอบความบกพร่องของระบบดิน (Grounding Fault) ออกจากกัน, กลไกปลดล็อกหัวต่อขณะอัดประจุและมีโปรแกรมควบคุมโดยใช้ทั้งสัญญาณแอนะล็อกและดิจิทัล เป็นต้น



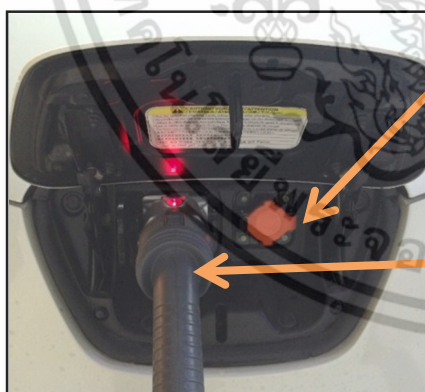
รูปที่ 3.1 รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf ที่รองรับมาตรฐาน CHAdeMO

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทางเทคนิคของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf (Technical Specification)

คุณลักษณะ	ข้อมูล
ขนาด (Dimension)	
ระยะความยาว (Length)	4.445 เมตร
ระยะความกว้าง (Width)	1.770 เมตร
ระยะความสูง (Height)	1.550 เมตร
ระยะห่างของล้อ	2.700 เมตร
ประสิทธิภาพ (Performance)	
ระยะทางขับที่	160 กิโลเมตร (US LA4 Mode)
ความเร็วสูงสุด	140 กิโลเมตร/ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะ	ข้อมูล
มอเตอร์ (Motor) รูปแบบ (Type) กำลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์) กำลังบิดสูงสุด (Nm)	AC Synchronous Motor 80 กิโลวัตต์ 280 Nm
แบตเตอรี่ (Battery) รูปแบบ (Type) ความจุพลังงาน (กิโลวัตต์ชั่วโมง) กำลังขาออกสูงสุด (กิโลวัตต์) ความหนาแน่นเชิงพลังงาน (Wh/kg) ความหนาแน่นเชิงกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์/kg) Rated capacity (0.3C) แรงดันเฉลี่ย จำนวนโมดูล ระยะเวลาในการอัดประจุ ตำแหน่งแบตเตอรี่	Laminated lithium-ion battery 24 Over 90 140 2.5 33.1 Ah 3.8 V 48 แบบรวดเร็วด้วยที่พิกัด 50 กิโลวัตต์(0-80%) : < 30 นาที แบบแรงดันกระแสสลับ 200 โวลต์ : < 8 ชั่วโมง ใต้ที่นั่งและบนพื้น



การอัดประจุแบบแรงดันปกติ
(AC Normal charge)

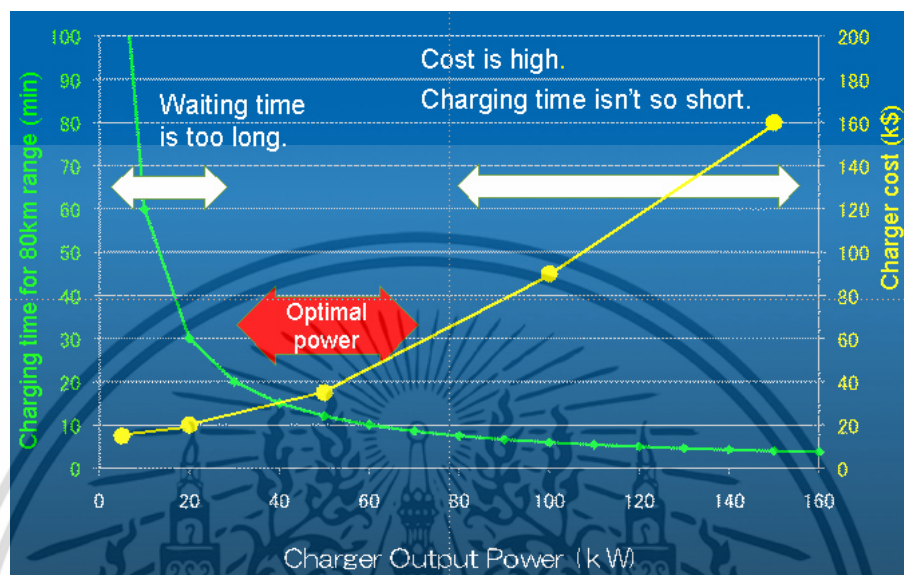
การอัดประจุแบบรวดเร็ว
(DC Quick charge)

รูปที่ 3.2 ช่องสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf

3.2.1 เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วรองรับมาตรฐาน CHAdeMO

จากการวิเคราะห์พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในสถานบริการอัดประจุสาธารณะ (Public Charging Station) พบว่าการอัดประจุที่พิกัดกำลังไฟฟ้า 50 กิโลวัตต์ นั้น เป็นค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งหากพิจารณาจากรูปที่ 3.3 พบว่าหากเลือกใช้งานพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุที่มากกว่า 50 กิโลวัตต์ ถึงแม้จะสามารถอัดประจุได้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่สั้นกว่า แต่มีต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูงโดยไม่เป็นสัดส่วนตามระยะเวลาที่สั้นลง และในทางกลับกันหากเลือกใช้งานพิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดประจุที่น้อยกว่า 50 กิโลวัตต์ ถึงแม้จะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการอัดประจุที่นานกว่า ซึ่งพบว่าไม่เหมาะสมสำหรับติดตั้งใช้งานในสถานีบริการอัดประจุสาธารณะ



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของเวลาและกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุ

สำหรับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วที่ใช้โดยทั่วไปนั้นในช่วงการอัดประจุ SOC ที่ 20-80 % จะใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที ในการอัดประจุแต่ละครั้งซึ่งมาตรฐานของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จะอยู่ในช่วงไม่เกิน 30 นาที โดยในการทดสอบกับรถยนต์ไฟฟ้าจริง คือ NISSAN LEAF ขนาดแบตเตอรี่ 24 กิโลวัตต์ชั่วโมง จะใช้เวลาในการอัดประจุเฉลี่ยที่ 22 นาทีที่ SOC 80 % เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปแสดงดังรูปที่ 3.4 และรายละเอียดของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบทั่วไปแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็ว (Technical Specification)

รายละเอียด	ข้อมูล
แรงดันไฟฟ้าขาออก	50 Vdc – 500 Vdc
กระแสไฟฟ้าขาออก	0 – 125 แอมป์
กำลังไฟฟ้าขาออก	50 กิโลวัตต์
การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน	เชื่อมต่อกับรถยนต์ : serial port 1 ช่อง เชื่อมต่อการควบคุม : serial 1 ช่อง LAN I/F
ระบบไฟฟ้า	200 โวลต์ ± 30 โวลต์ , 3 เฟส , 50/60 Hz
อุณหภูมิการทำงาน	-10 to + 40 c
ความชื้นสัมพัทธ์	30 – 90 %
ขนาด	1000mm (W) x 600mm (D) x 1900mm (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้แบบเรียนต้นฉบับการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ลักษณะเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วตามมาตรฐาน CHAdeMO

3.2.2 การอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วรองรับมาตรฐาน CHAdeMO

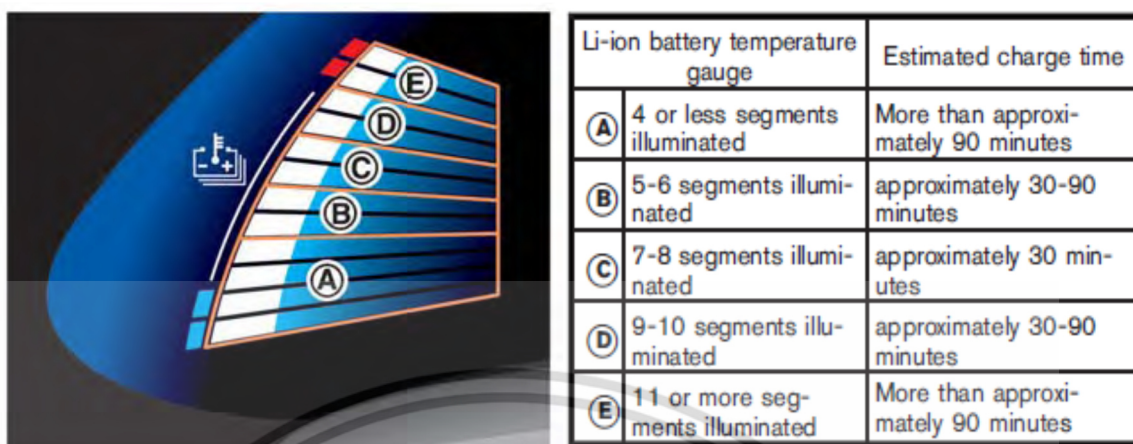
การอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วมาตรฐาน CHAdeMO โดยทั่วไปจะต้องได้รับค่าแรงดันและกระแสที่รถยนต์ต้องการส่งผ่านทางสายสื่อสาร เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องอัดประจุให้จ่ายกระแสตามที่รถยนต์ต้องการโดยจากรูปจะมีการอัดประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current : CC) ที่พิกัดกระแส 120 แอมป์ แรงดัน 380 โวลต์ ในช่วงแรก และจะลดกระแสลงในช่วงที่แบตเตอรี่มีค่าแรงดันและค่า %SOC สูงขึ้น ทั้งนี้รถยนต์จะทำการคำนวณค่ากระแสที่ต้องการจากค่าแรงดัน, อุณหภูมิ, %SOC และค่าอื่นๆเพื่อควบคุมการอัดประจุและสภาพให้เหมาะสมกับแบตเตอรี่ ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานที่ยืนยาวที่สุด และมีการตัดการทำงานในทันทีที่ผิดปกติผ่านการสื่อสาร ในรถยนต์โดยทั่วไปจะแนะนำให้ใช้งานเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วในย่าน % SOC ไม่เกิน 80% และในรถยนต์ก็จะมีระบบเตือนแบตเตอรี่หมดที่ 20% ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ดังนั้นการอัดประจุที่ใช้กันจึงอยู่ที่ %SOC ที่ 20-80 %

แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่จาก %SOC ที่ 20-80 % ปัจจัยที่สำคัญสำหรับระยะเวลาคือ อุณหภูมิและรูปแบบการอัดประจุ ซึ่งย่านอุณหภูมิจะต้องเป็นย่านที่เหมาะสม ดังในรูปที่ 3.6



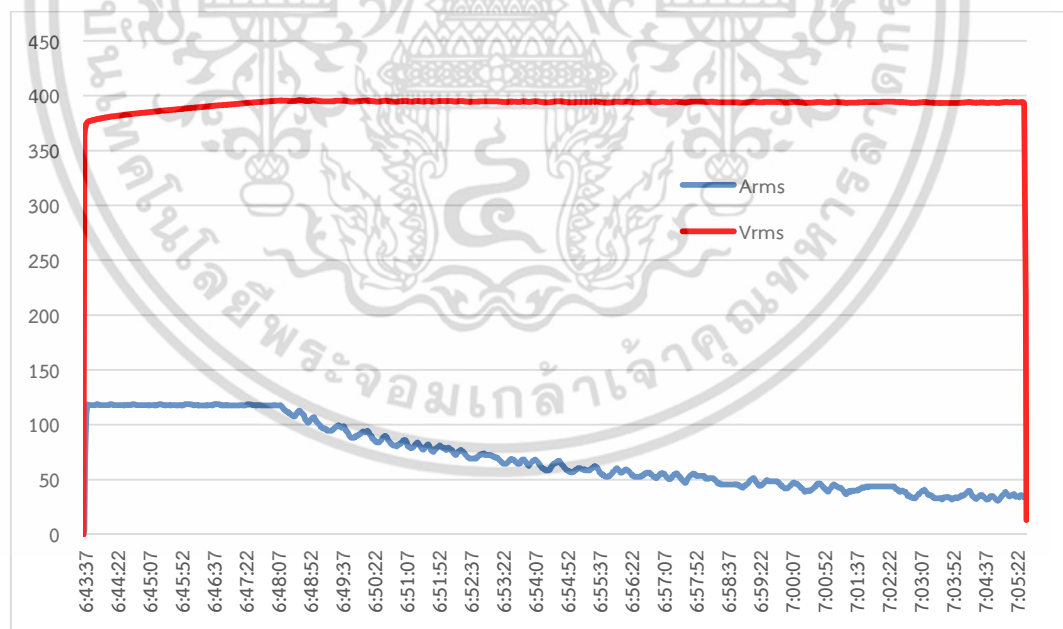
รูปที่ 3.5 การแจ้งเตือนของระบบเตือนแบตเตอรี่เมื่อ %SOC ต่ำกว่า 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



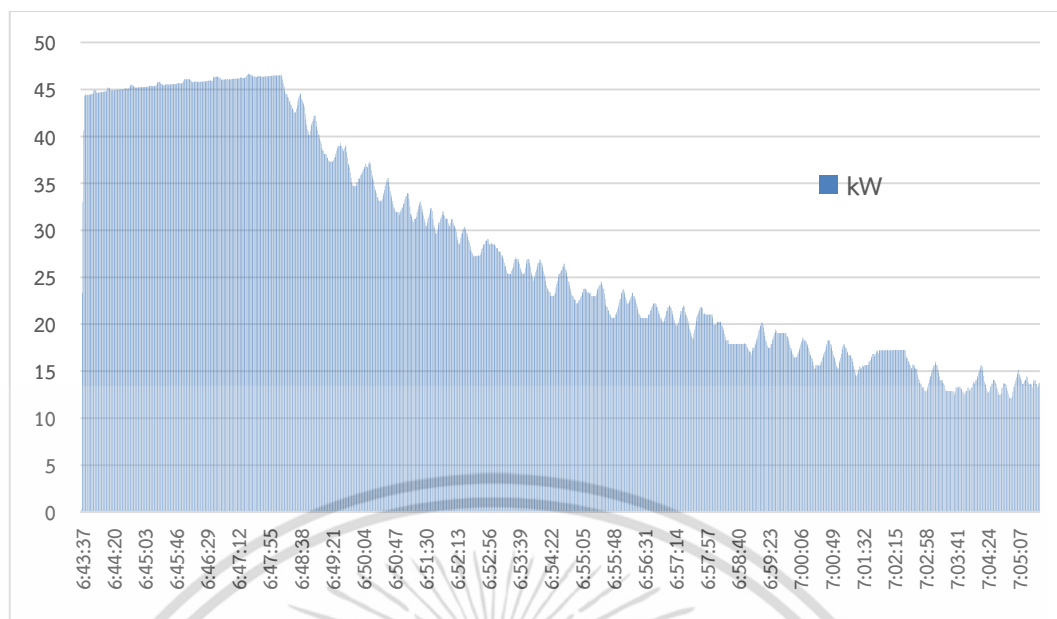
รูปที่ 3.6 ย่านการอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf

ในการอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วทั่วไปที่ SOC 20-80% แต่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า NISSAN LEAF ใช้เวลา 22 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้าไป 10.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง และจากการทดสอบจะวิ่งได้ระยะทาง 110 กิโลเมตร ผลการทดสอบแรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.6 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.7 และพลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.8

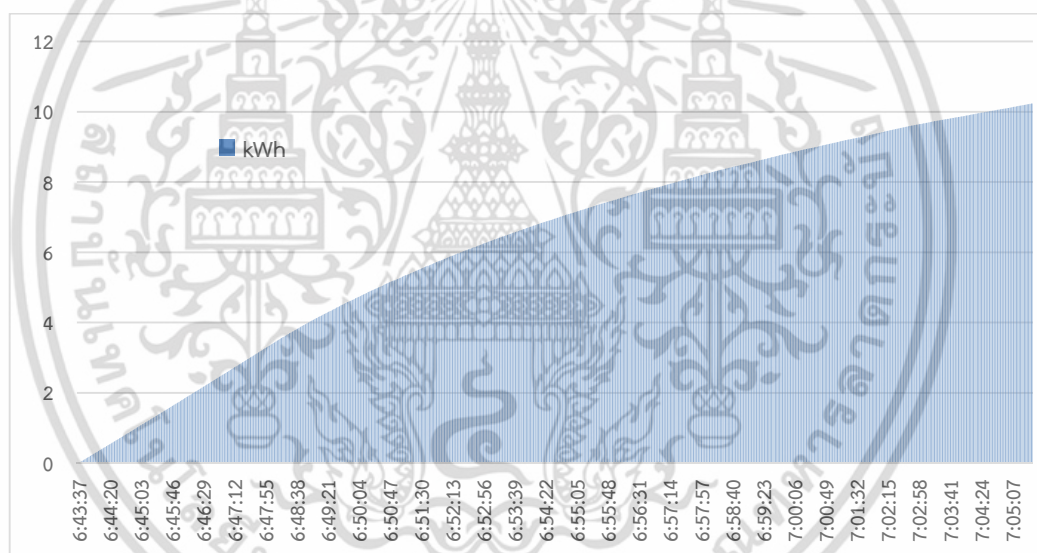


รูปที่ 3.6 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 20-80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



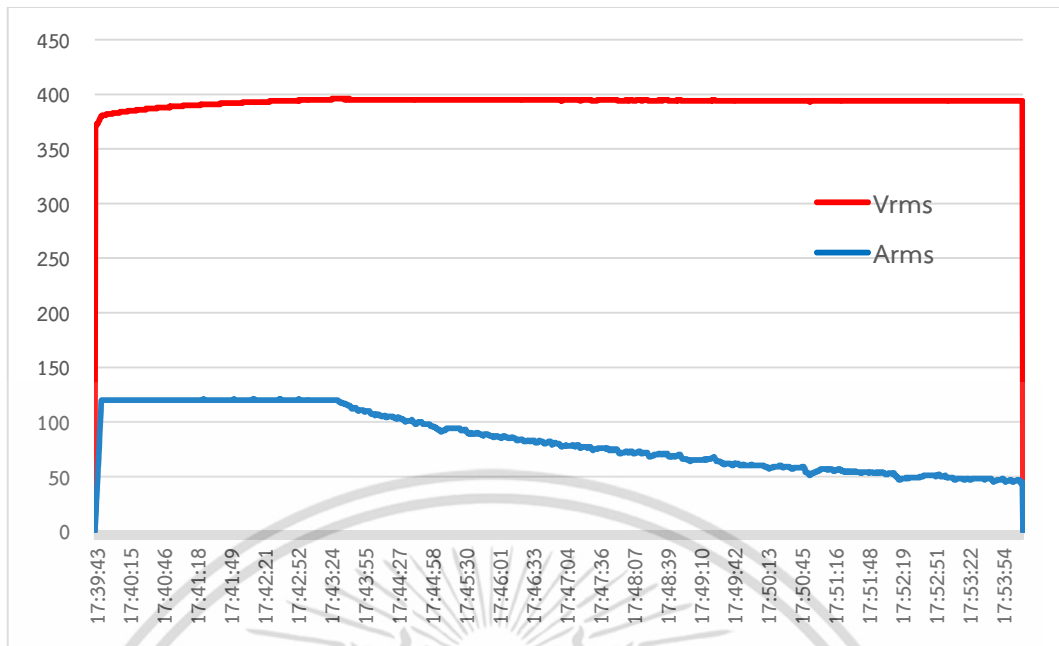
รูปที่ 3.7 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 20-80%



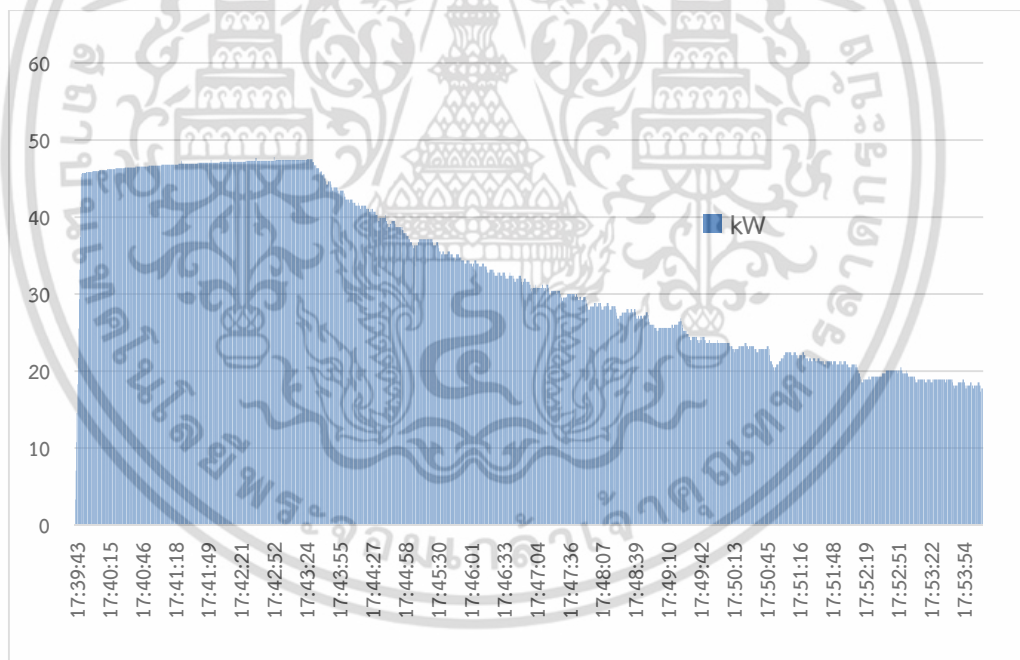
รูปที่ 3.8 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 20-80%

จากพฤติกรรมที่การอัดประจุที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบการอัดประจุที่ %SOC ที่แตกต่างกันออกไป เช่น SOC 35% ซึ่งในการอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วทั่วไปที่ SOC 35-80% แต่ ละครั้งสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า NISSAN LEAF ใช้เวลา 15 นาที ใช้พลังงานไฟฟ้าไป 7.8 กิโลวัตต์ชั่วโมง และจากการทดสอบจะวิ่งได้ระยะทาง 110 กิโลเมตร ผลการทดสอบแรงดันและกระแสการอัดประจุ แบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.9 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.10 และพลังงานไฟฟ้า การอัดประจุแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

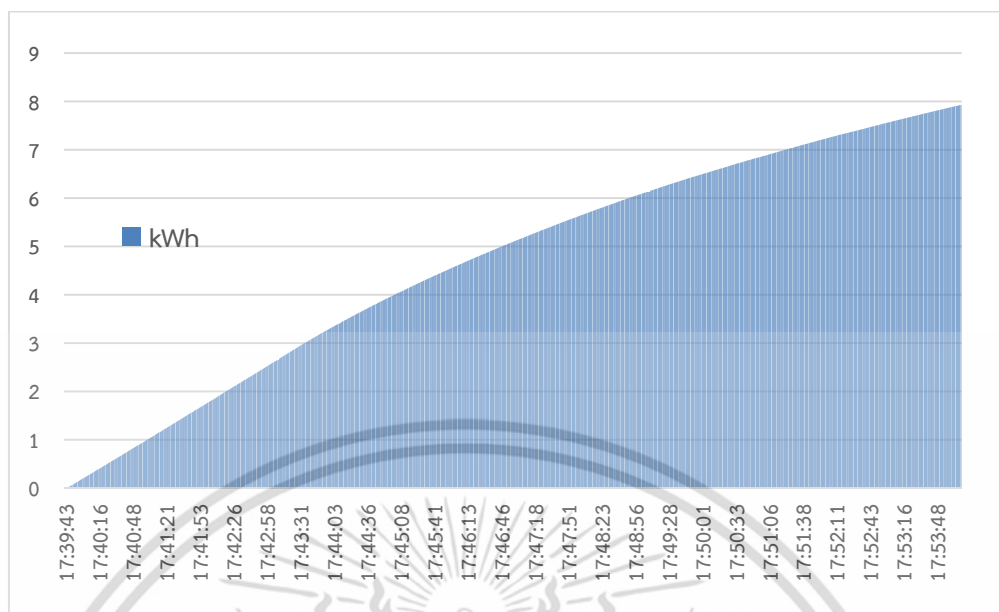


รูปที่ 3.9 แรงดันและกระแสการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 35-80%



รูปที่ 3.10 กำลังไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 35-80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 พลังงานไฟฟ้าการอัดประจุแบตเตอรี่ที่ SOC 35-80%



รูปที่ 3.12 การทดสอบเครื่องอัดประจุแบบรวดเร็ว

จากการพิจารณาในข้างต้น เมื่อเราทราบพิกัดกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุและลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) ของเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบเร็วแล้ว และนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาร่วมกับจำนวนรถยนต์ไฟฟ้า ก็จะสามารถประเมินความต้องการไฟฟ้าอันเกิดจากการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์ที่แตกต่างกันทำให้การอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละคันอาจมีระยะเวลาในการอัดประจุ และช่วงเวลาของการอัดประจุที่แตกต่างกัน ในแบบจำลองความต้องการไฟฟ้าง่ายๆ อาจต้องอาศัยข้อมูลเพิ่มเติมประกอบการจัดทำแบบจำลองด้วย เพื่อให้สะท้อนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าของประชาชนในความเป็นจริง

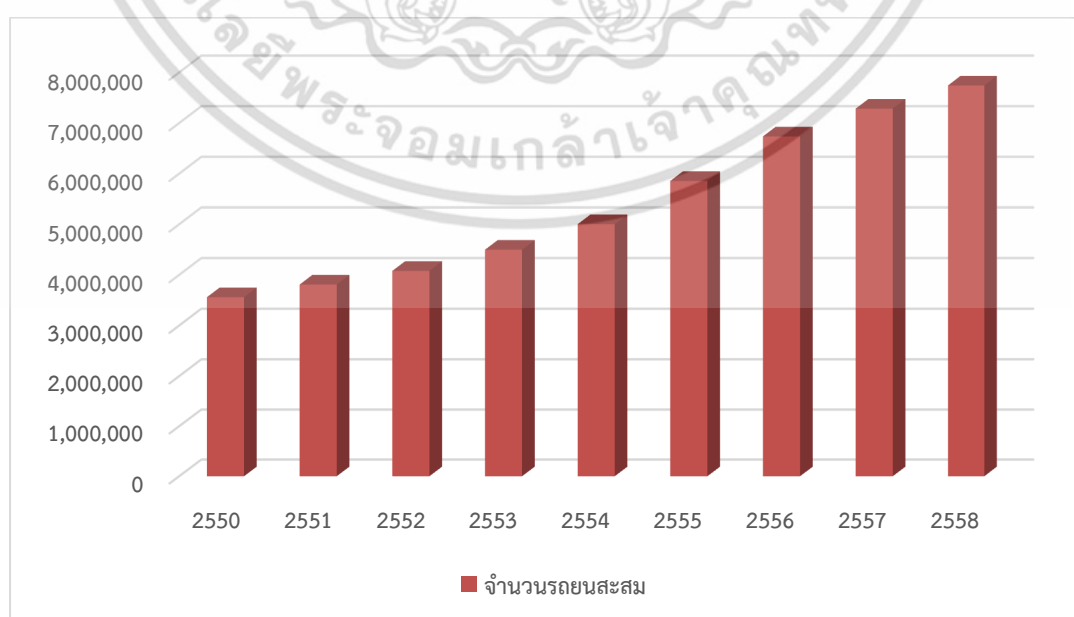
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การประเมินจำนวนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

จากการเพิ่มปริมาณการใช้รถไฟฟ้ามากขึ้นในอนาคต โดยคาดว่าจะมีการใช้งานรถไฟฟ้ามาก ถึง 5 ล้านคัน ภายในปี 2020 [8] เนื่องจากในปัจจุบันในประเทศไทยพบว่าปริมาณการใช้รถยนต์ ไฟฟ้ายังไม่เป็นที่แพร่หลาย เพื่อเป็นการประเมินการขยายตัวของจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต จึงใช้ ข้อมูลสถิติรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง ของประเทศไทยของกรมการขนส่งทางบก จะแบ่ง รถยนต์ออกเป็นหลายประเภทดังแสดงใน

ตารางที่ 3.4 สถิติรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง ของประเทศไทย

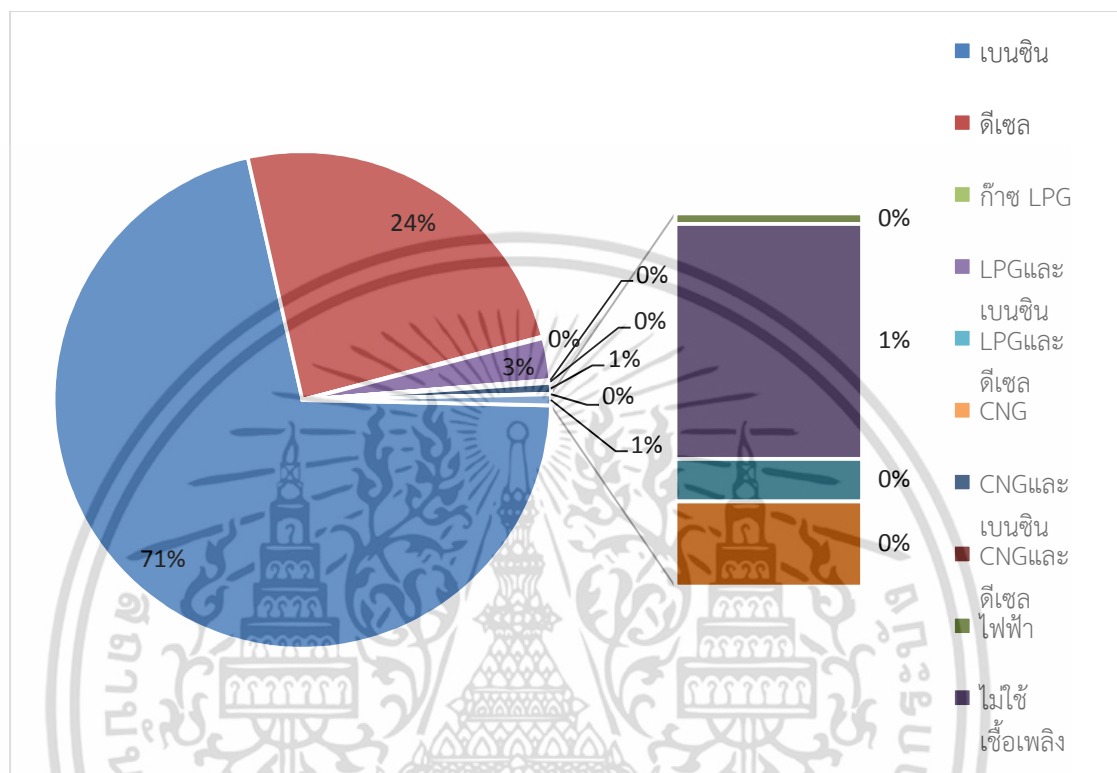
ปี	จำนวนรถยนต์สะสม (คัน)	เติบโต (%)
2550	3,560,222	6.99
2551	3,809,082	7.07
2552	4,078,547	10.26
2553	4,496,828	11.22
2554	5,001,442	17.10
2555	5,856,454	15.03
2556	6,736,562	8.13
2557	7,284,259	6.29
2558	7,742,434	10.26
2550	3,560,222	6.99
อัตราเพิ่มเฉลี่ย		10.26



รูปที่ 3.13 สถิติรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 ที่นั่ง ของประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2550 - 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมการขนส่งทางบก มิใช่เอกสารที่เผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของรถยนต์ในระบบเชื้อเพลิงซึ่งกรรมการขนส่งแบ่งประเภทไว้หลายชนิดเพื่อประโยชน์ในการจำแนกพฤติกรรมของผู้ใช้งานว่าเป็นรถยนต์ส่วนตัวหรือรถยนต์เพื่อการขนส่ง อย่างไรก็ตามรถยนต์ไฟฟ้านั้นยังคงมีเพียงจำนวนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง



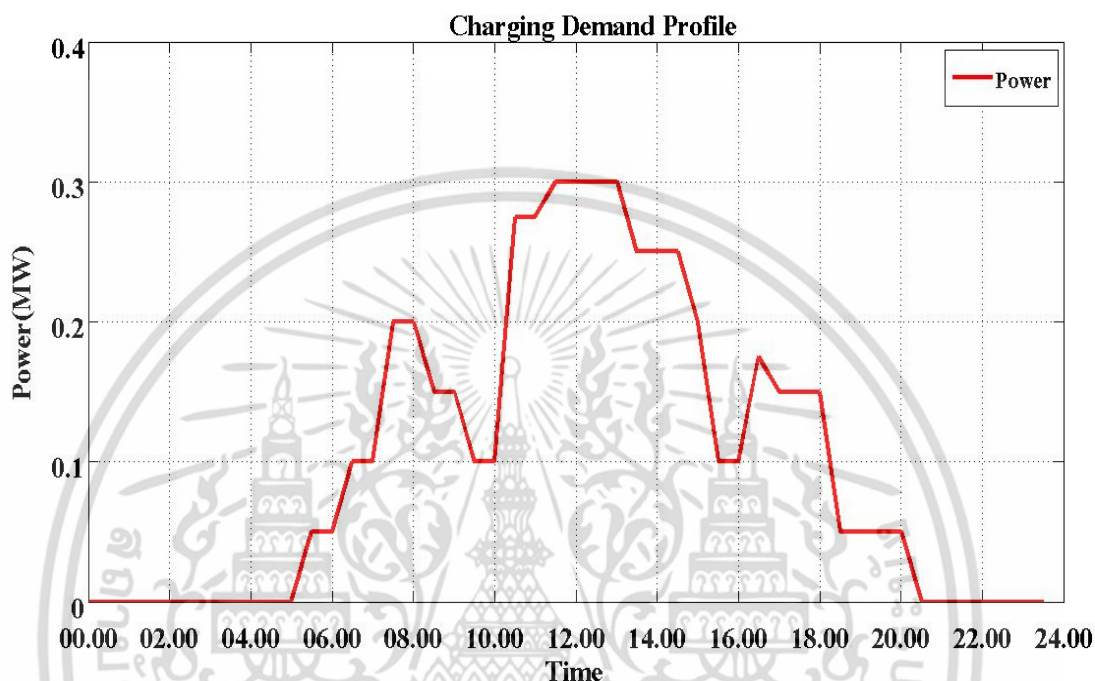
รูปที่ 3.14 สถิติจำนวนรถจำแนกตามชนิดเชื้อเพลิง ทั่วประเทศ

จากแผนพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของ กฟผ. (PEA Smart Grid) ซึ่งได้มีการจัดทำโครงการนำร่องในการพัฒนาโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี ดังนั้นในกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้จึงได้เลือกพื้นที่เมืองพัทยา เป็นพื้นที่ในการจำลองการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้าและจากประเภทของรถยนต์ไฟฟ้าข้างต้น หากเราพิจารณาว่าสัดส่วนจำนวนของรถยนต์ไฟฟ้า 0.019% หากเราตั้งสมมติฐานว่าพฤติกรรมการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้บริโภคนั้นมีลักษณะที่ไม่แตกต่างจากรถยนต์ในระบบเชื้อเพลิงมากนัก เราก็จะสามารถพิจารณาได้ว่าสัดส่วนของจำนวนรถยนต์ในระบบเชื้อเพลิงตามการแยกประเภทของกรรมการขนส่งทางบกจะมีลักษณะที่เหมือนกันกับสัดส่วนของรถยนต์ไฟฟ้า หากเราทราบสถิติปริมาณรถยนต์ในระบบเชื้อเพลิงตามประเภทที่พิจารณาเทียบเท่ารถยนต์ไฟฟ้า เราก็จะสามารถประเมินสัดส่วนของรถยนต์ไฟฟ้าได้จากสัดส่วนของรถยนต์ระบบเชื้อเพลิง รูปที่ 3.13 แสดงสถิติของรถยนต์จดทะเบียนสะสมย้อนหลังตั้งแต่ปี 2550 - 2558 จากข้อมูลดังกล่าวเราสามารถหาสัดส่วนรถยนต์ในแต่ละประเภทต่อปี และนำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยจะได้สัดส่วนรถยนต์แยกตามประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ช่วงเวลาในการเชื่อมต่อของรถยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า

สำหรับการอัดประจุในหนึ่งสถานีนั้นค่อนข้างมีความแตกต่าง อันเป็นสาเหตุอันเนื่องมาจากตำแหน่งที่มีการติดตั้งสถานีอัดประจุ ราคาค่าไฟฟ้า หรือพฤติกรรมการขับขี่ที่แตกต่างกันไปตามผู้ใช้งานแต่ละประเภท ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้จำลองการอัดประจุไฟฟ้าให้มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับการเติมก๊าซของรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง [4] โดยมีช่วงเวลาและปริมาณในการเข้าทำการอัดประจุ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การจำลองพฤติกรรมอัดประจุแบตเตอรี่

3.5 ระยะทางการใช้งานเฉลี่ยของรถยนต์ไฟฟ้าและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

จากการที่ กฟภ. ได้ดำเนินการจัดซื้อรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf มาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเก็บผลการทดสอบการใช้งานจริง โดยมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่ความเร็วเฉลี่ย 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง และเปิดแอร์ที่ 25 °C ผลดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลอัตราสิ้นเปลืองของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf

วันที่ใช้งาน	ระยะทางใช้งาน(km)	หน่วยไฟฟ้าในการอัดประจุ (kWh)	อัตราสิ้นเปลือง (kWh/km)
1-31 ม.ค. 57	262	46	0.18
1-28 ก.พ. 57	430	98	0.23
1-31 มี.ค. 57	379	90	0.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ใช้งาน	ระยะทางใช้งาน (km.)	หน่วยไฟฟ้าในการอัดประจุ (kWh)	อัตราสิ้นเปลือง (kWh/km.)
1-30 เม.ย. 57	191	46	0.24
1-31 พ.ค. 57	227	60	0.26
1-30 มิ.ย. 57	387	110	0.28
1-31 ก.ค. 57	384	106	0.28
1-31 ส.ค. 57	695	184	0.26
1-30 ก.ย. 57	461	128	0.28
1-31 ต.ค. 57	100	18	0.18
1-30 พ.ย. 57	284	82	0.29
1-31 ธ.ค. 57	194	50	0.26
1-31 ม.ค. 58	51	20	0.39
1-28 ก.พ. 58	78	22	0.28
1-3 มี.ค. 58	144	42	0.29

จากการทดสอบพบว่ารถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานอยู่ที่ 0.26 kWh/km และเนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นพลังงานขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf นั้นมีความจุพลังงานอยู่ที่ 24 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งทำให้สามารถประเมินระยะทางในการขับเคลื่อนต่อการอัดประจุเต็มอยู่ที่ระยะทางประมาณ 100 กิโลเมตร และเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการจำลองการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ซึ่งควรมีระยะห่างแต่ละสถานีไม่เกิน 100 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การประเมินผลกระทบของสถานีอัดประจุต่อระบบจำหน่าย

การอัดประจุแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ในปัจจุบันสามารถใช้ได้กับทั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ โดยทั่วไประบบการอัดประจุแบบรวดเร็วใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที และในระบบอัดประจุแบบแรงดันปกติ(Normal Charging) ใช้เวลาประมาณ 5 - 8 ชม. ซึ่งปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าคือการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้าที่มากขึ้นในอนาคต จากการอัดประจุแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้โหลดในวงจรเพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งโหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ความต้องการภาระไฟฟ้าสูงสุด รวมถึงค่าดัชนีความมั่นคงในการจ่ายกระแสไฟของระบบไฟฟ้า โดยจากปัญหาดังกล่าวทำให้หน่วยงานที่มีหน้าที่วางแผนการจ่ายกระแสไฟฟ้าต้องหาวิธีแก้ไขด้วยวิธีต่างๆ อาทิเช่น การติดตั้ง คาปาซิเตอร์แรงสูง การปรับปรุงเพิ่มสายป้อน/แบ่งจ่ายโหลด การติดตั้งหม้อแปลงปรับแรงดัน (AVR) เพื่อควบคุมแรงดันตก กำลังไฟฟ้าสูญเสีย เพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่ายโหลดให้กับสถานีไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างสูง

ในบทนี้เป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดจากการของการอัดประจุไฟฟ้าแบบรวดเร็วของสถานีบริการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อระบบจำหน่ายที่การจากพฤติกรรมการอัดประจุที่แตกต่างกัน โดยในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังจะอาศัยวิธีการวิเคราะห์ของไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Analysis)

4.1 ระบบที่ใช้ศึกษา

ระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นการเชื่อมต่อของสถานีอัดประจุแบบรวดเร็วเข้ากับระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ. โดยการจำลองติดตั้งในพื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี โดยพิจารณาพฤติกรรมการอัดประจุแบตเตอรี่จากการจำลองความต้องการไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบบรวดเร็ว ซึ่งจะทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ. และในการวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายจะทำการวิเคราะห์ในประเด็นต่างๆ ต่อไปนี้

- วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow analysis)
- วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านแรงดันไฟฟ้าในระบบ (Voltage analysis)
- วิเคราะห์ผลกระทบการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Analysis)

4.1.1 ระบบจำหน่าย 22 kV พื้นที่เมืองพัทยา จ.ชลบุรี

ในงานวิจัยนี้จึงได้จำลองการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วในพื้นที่เมืองพัทยา ซึ่งเป็น 1 ใน 4 พื้นที่เป้าหมายของ กฟภ. ที่จะมีแผนการดำเนินการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สาธารณะ โดยมีสถานีไฟฟ้าพัทยาเหนือจ่ายกระแสไฟฟ้าในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองพัทยา ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้า 115/22 kV โดยรับกระแสไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV แล้วจ่ายกระแสไฟฟ้าระดับแรงดัน 22 kV โดยมีรูปแบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองพัทยาดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนผังการจ่ายกระแสไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าพทยาเหนือ Feeder 4

เนื่องจากพื้นที่การจ่ายกระแสไฟฟ้าของเมืองพทยาเป็นระบบไฟฟ้าในพื้นที่ 2 (พื้นที่เทศบาลนคร เทศบาลเมือง และเทศบาลตำบล ที่เป็นพื้นที่ธุรกิจ หรือพื้นที่สำคัญพิเศษ) ซึ่งหลักเกณฑ์ทั่วไปของระบบไฟฟ้า[9] ดังต่อไปนี้

1) เกณฑ์ด้านแรงดัน (Voltage Criteria)

ตารางที่ 4.1 แรงดันพิกัดในกรณีปกติและกรณีฉุกเฉิน

แรงดันพิกัด	หน่วย : โวลต์			
	กรณีปกติ		กรณีฉุกเฉิน	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
22,000	20,900	23,100	19,800	24,200
380	342	418	342	418
220	200	240	200	240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เกณฑ์ด้านพิกัดการรับโหลด (Loading Criteria)

ตารางที่ 4.2 พิกัดการรับโหลดในกรณีปกติและกรณีฉุกเฉิน

อุปกรณ์	กรณีปกติ	กรณีฉุกเฉิน
สายส่ง		
- เรเดียล	80% พิกัด	100% พิกัด ไม่จำกัดเวลา
- วงรอบ	50% พิกัด	100% พิกัด ไม่จำกัดเวลา
สายจำหน่ายแรงสูง		
- เรเดียล	80% พิกัด	100% พิกัด ไม่จำกัดเวลา
- วงรอบ	50% พิกัด	100% พิกัด ไม่จำกัดเวลา
สายจำหน่ายแรงต่ำ	80% พิกัด	100% พิกัด ไม่จำกัดเวลา
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	75% พิกัด	100% พิกัด ไม่จำกัดเวลา
		112% พิกัด ภายใน 4 ชั่วโมง
หม้อแปลงจำหน่าย	80% พิกัด	100% พิกัด ไม่จำกัดเวลา

3) เกณฑ์การกำหนดจำนวนวงจรสูงสุดต่อต้นเสา

จำนวนวงจรของทั้งสายส่งและสายจำหน่ายที่จะติดตั้งบนเสาไฟฟ้าของ กฟภ. จะมีผลต่อการวางแผน การปฏิบัติงาน และการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ในด้านต่างๆ ได้แก่ ความมั่นคง ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ความปลอดภัย ความสะดวกในการปฏิบัติงาน ขนาดและจำนวนเสาไฟฟ้า เงินลงทุนความสวยงาม เป็นต้น กฟภ. จึงกำหนดจำนวนวงจรตามหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

จำนวนวงจรสูงสุด = 2 วงจรต่อระดับแรงดันต่อเสาไฟฟ้าหนึ่งต้นเสา

ทั้งนี้ หากมีความจำเป็นต้องเพิ่มสายมากกว่า 2 วงจรต่อระดับแรงดันต่อเสาไฟฟ้าหนึ่งต้น ให้พิจารณาก่อสร้างสายจำหน่ายเป็นแบบเคเบิลใต้ดิน หรือพิจารณาก่อสร้างสถานีไฟฟ้าเพิ่มเติมตามความเหมาะสมในแต่ละกรณี

4) เกณฑ์เกี่ยวกับสถานีไฟฟ้า 115/22 kV

4.1 ขนาดสถานีไฟฟ้า : 2 x 50 MVA (Two 30/40/50 OA/FA/FA Transformer)

4.2 พิกัดและขีดความสามารถของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

จากเกณฑ์ด้านพิกัดการรับโหลด กำหนดให้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังรับโหลดกรณีปกติ 75% ของพิกัด ส่วนกรณีฉุกเฉิน 100% ของพิกัดไม่จำกัดเวลา และ 112% ของพิกัดภายใน 4 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ขีดความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าของหม้อแปลง

หน่วย : MVA

ขนาดพิกัด หม้อแปลง	ขีดความสามารถ	
	ตามเกณฑ์ N-1	ตามเกณฑ์ N-0
1 x 12.5	-	9
2 x 12.5	14	19
1 x 25	-	19
2 x 25	28	38
1 x 50	-	38
2 x 50	56	75

หมายเหตุ : ตามเกณฑ์ N-1 เป็นพิกัดสำหรับจ่ายไฟภายใน 4 ชั่วโมง

5) เกณฑ์เกี่ยวกับระบบจำหน่าย

5.1) ระบบจำหน่ายแรงสูง

1) สายจำหน่ายแรงสูง พิกัดโหลดปกติของสายจำหน่ายแรงสูงสายหลัก (Main Feeder)

- โหลดปกติของวงจร 22 kV ไม่เกิน 8 MVA

2) ชนิดสาย

สายจำหน่ายแรงสูงของ กฟภ. มี 3 ชนิด ได้แก่ สายเปลือย สายหุ้มฉนวน และสายเคเบิลใต้ดิน สายแต่ละชนิดมีข้อกำหนดในการใช้งานดังนี้

ตารางที่ 4.4 ข้อกำหนดการใช้งานของสายแต่ละประเภท

ชนิดสาย	ข้อกำหนดการใช้งาน
สายเปลือย	- พื้นที่โล่ง พื้นที่มีต้นไม้ไม่หนาแน่นมาก - พื้นที่ที่มีปัญหาลมภาวะไม่เหมาะสมจะใช้สายชนิดอื่น
สายหุ้มฉนวน	- เขตเมืองชุมชนหนาแน่น นิคมอุตสาหกรรม พื้นที่อุตสาหกรรมที่มีปัญหาไฟดับบ่อยครั้งซึ่งมี สาเหตุหลักมาจากปัญหา คน สัตว์ ต้นไม้ - ระบบจำหน่ายมีปัญหาระยะห่างจากตัวอาคารหรือแผ่นป้าย โฆษณา หรืออยู่ในถนนแคบ ไม่ได้มาตรฐานความปลอดภัย - ระบบสายจำหน่ายที่อยู่ใต้แนวสายส่ง
สายเคเบิลใต้ดิน	- พื้นที่ที่มีปัญหาทางเทคนิคจนไม่สามารถก่อสร้างระบบสายเหนือดิน (Overhead line system) เช่น บริเวณหน้าสถานีไฟฟ้า เป็นต้น - พื้นที่ที่ต้องการความมั่นคง ความปลอดภัย ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าสูง - พื้นที่ที่ต้องการความสวยงามของภูมิทัศน์เป็นพิเศษ - พื้นที่ที่มีความพร้อมในการลงทุน - พื้นที่ที่กฎหมายบังคับให้ก่อสร้างแบบสายใต้ดินหรือไม่อนุญาตให้ก่อสร้างสายเหนือดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ขนาดสาย

- สายเปลือย และสายหุ้มฉนวน ขนาด 50 ต.มม. ต.มม. (พิกัดกระแส 180 A) และ 185 ต.มม. (พิกัดกระแส 410 A)
- สายเคเบิลใต้ดิน ตัวนำทองแดง หุ้มฉนวน XLPE ขนาด 240 ต.มม. และ 400 ต.มม.

5.2) หม้อแปลงจำหน่าย การใช้งานหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) เป็นไปตามหลักเกณฑ์ดังนี้

- 1) ชีตความสามารถ กรณีจ่ายไฟปกติ โหลดสูงสุดของหม้อแปลงจำหน่ายไม่เกิน 80% ของพิกัด
- 2) ตำแหน่งติดตั้ง หม้อแปลงจำหน่ายพิจารณาตั้งใกล้ศูนย์กลางโหลดมากที่สุด

4.2 การจำลองความต้องการทางไฟฟ้าและตำแหน่งการติดตั้งสถานีอัดประจุแบบรวดเร็ว

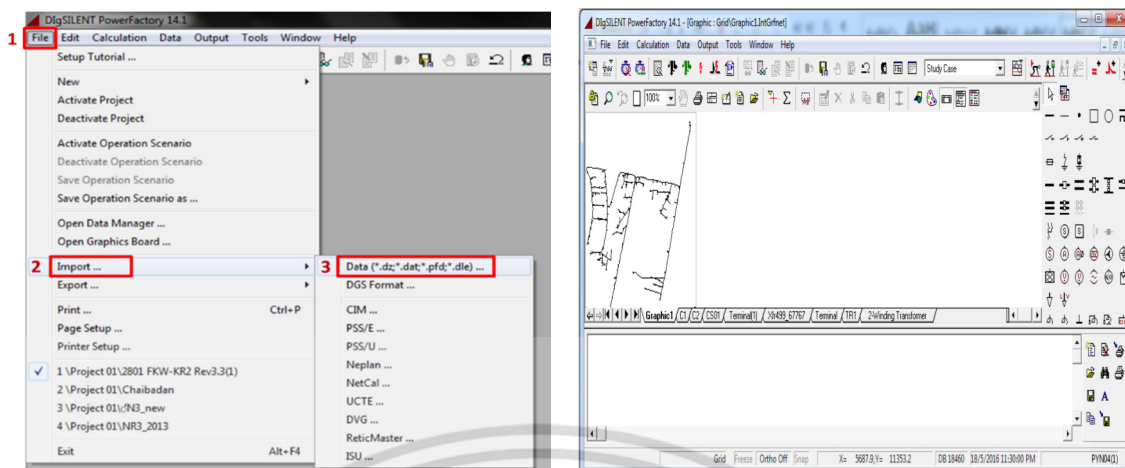
4.2.1 การจำลองความต้องการทางไฟฟ้าจากการอัดประจุแบบรวดเร็ว

การสร้างโมเดลจำลองในโปรแกรม DigSILENT จะใช้ข้อมูลจริงจากสถานีไฟฟ้ามาทำการวิเคราะห์เพื่อให้ผลที่ได้มีความเหมือนจริงมากที่สุด โดยการสร้างโมเดลการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุแบบเตอริ์แบบรวดเร็วเข้ากับระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ. ที่สถานีไฟฟ้าพญาเหนือ ฟีดเดอร์ที่ 4 (PYN04) ในส่วนของโมเดลฟีดเดอร์ PYN04 นั้น จะนำข้อมูลมาจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ของ กฟภ. โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ระบบภูมิสารสนเทศระบบไฟฟ้า โดยใช้โมดูล Network Analysis and Power Flow Modeling ในการ Export ข้อมูลและพารามิเตอร์ของฟีดเดอร์ PYN04 ดังรูปที่ 4.2 และนำข้อมูลที่ Export ได้จากระบบ GIS ป้อนเข้าสู่โปรแกรม DigSILENT ดังรูปที่ 4.3



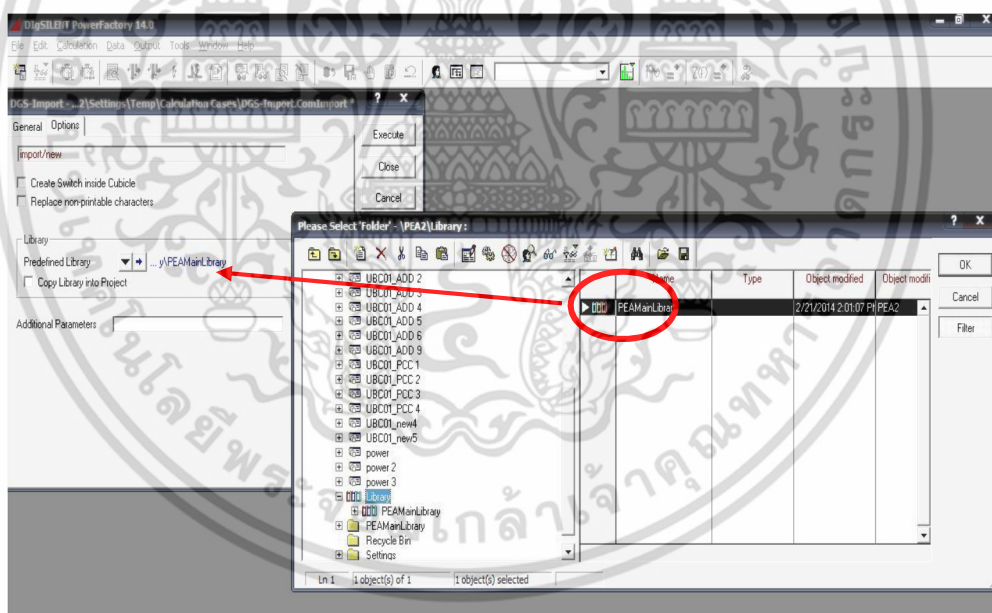
รูปที่ 4.2 โมดูล Network Analysis and Power Flow Modeling ของระบบ GIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การนำข้อมูลที่ Export ได้จากระบบ GIS ป้อนเข้าสู่โปรแกรม DigSILENT

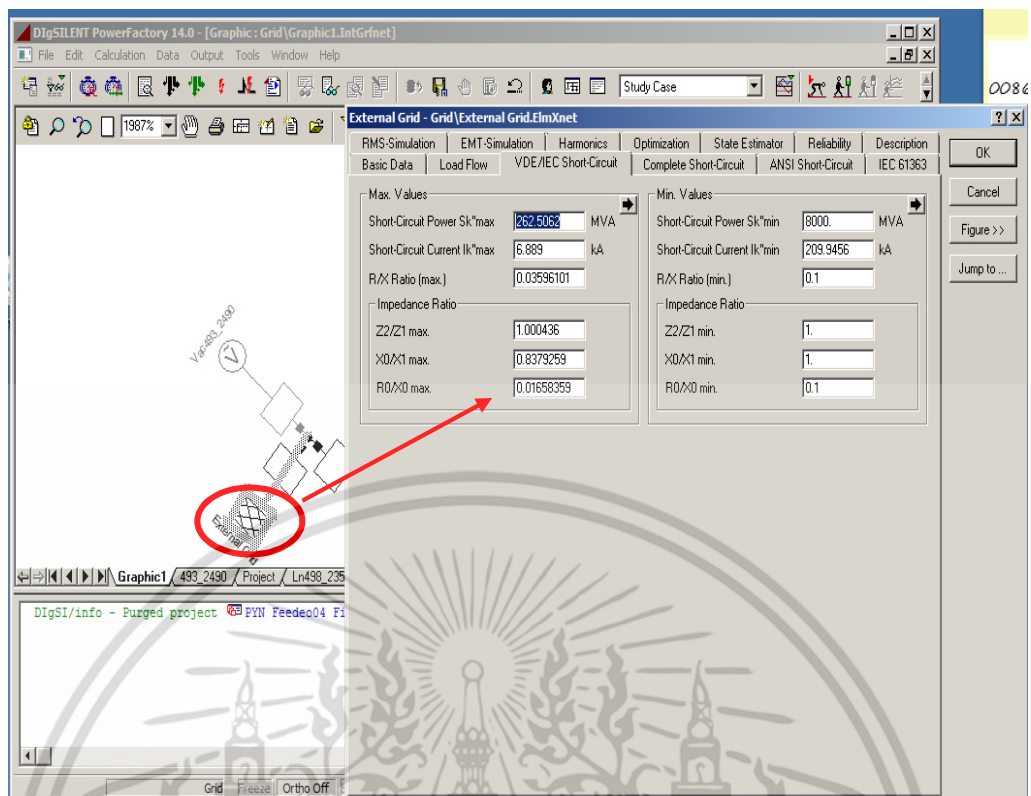
สำหรับค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลง พิวส์แรงสูง และสายส่งในระบบจำหน่ายของฟีดเดอร์ PYN04 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในโปรแกรม DigSILENT นั้น จะใช้ตามมาตรฐานของ กฟผ. โดยใช้ PEA Main Library ในการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับฟีดเดอร์ PYN04 ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การใช้ PEA Main Library ตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับฟีดเดอร์ PYN04

การสร้างโมเดลจำลองของสถานีไฟฟ้าพทยาเหนือ จะใช้เครื่องมือในโปรแกรม DigSILENT สร้าง External Grid เพื่อกำหนดให้เป็นสถานีไฟฟ้า และตั้งค่าเป็น Slack bus (Swing or Reference bus) ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าและมุมเฟสที่คงที่ ส่วนกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (Active power) และกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive power) ยังไม่ทราบค่า เนื่องจากขึ้นอยู่กับปริมาณโหลดใน ฟีดเดอร์ซึ่งต้องมีการกำหนดค่าโหลดในฟีดเดอร์ ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การสร้างและตั้งค่าให้กับสถานีไฟฟ้าพญาเหนือในโมเดลจำลอง

สำหรับค่าพารามิเตอร์ของสถานีไฟฟ้าพญาเหนือ จะใช้ข้อมูลค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. [10] เพื่อนำไปตั้งค่าให้กับ External Grid เพื่อให้การวิเคราะห์ในโปรแกรม DigSILENT มีความเสมือนจริงมากที่สุด ดังตารางที่ 4.5

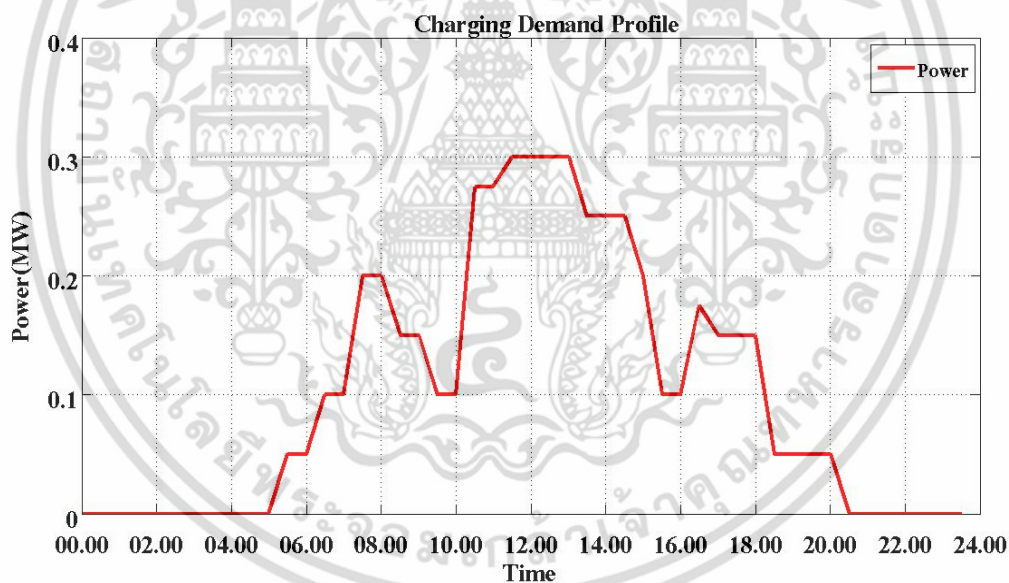
ตารางที่ 4.5 การตั้งค่ากระแสลัดวงจรให้กับ External Grid

พารามิเตอร์ของ External Grid	ค่าพารามิเตอร์
Short-Circuit Power $S_{k(max)}$	262.5062 MVA
Short-Circuit Current $I_{k(max)}$ หรือ 3 phase fault	6.889 kA
R_1/X_1	0.03596101
Z_2/Z_1	1.000436
X_0/X_1	0.8379259
R_0/X_0	0.01658359

จากการศึกษาปริมาณความต้องการไฟฟ้าของระบบอันเนื่องมาจากการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อประเมินถึงการใช้งานของระบบไฟฟ้าในอนาคต เพื่อรองรับพฤติกรรมความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นการสร้างแบบจำลองของโหลดอันเนื่องมาจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้านั้น โดยใช้สมมติฐานเพื่อนำมากำหนดรูปแบบการอัดประจุของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจากเครื่องอัดประจุแบบเร็ว เนื่องจากการอัดประจุในรูปแบบดังกล่าวเหมาะสำหรับการใช้งานในสถานีบริการอัดประจุสาธารณะ (Public Charging Station) และเนื่องสำหรับการอัดประจุในหนึ่งสถานีนั้นค่อนข้างมีความแตกต่างกันเป็นสาเหตุอันเนื่องมาจากตำแหน่งที่มีการติดตั้งสถานีอัดประจุหรือราคาค่าไฟฟ้า โดยในการจำลองพฤติกรรมของการอัดประจุที่ใกล้เคียงกับการเติมแก๊สในสถานีเติมแก๊สของรถยนต์ในรูปแบบที่ 4.6 ซึ่งสามารถกำหนดได้โดย

- 1) ไม่มีการอัดประจุแบบรวดเร็ว (Quick charge) ในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากสามารถทำการอัดประจุแบบแรงดันปกติ (Normal Charge)
- 2) ขนาดของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าใช้ที่พิกัด 24 kWh (Nissan Leaf)
- 3) กระบวนการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นจะทำการอัดประจุที่ 20% SOC ถึง 80% SOC ภายในเวลาไม่เกิน 22 นาที
- 4) ในแต่ละสถานีจะประกอบไปด้วยเครื่องอัดประจุแบบเตอริแบบรวดเร็วจำนวน 6 เครื่อง โดยพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเครื่องคือ 50 kW (CHAdeMO) ติดตั้งทั้งหมด
- 5) เมื่อแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้ามี SOC 20% ให้ทำการอัดประจุที่สถานีทันที
- 6) ระยะทางขับเคลื่อนของเฉลี่ยอยู่ที่ 100 กิโลเมตร



รูปที่ 4.6 การจำลองพฤติกรรมของการอัดประจุแบตเตอรี่

การสร้างโมเดลสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ในโปรแกรม DigSILENT จะสร้างโหลดของระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.7 โดยต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในโปรแกรมดังต่อไปนี้

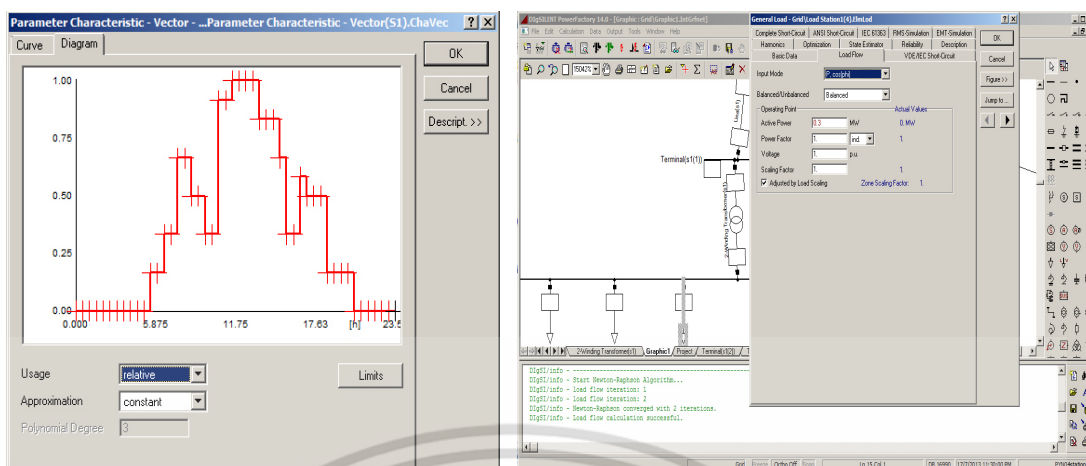
Balance/Unbalance ใช้กำหนดประเภทของโหลดว่าเป็นชนิดสมดุลหรือไม่สมดุล

Active Power, Reactive Power ใช้กำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า

Scaling Factor ใช้ปรับขนาดของโหลดให้เหมาะสมกับความเป็นจริง

Voltage ใช้การบ่งบอกค่าขนาดแรงดันที่ตัวโหลดมีหน่วยเป็น Per Unit

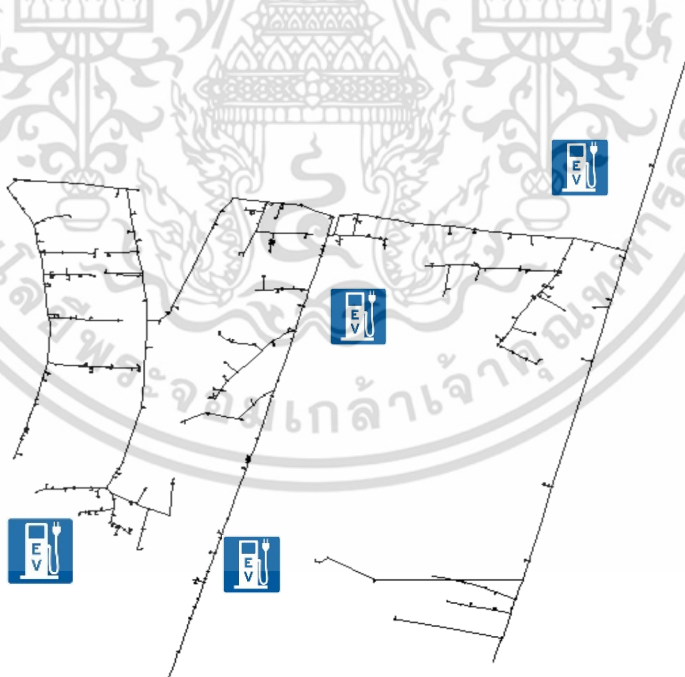
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การสร้างโมเดลสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ในโปรแกรม DigSILENT

4.2.2 ตำแหน่งการติดตั้งสถานีประจุแบบรวดเร็ว

จากทดสอบการใช้งานจริงของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf สามารถวิ่งได้ระยะทางเฉลี่ยประมาณ 100 km. ต่อการอัดประจุเต็ม 1 ครั้ง ทำให้ในการจำลองติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ควรมีระยะห่างไม่เกิน 100 km. แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ในพื้นที่ที่มีศักยภาพในการใช้งานสูง มีการจราจรคับคั่ง และพื้นที่ที่ส่งเสริมให้มีการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

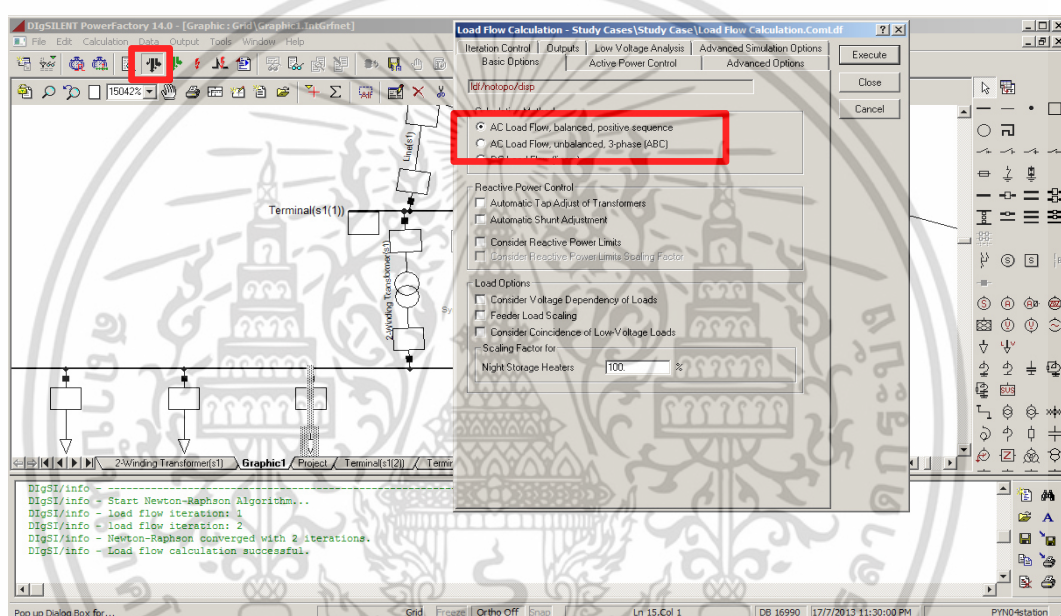


รูปที่ 4.8 ตำแหน่งการจำลองติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่

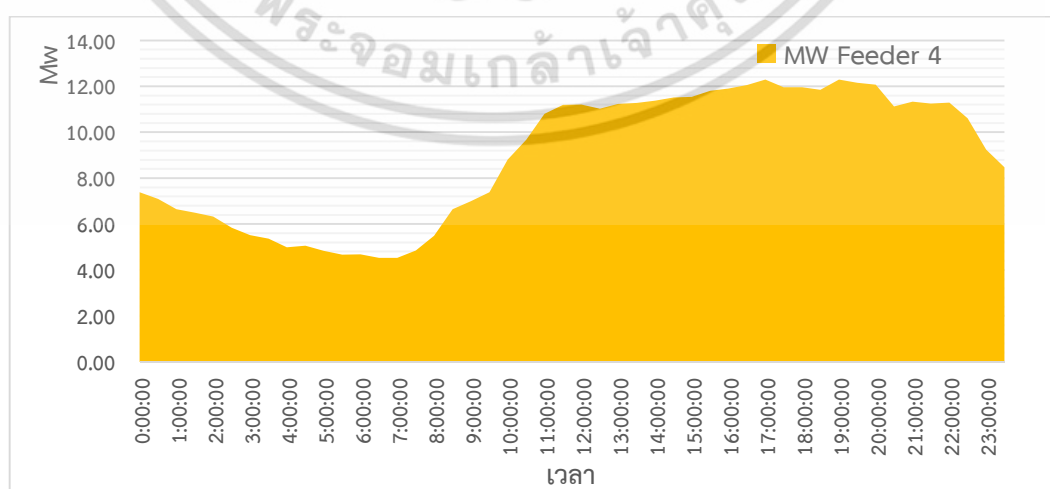
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของสถานีอัดประแบตเตอรี่แบบรวดเร็วต่อระบบจำหน่าย

โดยในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ด้วยโปรแกรม DigSILENT ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวสามารถคำนวณโดยใช้ฟังก์ชัน Calculation Load Flow และจะใช้ข้อมูลการจ่ายกระแสไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าพทยาเหนือและแรงดันไฟฟ้าใน Feeder 4 ดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 ซึ่งสถานีไฟฟ้าพทยาเหนือประกอบไปด้วยหม้อแปลง 115 kV/22 kV โดยเป็นวงจรที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าในเขตเทศบาลเมืองพทยา โดยใช้สายป้อนหลัก(Main Feeder) ขนาด 185 mm² และ 50 mm² ซึ่งมีพิกัดของกระแสใช้งานที่ 410 A และ 180 A ตามลำดับ โดยทำการวิเคราะห์ความสามารถในการจ่ายโหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ แรงดันไฟฟ้า และความต้องการภาระไฟฟ้าสูงสุด โดยอาศัยโปรแกรม DigSILENT

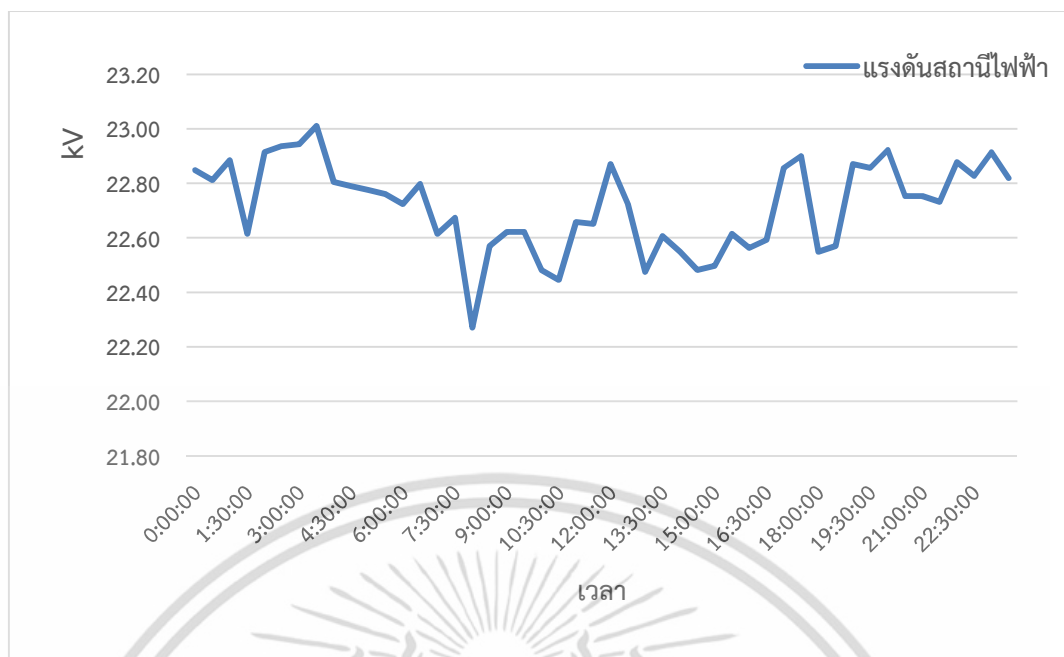


รูปที่ 4.9 ฟังก์ชัน Calculation Load Flow



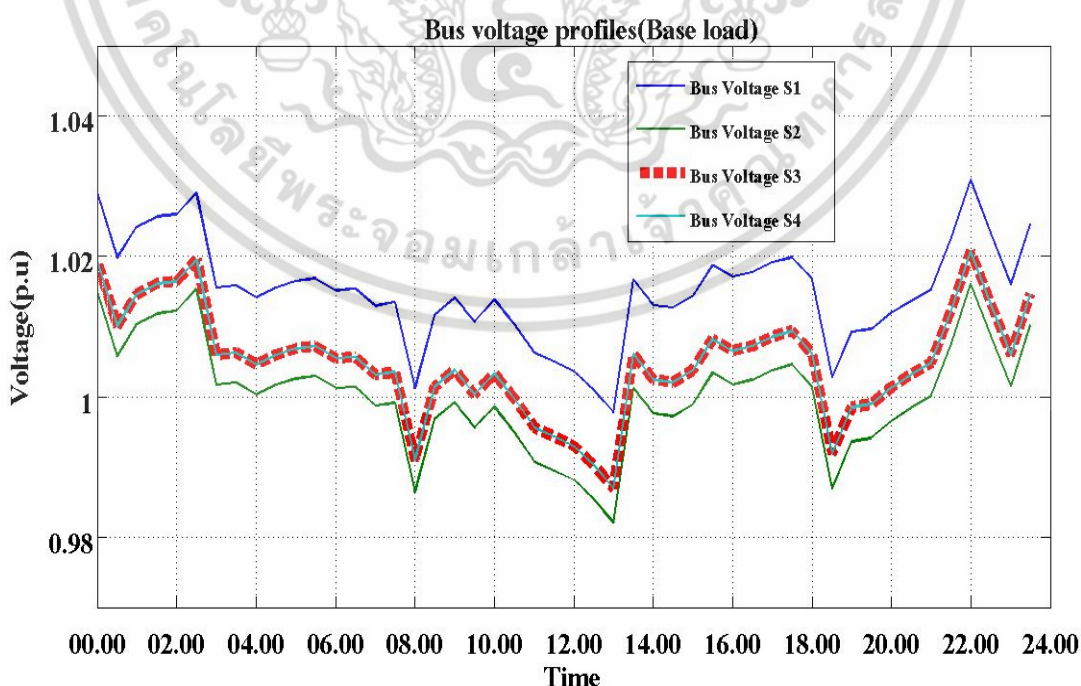
รูปที่ 4.10 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า Feeder 4 ของสถานีไฟฟ้าพทยาเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



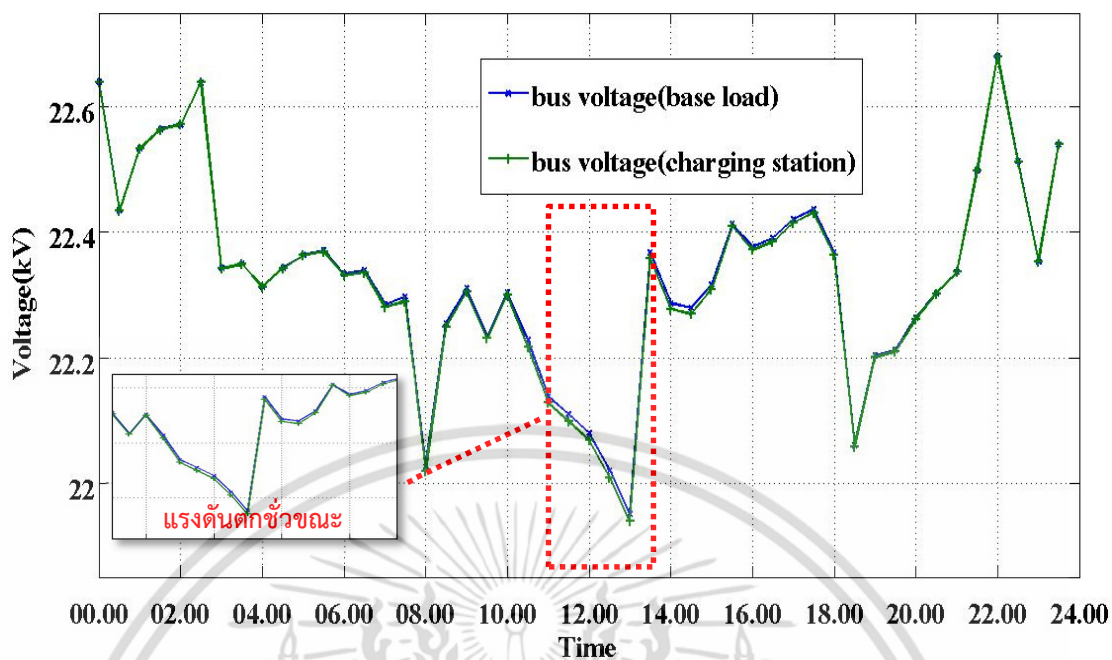
รูปที่ 4.11 พฤติกรรมการของแรงดันไฟฟ้า Feeder 4 ของสถานีไฟฟ้าพญาเหนือ

จากผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ทำให้ทราบว่าหากมีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วพร้อมๆกัน ซึ่งในที่ได้กำหนดให้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 kV ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 315 kVA พบว่าจะส่งผลกระทบต่อทำให้มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่สูงเกินปกติกว่า 90% ในช่วงภาระความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (11.00 น. – 13.00 น.) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และเกิดแรงดันตกเพียงเล็กน้อยในช่วงที่มีภาระไฟฟ้าสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยปัญหาเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อในการวางแผนระบบไฟฟ้าในอนาคต รวมถึงการออกแบบสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 4.12 แรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จุดเชื่อมต่อก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ

เวลา	แรงดันก่อนติดตั้ง (kV)	แรงดันหลังติดตั้ง (kV)	% Regulation
0:00:00	22.640354	22.640574	-0.000972
0:30:00	22.43494	22.43516	-0.000981
1:00:00	22.533016	22.533236	-0.000976
1:30:00	22.564168	22.564388	-0.000975
2:00:00	22.57167	22.57189	-0.000975
2:30:00	22.638902	22.639122	-0.000972
3:00:00	22.342364	22.342562	-0.000886
3:30:00	22.349184	22.349404	-0.000984
4:00:00	22.312598	22.312818	-0.000986
4:30:00	22.342364	22.342562	-0.000886
5:00:00	22.363198	22.363418	-0.000984
5:30:00	22.369006	22.371052	-0.009147
6:00:00	22.331474	22.33352	-0.009162
6:30:00	22.335324	22.339284	-0.017730
7:00:00	22.280896	22.284856	-0.017773
7:30:00	22.288706	22.296604	-0.035435
8:00:00	22.017798	22.025806	-0.036371

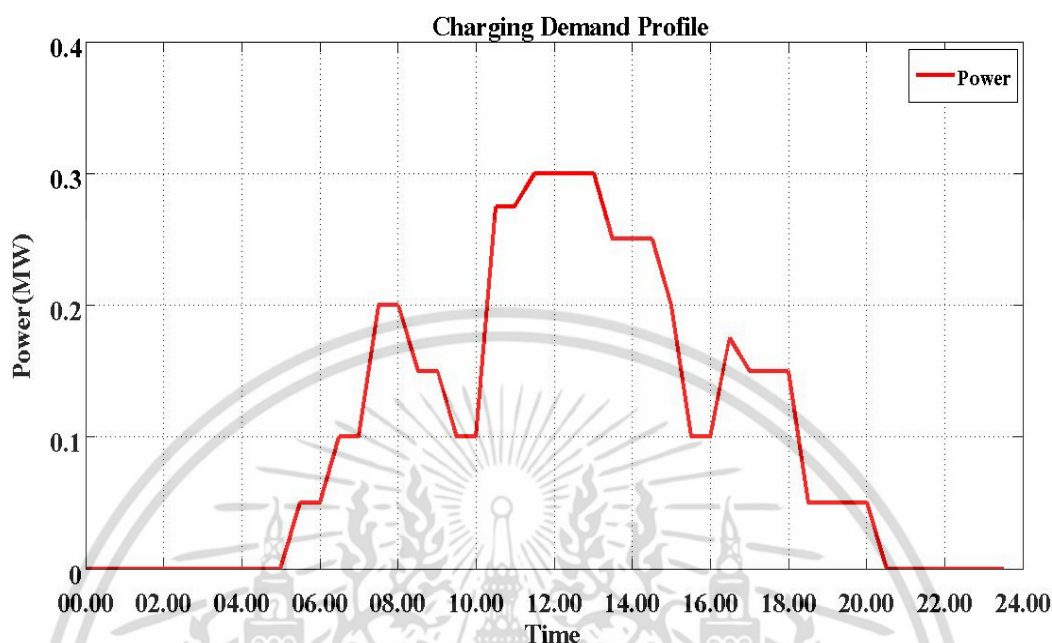
เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานต้นทาง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันก่อนติดตั้ง (kV)	แรงดันหลังติดตั้ง (kV)	% Regulation
8:30:00	22.248754	22.254694	-0.026698
9:00:00	22.304634	22.310552	-0.026533
9:30:00	22.230406	22.234388	-0.017912
10:00:00	22.300102	22.304084	-0.017856
10:30:00	22.216964	22.22803	-0.049809
11:00:00	22.12738	22.138512	-0.050309
11:30:00	22.097636	22.109846	-0.055255
12:00:00	22.067606	22.079838	-0.055430
12:30:00	22.0077	22.019954	-0.055681
13:00:00	21.93862	21.95094	-0.056157
13:30:00	22.357544	22.36751	-0.044576
14:00:00	22.276914	22.286902	-0.044836
14:30:00	22.269258	22.279268	-0.044950
15:00:00	22.30855	22.316492	-0.035601
15:30:00	22.4092	22.41316	-0.017671
16:00:00	22.37224	22.3762	-0.017701
16:30:00	22.38412	22.391028	-0.030861
17:00:00	22.4147	22.420618	-0.026402
17:30:00	22.43109	22.437008	-0.026383
18:00:00	22.362626	22.368544	-0.026464
18:30:00	22.057772	22.059884	-0.009575
19:00:00	22.200816	22.202906	-0.009414
19:30:00	22.20966	22.21175	-0.009410
20:00:00	22.2618	22.26389	-0.009388
20:30:00	22.302346	22.302566	-0.000986
21:00:00	22.336336	22.336556	-0.000985
21:30:00	22.498674	22.498872	-0.000880
22:00:00	22.680042	22.680262	-0.000970
22:30:00	22.512952	22.513172	-0.000977
23:00:00	22.352792	22.353012	-0.000984
23:30:00	22.539858	22.540078	-0.000976

การวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าที่บัส จะศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยมีปริมาณโหลดสูงที่ต่อเชื่อมอยู่ในช่วงเวลา 11.00 น. – 13.00 น. โดยในการวิเคราะห์จะเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนและหลังการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เข้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาในระบบจำหน่าย ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะประมาณ 0.05% แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ กฟภ.



รูปที่ 4.14 พฤติกรรมการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ผลจากการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่พบว่าจุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าพบว่าในช่วงเวลาที่ความต้องการสูงสุด (Peak Load) มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากพฤติกรรมการณ์อัดประจุที่สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดแรงดันตกที่จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้างดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งจากปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้โครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าในประเทศต้องมีไฟฟ้าเพียงพอเพื่อรองรับการประจุแบตเตอรี่ให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในจำนวนมาก การวางแผนระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้รถยนต์ไฟฟ้า นั้นเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องวางแผนพิจารณาเป็นอันดับต้นๆ อาทิเช่น ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งสามารถพัฒนาไปพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ(Smart grid) จะสามารถช่วยจัดการและลดความต้องการของไฟฟ้าที่ต้องเพิ่มขึ้นได้

4.4 ปัญหาและแนวทางในการปรับปรุงผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากผลกระทบของการเพิ่มขึ้นในการอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการอัดประจुरถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังอธิบายในหัวข้อต่อไปนี้

4.4.1 ปัญหาพิกัดกำลังของหม้อแปลงในระบบจำหน่าย

โดยปกติแล้วการออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยทั่วไปจะออกแบบให้สายป้อน หรือสายไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากหม้อแปลงในระบบจำหน่ายมีพิกัดกำลังมากที่สุด ด้วยเหตุผลด้านเทคนิคเรื่องการพิจารณาแรงดันตกในสายป้อน และอีกปัจจัยหนึ่งก็คือเพื่อรองรับการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายตัวของปริมาณความต้องการไฟฟ้าในอนาคต และความปลอดภัย หากหม้อแปลงในระบบจำหน่ายมีพิกัดกำลังมากกว่าสายป้อนแล้ว อาจทำให้เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในปริมาณที่มากกว่าสายป้อนจะรองรับได้ ทำให้สายป้อนเกิดความร้อน และอาจเกิดหลอมละลายก่อให้เกิดไฟไหม้ได้ ดังนั้น การออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะออกแบบให้หม้อแปลงมีพิกัดกำลังต่ำกว่าสายป้อน และด้วยเหตุผลด้านการออกแบบนี้เองที่ทำให้คอขวดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายในสายป้อนหนึ่งๆ ก็คือ หม้อแปลงในระบบจำหน่ายนั่นเอง

จากผลการทดสอบผลกระทบของการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการควบคุมการอัดประจุจะพบว่า สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบดังกล่าว ปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าจะไปเพิ่มปริมาณความต้องการไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน (11.00-13.00 น.) ซึ่งการเพิ่มขึ้นดังกล่าวไปเพิ่มปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ในระบบจำหน่ายพอดี หากหม้อแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีพิกัดกำลังต่ำกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการประเมินดังกล่าวนี้ หม้อแปลงในระบบจำหน่ายย่อมรับภาระโหลดเกิน และระบบป้องกันจะทำงานผิดพลาด หรือสายป้อนดังกล่าว สำหรับในกรณีที่เลวร้ายที่สุด หากระบบป้องกันไม่ทำงานหม้อแปลงก็อาจรับโหลดเกินจนเกิดชำรุดเสียหายได้ในที่สุด ซึ่งทั้ง 2 กรณีก็จะส่งผลทำให้เกิดไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

4.4.2 ปัญหาแรงดันตกในสายป้อนของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาแล้วในส่วนของปัญหาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบสายส่ง ในระบบจำหน่ายเองก็อาจมีผลกระทบได้ในลักษณะเดียวกัน โดยปกติแล้วระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะมีรูปแบบการเชื่อมโยงแบบ Radial โดยระบบไฟฟ้าที่เชื่อมโยงเป็นแบบ Radial นั้นจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียวซึ่งก็คือหม้อแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะไหลในทิศทางเดียวคือไหลเข้ามาโหลด หากในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังกล่าวมีการเพิ่มปริมาณความต้องการไฟฟ้าในระบบก็จะทำให้แรงดันที่ด้านปลายทางลดต่ำลงด้วย ซึ่งเมื่อแรงดันมีค่าต่ำลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าดังกล่าวอาจทำงานผิดปกติไป ซึ่งในกรณีนี้ถือว่าระบบไม่สามารถรองรับกับปริมาณความต้องการไฟฟ้าในระบบได้

สำหรับ กฟภ. จะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งหากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าก่อให้เกิดความต้องการไฟฟ้าในปริมาณมาก และทำให้เกิดแรงดันตกในสายป้อนจนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่กับระบบทำงานผิดปกติแล้ว ก็จะทำให้เกิดข้อร้องเรียนได้ ซึ่งมาตรฐานการให้บริการไฟฟ้าของ กฟภ. นั้นจะต้องถูกประเมินในส่วนของการร้องเรียนเรื่องปัญหาแรงดันไฟฟ้าตก ดังนั้นการพิจารณาปัญหาแรงดันตกในสายป้อนจึงเป็นเรื่องที่ควรนำมาพิจารณาหากมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า

โดยปกติแล้ว ระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายจะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงค่าหนึ่ง เช่น ในประเทศไทยมีระดับแรงดันใช้งานในระบบจำหน่ายอยู่ที่ 220 โวลต์ และระดับแรงดันที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ของระดับแรงดันใช้งานปกติ หากระบบไฟฟ้ามีค่าของแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าค่านี้อแล้วก็จะถือว่าสายป้อนดังกล่าวมีระดับแรงดันที่ตกมาตรฐาน

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเกี่ยวกับผลกระทบของการเพิ่มปริมาณความต้องการไฟฟ้าในสายป้อนของระบบจำหน่ายอาจก่อให้เกิดผลกระทบด้านแรงดันตกในระบบจำหน่าย การอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นการเพิ่มความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดแรงดันตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ซึ่งหากผลการประเมินดังกล่าวพบว่าการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อด้านแรงดันตกในสายป้อน ผู้ให้บริการระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะต้องพิจารณาแนวทางป้องกัน หรือปรับปรุงสายป้อน

4.4.3 ปัญหาอุปกรณ์ไฟฟ้าในสายป้อนเสื่อมสภาพการใช้งาน

จากผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าหากมีการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในระบบ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลกระทบที่ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จากปัญหาของหม้อแปลงในระบบจำหน่ายซึ่งอาจถูกใช้งานเกินภาระงาน (Overload Problem) เมื่อมีการอัดประจุของรถยนต์ไฟฟ้าในสายป้อนในปริมาณมาก หากในสายป้อนดังกล่าวมีการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าอยู่ปริมาณหนึ่ง แต่ไม่ได้อยู่ในปริมาณมากจนทำให้เกิดปัญหาการรับภาระโหลดเกิน ยกตัวอย่างเช่น ก่อนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า หม้อแปลงในระบบจำหน่ายถูกใช้งานอยู่ที่ปริมาณ 60% แต่เมื่อมีการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าในสายป้อน หม้อแปลงดังกล่าวจะถูกใช้งานอยู่ที่ 90% ซึ่งในกรณีนี้หม้อแปลงถูกใช้งานสูงขึ้น แต่ปริมาณความต้องการไฟฟ้าดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดการใช้งานจนเกินภาระโหลด

โดยปกติแล้ว หัวใจหลักอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังจะอยู่ที่สภาพของฉนวนในตัวอุปกรณ์ หากสภาพความเป็นฉนวนในตัวอุปกรณ์เสื่อมสภาพลงก็จะก่อให้เกิดปัญหาลัดวงจร หรืออุปกรณ์ดังกล่าวไหม้ ชำรุดเสียหายได้ ซึ่งปัจจัยหลักของการทำให้สภาพฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าเสื่อมลงก็คือ อุณหภูมิ และความชื้น ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานของอุปกรณ์ จากกรณีตัวอย่างข้างต้น หม้อแปลงในระบบจำหน่ายที่รับโหลดเพิ่มมากขึ้นจากการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้านั้นจะมีอุณหภูมิการใช้งานที่สูงขึ้นกว่าปกติ และอาจเป็นสาเหตุให้หม้อแปลงดังกล่าวเสื่อมสภาพเร็วกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ ในระยะยาวแล้วการไฟฟ้าในระบบจำหน่ายอาจจะต้องพิจารณาเพิ่มควมถี่ในการบำรุงรักษาหม้อแปลงดังกล่าว และตามมาด้วยค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.15 หม้อแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากผลกระทบต่อระบบจำหน่ายจากการอัดประจุแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ความต้องการในวงจรเพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งโหลดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ความต้องการภาระไฟฟ้าสูงสุด รวมถึงค่าดัชนีความมั่นคงในการจ่ายกระแสไฟของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้า โดยจากปัญหาดังกล่าวทำให้หน่วยงานที่มีหน้าที่วางแผนการจ่ายกระแสไฟฟ้าต้องหาวิธีแก้ไขด้วยวิธีต่างๆ ในการปรับปรุงระบบจำหน่าย อาทิเช่น การติดตั้งคาปาซิเตอร์แรงสูง การปรับปรุงเพิ่มสายป้อน/แบ่งจ่ายโหลด การติดตั้งหม้อแปลงปรับแรงดัน(AVR) เพื่อควบคุมแรงดันตก กำลังไฟฟ้าสูญเสีย เพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่ายโหลดให้กับสถานีไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างสูง ดังแสดงตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)
1. สายส่งในระบบ 22/33 KV			
1.1 ก่อสร้างสายใหม่			
1) 22 kV 1-Phase 50 SAC	1	cct.-km.	1,162,790
2) 22 kV 3-Phase 50 SAC	1	cct.-km.	1,100,060
3) 22 kV Add 1-P to 3-P 50 SAC	1	cct.-km.	148,420
4) 22 kV 1-Phase 50 ACSR	1	cct.-km.	567,620
5) 22 kV 3-Phase 50 ACSR	1	cct.-km.	598,110
6) 22 kV Add 1-P to 3-P 50 ACSR	1	cct.-km.	59,210
7) 22 kV., 1st Circuit,185 A	1	cct.-km.	879,290
8) 22 kV., 2nd Circuit,185 A	1	cct.-km.	359,310
9) 22 kV., 3rd Circuit,185 A	1	cct.-km.	359,310
10) 22 kV., 1st Circuit,185 SAC	1	cct.-km.	1,299,640
11) 22 kV., 2nd Circuit,185	1	cct.-km.	832,370
12) 22 kV., 3rd Circuit,185 SAC	1	cct.-km.	832,370
1.2 สายส่งชั่วคราว			
1) 22 kV., 1st Circuit,185 SAC	1	cct.-km.	232,490
2) 22 kV., 1st Circuit,185 A	1	cct.-km.	198,670
1.3 การเปลี่ยนตัวนำ			
1) 22 kV Change to 1x50 SAC	1	cct.-km.	525,270
2) 22 kV Change to 1x185 SAC	1	cct.-km.	1,763,780
3) 22 kV Change to 2x185 SAC	1	cct.-km.	2,750,980
4) 22 kV Change to 3x185 SAC	1	cct.-km.	3,935,120
5) 22 kV Twist Cable 240 SQ.MM.	1	cct.-km.	10,062,240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)
6) 33 kV Twist Cable 240 SQ.MM.	1	cct.-km.	13,381,410
1.4 Twist Cable			
1) 22 kV Twist Cable 240 SQ.MM.	1	cct.-km.	10,062,240
1.5 การต่อเคเบิลใต้ดิน			
1) 22 kV Underground Duct Bank	1	cct.-km.	15,105,250
2) 22 kV Underground Semi - Direct Buried	1	cct.-km.	14,650,910
3) 22 kV Underground Horizontal Directional Drilling	1	cct.-km.	16,094,850
4) 22 kV Underground Pipe Jacking	1	cct.-km.	70,985,780
5) 22 kV หม้อแปลงน้ําร้าน 500 kVA	1	Set	1,080,760
6) 22 kV Compact Unit Substation 500 kVA	1	Set	4,728,330
7) 22 kV Riser pole 6-12 m	1	Set	61,810
1.6 เปลี่ยน Overhead เป็นเคเบิลใต้ดิน			
1) Ch to 22 kV Duck Bank	1	cct.-km.	15,293,490
2) Ch to 22 kV Semi - Direct Buried	1	cct.-km.	14,839,150
3) Ch to 22 kV Direct Buried	1	cct.-km.	10,641,380
4) Ch to 22 kV Horizontal Directional Drilling	1	cct.-km.	16,283,090
5) Ch to 22 kV Pipe Jacking	1	cct.-km.	71,174,000
2. Overhead Ground Wire			
2.1 OPGW	1	cct.-km.	320,410
2.2 Overhead Ground Wire	1	cct.-km.	33,630
3. หม้อแปลงจำหน่าย AVR และคาปาซิเตอร์			
3.1 หม้อแปลงจำหน่าย			
1) 1-P 22-0.40 kV 30 kVA	1	Set	104,850
2) 3-P 22-0.40 kV 50 kVA	1	Set	169,960
3) 3-P 22-0.40 kV 160 kVA	1	Set	271,390

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	จำนวนเงิน (บาท)
4) Change to 30 kVA 1P 22 kV	1	Set	109,660
5) Change to 50 kVA 1P 22 kV	1	Set	75,330
6) Change to 100 kVA 3P 22 kV	1	Set	223,450
7) Change to 160 kVA 3P 22 kV	1	Set	278,430
8) Change to 250 kVA 3P 22 kV	1	Set	376,560
9) Change to 315 kVA 3P 22 kV	1	Set	468,410
10) Change to 400 kVA 3P 22 kV	1	Set	542,280
11) Change to 500 kVA 3P 22 kV	1	Set	616,500
12) Change to 30 kVA 1P 33 kV	1	Set	111,490
13) Change to 50 kVA 1P 33 kV	1	Set	171,410
14) Change to 50 kVA 3P 33 kV	1	Set	191,730
15) Change to 100 kVA 3P 33 kV	1	Set	244,160
16) Change to 160 kVA 3P 33 kV	1	Set	278,430
17) Change to 250 kVA 3P 33 kV	1	Set	413,480
18) Change to 315 kVA 3P 33 kV	1	Set	529,520
19) Change to 400 kVA 3P 33 kV	1	Set	601,740
20) Change to 500 kVA 3P 33 kV	1	Set	680,350
3.2 AVR			
1) 22 kV 200 A (8,000 kVA 3P)	1	Set	15,898,120
2) 22 kV 300 A (12,000 kVA 3P)	1	Set	20,774,100
3) 22 kV 400 A (16,000 kVA 3P)	1	Set	25,650,080
3.3 Distribution Capacitor			
1) 22kV 100kVARx3, Y-connected	1	Set	70,000
2) Switching 1500kVAR, 22kV	1	Set	255,930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 แนวทางการปรับปรุงผลกระทบต่อระบบจำหน่าย

จากผลกระทบที่กล่าวไว้ในข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอโครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ประกอบการกับการที่ กฟภ. มีแผนที่จะพัฒนาการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยที่เทคโนโลยีของโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะเป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาบริหารจัดการ ควบคุมการผลิต ส่ง และจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งความอัจฉริยะของโครงข่ายไฟฟ้านี้ เกิดจากการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ระบบสารสนเทศ ระบบสื่อสาร เข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงข่าย นอกจากนี้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะยังสามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generations) และแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป (Distributed Energy Resource: DER) เป็นระบบบริหารการใช้สินทรัพย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งประกอบไปด้วย

1. เครื่องอัดประจุแบบรวดเร็ว (Quick Charger)
2. ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System)
3. ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
4. ระบบบริหารจัดการพลังงานภายในสถานี



รูปที่ 4.16 แบบจำลองต้นแบบสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

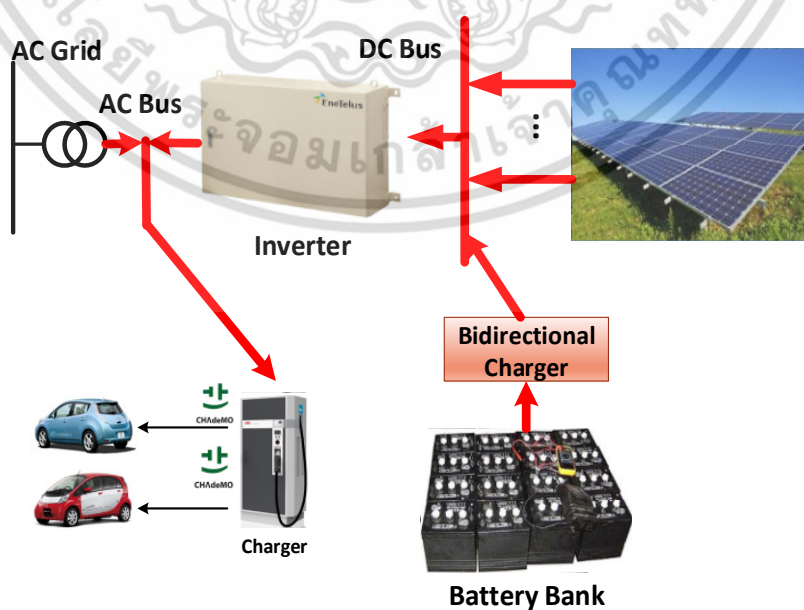


รูปที่ 4.17 ต้นแบบสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วมาตรฐาน CHAdeMO ของ กฟผ.

ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวมีรูปแบบการส่งจ่ายพลังงานอยู่ 3 กรณี ดังนี้

1) กรณีมีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า

เมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างรถไฟฟ้ากับเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ (On load) ระบบจะอาศัยแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อทำการอัดประจุแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า โดยจะทำการอัดประจุผ่านเครื่องอัดประจุ ซึ่งในส่วนของระบบสะสมพลังงานจะทำหน้าที่ลดภาระทางไฟฟ้าให้แก่ระบบทั้งในช่วงที่ความต้องการใช้งานรถไฟฟ้าสูง และในส่วนของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะต้องมีลดทอนระดับแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เพื่อใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 4.18

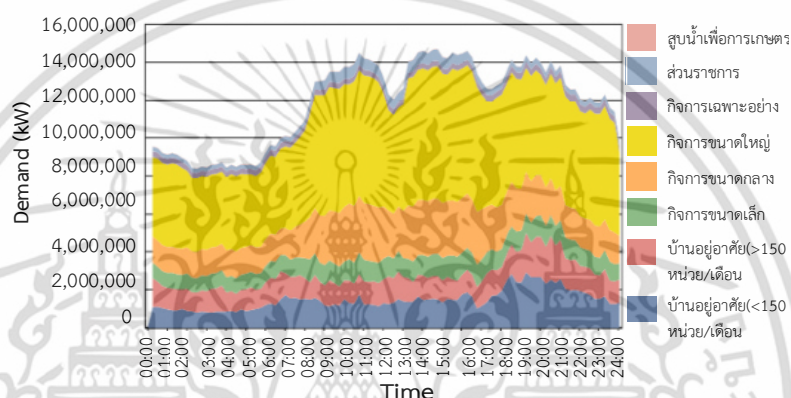


รูปที่ 4.18 การจ่ายพลังงานกรณีมีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า

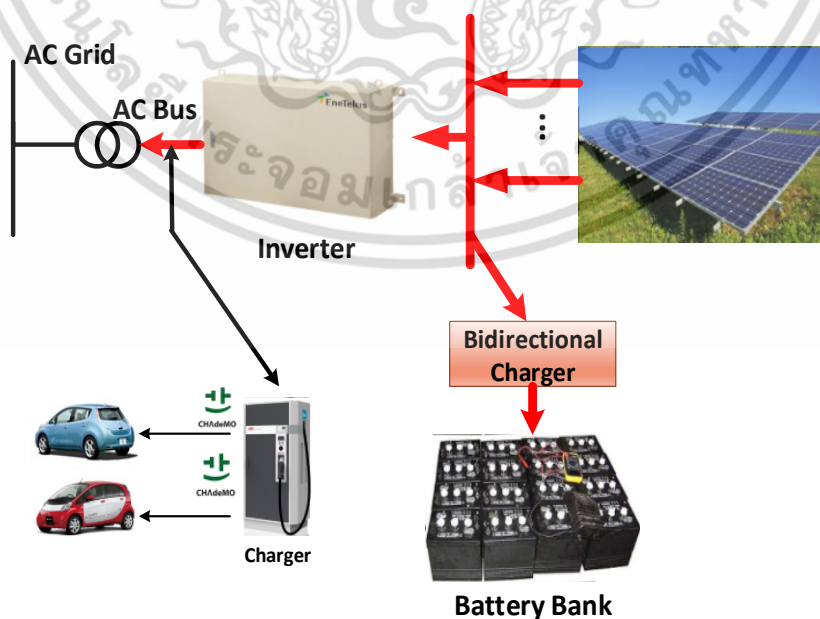
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กรณีไม่มีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า

เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างรถไฟฟ้าในสถานีอัดประจุ(No load) ซึ่งจากพฤติกรรมการใช้งานรถไฟฟ้าพบว่าการอัดประจุแบตเตอรี่ในรถไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา แต่โดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าในช่วงเวลากลางวันนั้นมียุทธศาสตร์ความต้องการในการอัดประจุแบตเตอรี่สูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน โดยหากสังเกตจากพฤติกรรมลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) ของ กฟภ. [1] พบว่ามีการใช้พลังงานในช่วงเวลากลางคืน (22.00 น. – 08.00 น.) เป็นช่วงที่มีความต้องการทางภาระไฟฟ้าที่ต่ำ ดังแสดงรูปที่ 4.13 ซึ่งหากไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างรถไฟฟ้าในสถานีอัดประจุ ระบบมีการส่งจ่ายพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าไปยังระบบสะสมพลังงาน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีความต้องการทางภาระไฟฟ้าที่ต่ำ ทำให้สามารถสะสมพลังงานเพื่อใช้ในการรองรับในช่วงที่ภาระความต้องการทางไฟฟ้าสูง แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 พฤติกรรมลักษณะการใช้ไฟฟ้า(Load Profile) ของ กฟภ. [1]

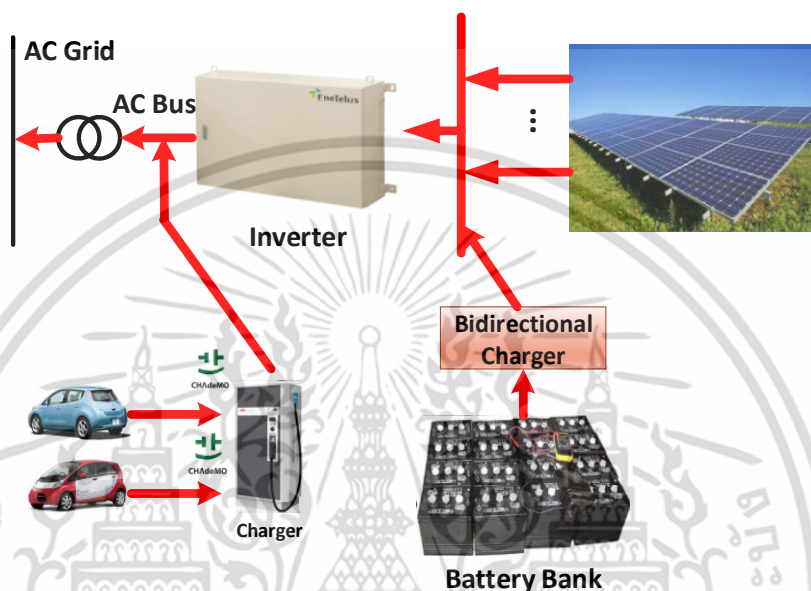


รูปที่ 4.20 การจ่ายพลังงานกรณีไม่มีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กรณีระบบเกิดความไม่เสถียร

โครงสร้างสถานีอัดประจุในลักษณะนี้ จะสามารถจ่ายพลังงานคืนเข้าสู่โครงข่ายไฟฟ้าจากระบบสะสมพลังงานและแบตเตอรี่ใน EV ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งหากจำนวนของ EV มากขึ้นก็เปรียบเสมือนกับแหล่งสะสมพลังงานขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการรองรับช่วงที่ภาระความต้องการทางไฟฟ้าสูง หรือใช้ในการรักษาระดับแรงดันตกในช่วงสั้นๆ [11]

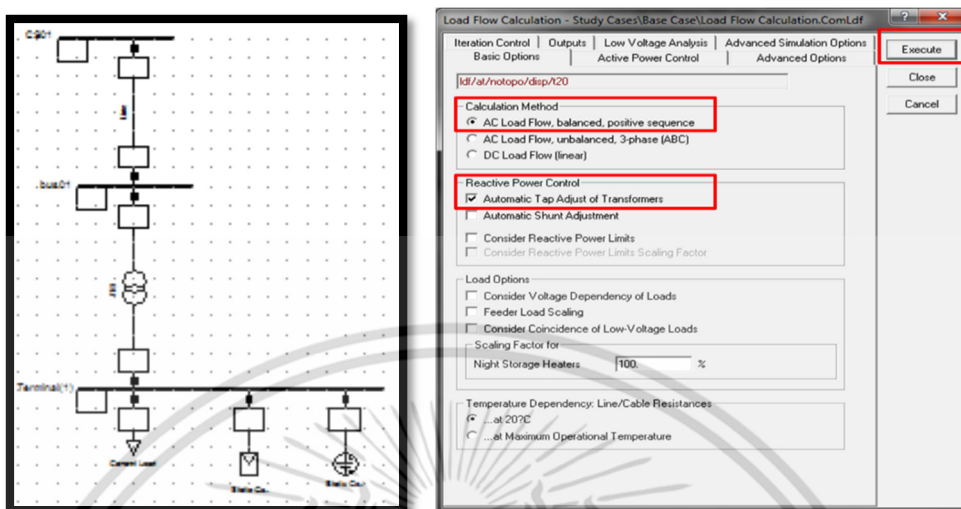


รูปที่ 4.21 การจ่ายพลังงานกรณีระบบเกิดความไม่เสถียร

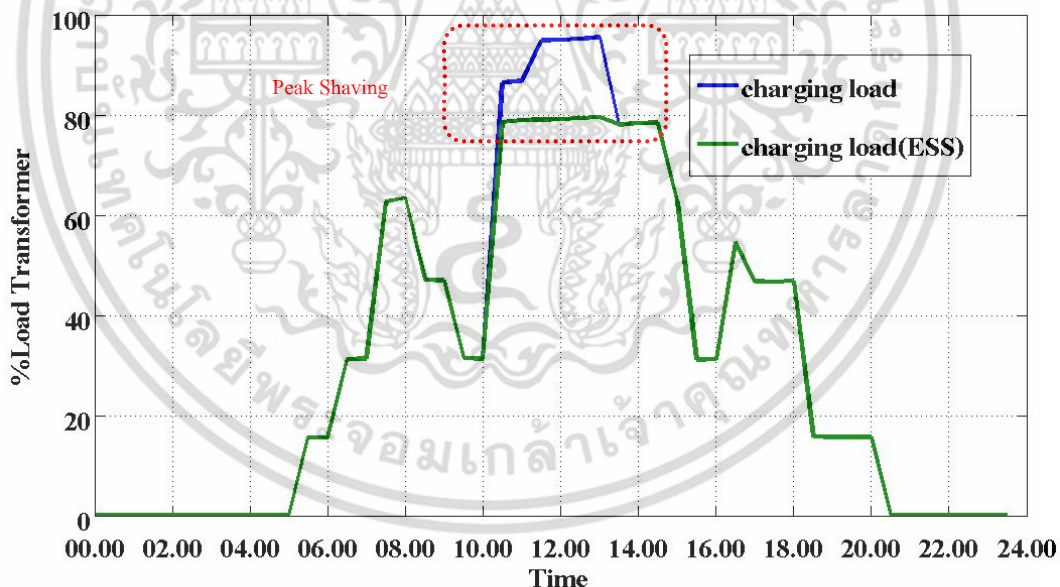
จากผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า โดยอาศัยโปรแกรม DigSILENT โดยนำเสนอรูปแบบโครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่มีการนำระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 12 kW และระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) ซึ่งในที่นี้จะใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 60 kWh ดังแสดงในรูปที่ 4.22 โดยมีรูปแบบการส่งจ่ายพลังงานในช่วงที่มีการเชื่อมต่อระหว่างรถยนต์ไฟฟ้ากับสถานีอัดประจุแบตเตอรี่

จากการวิเคราะห์พบว่าซึ่งในส่วนของระบบสะสมพลังงานจะทำหน้าที่ช่วยลดภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบในช่วงที่มีความต้องการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และช่วยยกระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงสั้นๆดังแสดงในรูปที่ 4.24 และสามารถลดภาระทางไฟฟ้าสูงสุดได้ประมาณ 17% โดยเปรียบเทียบกับรูปแบบของสถานีไม่มีการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบสะสมพลังงาน รวมถึงยังสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ประมาณ 1% เมื่อนำรูปแบบของสถานีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามในช่วงที่ไม่มีภาระอัดประจุที่สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ ระบบสะสมพลังงานจะถูกอัดประจุโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน หรือแม้กระทั่งในช่วงภาระความต้องการไฟฟ้าต่ำ (22.00 - 09.00 น.) ก็จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ามาทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ในระบบสะสมพลังงานโดยที่ไม่

ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เพื่อนำพลังงานมาในช่วงที่ภาระความต้องการไฟฟ้าสูง ทำให้โครงสร้าง
 ในลักษณะนี้เหมาะสำหรับนำมาติดตั้งใช้งานในระบบไฟฟ้าของประเทศไทย



รูปที่ 4.22 การจำลองการวิเคราะห์สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบ



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบโหลดหม้อแปลงก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงโหลดหม้อแปลงก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ

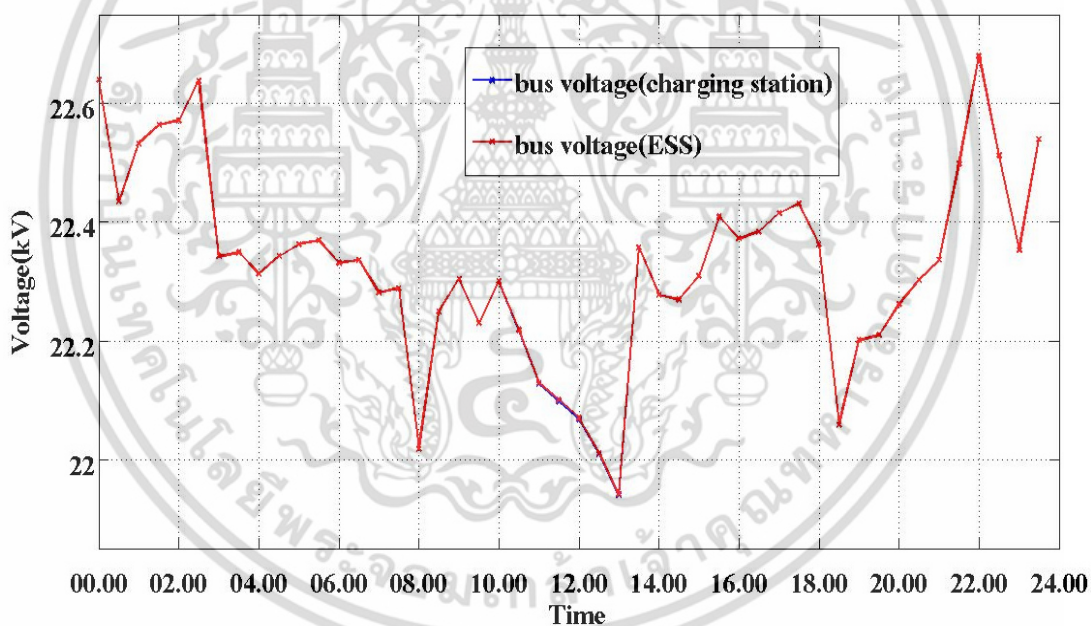
เวลา	%โหลดหม้อแปลง ก่อนติดตั้ง	%โหลดหม้อแปลง หลังติดตั้ง	ผลต่างของ%โหลด
0:00:00	0.000004	0.000004	0
0:30:00	0.000004	0.000004	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	%ไหลดหม้อแปลง ก่อนติดตั้ง	%ไหลดหม้อแปลง หลังติดตั้ง	ผลต่างของ%ไหลด
1:00:00	0.000004	0.000004	0
1:30:00	0.000004	0.000004	0
2:00:00	0.000004	0.000004	0
2:30:00	0.000004	0.000004	0
3:00:00	0.000004	0.000004	0
3:30:00	0.000004	0.000004	0
4:00:00	0.000004	0.000004	0
4:30:00	0.000004	0.000004	0
5:00:00	0.000004	0.000004	0
5:30:00	15.61119	15.61119	0
6:00:00	15.63743	15.63743	0
6:30:00	31.27042	31.27042	0
7:00:00	31.34683	31.34683	0
7:30:00	62.67959	62.67959	0
8:00:00	63.4513	63.4513	0
8:30:00	47.0906	47.0906	0
9:00:00	46.97261	46.97261	0
9:30:00	31.41799	31.41799	0
10:00:00	31.31976	31.31976	0
10:30:00	86.47603	78.60643	9.100321
11:00:00	86.82651	78.92491	9.100445
11:30:00	94.85353	79.02748	16.68472
12:00:00	94.98277	79.13508	16.6848
12:30:00	95.24177	79.35071	16.68496
13:00:00	95.54208	79.60073	16.68516
13:30:00	78.1153	78.1153	0
14:00:00	78.39836	78.39836	0
14:30:00	78.42535	78.42535	0
15:00:00	62.6237	62.6237	0
15:30:00	31.16728	31.16728	0
16:00:00	31.21877	31.21877	0
16:30:00	54.60851	54.60851	0
17:00:00	46.74184	46.74184	0
17:30:00	46.70765	46.70765	0
18:00:00	46.85071	46.85071	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสจวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	%โหลดหม้อแปลง ก่อนติดตั้ง	%โหลดหม้อแปลง หลังติดตั้ง	ผลต่างของ%โหลด
18:30:00	15.83141	15.83141	0
19:00:00	15.72942	15.72942	0
19:30:00	15.72316	15.72316	0
20:00:00	15.68633	15.68633	0
20:30:00	0.000004	0.000004	0
21:00:00	0.000004	0.000004	0
21:30:00	0.000004	0.000004	0
22:00:00	0.000004	0.000004	0
22:30:00	0.000004	0.000004	0
23:00:00	0.000004	0.000004	0
23:30:00	0.000004	0.000004	0



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าของสถานีอัดประจุที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จุดเชื่อมต่อหลังติดตั้งสถานีอัดประจุและสถานีอัดประจุที่นำเสนอ

เวลา	แรงดันหลังติดตั้ง (kV)	แรงดันโครงสร้างที่นำเสนอ (kV)	% Regulation
0:00:00	22.640574	22.640354	0.000972
0:30:00	22.43516	22.43494	0.000981
1:00:00	22.533236	22.533016	0.000976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันหลังติดตั้ง (kV)	แรงดันโครงสร้างที่นำเสนอ (kV)	% Regulation
1:30:00	22.564388	22.564168	0.000975
2:00:00	22.57189	22.57167	0.000975
2:30:00	22.639122	22.638902	0.000972
3:00:00	22.342562	22.342364	0.000886
3:30:00	22.349404	22.349184	0.000984
4:00:00	22.312818	22.312598	0.000986
4:30:00	22.342562	22.342364	0.000886
5:00:00	22.363418	22.363198	0.000984
5:30:00	22.371052	22.369006	0.009146
6:00:00	22.33352	22.331474	0.009161
6:30:00	22.339284	22.335324	0.017727
7:00:00	22.284856	22.280896	0.017770
7:30:00	22.296604	22.288706	0.035422
8:00:00	22.025806	22.017798	0.036357
8:30:00	22.254694	22.248754	0.026691
9:00:00	22.310552	22.304634	0.026526
9:30:00	22.234388	22.230406	0.017909
10:00:00	22.304084	22.300102	0.017853
10:30:00	22.22803	22.217998	0.045132
11:00:00	22.138512	22.128436	0.045513
11:30:00	22.109846	22.099748	0.045672
12:00:00	22.079838	22.06974	0.045734
12:30:00	22.019954	22.009812	0.046058
13:00:00	21.95094	21.940754	0.046403
13:30:00	22.36751	22.357544	0.044556
14:00:00	22.286902	22.276914	0.044816
14:30:00	22.279268	22.269258	0.044930
15:00:00	22.316492	22.30855	0.035588
15:30:00	22.41316	22.4092	0.017668
16:00:00	22.3762	22.37224	0.017697
16:30:00	22.391028	22.38412	0.030852
17:00:00	22.420618	22.4147	0.026395
17:30:00	22.437008	22.43109	0.026376
18:00:00	22.368544	22.362626	0.026457
18:30:00	22.059884	22.057772	0.009574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันหลังติดตั้ง (kV)	แรงดันโครงสร้างที่นำเสนอ (kV)	% Regulation
19:00:00	22.202906	22.200816	0.009413
19:30:00	22.21175	22.20966	0.009409
20:00:00	22.26389	22.2618	0.009387
20:30:00	22.302566	22.302346	0.000986
21:00:00	22.336556	22.336336	0.000985
21:30:00	22.498872	22.498674	0.000880
22:00:00	22.680262	22.680042	0.000970
22:30:00	22.513172	22.512952	0.000977
23:00:00	22.353012	22.352792	0.000984
23:30:00	22.540078	22.539858	0.000976

การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับงานวิจัยนี้ จะวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิค (Technical loss) มีหน่วยวัดเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ไม่ใช่ทางเทคนิค (Non - Technical loss) ใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลจากฟีดเดอร์ที่มีการใช้งานจริงเป็นเวลานาน และมีความยากลำบากในการติดตามหาสาเหตุที่ทำให้เกิด Non - Technical loss การศึกษาวิจัยนี้ จึงวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางด้านเทคนิค (Technical loss) ที่เกิดขึ้นเมื่อเชื่อมต่อสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบจำหน่ายของ กฟภ. โดยวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมเป็นระยะเวลา 30 วัน เมื่อเชื่อมต่อสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ประมาณ 1% ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางเทคนิคที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย

ปริมาณไฟฟ้าเข้าระบบ			ปริมาณ Loss ที่เพิ่มขึ้น			% Loss ที่เพิ่มขึ้น		
Peak (kWh)	Off Peak (kWh)	รวม (kWh)	Peak (kWh)	Off Peak (kWh)	รวม (kWh)	Peak (kWh)	Off Peak (kWh)	รวม (kWh)
143,000	217,000	360,000	-1,404	-1,560	-2,964	-0.981	-0.719	-0.823

หมายเหตุ - หมายถึง Loss ในระบบลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว โดยใช้การจำลองความต้องการไฟฟ้าที่เกิดจากการอัดประจุแบตเตอรี่จากสมมุติฐานที่ได้กล่าวถึง และเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ. พบว่าส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายของ กฟภ. ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลังติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วในระบบที่ทำการศึกษา

1) จากผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ทำให้ทราบว่าหากมีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วพร้อมๆกัน ซึ่งในที่ได้กำหนดให้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 kV ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 315 kVA พบว่าจะส่งผลกระทบทำให้มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่สูงเกินพิกัดกว่า 90% ในช่วงภาระความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งหากหม้อแปลงในระบบจำหน่ายยอมรับภาระโหลดเกิน ซึ่งหากสำหรับในกรณีที่เลวร้ายที่สุด หากระบบป้องกันไม่ทำงานหม้อแปลงก็อาจรับโหลดเกินจนเกิดชำรุดเสียหายได้ในที่สุด

2) จากการวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันพบว่าเกิดแรงดันตกเพียงเล็กน้อยในช่วงที่มีภาระไฟฟ้าสูง ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์พิกัดแรงดันไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามหากมีปริมาณการอัดประจุไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นพร้อมๆกัน และเนื่องการเชื่อมโยงแบบ Radial โดยระบบไฟฟ้าที่เชื่อมโยงเป็นแบบ Radial นั้นจะมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียวซึ่งก็คือหม้อแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะไหลในทิศทางเดียวคือไหลเข้ามาโหลด หากในระบบจำหน่ายไฟฟ้างกล่าวมีการเพิ่มปริมาณความต้องการไฟฟ้าในระบบก็จะทำให้แรงดันที่ด้านปลายทางลดต่ำลงด้วย ซึ่งเมื่อแรงดันมีค่าต่ำลงจนถึงค่าหนึ่งแล้ว อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้างกล่าวอาจทำงานผิดปกติไป

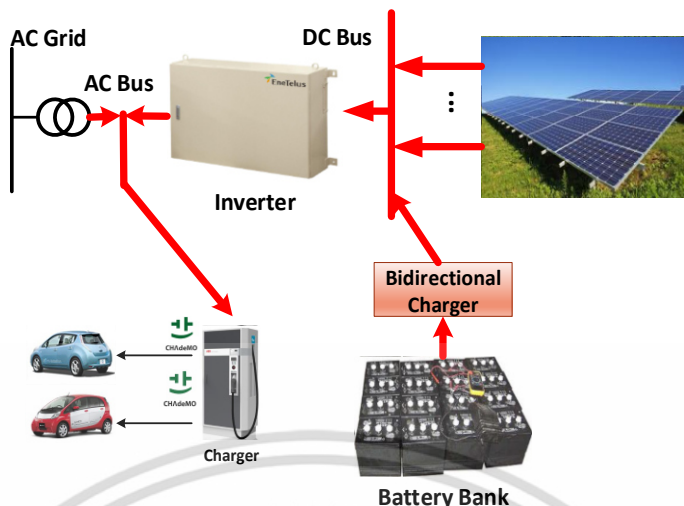
5.2 รูปแบบการของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

จากผลกระทบที่กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในปริมาณที่สูง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการดังกล่าวสูง และในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอรูปแบบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วที่เหมาะสมกับระบบจำหน่ายของ กฟภ. โดยมีโครงสร้างประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก และมีรูปแบบการจ่ายพลังงานดังนี้

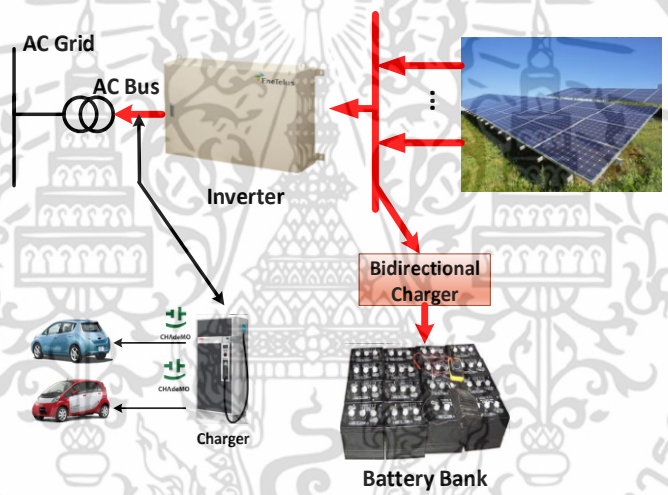


รูปที่ 5.1 แบบจำลองต้นแบบสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว

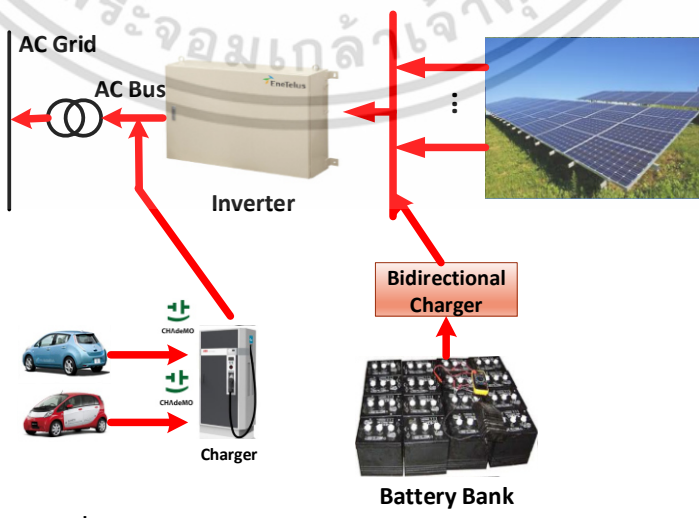
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การจ่ายพลังงานกรณีมีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า



รูปที่ 5.3 การจ่ายพลังงานกรณีไม่มีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า



รูปที่ 5.4 การจ่ายพลังงานกรณีระบบเกิดความไม่เสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ในการนำรูปแบบสถานีที่ได้นำเสนอขึ้นไปวิเคราะห์สำหรับระบบที่ใช้ในการศึกษาพบว่าช่วยยกระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงสั้นๆ ลดการทางไฟฟ้าสูงสุดได้ประมาณ 17% ของหม้อแปลงจำหน่าย และสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ประมาณ 1%

5.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการอัดประจุแบตเตอรี่ในอนาคตนั้นพบว่าสำหรับประเทศไทยเนื่องจากยังไม่มีการใช้รถยนต์ไฟฟ้าอย่างแพร่หลายหรือยังไม่มีนโยบายการส่งเสริมการใช้งานที่ชัดเจน อาจทำให้การตั้งสมมติฐานในประเด็นต่างๆคลาดเคลื่อนได้ แต่หากทราบถึงพฤติกรรมการใช้งานที่ชัดเจน พื้นที่ใช้งาน รูปแบบการอัดประจุและปริมาณการใช้งานที่ชัดเจนจะทำให้การวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆแม่นยำมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Website of Provincial Electricity Authority [Online].
Available: <http://www.pea.co.th>.
- [2] Taewon Kang, Changwoo Kim, Yongsug Suh, Hyeoncheol Park, Byungik Kang, Daegyun Kim, “A design and control of bi-directional non-isolated DC-DC converter for rapid electric vehicle charging system”, in Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2012 Twenty-Seventh Annual IEEE, 5-9 Feb. 2012, pp. 14-21
- [3] P.Bauer, Yi Zhou, J. Doppler and N.Stembridge, “Charging of electric vehicles and impact on the grid ” , 2010 13th International Symposium MECHATRONIKA , pp 121 – 127
- [4] Website of EV charging points installers – electric car charging [Online].
Available: <http://www.evchargingpoint.co.uk/>
- [5] Website of PHOENIX CONTACT E-Mobility[Online].
Available: <https://www.phoenixcontact.com>
- [6] Website of MENNEKES [Online]. Available: <https://www.mennekes.de>
- [7] Website of CHAdeMO Association[Online].
Available: <http://www.chademo.com>
- [8] Z.Lui, F.Wen and G.Ledwich, “Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems ” , IEEE Transactions on Power Delivery, VOL.28, NO.1, JANUARY 2013
- [9] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. “ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า.” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2551.
- [10] กองแผนงานระบบไฟฟ้า ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า. “ค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค” การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2555.
- [11] K.Yunus, H.Z.de la Parra, M.Reza, “Distribution grid impact Plug-In Electric Vehicles charging at fast charging stations using stochastic charging model” ,Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference on



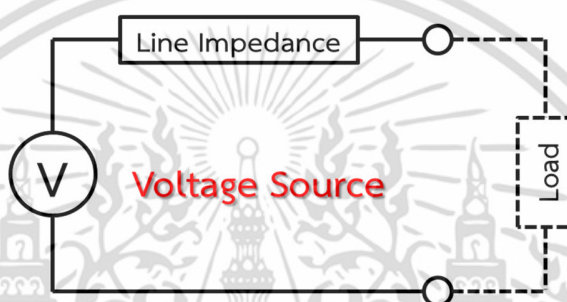
ภาคผนวก ก

การจำลองติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เข้ากับระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เข้ากับระบบจำหน่าย 22 kV ของ กฟภ.

ในการศึกษาจำลองผลกระทบที่มีต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคด้วยโปรแกรมทางวิศวกรรมไฟฟ้า โดยที่โปรแกรมดังกล่าวจะมีอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน และสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของอุปกรณ์ภายในตัวแปรแกรมได้ ซึ่งการจำลองผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิกาคนั้น มีรูปแบบการเชื่อมต่อโดยใช้แหล่งกำเนิดแรงดันเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยความต้านทานของสายส่ง (Impedance) และโหลด (Load) ซึ่งวิธีการดังกล่าวคือทฤษฎีของเทวินิน ดังรูปที่ 1 โดยที่อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจำลองระบบจะประกอบไปด้วย



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อด้วยวงจรเทวินิน

1. แหล่งจ่ายภายนอก (External Grid) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้า ได้แก่ Source จาก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) หรือจากสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในโปรแกรมดังต่อไปนี้

Nominal Voltage ใช้ระบุขนาดของแรงดันในระบบไฟฟ้า (115 kV)

Voltage Magnitude ใช้ระบุขนาดของแรงดันใช้งานมีหน่วยเป็น Per Unit

Sequence Impedance เป็นค่าที่ใช้สำหรับคำนวณเกี่ยวกับการลัดวงจรและฮาร์มอนิกของระบบไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยอ้างอิงค่าพารามิเตอร์จาก รายงานค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประจำปี 2557 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ากระแสลัดวงจรของสถานีไฟฟ้าพัทยาเหนือ ระบบ 22 kV

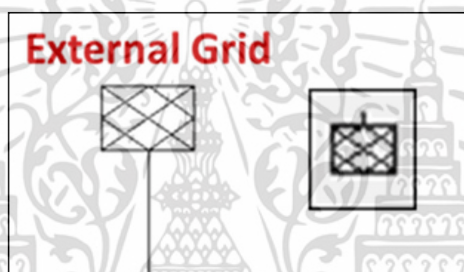
รายชื่อสถานีไฟฟ้า	Bus (kV)	3 P Fault (kV)	SLG Fault (kV)	R1 (pu.)	X1 (pu.)	RO (pu.)	R1 (pu.)
พัทยาเหนือ	115	4.854	2.457	0.03099	0.10280	0.15857	0.39130

ในส่วนของค่า Sequence Impedance จากรายงานค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. นั้น มีค่าเป็น Per Unit แต่การจำลองด้วยโปรแกรมต้องระบุค่าพารามิเตอร์เป็นค่าจริง ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงค่าจากรูปแบบ Per Unit มาเป็นค่าจริงเป็นตามสมการที่ 1 และ 2 ดังนี้

$$Z_{Base} = \frac{V_{line-line}^2}{MVA} \quad (1)$$

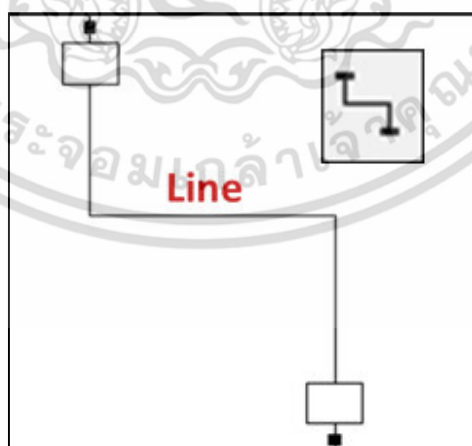
$$Z_{Actual} = Z_{Base} \times Z_{pu} \quad (2)$$

- โดยที่ $V_{line-line}$ คือขนาดของแรงดันปกติ (Nominal Voltage)
 MVA คือขนาดกำลังไฟฟ้าจริงของระบบ
 Z_{Base} คือค่าความต้านทานฐานของแหล่งกำเนิด
 Z_{Actual} คือค่าความต้านทานจริงของแหล่งกำเนิดแรงดัน
 Z_{pu} คือค่าความต้านทานของแหล่งกำเนิดแรงดันในรูป Per Unit (ค่าที่อ้างอิงมาจากรายงานค่ากระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าของ กฟภ.)



รูปที่ 2 อุปกรณ์จำลองแหล่งจ่ายภายนอก

2. สายส่ง (Transmission Line) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจำลองลักษณะการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโหลดในระบบ มีลักษณะของอุปกรณ์ดังรูปที่ 3

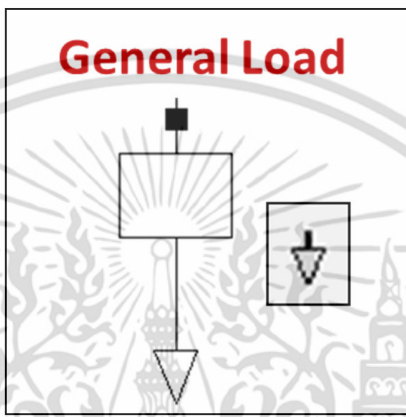


รูปที่ 3 อุปกรณ์จำลองสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

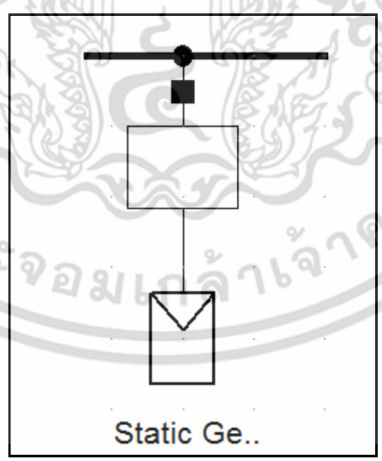
3. โหลด (Load) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองสร้างโหลดของระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 4 โดยต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในโปรแกรมดังต่อไปนี้

- Balance/Unbalance ใช้กำหนดประเภทของโหลดว่าเป็นชนิดสมดุลหรือไม่สมดุล
- Active Power, Reactive Power ใช้กำหนดขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า
- Scaling Factor ใช้ปรับขนาดของโหลดให้เหมาะสมกับความเป็นจริง
- Voltage ใช้การบ่งบอกค่าขนาดแรงดันที่ตัวโหลดมีหน่วยเป็น Per Unit



รูปที่ 4 อุปกรณ์จำลองโหลด

4. แหล่งกำเนิด Static (Static Generator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองแหล่งผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งโปรแกรมมีลักษณะดังรูปที่ 5

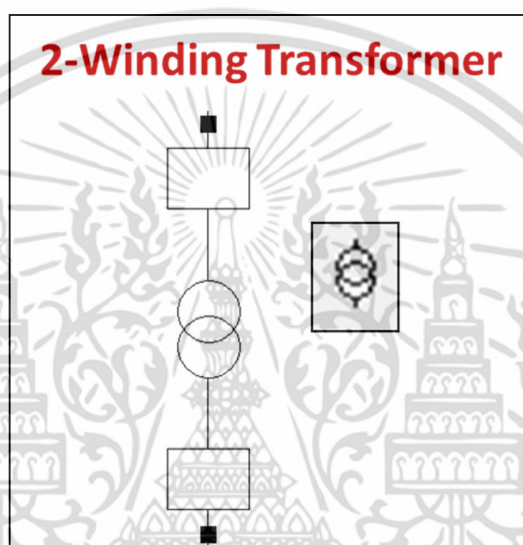


รูปที่ 5 อุปกรณ์จำลองแหล่งผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

5. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformers) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งในระบบที่ใช้ศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นชนิด 2-Winding Transformer ดังรูปที่ 6 โดยต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในโปรแกรมดังต่อไปนี้

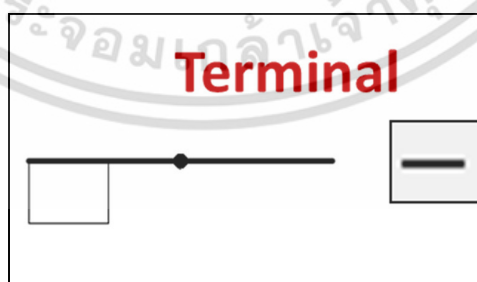
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technology ใช้เลือกจำนวนเฟสของหม้อแปลงไฟฟ้า
 Rated Power ใช้ระบุขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้ามีหน่วยเป็น MVA
 Nominal Frequency ใช้ระบุย่านความถี่ของระบบไฟฟ้ากำลัง
 Rated Voltage ใช้ระบุขนาดของแรงดันด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า
 Vector Group ใช้ระบุรูปแบบการต่อหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ
 Phase Shift ใช้ระบุความสัมพันธ์ phase voltage ของขดลวดทั้งสองด้านของหม้อแปลง



รูปที่ 6 อุปกรณ์จำลองหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 2-Winding Transformer

6. บัส (Terminal) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จำลองสร้างจุดโนดซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น บัสของสถานีไฟฟ้า เป็นต้น ดังรูปที่ 7 โดยต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ Nominal Voltage ในโปรแกรม

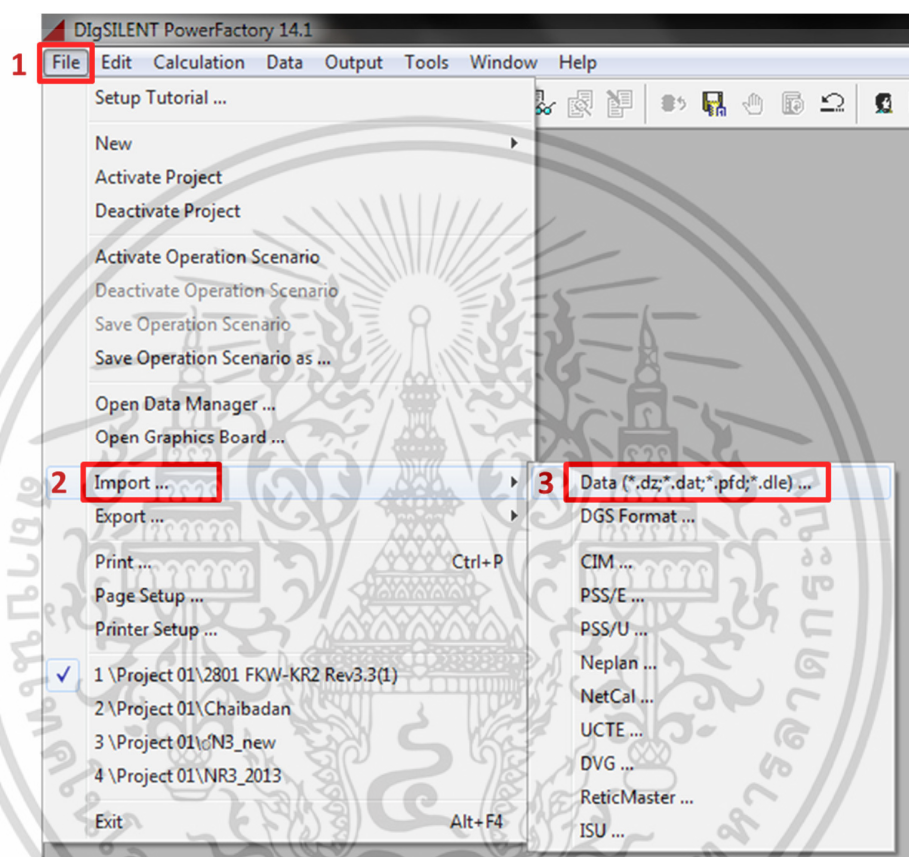


รูปที่ 7 อุปกรณ์จำลองบัสต่างๆ ในระบบไฟฟ้า

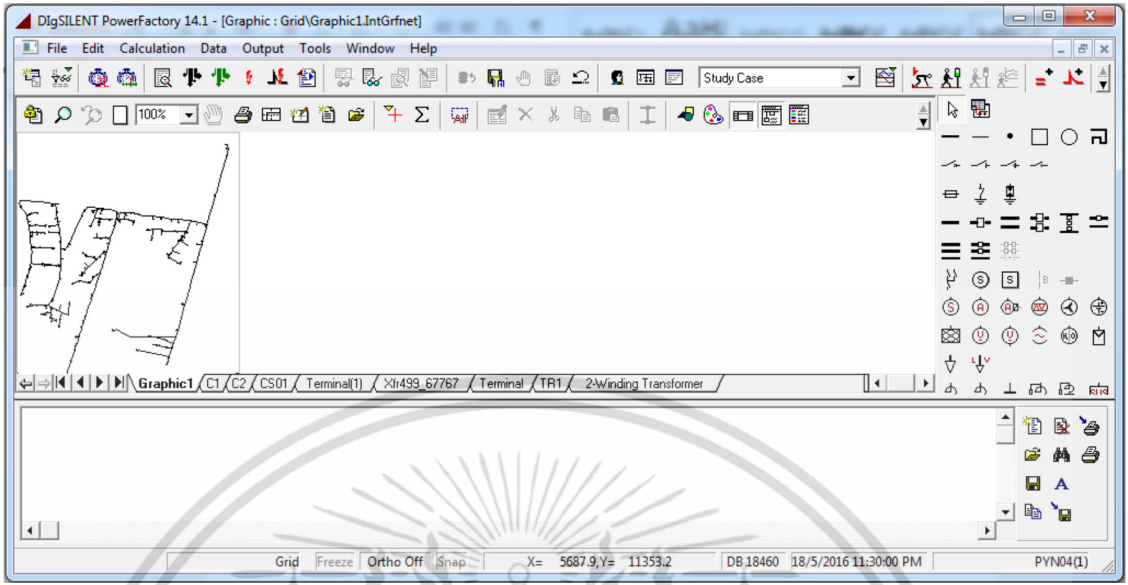
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

สำหรับการจำลองโดยโปรแกรม Digsilent ไฟล์ที่ใช้จำลองระบบจะเป็นไฟล์นามสกุล “.dz” ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยเมื่อทำการเปิดโปรแกรมขึ้นมาก็สามารถนำไฟล์ของระบบดังกล่าวเข้าสู่ตัวโปรแกรมตามขั้นตอนต่อไปนี้ File → Import → Data (.dz) → เลือกไฟล์ → OK ดังรูปที่ 8

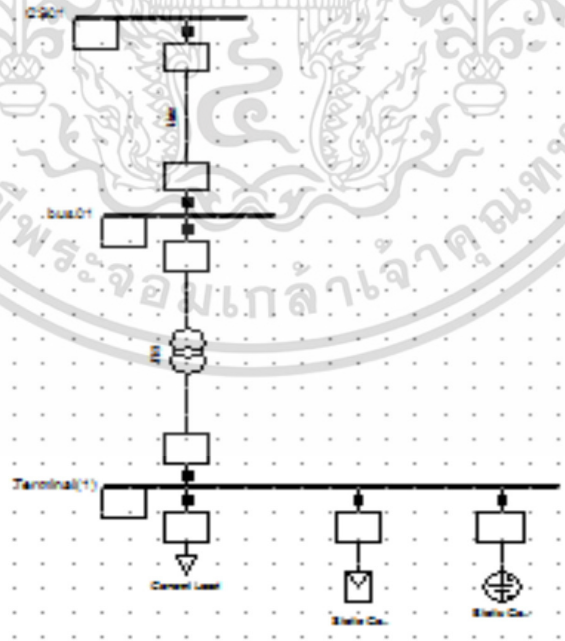


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 ขั้นตอนการ Import File ของโปรแกรม Digsilent

สำหรับข้อมูลทั่วไปที่จำเป็นต้องสำหรับในการจำลองประกอบด้วย Voltage Magnitude, Sequence Impedance ของแหล่งจ่าย และขนาดของกำลังไฟฟ้าช่วงโหลดสูงสุด - ต่ำสุด ซึ่งระบบ 22 kV จะใช้รูปแบบการเชื่อมต่อโดย External Grid ตั้งค่าเป็นรูปแบบ Slack Bus จำลองแทนสถานีไฟฟ้าพัทธาเหนือของ กฟภ.



รูปที่ 9 จำลองสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

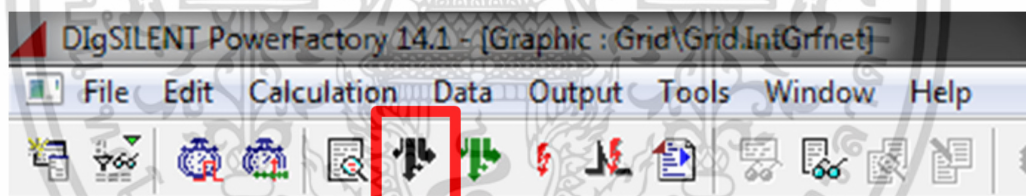
ตารางที่ 1 Sequence Impedance ของสถานีไฟฟ้าพัทธาเหนือ

Sequence Impedance	Resistance (Ohm)	Reactance (Ohm)
Positive Sequence	0.03099	0.10280
Negative Sequence	0.03099	0.10278
Zero Sequence	0.15857	0.39130
ระดับการลัดวงจรที่สถานี	$I_k'' = 4.854 \text{ kA}$.	

การวิเคราะห์ผลกระทบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

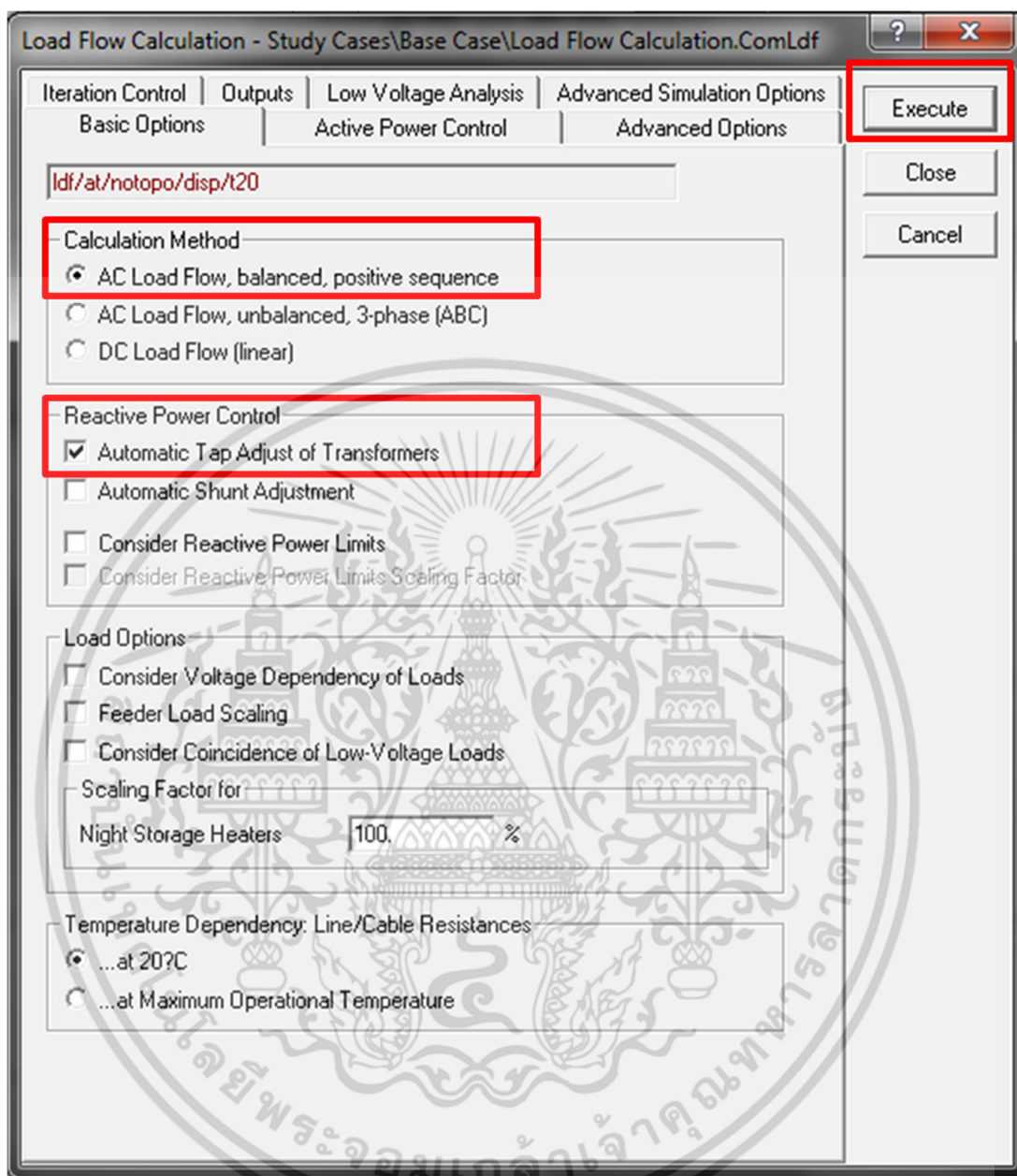
1. การศึกษาผลกระทบของแรงดันไฟฟ้า และการไหลของกำลังไฟฟ้า

การจำลองการศึกษาผลกระทบของแรงดันไฟฟ้า และการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Digsilent ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวสามารถคำนวณโดยคลิกที่ไอคอน Calculation Load Flow หลังจากนั้น โปรแกรมจะปรากฏหน้าต่าง Load Flow Calculation ซึ่งในส่วนของ Calculation Method จะทำการเลือก AC Load Flow แบบ Balance และทำการเลือก Automatic Tap adjust of transformer เนื่องจากหากโดยไม่เลือกคำสั่งดังกล่าวจะส่งผลให้ขนาดของแรงดันในบางบัสจะมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง ประมาณ 2 – 3 pu. จากนั้น กด Execute เพื่อทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Run Power Flow) ดังรูปที่ 10



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 10 Calculation Load Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วตามมาตรฐาน CHAdeMO

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:43:37	0	0	0.00	0.00
6:43:39	369.3	64.7	0.35	0.00
6:43:41	374.6	108.7	23.37	0.01
6:43:43	376.3	118.5	33.03	0.02
6:43:45	376.7	117.9	40.63	0.03
6:43:47	377.1	117.8	44.35	0.04
6:43:49	377.5	117.8	44.55	0.05
6:43:51	377.8	117.9	44.38	0.06
6:43:53	378.1	117.8	44.39	0.08
6:43:54	378.3	118	44.45	0.09
6:43:55	378.5	118.7	44.40	0.10
6:43:56	378.7	118.8	44.43	0.11
6:43:57	378.8	118.7	44.45	0.13
6:43:58	378.9	118.4	44.46	0.14
6:43:59	379	117.9	44.50	0.15
6:44:00	379.1	117.8	44.55	0.16
6:44:01	379.3	117.8	44.53	0.18
6:44:02	379.4	117.9	44.59	0.19
6:44:03	379.5	117.8	44.88	0.20
6:44:04	379.6	117.9	44.96	0.21
6:44:05	379.7	117.8	44.93	0.22
6:44:06	379.8	117.8	44.84	0.24
6:44:07	380	117.8	44.66	0.25
6:44:08	380.1	117.9	44.62	0.26
6:44:09	380.2	117.8	44.66	0.27
6:44:10	380.3	117.9	44.68	0.29
6:44:11	380.4	117.8	44.68	0.30
6:44:12	380.5	117.8	44.70	0.31
6:44:13	380.6	118.1	44.71	0.32
6:44:14	380.8	118.8	44.73	0.34
6:44:15	380.9	118.8	44.72	0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:44:17	381.1	118.4	44.76	0.37
6:44:18	381.1	118	44.79	0.39
6:44:19	381.2	117.9	44.78	0.40
6:44:20	381.3	117.8	44.80	0.41
6:44:21	381.4	118	44.91	0.42
6:44:22	381.5	117.9	45.20	0.44
6:44:23	381.5	117.8	45.21	0.45
6:44:24	381.6	117.8	45.17	0.46
6:44:25	381.7	117.9	45.08	0.47
6:44:26	381.8	118	44.94	0.49
6:44:27	381.9	117.8	44.90	0.50
6:44:28	382	117.8	44.88	0.51
6:44:29	382.1	117.8	44.96	0.52
6:44:30	382.1	117.8	44.93	0.54
6:44:31	382.2	117.8	44.90	0.55
6:44:32	382.3	117.8	44.92	0.56
6:44:33	382.4	117.8	44.97	0.57
6:44:34	382.5	117.7	45.00	0.59
6:44:35	382.5	117.8	44.95	0.60
6:44:36	382.6	117.8	44.97	0.61
6:44:37	382.7	117.8	44.97	0.62
6:44:38	382.8	117.9	44.99	0.64
6:44:39	382.9	118.1	44.99	0.65
6:44:40	382.9	117.9	45.00	0.66
6:44:41	383	117.8	45.01	0.67
6:44:42	383.1	117.8	45.00	0.69
6:44:43	383.1	117.8	45.02	0.70
6:44:44	383.3	118.1	45.04	0.71
6:44:45	383.4	118.5	45.06	0.72
6:44:46	383.5	118.8	45.07	0.74
6:44:47	383.5	118.7	45.16	0.75
6:44:48	383.6	118.6	45.10	0.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:44:50	383.7	118.2	45.08	0.79
6:44:51	383.8	118	45.11	0.80
6:44:52	383.8	117.8	45.23	0.81
6:44:53	383.9	117.8	45.41	0.82
6:44:54	384	117.8	45.51	0.84
6:44:55	384	117.8	45.50	0.85
6:44:56	384.1	117.8	45.46	0.86
6:44:57	384.2	117.8	45.39	0.87
6:44:58	384.2	117.9	45.34	0.89
6:44:59	384.3	117.8	45.26	0.90
6:45:00	384.4	117.8	45.18	0.91
6:45:01	384.4	117.8	45.19	0.92
6:45:02	384.5	117.8	45.19	0.94
6:45:03	384.6	117.8	45.19	0.95
6:45:04	384.7	117.8	45.20	0.96
6:45:05	384.7	117.8	45.22	0.98
6:45:06	384.8	117.8	45.28	0.99
6:45:07	384.8	117.8	45.25	1.00
6:45:08	384.9	117.7	45.24	1.01
6:45:09	385	117.8	45.25	1.03
6:45:10	385.1	117.8	45.25	1.04
6:45:11	385.1	117.9	45.26	1.05
6:45:12	385.2	117.9	45.27	1.06
6:45:13	385.3	117.9	45.28	1.08
6:45:14	385.3	117.9	45.29	1.09
6:45:15	385.4	117.8	45.28	1.10
6:45:16	385.5	117.7	45.28	1.11
6:45:17	385.5	117.8	45.30	1.13
6:45:18	385.6	117.8	45.31	1.14
6:45:19	385.6	117.7	45.38	1.15
6:45:20	385.7	117.8	45.36	1.16
6:45:21	385.8	118	45.39	1.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:45:23	386	118.7	45.38	1.20
6:45:24	386.1	118.7	45.35	1.21
6:45:25	386.2	118.7	45.36	1.23
6:45:26	386.2	118.6	45.37	1.24
6:45:27	386.2	118.3	45.37	1.25
6:45:28	386.3	118.1	45.41	1.26
6:45:29	386.3	118	45.48	1.28
6:45:30	386.4	117.9	45.70	1.29
6:45:31	386.5	117.7	45.79	1.30
6:45:32	386.5	117.7	45.80	1.32
6:45:33	386.6	117.8	45.81	1.33
6:45:34	386.7	117.9	45.77	1.34
6:45:35	386.7	117.9	45.65	1.35
6:45:36	386.8	117.9	45.59	1.37
6:45:37	386.8	117.8	45.53	1.38
6:45:38	386.9	117.7	45.51	1.39
6:45:39	387	117.8	45.45	1.40
6:45:40	387	117.8	45.47	1.42
6:45:41	387.1	117.8	45.49	1.43
6:45:42	387.2	117.8	45.57	1.44
6:45:43	387.2	117.8	45.57	1.45
6:45:44	387.3	117.8	45.55	1.47
6:45:45	387.3	117.8	45.54	1.48
6:45:46	387.4	117.8	45.52	1.49
6:45:47	387.5	117.7	45.53	1.51
6:45:48	387.5	117.7	45.54	1.52
6:45:49	387.6	117.7	45.55	1.53
6:45:50	387.7	117.8	45.55	1.54
6:45:51	387.7	117.9	45.57	1.56
6:45:52	387.8	117.9	45.57	1.57
6:45:53	387.8	117.7	45.59	1.58
6:45:54	387.9	117.8	45.58	1.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:45:56	388	117.7	45.59	1.62
6:45:57	388.1	117.8	45.60	1.63
6:45:58	388.2	118.2	45.65	1.64
6:45:59	388.3	118.7	45.68	1.66
6:46:00	388.4	118.7	45.67	1.67
6:46:01	388.5	118.7	45.63	1.68
6:46:02	388.5	118.7	45.64	1.70
6:46:03	388.6	118.7	45.64	1.71
6:46:04	388.6	118.7	45.65	1.72
6:46:05	388.7	118.7	45.70	1.73
6:46:06	388.8	118.7	45.86	1.75
6:46:07	388.8	118.5	46.05	1.76
6:46:08	388.9	118.4	46.07	1.77
6:46:09	388.9	118.2	46.09	1.78
6:46:10	388.9	117.9	46.08	1.80
6:46:11	389	117.8	46.08	1.81
6:46:12	389	117.7	46.09	1.82
6:46:13	389.1	117.9	46.10	1.84
6:46:14	389.2	117.9	46.11	1.85
6:46:15	389.2	117.9	46.05	1.86
6:46:16	389.3	117.8	46.01	1.87
6:46:17	389.3	117.7	45.93	1.89
6:46:18	389.4	117.9	45.81	1.90
6:46:19	389.5	117.7	45.77	1.91
6:46:20	389.5	117.7	45.76	1.93
6:46:21	389.6	117.7	45.85	1.94
6:46:22	389.6	117.7	45.85	1.95
6:46:23	389.7	117.7	45.84	1.96
6:46:24	389.7	117.7	45.80	1.98
6:46:25	389.8	117.7	45.79	1.99
6:46:26	389.9	117.7	45.85	2.00
6:46:27	389.9	117.7	45.80	2.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:46:29	390	117.8	45.82	2.04
6:46:30	390.1	117.7	45.82	2.05
6:46:31	390.2	117.8	45.83	2.07
6:46:32	390.2	117.8	45.84	2.08
6:46:33	390.3	117.8	45.84	2.09
6:46:34	390.3	117.9	45.86	2.10
6:46:35	390.4	117.8	45.85	2.12
6:46:36	390.5	117.8	45.86	2.13
6:46:37	390.5	117.7	45.92	2.14
6:46:38	390.6	117.7	45.86	2.15
6:46:39	390.7	118.3	45.93	2.17
6:46:40	390.8	118.7	45.92	2.18
6:46:41	390.9	118.7	45.95	2.19
6:46:42	390.9	118.6	45.97	2.21
6:46:43	391	118.7	45.95	2.22
6:46:44	391	118.7	45.95	2.23
6:46:45	391.1	118.7	45.93	2.24
6:46:46	391.2	118.7	45.93	2.26
6:46:47	391.2	118.5	46.20	2.27
6:46:48	391.2	118.2	46.34	2.28
6:46:49	391.3	118.3	46.34	2.29
6:46:50	391.3	117.7	46.33	2.31
6:46:51	391.3	117.8	46.37	2.32
6:46:52	391.4	117.8	46.37	2.33
6:46:53	391.5	117.7	46.37	2.35
6:46:54	391.5	117.7	46.40	2.36
6:46:55	391.6	117.7	46.32	2.37
6:46:56	391.6	117.9	46.20	2.38
6:46:57	391.7	117.8	46.26	2.40
6:46:58	391.7	117.7	46.03	2.41
6:46:59	391.8	117.9	46.07	2.42
6:47:00	391.9	117.7	46.06	2.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:47:02	392	117.7	46.05	2.46
6:47:03	392	117.7	46.05	2.47
6:47:04	392.1	117.7	46.13	2.49
6:47:05	392.1	117.7	46.10	2.50
6:47:06	392.2	117.7	46.06	2.51
6:47:07	392.2	117.7	46.15	2.53
6:47:08	392.3	117.7	46.07	2.54
6:47:09	392.3	117.7	46.09	2.55
6:47:10	392.4	117.7	46.10	2.56
6:47:11	392.5	117.7	46.10	2.58
6:47:12	392.5	117.7	46.10	2.59
6:47:13	392.6	117.7	46.11	2.60
6:47:14	392.6	117.6	46.12	2.62
6:47:15	392.7	117.7	46.13	2.63
6:47:16	392.7	117.8	46.12	2.64
6:47:17	392.8	118	46.14	2.65
6:47:18	392.9	117.9	46.14	2.67
6:47:19	392.9	117.7	46.14	2.68
6:47:20	393	117.7	46.15	2.69
6:47:21	393	117.7	46.17	2.71
6:47:22	393.1	117.7	46.15	2.72
6:47:23	393.1	117.7	46.16	2.73
6:47:24	393.2	117.9	46.23	2.74
6:47:25	393.3	118.1	46.32	2.76
6:47:26	393.3	118.4	46.27	2.77
6:47:27	393.4	118.6	46.22	2.78
6:47:28	393.5	118.7	46.21	2.80
6:47:29	393.5	118.5	46.21	2.81
6:47:30	393.6	118.5	46.21	2.82
6:47:31	393.6	118.4	46.21	2.83
6:47:32	393.7	118.3	46.32	2.85
6:47:33	393.7	118.1	46.40	2.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:47:35	393.8	117.8	46.64	2.89
6:47:36	393.8	117.9	46.65	2.90
6:47:37	393.9	117.8	46.61	2.91
6:47:38	393.9	117.7	46.59	2.92
6:47:39	394	117.7	46.57	2.94
6:47:40	394	117.8	46.52	2.95
6:47:41	394.1	117.9	46.45	2.96
6:47:42	394.1	117.9	46.40	2.98
6:47:43	394.2	117.9	46.34	2.99
6:47:44	394.2	117.8	46.38	3.00
6:47:45	394.3	117.7	46.38	3.01
6:47:46	394.3	117.7	46.32	3.03
6:47:47	394.3	117.7	46.32	3.04
6:47:48	394.4	117.7	46.37	3.05
6:47:49	394.4	117.7	46.44	3.07
6:47:50	394.5	117.7	46.43	3.08
6:47:51	394.6	117.7	46.42	3.09
6:47:52	394.6	117.6	46.38	3.10
6:47:53	394.6	117.7	46.35	3.12
6:47:54	394.7	117.7	46.36	3.13
6:47:55	394.7	117.7	46.37	3.14
6:47:56	394.8	117.7	46.37	3.16
6:47:57	394.8	117.7	46.37	3.17
6:47:58	394.9	117.7	46.38	3.18
6:47:59	394.9	117.6	46.39	3.19
6:48:00	395	117.7	46.38	3.21
6:48:01	395	117.7	46.40	3.22
6:48:02	395.1	117.7	46.41	3.23
6:48:03	395.1	117.8	46.41	3.25
6:48:04	395.2	117.8	46.41	3.26
6:48:05	395.2	117.8	46.42	3.27
6:48:06	395.3	117.7	46.42	3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:48:08	395.3	117.7	46.45	3.31
6:48:09	395.4	117.6	46.45	3.32
6:48:10	395.4	117.7	46.47	3.34
6:48:11	395.5	117.7	46.49	3.35
6:48:12	395.5	117.6	46.50	3.36
6:48:13	395.6	117.9	46.50	3.38
6:48:14	395.6	117.3	46.46	3.39
6:48:15	395.5	116.5	46.49	3.40
6:48:16	395.5	115.5	46.48	3.41
6:48:17	395.4	114.7	46.46	3.43
6:48:18	395.3	113.6	46.48	3.44
6:48:19	395.3	112.8	46.51	3.45
6:48:20	395.3	112.8	46.48	3.47
6:48:21	395.3	112.5	46.60	3.48
6:48:22	395.3	111.9	46.35	3.49
6:48:23	395.3	111.7	46.05	3.50
6:48:24	395.2	110.9	45.62	3.52
6:48:25	395.2	110.8	45.30	3.53
6:48:26	395.2	109.9	44.86	3.54
6:48:27	395.2	109.7	44.55	3.55
6:48:28	395.1	108.9	44.56	3.57
6:48:29	395.1	108.9	44.44	3.58
6:48:30	395.1	108.3	44.17	3.59
6:48:31	395.1	107.8	44.11	3.60
6:48:32	395.1	107.8	43.78	3.62
6:48:33	395.1	107.8	43.73	3.63
6:48:34	395.2	108.7	43.39	3.64
6:48:35	395.4	109.5	43.32	3.65
6:48:36	395.5	110.9	42.98	3.66
6:48:37	395.7	111.8	42.98	3.68
6:48:38	395.7	112.1	42.73	3.69
6:48:39	395.9	112.8	42.53	3.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:48:41	395.8	111.3	42.57	3.72
6:48:42	395.8	110.9	42.94	3.74
6:48:43	395.7	110.3	43.25	3.75
6:48:44	395.7	109.9	43.81	3.76
6:48:45	395.7	109.2	44.19	3.77
6:48:46	395.5	107.2	44.33	3.78
6:48:47	395.4	105.8	44.60	3.80
6:48:48	395.2	104.3	44.53	3.81
6:48:49	395.1	103.3	44.01	3.82
6:48:50	395.1	102.7	43.83	3.83
6:48:51	395	101.8	43.59	3.85
6:48:52	395	101.8	43.43	3.86
6:48:53	395.1	102.8	43.16	3.87
6:48:54	395.3	104.2	42.36	3.88
6:48:55	395.4	104.8	41.79	3.89
6:48:56	395.5	105.3	41.19	3.90
6:48:57	395.6	105.8	40.78	3.92
6:48:58	395.7	106.6	40.52	3.93
6:48:59	395.7	106.8	40.16	3.94
6:49:00	395.7	106.8	40.17	3.95
6:49:01	395.6	105.3	40.58	3.96
6:49:02	395.5	103.9	41.15	3.97
6:49:03	395.4	102.9	41.40	3.98
6:49:04	395.3	101.8	41.61	3.99
6:49:05	395.3	101.7	41.81	4.01
6:49:06	395.2	100.7	42.16	4.02
6:49:07	395.2	100	42.23	4.03
6:49:08	395.1	99.4	42.21	4.04
6:49:09	395	98.2	41.63	4.05
6:49:10	394.9	97.7	41.06	4.06
6:49:11	394.9	97.5	40.66	4.08
6:49:12	394.9	96.7	40.22	4.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:49:14	394.9	96.7	39.78	4.11
6:49:15	394.9	96.5	39.49	4.12
6:49:16	394.8	95.7	39.22	4.13
6:49:17	394.8	95.6	38.75	4.14
6:49:18	394.7	94.9	38.54	4.15
6:49:19	394.7	94.7	38.48	4.16
6:49:20	394.7	94.6	38.15	4.17
6:49:21	394.7	94.7	38.13	4.18
6:49:22	394.7	94.7	38.14	4.19
6:49:23	394.8	94.6	38.07	4.21
6:49:24	394.8	94.7	37.74	4.22
6:49:25	394.8	95.1	37.71	4.23
6:49:26	394.9	95.7	37.44	4.24
6:49:27	394.9	95.8	37.33	4.25
6:49:28	395.1	96.7	37.32	4.26
6:49:29	395.2	97.5	37.33	4.27
6:49:30	395.3	98.1	37.33	4.28
6:49:31	395.3	98.7	37.33	4.29
6:49:32	395.4	98.7	37.34	4.30
6:49:33	395.4	98.7	37.51	4.31
6:49:34	395.5	99.6	37.75	4.32
6:49:35	395.4	98.7	37.80	4.33
6:49:36	395.5	98.7	38.15	4.34
6:49:37	395.4	98	38.49	4.35
6:49:38	395.4	97.6	38.75	4.36
6:49:39	395.4	97.2	38.97	4.37
6:49:40	395.5	98.1	38.97	4.38
6:49:41	395.6	98.7	38.99	4.40
6:49:42	395.6	98.5	39.35	4.41
6:49:43	395.4	97	38.99	4.42
6:49:44	395.3	95.5	38.98	4.43
6:49:45	395.2	94.1	38.71	4.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:49:47	395.1	93	38.41	4.46
6:49:48	394.9	91.5	38.75	4.47
6:49:49	394.8	90.2	38.99	4.48
6:49:50	394.7	89.1	38.93	4.49
6:49:51	394.6	88.3	38.31	4.50
6:49:52	394.5	88.1	37.72	4.51
6:49:53	394.5	88.1	37.13	4.52
6:49:54	394.5	88.1	36.97	4.53
6:49:55	394.5	88.1	36.71	4.54
6:49:56	394.5	88.1	36.12	4.55
6:49:57	394.7	89	35.57	4.56
6:49:58	394.7	89.1	35.13	4.57
6:49:59	394.8	90.1	34.81	4.58
6:50:00	394.8	90	34.72	4.59
6:50:01	394.8	90.1	34.72	4.60
6:50:02	394.9	90.9	34.71	4.61
6:50:03	395	91	34.71	4.62
6:50:04	395	91.5	34.73	4.63
6:50:05	395.1	92	35.10	4.64
6:50:06	395.2	92.5	35.12	4.65
6:50:07	395.2	93	35.52	4.66
6:50:08	395.3	93.1	35.51	4.67
6:50:09	395.4	93.9	35.52	4.68
6:50:10	395.3	93.4	35.86	4.69
6:50:11	395.3	93	35.91	4.70
6:50:12	395.4	93	36.10	4.71
6:50:13	395.5	94	36.31	4.72
6:50:14	395.5	94	36.51	4.73
6:50:15	395.6	94.5	36.72	4.74
6:50:16	395.5	93.7	36.78	4.75
6:50:17	395.4	92.2	37.11	4.76
6:50:18	395.2	90.9	36.87	4.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:50:20	395.1	89.5	36.74	4.79
6:50:21	395	87.9	37.12	4.80
6:50:22	394.9	87.1	37.15	4.81
6:50:23	394.9	86.8	37.35	4.82
6:50:24	394.8	86.1	37.00	4.83
6:50:25	394.7	85.2	36.40	4.84
6:50:26	394.7	84.9	35.88	4.85
6:50:27	394.6	84.2	35.60	4.86
6:50:28	394.6	84.1	35.33	4.87
6:50:29	394.6	84.1	34.69	4.88
6:50:30	394.6	83.9	34.35	4.89
6:50:31	394.6	84.1	34.23	4.90
6:50:32	394.7	84.5	33.94	4.91
6:50:33	394.8	85.5	33.58	4.92
6:50:34	394.8	86.1	33.46	4.93
6:50:35	395	86.9	33.17	4.94
6:50:36	395.1	88	33.15	4.95
6:50:37	395.2	88.7	33.15	4.96
6:50:38	395.3	89.5	33.07	4.97
6:50:39	395.4	90	33.17	4.98
6:50:40	395.4	90	33.32	4.99
6:50:41	395.3	89	33.71	4.99
6:50:42	395.2	87.8	33.94	5.00
6:50:43	395.1	86.5	34.30	5.01
6:50:44	395	85.6	34.73	5.02
6:50:45	394.9	84.9	35.01	5.03
6:50:46	394.8	84	35.33	5.04
6:50:47	394.8	83.1	35.55	5.05
6:50:48	394.7	82.3	35.55	5.06
6:50:49	394.6	81.9	35.14	5.07
6:50:50	394.5	81.2	34.67	5.08
6:50:51	394.5	81.1	34.16	5.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:50:53	394.6	81.1	33.48	5.11
6:50:54	394.5	80.9	33.14	5.12
6:50:55	394.5	80.2	32.78	5.13
6:50:56	394.6	81	32.43	5.14
6:50:57	394.6	81.1	32.28	5.15
6:50:58	394.7	81.7	32.00	5.16
6:50:59	394.7	82.1	31.95	5.16
6:51:00	394.7	82.3	31.92	5.17
6:51:01	394.8	83.1	31.97	5.18
6:51:02	394.9	83.3	31.90	5.19
6:51:03	395	84.3	31.60	5.20
6:51:04	395.1	85.1	31.91	5.21
6:51:05	395.1	85.2	31.98	5.22
6:51:06	395.2	86	32.22	5.23
6:51:07	395.2	86	32.39	5.24
6:51:08	395.3	85.9	32.45	5.24
6:51:09	395.1	84.5	32.78	5.25
6:51:10	394.9	82.5	32.85	5.26
6:51:11	394.8	80.6	33.28	5.27
6:51:12	394.7	80.3	33.57	5.28
6:51:13	394.7	79.8	33.65	5.29
6:51:14	394.6	79	33.96	5.30
6:51:15	394.5	78.4	33.96	5.31
6:51:16	394.6	79.2	33.92	5.32
6:51:17	394.6	79.2	33.35	5.33
6:51:18	394.6	79.2	32.53	5.34
6:51:19	394.7	79.7	31.77	5.35
6:51:20	394.8	80.9	31.64	5.35
6:51:21	394.9	81.7	31.46	5.36
6:51:22	395	82.5	31.14	5.37
6:51:23	395.1	83.1	30.88	5.38
6:51:24	395.2	83.6	31.22	5.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:51:26	395.1	82.8	31.21	5.41
6:51:27	395	81.8	31.44	5.42
6:51:28	394.9	80.9	31.90	5.42
6:51:29	394.9	80.1	32.21	5.43
6:51:30	394.8	79.1	32.55	5.44
6:51:31	394.7	78.2	32.78	5.45
6:51:32	394.6	77.4	33.01	5.46
6:51:33	394.6	77.3	33.07	5.47
6:51:34	394.7	78.1	32.66	5.48
6:51:35	394.8	79.1	32.29	5.49
6:51:36	394.9	79.7	31.90	5.50
6:51:37	395	80.6	31.58	5.51
6:51:38	395.1	81.6	31.20	5.51
6:51:39	395.2	82.1	30.84	5.52
6:51:40	395.2	82.1	30.49	5.53
6:51:41	395.1	81.2	30.45	5.54
6:51:42	394.9	79.1	30.77	5.55
6:51:43	394.8	77.5	31.19	5.56
6:51:44	394.7	76.9	31.44	5.57
6:51:45	394.6	75.9	31.78	5.57
6:51:46	394.5	75.3	32.21	5.58
6:51:47	394.5	75.3	32.40	5.59
6:51:48	394.6	76.1	32.39	5.60
6:51:49	394.8	77.4	32.06	5.61
6:51:50	394.8	78.2	31.19	5.62
6:51:51	394.9	78.2	30.54	5.63
6:51:52	394.9	79	30.32	5.64
6:51:53	395	79.6	29.92	5.64
6:51:54	395.1	80.2	29.66	5.65
6:51:55	395.2	81.1	29.67	5.66
6:51:56	395.2	81.1	29.99	5.67
6:51:57	395.2	80.2	30.53	5.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)
6:51:59	395.1	79.2	30.84	5.69
6:52:00	395.1	79.2	31.15	5.70
6:52:01	395.1	79.1	31.40	5.71
6:52:02	395.1	79.1	31.63	5.72
6:52:03	395	78	32.00	5.73
6:52:04	394.9	77.2	32.02	5.74
6:52:05	394.9	77.2	31.64	5.75
6:52:06	395	78	31.52	5.76
6:52:07	395.1	78.9	31.24	5.76
6:52:08	395.2	79.2	31.24	5.77
6:52:09	395.2	78.9	31.23	5.78
6:52:10	395.1	77.9	31.23	5.79
6:52:11	395	77.2	30.76	5.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36

The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)

11-13 ธันวาคม 2556

ณ เฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี



Volume 2

- (CM) ไฟฟ้าสื่อสาร
- (EL) อิเล็กทรอนิกส์
- (PH) ไฟโตนิกส์
- (CT) ระบบควบคุม
และการวัดคุม
- (DS) การประมวล
สัญญาณดิจิทัล
- (CP) คอมพิวเตอร์
และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- (GN) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
กับวิศวกรรมไฟฟ้า
- (BE) วิศวกรรมชีวการแพทย์

Electrical Engineering Dept.

Faculty of Engineering

Kasetsart University

50 Ngamwongwan Road Latyao

Chatuchak Bangkok 10900

Tel: 02-797-0999 ext 1503, 1504

Fax: 02-579-7566



สารบัญ

PW001	การบริหารจัดการพลังงานสำหรับบ้านอัจฉริยะโดยการหาค่าเหมาะสมที่สุด	1
PW002	การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีใช้ฟังก์ชันทางสถิติ เพื่อช่วยบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงาน	5
PW003	Improvement load factor with reducing peak demand in Industrial sector by using load duration curve analysis techniques	9
PW004	การจำลองสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาร่องโรเตอร์เฉียงโดยใช้วิธีไฟไนท์ อิลิเมนต์แบบ 3 มิติ	13
PW005	การศึกษาอุณหภูมิภายในหม้อแปลงไฟโอไอเล็กทรอนิกส์แบบหลายชั้น ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนต์แบบ 3 มิติ	17
PW006	Robust Control of Combined FCL and ECS for Power System Transient Stability Improvement	21
PW007	การประสานควบคุมแบบคงทนของกังหันลมชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบป้อนสองทางซึ่งติดตั้งตัวหน่วงการแกว่งกำลังไฟฟ้าและตัวทำเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อลดการแกว่งกำลังไฟฟ้า	25
PW008	การชดเชยการแกว่งของความถี่ในระบบไฟฟ้ากำลังด้วย FACTS	29
PW009	Photovoltaic Generation Control by Fuzzy Gain Scheduling based on Bee Colony Optimization for Frequency Control in an Isolated Power System	33
PW010	Stabilization of Inter-Area Oscillation by Large PV Farm with Controllable Output Power by Fuzzy Gain Scheduling of PID Controller based on Bee Colony Optimization	37
PW011	การหาขนาดขดลวดตัวนำยิ่งยวดที่เหมาะสมซึ่งติดตั้งในกังหันลมที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดป้อนสองทางเพื่อเพิ่มความสามารถการข้ามผ่านความผิดปกติและลดการแกว่งกำลังไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ	41
PW012	การปรับปรุงการลู่เข้าของวิธีวิวิธวิธีเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดแบบประหยัดแบบพลวัต	45
PW013	การกำหนดตำแหน่งติดตั้งและขนาดโรงไฟฟ้าขนาดเล็กอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธีการผสมผสานระหว่างตัวประกอบบ่งชี้กำลังสูญเสียและ PSO-TVAC	49
PW014	Optimal Generation Dispatch Considering Wind Power Uncertainty Using Non-dominated Sorting Particle Swarm Optimization	53
PW015	Power System State Estimation with Grid-Connected Wind Turbine Generators Considering Generation Reallocation Method	57
PW016	การวิเคราะห์ผลกระทบจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำด้วยโปรแกรม DigSILENT	61
PW017	Utility Impacts of Electric Vehicle Quick Charger	65
PW018	Impact of Fast Charging Station to Voltage Level in Distribution System	69
PW019	Impact of Unbalance Electric Vehicle Home Charging in Distribution Systems	73
PW020	Charging Strategy of Electric Vehicles for Maintaining Micro-Grid Stability during Islanding	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Utility Impacts of Electric Vehicle Quick Charging Station

ภาคภูมิ สุดแสง¹ และ สุรินทร์ คำฝอย²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

² ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Email: pakpoom_pea@hotmail.co.th, kkhsurin@kmitl.ac.th

PW017

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอถึงผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็ว(Quick Charging) เนื่องจากสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วเป็นส่วนสำคัญในการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า(Electric Vehicle) เพิ่มมากขึ้น โดยการศึกษผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าจากการติดตั้งเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วในวงจรไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณา โดยในบทความนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า(Power Flow) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย(Power Loss) และคุณภาพไฟฟ้า(Power Quality) โดยใช้โปรแกรม DIGSILENT ในการวิเคราะห์ อีกทั้งยังได้นำเสนอโครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมซึ่งสามารถลดภาระความต้องการไฟฟ้าสูงสุด(Peak Demand) โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่าโครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่ได้นำเสนอนั้น สามารถลดภาระความต้องการสูงสุดลงได้ 17% ของวงจรที่ได้ทำการศึกษา

คำสำคัญ: สถานีอัดประจุแบตเตอรี่,ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า, การอัดประจุแบบรวดเร็ว, รถยนต์ไฟฟ้า

Abstract

Utility impacts of electric vehicle (EV) quick charger are studied in this paper. Since EV quick charger is one of a primary support for EV users, the impacts to the grid should be carefully considered. The power flow, additional losses and power quality are analyzed in the case of EV quick charger installation to the grid feeder using DigSILENT. The suitable infrastructure is also introduced to reduce the peak load demand. The results show that the proposed EV quick charger can reduce the peak demand upto 17% based on particular studied feeder.

Keywords: Charging station, utility impact

1. บทนำ

จากผลกระทบของสภาวะโลกร้อน(Global Warming) รวมถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและผลกระทบจากการผันผวนของราคาน้ำมัน

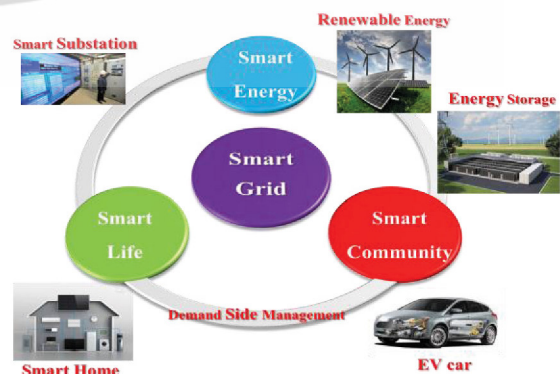
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36) 11 - 13 ธันวาคม 2556 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จึงทำให้ต้องมีการศึกษาและพัฒนามาตรการหรือเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อลดการใช้พลังงานฟอสซิล และเพิ่มการใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะภาคคมนาคมขนส่งที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานประเภทนี้ค่อนข้างสูง การสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานสะอาดในภาคคมนาคมขนส่งจึงเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่หลายประเทศให้ความสนใจ สำหรับประเทศไทยนั้น ภายหลังจากการประกาศนโยบายโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของ กฟภ. (PEA Smart Grid)[1] ได้ถูกคาดหวังว่าจะเป็นกลไกสำคัญในการสนับสนุนการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้านั้นสามารถเป็นได้ทั้งภาระไฟฟ้าและแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

จากการเพิ่มปริมาณการใช้รถไฟฟ้ามากขึ้นในอนาคต โดยคาดว่าจะมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้ามากถึง 5 ล้านคัน ภายในปี 2020[2] ซึ่งหากมีการอัดประจุที่สถานีอัดประจุพร้อมๆ กันหลายคัน ก็จะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยสามารถพิจารณาได้จากหลายปัจจัย เช่น ตำแหน่งที่รถไฟฟ้าทำการอัดประจุแบตเตอรี่ ขนาดของแบตเตอรี่ในรถไฟฟ้า รูปแบบการอัดประจุแบตเตอรี่ และช่วงเวลาในการประจุแบตเตอรี่ ซึ่งจากปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า อาทิเช่น การควบคุมแรงดัน กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และการใช้งานโหลดที่เกินขีดจำกัดหม้อแปลง เป็นต้น โดยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโครงข่ายไฟฟ้า(V2G) โดยการควบคุมปริมาณการอัดประจุกับค่าประจุ เพื่อในการรองรับช่วงที่มีภาระความต้องการทางไฟฟ้าสูงหรือรักษาระดับแรงดันตกในช่วงสั้นๆ[3]

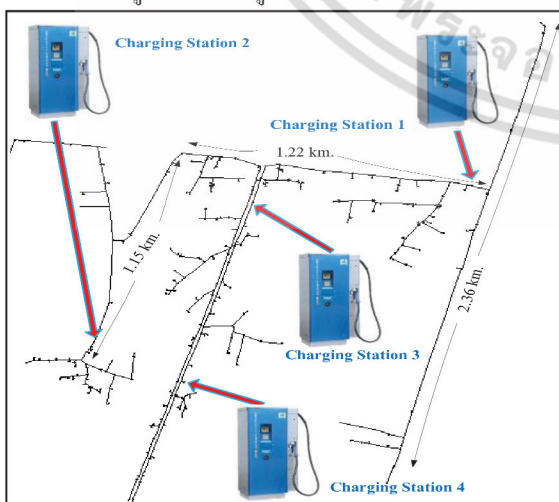


รูปที่ 1 โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะของ กฟภ.

2. ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การอัดประจุแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า ในปัจจุบันสามารถใช้ได้กับทั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ โดยทั่วไประบบการอัดประจุแบบรวดเร็วใช้เวลาประมาณ 15-20 นาที และในระบบอัดประจุแบบแรงดันปกติ(Normal Charging) ใช้เวลาประมาณ 5 - 8 ชม. ซึ่งปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าคือการเพิ่มขึ้นของภาระไฟฟ้าที่มากขึ้นในอนาคต จากการอัดประจุแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้โหลดในวงจรเพิ่มสูงมากขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งโหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ความต้องการภาระไฟฟ้าสูงสุด รวมถึงค่าดัชนีความมั่นคงในการจ่ายกระแสไฟของระบบไฟฟ้า โดยจากปัญหาดังกล่าวทำให้หน่วยงานที่มีหน้าที่วางแผนการจ่ายกระแสไฟฟ้าต้องหาวิธีแก้ไขด้วยวิธีต่างๆ อาทิเช่น การติดตั้งคาปาซิเตอร์แรงสูง การปรับปรุงเพิ่มสายป้อน/แบ่งจ่าย โหลด การติดตั้งหม้อแปลงปรับแรงดัน(AVR) เพื่อควบคุมแรงดันตก กำลังไฟฟ้าสูญเสีย เพื่อเพิ่มความสามารถในการจ่าย โหลดให้กับสถานีไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เงินลงทุนที่ค่อนข้างสูง

จากผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วในระบบจำหน่ายไฟฟ้าดังกล่าว ในบทความนี้จึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยจำลองการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วในพื้นที่ของเมืองพัทยา ซึ่งเป็น 1 ใน 4 พื้นที่เป้าหมายของ กฟภ. ที่จะมีการดำเนินการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สาธารณะ โดยรูปแบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองพัทยาเป็นแบบรัศมี(Radial) ทั้งนี้แต่ละวงจร(Feeder) รองรับโหลดไม่เกิน 8 MW สำหรับระบบจำหน่าย 22 kV และจากข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีทำให้ในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ระยะทางเฉลี่ยประมาณ 100 km. ทำให้ในการจำลองติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ควรมีระยะห่างไม่เกิน 100 km. แต่สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ในบริเวณที่คาดว่าจะมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอัตราที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่

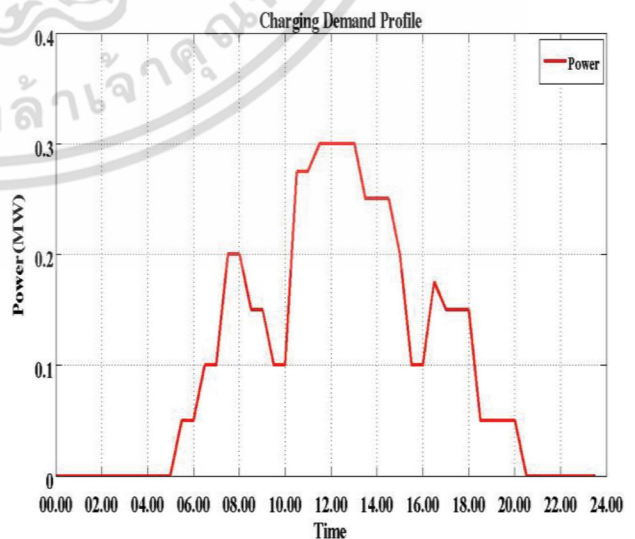
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36) 11 - 13 ธันวาคม 2556 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

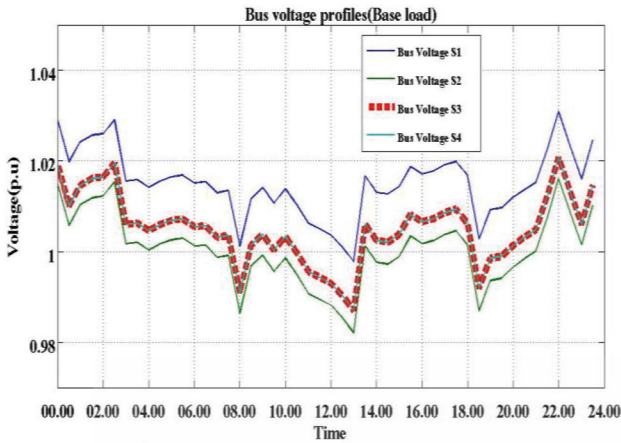
โดยในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า(Power Flow) จะใช้ข้อมูลการจ่ายกระแสไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าพัทธาเหนือ ซึ่งประกอบไปด้วยหม้อแปลง 115 kV/22 kV ในพื้นที่จะเลือกใช้งานวงจรที่ 4 ซึ่งเป็นวงจรที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าในเขตเทศบาลเมืองพัทยา โดยใช้สายป้อนหลัก(Main Feeder) ขนาด 185 mm² และ 50 mm² ซึ่งมีพิกัดของกระแสใช้งานที่ 410 A และ 180 A ตามลำดับ โดยทำการวิเคราะห์ความสามารถในการจ่าย โหลด กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบแรงดันไฟฟ้า และความต้องการภาระไฟฟ้าสูงสุด โดยอาศัยโปรแกรม DIGSILENT สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า โดยใช้พฤติกรรมกรจ่ายกระแสไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าพัทธาเหนือมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์

โดยในการอัดประจุแบตเตอรี่ได้กำหนดพฤติกรรมกรอัดประจุแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้าให้มีพฤติกรรมกรอัดประจุที่ใกล้เคียงกับการเติมแก๊สในสถานีเติมแก๊สของรถยนต์[4] โดยที่ความต้องการสำหรับการอัดประจุในหนึ่งสถานีนั้นค่อนข้างมีความแตกต่างกันอันเป็นสาเหตุอันเนื่องมาจากตำแหน่งที่มีการติดตั้งสถานีอัดประจุหรือราคาค่าไฟฟ้า โดยในการจำลองพฤติกรรมกรความต้องการการอัดประจุแบตเตอรี่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 ซึ่งสามารถกำหนดได้โดย

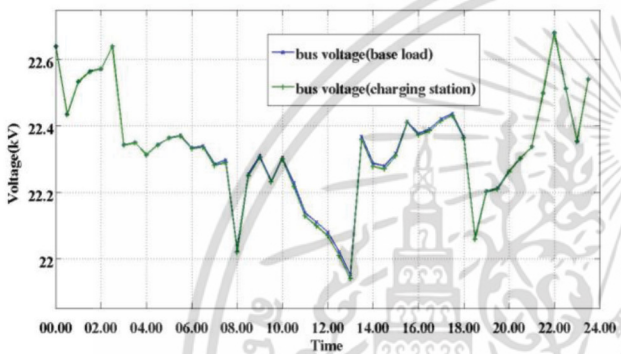
- 1) ไม่มีการอัดประจุแบบ Quick charging ในช่วงเวลา กลางคืน เนื่องจากสามารถทำการอัดประจุได้ที่บ้าน
- 2) ขนาดของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าที่ใช้ที่พิกัด 24 kWh (Nissan Leaf)
- 3) ภาระงานการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นจะทำการอัดประจุที่ 20% SOC ถึง 80% SOC ภายในเวลาไม่เกิน 20 นาที โดยใน 1 สถานีจะประกอบไปด้วยเครื่องอัดประจุแบตเตอรี่จำนวน 6 เครื่อง โดยพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเครื่องคือ 50 kW (CHADEMO)



รูปที่ 3 การจำลองพฤติกรรมกรอัดประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 4 แรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า



รูปที่ 5 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ

จากการวิเคราะห์ผลจากการติดตั้งสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ พบว่าจุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าพบว่าในช่วงเวลาที่ความต้องการสูงสุด (Peak Load) มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นอันเนื่องมาจากพฤติกรรมการอัดประจุที่สถานีอัดประจุแบตเตอรี่ อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดแรงดันตกที่จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจากปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้ โครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าในประเทศต้องมีไฟฟ้าเพียงพอเพื่อรองรับการประจุแบตเตอรี่ให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในจำนวนมาก การวางแผนระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับการขยายตัวของการใช้รถยนต์ไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องวางแผนพิจารณาเป็นอันดับต้นๆ อาทิเช่น ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งสามารถพัฒนาไปพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid) จะสามารถช่วยจัดการและลดความต้องการของไฟฟ้าที่ต้องเพิ่มขึ้นได้

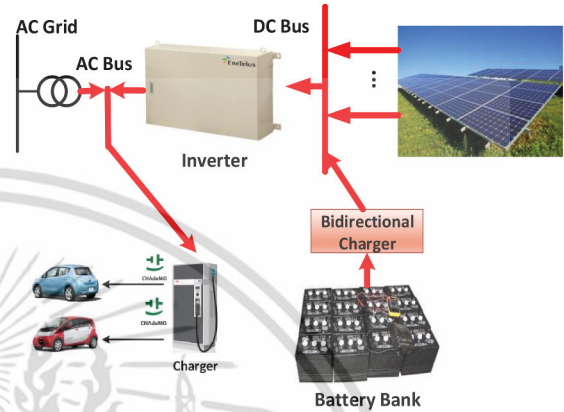
3. โครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่

ปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งในการส่งเสริมให้มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าคือการพัฒนาสถานีอัดประจุแบตเตอรี่เพื่อรองรับการใช้งานรถไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ โครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก คือ เครื่องอัดประจุ (Charger) ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้า

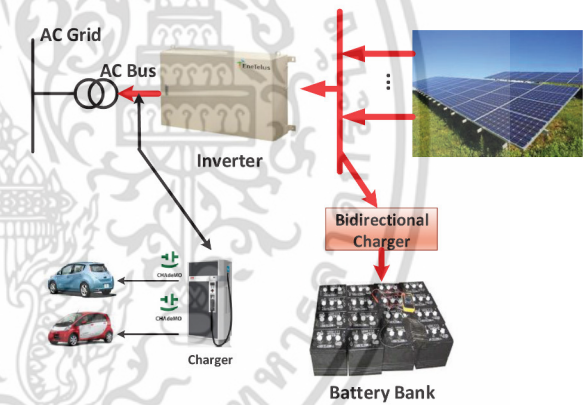
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Power Distribution) โดยมีรูปแบบการส่งจ่ายพลังงานอยู่ 3 กรณี ดังนี้

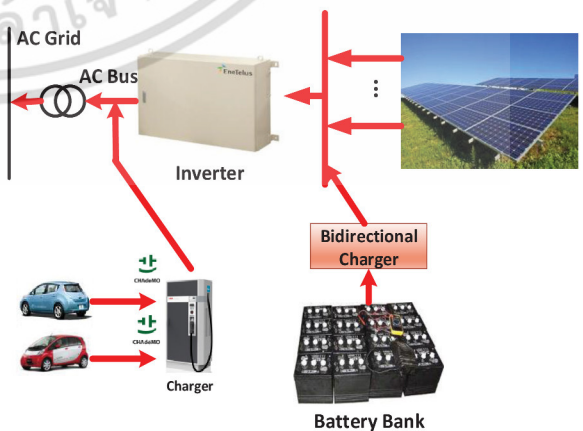
- 1) กรณีมีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า
- 2) กรณีไม่มีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า
- 3) กรณีระบบเกิดความไม่เสถียร



รูปที่ 6 การจ่ายพลังงานกรณีมีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า



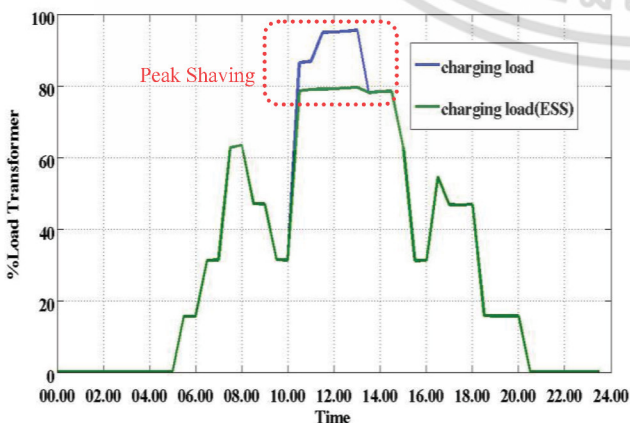
รูปที่ 7 การจ่ายพลังงานกรณีไม่มีการอัดประจุให้กับรถไฟฟ้า



รูปที่ 8 การจ่ายพลังงานกรณีระบบเกิดความไม่เสถียร

จากรูปแบบการส่งจ่ายพลังงานในช่วงต้น ซึ่งภายในสถานีอัดประจุแบตเตอรี่จะใช้พลังงานหลักที่ได้จากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบสะสมพลังงาน เพื่อลดการใช้กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายให้น้อยที่สุด

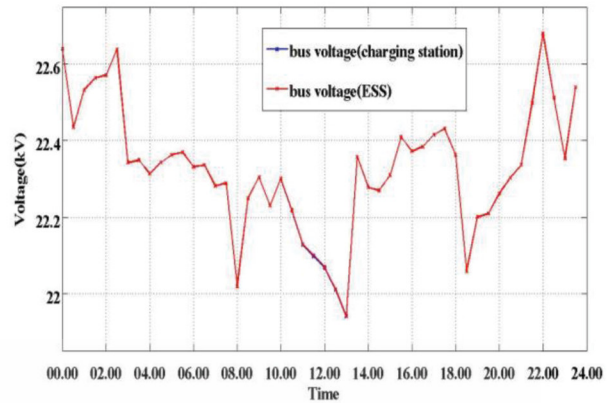
จากผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ทำให้ทราบว่าหากมีการอัดประจุแบตเตอรี่แบบรวดเร็วพร้อมๆกัน ซึ่งในที่ได้กำหนดให้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย 22 kV ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 315 kVA พบว่าจะส่งผลกระทบต่อให้มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่สูงเกินปกติกว่า 90% ในช่วงภาวะความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 9 และเกิดแรงดันตกเพียงในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง โดยปัญหาเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อในการวางแผนระบบไฟฟ้าในอนาคต รวมถึงการออกแบบสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอรูปแบบโครงสร้างสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่มีการนำระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 12 kW และระบบสะสมพลังงาน ซึ่งในที่นี้จะใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 60 kWh โดยมีรูปแบบการส่งจ่ายพลังงานในช่วงที่มีการเชื่อมต่อกับรถยนต์ไฟฟ้ากับสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ ซึ่งในส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบสะสมพลังงานจะทำหน้าที่ช่วยลดภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบในช่วงที่มีความต้องการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าสูง ดังแสดงในรูปที่ 9 และช่วยยกระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงสั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดภาระทางไฟฟ้าสูงสุดได้ประมาณ 17% และสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ประมาณ 1% แต่อย่างไรก็ตามในช่วงที่ไม่มีมีการอัดประจุระบบสะสมพลังงานจะถูกอัดประจุโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน หรือแม้กระทั่งในช่วงภาวะความต้องการไฟฟ้าต่ำ(22.00 - 09.00 น.) ก็จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ามาทำการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ในระบบสะสมพลังงาน โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เพื่อนำพลังงานมาในช่วงที่ภาระความต้องการไฟฟ้าสูง ทำให้โครงสร้างในลักษณะนี้เหมาะสมสำหรับนำมาติดตั้งใช้งานในระบบไฟฟ้าของประเทศไทย



รูปที่ 9 เปรียบเทียบโหลดหม้อแปลงก่อนและหลังติดตั้งสถานีอัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36 (EECON-36) 11 - 13 ธันวาคม 2556 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



รูปที่ 10 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าของสถานีอัดประจุที่นำเสนอ

4. สรุป

การส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตอันใกล้นี้ ซึ่งเป็นหนึ่งในทางเลือกในการลดการใช้พลังงานประเภทฟอสซิล สถานีอัดประจุแบตเตอรี่จึงเป็นสิ่งสำคัญในการให้ความเชื่อมั่นกับผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า โดยที่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าจากการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุแบบรวดเร็ว (Quick Charging) โดยใช้โปรแกรม DIGSILENT สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกระแสไฟฟ้า รวมถึงแสดงรูปแบบโครงสร้างของสถานีอัดประจุแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดภาระความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงภาวะความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 17% และสามารถช่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ประมาณ 1% รวมถึงช่วยรักษาระดับแรงดันตกในช่วงสั้นๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Website of Provincial Electricity Authority[Online].Available: <http://www.pea.co.th>.
- [2] Z.Lui, F.Wen and G.Ledwich, "Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems ", IEEE Transactions on Power Delivery, VOL.28, NO.1, JANUARY 2013
- [3] P.Bauer, Yi Zhou, J. Doppler and N.Stembridge, "Charging of electric vehicles and impact on the grid ", 2010 13th International Symposium MECHATRONIKA , pp 121 – 127
- [4] K.Yunus, H.Z.de la Parra, M.Reza, "Distribution grid impact Plug-In Electric Vehicles charging at fast charging stations using stochastic charging model" ,Power Electronics and Applications (EPE 2011), Proceedings of the 2011-14th European Conference on

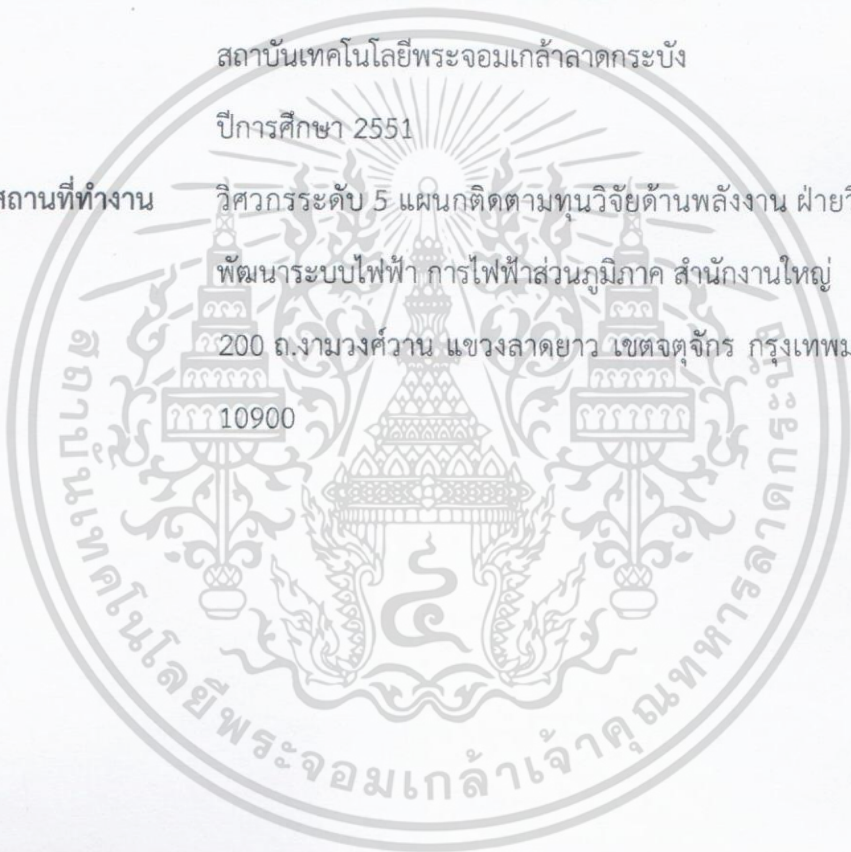
ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายภาคภูมิ สุดแสง
วัน เดือน ปี เกิด 17 มกราคม 2530
ที่อยู่ 127/324 ซ.รามอินทรา 40 แยก 8-3 แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม
กรุงเทพมหานคร 10230

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

ตำแหน่ง/สถานที่ทำงาน วิศวกรระดับ 5 แผนกติดตามทวนวิจัยด้านพลังงาน ฝ่ายวิจัยและ
พัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่
200 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
10900



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้