

การจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้แบตเตอรี่เพื่อปรับปรุงแรงดันตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
ขณะมียานยนต์ไฟฟ้า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PEAK-DEMAND MANAGEMENT BY USING A BATTERY FOR IMPROVING UNDERVOLTAGES
IN DISTRIBUTION SYSTEMS WITH ELECTRIC VEHICLE CONNECTED



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้แบตเตอรี่เพื่อปรับปรุงแรงดันตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะมียานยนต์ไฟฟ้า
โดย	นายพิทยุทธ์ ภิรมย์จิตต์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศน์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิสิษฐ์พล จีรพวงศานุรักษ์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาลย์ เจริญบุตร)	

พิทยุทธ์ ภิรมย์จิตต์ : การจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้แบตเตอรี่เพื่อปรับปรุงแรงดันตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะมียานยนต์ไฟฟ้า. (PEAK-DEMAND MANAGEMENT BY USING A BATTERY FOR IMPROVING UNDERVOLTAGES IN DISTRIBUTION SYSTEMS WITH ELECTRIC VEHICLE CONNECTED) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธวัชชัย เตชสุนันต์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาระบบสำรองพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ เพื่อปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากระบบไฟฟ้าภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ และปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ รวมไปถึงจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก โดยพิจารณาการติดตั้งแบตเตอรี่เพียงจุดเดียวเท่านั้น ผลจากการจำลองแบบจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นกรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ 240 โวลต์ ที่ใช้การประจุไฟฟ้ากระแสสลับระดับที่หนึ่ง และกรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง 24.9 กิโลโวลต์ ที่ใช้การประจุไฟฟ้ากระแสสลับระดับที่หนึ่งและสองร่วมกัน โดยจำลองคุณลักษณะยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่รวมไปถึงการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า และจำลองหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมโดยทดสอบติดตั้งระบบสำรองพลังงาน 3 ตำแหน่งที่แตกต่างกันได้แก่ ตำแหน่งต้นสายจำหน่าย ที่บัส 820 ตำแหน่งกลางสายจำหน่าย ที่บัส 846 และ ตำแหน่งปลายสายจำหน่าย ที่บัส 888 ด้วยเทคนิคการจับกลุ่มข้อมูล ผ่านโปรแกรม MATPOWER 6.0 ร่วมกับโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 และแบ่งผลการทดสอบตามระดับ Penetration ที่ ร้อยละ 30, 40, 50 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเกิดจากการนำยานยนต์ไฟฟ้ามาเชื่อมต่อจากภาระชนิดที่อยู่อาศัยเพื่อประจุไฟฟ้าในช่วงเวลาเร่งด่วน โดยการติดตั้งระบบสำรองพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ เพียงตำแหน่งเดียวในระบบไฟฟ้า สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในขอบเขตได้ อย่างไรก็ตาม การติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดที่มีโอกาสเกิดแรงดันตกได้มากนั้น ระบบดังกล่าวจะมีค่าดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกที่สะท้อนความสามารถปรับปรุงระดับแรงดันตกได้ดีกว่าการติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ไกลกว่า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5870205021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Undervoltages, Peak-demand Reduction, Optimal Battery Capacity, EVs
Penetration, Battery Energy Storage System, Battery Position

Pittayut Piromjit : PEAK-DEMAND MANAGEMENT BY USING A BATTERY FOR
IMPROVING UNDERVOLTAGES IN DISTRIBUTION SYSTEMS WITH ELECTRIC VEHICLE
CONNECTED. Advisor: Assoc.Prof. Thavatchai Tayjasanant, Ph.D.

This thesis studied the battery energy storage system which reduces the peak-demand consumption from a generator or from an external power system while having electric vehicles connected to the system, improves the voltage sag while the EVs is connected to the system, and simulates the appropriate size of the battery that is installed in the system for reducing the peak power consumption and determining the voltage within the allowable range to improve voltage sag problems. The battery will be installed at one point only. Simulation results were classified into EVs charging at 240 V Low-Voltage using the AC level 1 charging method and at 24.9 kV Medium-Voltage using AC level 1& 2 charging methods by simulating the characteristics of EVs, the characteristics of battery, and the power flow analysis. The appropriate battery size was tested on 3 different positions, the beginning of feeder at bus 820, the middle of feeder at bus 846, and the end of feeder at bus 888 with particle swarm optimization techniques via MATPOWER 6.0 and DigSILENT PowerFactory 15.1 on 30%, 40%, and 50% EVs penetration levels. Results showed that the amount of EVs affects the voltage level in the distribution system when EVs are connected to the residential loads during the urgent period for charging. Only battery installed in the distribution system can maintain the voltage level in the allowable range. However, installing the battery in a location near a lot of potential voltage drop point, then systems will have a lower sag-severity index which reflects the ability to improve the undervoltages better than installing a battery in a further position.

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รัชชัย เตชสุนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาการศึกษา การจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงการตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัชวาลย์ เยรบบุตร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย และ อาจารย์ ดร.พิสิษฐ์พล จีรพงศานนุรักษ์ กรรมการ ที่อนุเคราะห์เวลาเพื่อตรวจสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้เป็นไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพัตชา ภูขงค์ หัวหน้าแผนกวิเคราะห์การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าในประเทศ ฝ่ายแผนการผลิตและระบบส่งไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และ คุณวาที เลาะห์โรจนพันธ์ วิศวกรระดับ 6 ฝ่ายสัญญาซื้อขายไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์ให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การทดสอบสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เป็นไปด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ น้อง สมาชิกห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ และข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและต่อวิทยานิพนธ์ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมไปถึง คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในการติดต่อประสานงาน และการดำเนินการต่างๆ เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ เป็นไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง เพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ที่ช่วยสนับสนุนและให้กำลังใจในการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต จนกระทั่งการศึกษาและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พิทยุตม์ ภิรมย์จิตต์

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์	4
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์.....	4
1.7 โครงสร้างเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ระบบประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และ ผลกระทบจากการเชื่อมต่อ	7
2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า.....	7
2.1.1 ยานยนต์ลูกผสม (Hybrid Vehicle).....	7
2.1.2 ยานยนต์แบตเตอรี่ไฟฟ้า (Battery Electric Vehicle).....	8
2.2 รูปแบบของการประจุไฟฟ้า [5-7].....	8

2.2.1	Conductive Charging	8
2.2.2	Inductive Charging	9
2.3	หัวจ่ายประจุไฟฟ้า [8-10]	9
2.4	ผลกระทบที่เกิดจากการประจุไฟฟ้าให้แก่ยานยนต์ไฟฟ้า	10
2.4.1	ความต้องการกำลังไฟฟ้า (Power Demand)	10
2.4.2	กำลังสูญเสียในระบบ (Power loss).....	11
2.4.3	แรงดันเปลี่ยนแปลง (Voltage variations).....	11
บทที่ 3	ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า	12
3.1	ประเภทของคุณภาพไฟฟ้า.....	12
3.2	การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า.....	14
3.2.1	การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะเวลาสั้น (Short duration variations).....	14
3.2.2	การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะเวลายาว (Long duration variations)	16
3.2.3	ดัชนีที่ใช้ในการประเมินแรงดันเปลี่ยนแปลง	19
3.3	ดัชนีความรุนแรงของระดับแรงดันตก (Voltage-Sag Severity Index) [20, 21].....	20
3.4	แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)	21
3.5	การวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	22
3.6	ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า	23
3.6.1	ระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2558 [23] ...	23
3.6.2	ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 [24]	24
บทที่ 4	ระบบกักเก็บพลังงาน	25
4.1	คุณลักษณะของแบตเตอรี่ [5].....	25
4.2	ชนิดของแบตเตอรี่ทุติยภูมิ [5].....	26
4.2.1	แบตเตอรี่ตะกั่วน้ำกรด	27
4.2.2	แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์	28

4.2.3	แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน	28
บทที่ 5	การจัดการความต้องการใช้ปริมาณพลังไฟฟ้าสูงสุด	31
5.1	การจัดตารางการผลิตหรือใช้ไฟฟ้า	32
5.2	การติดตั้งแบตเตอรี่ หรือระบบกักเก็บพลังงาน	32
5.3	เทคนิคการหาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยการจับกลุ่มข้อมูล (Particle Swarm Optimization)	33
บทที่ 6	การทดสอบ.....	35
6.1	การปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากกริดภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบด้วยระบบสำรองพลังงาน ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลักในการปรับลด	35
6.1.1	ข้อมูลที่ใช้ในการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด	35
6.1.2	ขั้นตอนการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า	43
6.2	การปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ.....	46
6.2.1	ข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ	46
6.2.2	ขั้นตอนการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ	46
6.3	การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด สำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก.....	49
6.3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้า ..	49
6.3.2	ขั้นตอนการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้า.....	50
6.4	กรณีศึกษา.....	53
6.4.1	กรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ	53
6.4.2	กรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง	53
บทที่ 7	ผลการทดสอบ	54
7.1	กรณีศึกษาที่ 1 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ	54

7.1.1 การปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากกริดภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบด้วยระบบสำรองพลังงาน ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็น อุปกรณ์หลักในการปรับลด.....	54
7.1.2 การปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ	56
7.1.3 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่ กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนด เพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก.....	59
7.2 กรณีศึกษาที่ 2 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง.....	63
7.2.1 การปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากกริดภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบด้วยระบบสำรองพลังงาน ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็น อุปกรณ์หลักในการปรับลด.....	63
7.2.2 การปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ	65
7.2.3 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่ กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนด เพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก.....	68
บทที่ 8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	72
8.1 กรณีศึกษาที่ 1 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ.....	72
8.2 กรณีศึกษาที่ 2 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง.....	74
บทที่ 9 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ	78
9.1 สรุปผลการทดสอบ	78
9.2 ข้อเสนอแนะ	79
บรรณานุกรม.....	80
ภาคผนวก.....	i
ประวัติผู้เขียน.....	10

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการทำงานและลักษณะเฉพาะของยานยนต์ลูกผสมรูปแบบต่าง ๆ [5] 7

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบระดับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน SAE-J1772 [6]..... 9

บทที่ 3

ตารางที่ 3.1 ประเภทและคุณลักษณะของคุณภาพไฟฟ้าชนิดต่างๆ [17]..... 12

ตารางที่ 3.2 ระเบียบวิธีสำหรับการคำนวณความรุนแรงของระดับแรงดันตก [21, 22] 21

ตารางที่ 3.3 ชนิดของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า..... 22

ตารางที่ 3.4 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้านครหลวง กรณีผู้ขอใช้บริการไม่จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ [23]..... 23

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้านครหลวง กรณีผู้ขอใช้บริการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ [23]..... 24

ตารางที่ 3.6 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [24] 24

บทที่ 4

ตารางที่ 4.1 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่รูปแบบต่าง ๆ [5]..... 30

บทที่ 5

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณ Particle Swarm Optimization [33] 34

บทที่ 6

ตารางที่ 6.1 การจำแนกประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้จำลองปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากยานยนต์ไฟฟ้า [34]..... 35

ตารางที่ 6. 2 เปรียบเทียบระดับการประจุไฟฟ้าให้ยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน SAE-J1772 [7]... 36

ตารางที่ 6.3 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน..... 39

ตารางที่ 6.4 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการในแต่ละตำแหน่ง..... 40

ตารางที่ 6.5 แสดงรูปแบบขนาดกำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้งานในแต่ละจุดเชื่อมต่อ..... 41

ตารางที่ 6.6 แสดงกรณีศึกษาย่อยสำหรับกรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ ... 53

ตารางที่ 6.7 แสดงกรณีศึกษาย่อยสำหรับกรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง 53

บทที่ 8

ตารางที่ 8.1 แสดงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในขณะก่อนและหลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่ 72

ตารางที่ 8.2 แสดงปริมาณกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่จำลองได้ รวมไปถึงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ขณะที่เชื่อมต่อแบตเตอรี่ 73

ตารางที่ 8.3 แสดงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง ในขณะก่อนและหลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่ 75

ตารางที่ 8.4 แสดงปริมาณกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่จำลองได้ รวมไปถึงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระดับแรงดันปานกลาง ขณะที่เชื่อมต่อแบตเตอรี่ 76

ภาคผนวก

ตาราง ก.1 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบก่อนเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย ของการไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558 ii

ตาราง ก.2 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 30 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558 iii

ตาราง ก.3 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 40 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558iv

ตาราง ก.4 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 50 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558v

ตาราง ข.1 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบก่อนเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง ความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็กบางส่วน ของการไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558vi

ตาราง ข.2 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง ใน ปริมาณร้อยละ 30 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย และกิจการขนาดเล็กบางส่วน การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558vii

ตาราง ข.3 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง ใน ปริมาณร้อยละ 40 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย และกิจการขนาดเล็กบางส่วน การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558viii

ตาราง ข.4 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง ใน ปริมาณร้อยละ 50 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย และกิจการขนาดเล็กบางส่วน การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558ix



สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 ลักษณะหัวจ่ายประจุไฟฟ้าชนิดต่างๆ [10].....	10
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 แรงดันตกที่เกิดจากความผิดพลาด.....	14
รูปที่ 3.2 แรงดันตกที่เกิดจากการเริ่มต้น.....	14
รูปที่ 3.3 แรงดันเกินที่เกิดจากความผิดพลาดชนิด 1 เฟสลงดิน.....	15
รูปที่ 3.4 ไฟดับชั่วขณะที่เกิดจากความผิดพลาดและ Recloser ทำงาน.....	15
รูปที่ 3.5 แรงดันตกในระบบ 3 เฟสสมดุล [18].....	17
รูปที่ 3.6 แรงดันตกในระบบ 3 เฟส 4 สาย โหลดเฟสเดียว [18].....	18
รูปที่ 3.7 ความรุนแรงของระดับแรงดันตกกับเส้นโค้ง SEMI [21].....	20
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานกับระดับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ..	26
บทที่ 5	
รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างระบบปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด [12].....	31
บทที่ 6	
รูปที่ 6.1 ภาระชนิดที่อยู่อาศัย ที่มีปริมาณการใช้น้อยกว่า 150 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน [3]	37
รูปที่ 6.2 ภาระชนิดที่อยู่อาศัยรวมไปถึงกิจการขนาดเล็กบางส่วน ที่มีปริมาณการใช้มากกว่า 150 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน [3].....	37
รูปที่ 6.3 ระบบทดสอบ IEEE 34-Node Test Feeder [36]	40
รูปที่ 6.4 การเชื่อมต่อของยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ภายในระบบทดสอบ.....	42
รูปที่ 6.5 แสดงผังการทำงานของระบบสำรองพลังงาน.....	44
รูปที่ 6.6 แสดงผังการทำงานของระบบปรับลดปริมาณกำลังไฟฟ้า โดยใช้ระบบสำรองพลังงาน	45
รูปที่ 6.7 แสดงผังการทำงานของระบบปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ	48

รูปที่ 6.8 แสดงผังการทำงานการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก 52

บทที่ 7

รูปที่ 7.1 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7 55

รูปที่ 7.2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8 55

รูปที่ 7.3 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9 56

รูปที่ 7.4 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7 57

รูปที่ 7.5 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8 58

รูปที่ 7.6 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9 58

รูปที่ 7.7 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งที่กำหนดให้ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาที่ 1 59

รูปที่ 7.8 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด 60

รูปที่ 7.9 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด 60

รูปที่ 7.10 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด 61

รูปที่ 7.11 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด 61

รูปที่ 7.12 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด.....	62
รูปที่ 7.13 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า ระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด	62
รูปที่ 7.14 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7	64
รูปที่ 7.15 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 45 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8	64
รูปที่ 7.16 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9	65
รูปที่ 7.17 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า ใน ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7	66
รูปที่ 7.18 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า ใน ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 45 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8	67
รูปที่ 7.19 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า ใน ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9	67
รูปที่ 7.20 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งที่กำหนดให้ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาที่ 2....	68
รูปที่ 7.21 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด	69
รูปที่ 7.22 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า ที่ ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด.....	69
รูปที่ 7.23 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด	70
รูปที่ 7.24 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า ที่ ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด	70

รูปที่ 7.25 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด 71

รูปที่ 7.26 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า ที่ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด 71

บทที่ 8

รูปที่ 8.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกที่บัส 890 ขณะที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในแต่ละตำแหน่งและตามปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ 74

รูปที่ 8.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกที่บัส 890 ขณะที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในแต่ละตำแหน่งและตามปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบแรงดันปานกลาง 77



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วยที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ และโครงสร้างเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ประเทศไทยอยู่ระหว่างดำเนินการปรับลดอัตราส่วนของปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อผลของกิจกรรมหรือลดความเข้มการใช้พลังงาน ตามการประชุมผู้นำกลุ่มความร่วมมือทางเศรษฐกิจเอเชีย-แปซิฟิก (Asia Pacific Economic Community; APEC) กระทรวงพลังงานจึงเริ่มนำดัชนีความเข้มการใช้พลังงาน (Energy Intensity; EI) หรือพลังงานที่ใช้พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (kiloton of Oil Equivalent; ktOE) ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product; GDP มีหน่วยเป็น พันล้านบาท) เป็นแนวทางกำหนดนโยบายและจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Plan; EEP) ในระยะยาวของประเทศไทย ซึ่งหนึ่งในมาตรการอนุรักษ์พลังงานภาคขนส่งคือการส่งเสริมการใชยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles; EV) โดยคาดคะเนว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้ 1,123 ktOE โดยใช้งบประมาณ 77,472 ล้านบาท จากภาคเอกชน [1]

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) ในคราวประชุมครั้งที่ 1/2559 (ครั้งที่ 6) [2] มีมติเห็นชอบแผนการขับเคลื่อนภารกิจด้านพลังงานเพื่อส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ในระยะที่ 1 การเตรียมความพร้อมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (พ.ศ. 2559-2560) ตามที่กระทรวงพลังงานเสนอ โดยเน้นการนำร่องการใช้งานกลุ่มรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้า เนื่องจากจะเกิดประโยชน์กับประชาชนในวงกว้างและสามารถพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อรองรับการใช้งานได้ง่าย รวมถึงดำเนินการเตรียมความพร้อมด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับการส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในอนาคต โดยจะมีการดำเนินการ 4 ส่วน ดังนี้ (1) จัดทำโครงการนำร่องใช้งานยานยนต์ไฟฟ้ากลุ่มรถโดยสารสาธารณะ (2) ศึกษาการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งาน (3) เตรียมความพร้อมด้านสาธารณูปโภคที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า และ (4) เตรียมความพร้อมรองรับด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เตรียมความพร้อมเกี่ยวกับการสนับสนุนด้านภาษี การปรับปรุงกฎหมายหรือกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง อัตราค่าบริการสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า บุคลากรในอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า การสนับสนุนงานวิจัยพัฒนาด้านการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น และมอบหมายให้หน่วยงานต่างๆ ดำเนินการในส่วนที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เป็นไปตามแผนในระยะที่ 1 ต่อไป

ซึ่งมีการเตรียมความพร้อมจากหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ (1) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ดำเนินโครงการจัดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้า เพื่อรองรับโครงการนำร่องการใช้งานรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้าขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) (2) ขสมก. ดำเนินโครงการนำร่องการใช้งานรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้า และโครงการนำร่องการใช้งานรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้าของ ขสมก. (3) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ดำเนินโครงการนำร่องรถโดยสารสาธารณะไฟฟ้าและจัดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อรองรับนักท่องเที่ยวเส้นทางสนามบินสุวรรณภูมิ – พัทยา (4) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ดำเนินโครงการนำร่องสถานีชาร์จการใช้งานรถยนต์มินิบัสไฟฟ้า และสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าเพื่อรับส่งผู้เข้าเยี่ยมชมศูนย์นวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้ กฟผ. (สำนักงานกลาง) โครงการนำร่องการใช้เทคโนโลยีสมาร์ตกริดเพื่อบริหารการใช้ไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า (Smart Grid for EV Demand Management) และโครงการศึกษาพัฒนามาตรฐานและเกณฑ์ประสิทธิภาพขั้นสูงรองรับการติดตั้งรถ 5 สำหรับยานยนต์ไฟฟ้าและสถานีประจุไฟฟ้า (5) บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (ปตท.) ดำเนินโครงการนำร่องรถโดยสารรับส่งพนักงานจาก ปตท. สำนักงานใหญ่ – รถไฟฟ้า BTS สถานีหมอชิต และ (6) สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ดำเนินโครงการนำร่องการจัดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้า (Charging Stations) ให้กับยานยนต์ไฟฟ้า โดยคาดหวังว่า สิ้นปี พ.ศ. 2579 จะมีการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการลดปริมาณการใช้น้ำมัน และทราบความเหมาะสมในการตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าทั้งในเชิงเทคนิค และในเชิงเศรษฐศาสตร์

จากแผนการขับเคลื่อนภารกิจด้านพลังงานเพื่อส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและจัดทำแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับยานยนต์ไฟฟ้าที่คาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในอนาคตภายหลังจากการดำเนินการในระยะที่ 1 แล้วเสร็จ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างพื้นฐานด้านระบบไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มที่อยู่อาศัย ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลพบว่า การใช้ไฟฟ้าของกลุ่มที่อยู่อาศัยในการดูแลของการไฟฟ้านครหลวง ช่วงการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่เวลา 20.00 ถึง 24.00 น. [3] ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ต่อเนื่องมาจากการจราจรช่วงเวลาเร่งด่วนเย็น ซึ่งมีปริมาณรถหนาแน่น [4] ทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่า หากมีการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าและใช้งานอย่างเต็มรูปแบบ จะส่งผลให้มีการประจุไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวมากขึ้น อาจกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้าในกลุ่มที่อยู่อาศัยด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุผลนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาระบบสำรองพลังงาน เพื่อปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากระบบไฟฟ้าภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ และปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ รวมไปถึงจำลองการจัดการพลังงานในช่วงที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากกริดภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบด้วยระบบสำรองพลังงาน ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลักในการปรับลด
- (2) เพื่อปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ
- (3) เพื่อจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- (1) พิจารณาระบบไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลางและระดับแรงดันต่ำสำหรับการอัดประจุแบบกระแสสลับเท่านั้น
- (2) พิจารณาภาระที่เกิดจากยานยนต์ไฟฟ้าประเภทใช้แบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle; BEV) ยานยนต์ลูกผสมไฟฟ้าที่สามารถอัดประจุจากภายนอกได้ (Plug-In Hybrid Electric Vehicle; PHEV) และภาระอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ได้แก่ คริวเรือน อุตสาหกรรม
- (3) พิจารณาการติดตั้งแบตเตอรี่ (Stationary Battery) เพียง 1 จุดเท่านั้น เพื่อพิจารณาว่าเหมาะสมในทางปฏิบัติหรือไม่
- (4) พิจารณาให้แบตเตอรี่ควบคุมเฉพาะกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) เท่านั้น
- (5) พิจารณาแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นชนิดลิเทียมไอออนเท่านั้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- (1) ศึกษาบทความทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
 - (1.1) ศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า
 - (1.2) ศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่
 - (1.3) ศึกษาบทความด้านการจัดการระบบไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงแรงดันเมื่อมียานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อ
 - (1.4) ศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด
- (2) วิเคราะห์และระบุปัญหาที่จะศึกษา
- (3) กำหนดขอบเขตของงานวิจัย

(4) กำหนดข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการประเมินปริมาณพลังงานสูงสุดของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่กับที่ในระบบที่จะนำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้า

(5) กำหนดขั้นตอนในการประเมินปริมาณพลังงานสูงสุดของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่กับที่ในระบบที่จะนำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

(1) สามารถหาปริมาณพลังงานสูงสุดของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่กับที่ในระบบที่จะนำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าได้

(2) สามารถจำลองการจัดการและจัดสรรพลังงานในช่วงที่มีปริมาณการใช้สูงที่สุดให้คุ้มค่าที่สุด โดยใช้แบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่กับที่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

(3) สามารถเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมที่จะจ่ายให้กับภาระในระบบไฟฟ้า

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ

(1) งานวิจัยที่เกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้าและการประจุไฟฟ้าในยานยนต์ไฟฟ้า

(2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาคุณภาพไฟฟ้าและแรงดันตก

(3) งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคการปรับลดการใช้ปริมาณพลังงานสูงสุด

(4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่และระบบกักเก็บพลังงาน

1.7 โครงสร้างเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

โครงสร้างเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 9 บท ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความสำคัญของปัญหาจากการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ รวมถึงบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และโครงสร้างเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 ยานยนต์ไฟฟ้า และระบบประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า ประเภทรูปแบบของการประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ลักษณะการเชื่อมต่อ หลักการทำงาน รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการประจุไฟฟ้า และการเชื่อมต่อระบบประจุไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 3 ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึง ประเภทของคุณภาพไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลกระทบสำคัญจากการประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า วิธีการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า รวมไปถึงข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า และวิธีการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้สามารถเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึง ประเภทของระบบกักเก็บพลังงาน ส่วนประกอบของระบบกักเก็บพลังงาน และพารามิเตอร์ของระบบกักเก็บพลังงาน หลักการหาขนาดแบตเตอรี่ที่เล็กที่สุดในการควบคุมแรงดันไฟฟ้า การใช้แบตเตอรี่เพื่อปรับลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และ ดัชนีการประเมินความเหมาะสมของขนาดแบตเตอรี่

บทที่ 5 การจัดการความต้องการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการปรับลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้เทคนิค และ กระบวนการต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย การจัดการวางผลิตหรือใช้ไฟฟ้า และ การติดตั้งระบบสำรองพลังงาน

บทที่ 6 การทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึง แบบจำลองการทดสอบ กรณีศึกษา ในการหาขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า เมื่อเชื่อมต่อระบบประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยพิจารณาถึงเรื่องตำแหน่งการติดตั้งระบบแบตเตอรี่ด้วย

บทที่ 7 ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะแสดงผลการทดสอบ การหาขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าเมื่อเชื่อมต่อระบบประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า เข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยพิจารณาถึงเรื่องตำแหน่งการติดตั้งระบบแบตเตอรี่ด้วย

บทที่ 8 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยนำเอาผลการทดสอบมาเปรียบเทียบ และหาจุดเด่นจุดด้อย ในแต่ละการทดสอบ

บทที่ 9 สรุป และ ข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ จะสรุปผลการทดสอบ และ ให้ข้อเสนอแนะ ในการหาขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีระบบประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่อย่างมีประสิทธิภาพ



บทที่ 2

ระบบประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า และ ผลกระทบจากการเชื่อมต่อ

2.1 ยานยนต์ไฟฟ้า

ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles; EVs) [5] มีวิธีการจำแนกประเภทที่หลากหลาย แต่ในขณะนี้สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

2.1.1 ยานยนต์ลูกผสม (Hybrid Vehicle)

ยานยนต์ลูกผสม เป็นยานยนต์ที่นำระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าและเครื่องยนต์มาทำงานร่วมกัน โดยพยายามที่จะนำข้อได้เปรียบของระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้ามาใช้ แต่ยังคงพึ่งพาความสามารถในการกักเก็บพลังงานและความเร็วของการเติมพลังงานของเครื่องยนต์อยู่ ในปัจจุบันยานยนต์ลูกผสมนั้นได้รับการพัฒนาขึ้นในหลากหลายรูปแบบ โดยจำแนกตามสัดส่วนการใช้กำลังไฟฟ้า ดังตัวอย่างในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการทำงานและลักษณะเฉพาะของยานยนต์ลูกผสมรูปแบบต่าง ๆ [5]

รูปแบบลูกผสม	Mini	Mild	เสริมแรง	เต็มรูปแบบ	ไฟฟ้าเพิ่มระยะ
หยุดเครื่องเดินเบา (Idle Stop)	/	/	/	/	/
Regeneration	< 3 กิโลวัตต์	< 9 กิโลวัตต์	/	/	/
เสริมกำลังออกตัว	< 3 กิโลวัตต์	< 9 กิโลวัตต์	/	/	/
ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าล้วน				/	/
ประจุไฟได้จากไฟบ้าน					/
การประหยัดเชื้อเพลิง (ร้อยละ)	5-6	8-12	35	>40	ไฟฟ้าล้วน
แบตเตอรี่	Pb-Acid	VRLA	NiMH	NiMH	Li-Ion
ระดับแรงดันทำงาน	14 โวลต์	42 โวลต์	150 โวลต์	300 โวลต์	300 โวลต์
ขนาดเครื่องยนต์	ดั้งเดิม	เล็กลง	เล็กลง	เล็กลง	เล็กลง
อุปกรณ์เสริม	ดั้งเดิม	ดั้งเดิม	ใช้ไฟฟ้า	ใช้ไฟฟ้า	ใช้ไฟฟ้า
ตัวแทนเทคโนโลยี	ระบบ BAS ของ GM	Silverado ของ GM	Honda Civic	Toyota Prius	GM Volt, Plug-In Toyota Prius

จะเห็นได้ว่า ยานยนต์ลูกผสมเต็มรูปแบบจะให้ข้อได้เปรียบของระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าแบบจะครบถ้วนรวมทั้งให้ผลดีต่อการประหยัดเชื้อเพลิงได้สูงสุดในบรรดา ยานยนต์ลูกผสม แต่การออกแบบมีความซับซ้อน รวมถึงต้นทุนของระบบก็มีสูงเช่นเดียวกัน อีกประเภทหนึ่งได้แก่ ยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มระยะ หรือ Plug-in Hybrid Electric Vehicle หรือ Extended Range Electric Vehicle ซึ่งพิจารณาการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเข้ามาช่วยในจังหวะการทำงานต่าง ๆ และเครื่องยนต์ทำหน้าที่เพียงเพื่อจ่ายพลังงานให้ขับเคลื่อนต่อไปได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น ทำให้ผู้บริโภคลดความกังวลเรื่องระยะขับขี่ของยานยนต์ไปได้

2.1.2 ยานยนต์แบตเตอรี่ไฟฟ้า (Battery Electric Vehicle)

เป็นยานยนต์ซึ่งพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าโดยไม่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน พลังงานไฟฟ้าถูกจ่ายจากแหล่งพลังงานภายนอกเข้ามาบรรจุไว้ในแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่กับตัวถังของยานยนต์ รูปแบบการประจุไฟฟ้าแบ่งออกเป็น การประจุไฟฟ้าแบบข้ามคืน และ การประจุไฟฟ้าแบบเร่งด่วน อีกทั้งยังได้รับพลังงานบางส่วนจากการผลิตไฟฟ้าคืนจากการพยายามหยุดยานยนต์

2.2 รูปแบบของการประจุไฟฟ้า [5-7]

2.2.1 Conductive Charging

คือการอัดประจุที่มีการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยมีสายเคเบิลเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อ การอัดประจุไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อโดยตรงนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ การอัดประจุแบบไฟฟ้ากระแสสลับ และ การอัดประจุแบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยสามารถแบ่งระดับการอัดประจูดังนี้

- (1) การประจุไฟฟ้าแบบปกติ (Normal Charging หรือ AC Level 1-2)

เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ที่ใช้เวลานานประมาณ 6-8 ชั่วโมง ใช้ระดับแรงดันในการประจุไฟฟ้ารูปแบบดังกล่าวที่ 120-240 โวลต์ ซึ่งทำให้เกิดระดับกระแสที่ค่อนข้างสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 16-80 แอมแปร์ ส่งผลให้ต้องทำการปรับปรุงแผงวงจรสำหรับจ่ายไฟฟ้าให้เหมาะสม

(2) การประจุไฟฟ้าแบบเร่งด่วน (Quick Charging หรือ DC Level)

เป็นการอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรง ที่ใช้เวลานานประมาณ 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง ใช้ระดับแรงดันในการประจุไฟฟ้ารูปแบบดังกล่าวที่ 500-600 โวลต์ ซึ่งทำให้เกิดระดับกระแสที่สูงตั้งแต่ 80-150 แอมแปร์ เหมาะสำหรับติดตั้งเป็นสถานีอัดประจุสาธารณะหรือในเชิงพาณิชย์

ตารางที่ 2. 2 เปรียบเทียบระดับการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน SAE-J1772 [6]

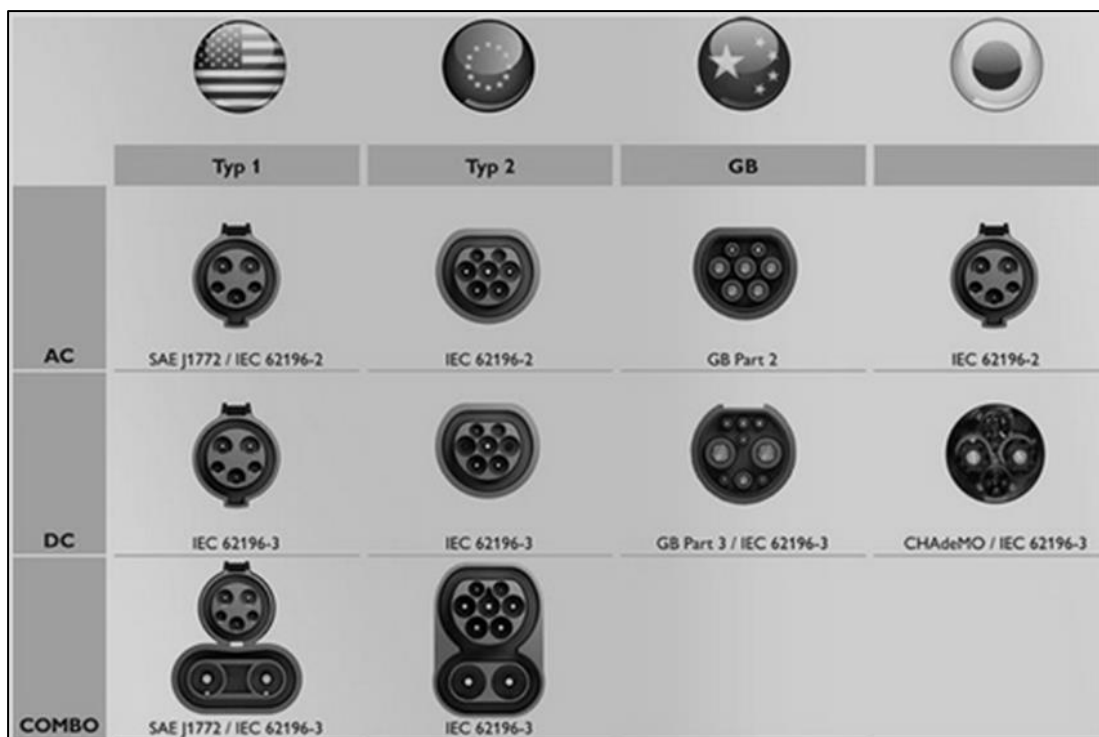
ระดับการอัดประจุ	แรงดัน	กระแสสูงสุด
AC Level 1	120-240 V AC, 1-phase	16 A
AC Level 2	208-400 V AC, 1-phase or 3-phase	80 A
DC Level	200-500 V DC	80 A

2.2.2 Inductive Charging

Inductive charging หรือ Contactless charging คือการอัดประจุไฟฟ้าชนิดที่ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า แต่ใช้การส่งผ่านพลังงานแม่เหล็กผ่านขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ประโยชน์ของการอัดประจุชนิดนี้คือความสะดวกในการอัดประจุสามารถนำไปพัฒนาให้อยู่บนถนนทางหลวงและอัดประจุขณะขับรถได้ ข้อเสียของการอัดประจุชนิดนี้คือ ประสิทธิภาพต่ำ กำลังไฟฟ้าน้อย ความซับซ้อนในการผลิต และมีราคาค่อนข้างสูง

2.3 หัวจ่ายประจุไฟฟ้า [8-10]

หัวจ่ายประจุไฟฟ้า (Charging connector) ที่ติดตั้งในสถานีอัดประจุไฟฟ้า มีหลายแบบขึ้นอยู่กับระดับและมาตรฐานของการอัดประจุ และผู้ผลิตของยานยนต์ไฟฟ้าว่าจะเลือกใช้มาตรฐานหัวจ่ายประจุไฟฟ้าชนิดใด มาตรฐาน IEC 62196-1 [8] จำแนกหัวจ่ายประจุไฟฟ้ากระแสสลับเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ 1 เป็นหัวจ่ายตามมาตรฐานของอเมริกา และชนิดที่ 2 เป็นหัวจ่ายตามมาตรฐานยุโรป และยังมีจำแนกหัวจ่ายประจุไฟฟ้ากระแสตรงออกเป็นชนิดที่ 1 และ 2 เช่นเดียวกับหัวจ่ายประจุกระแสสลับ นอกจากนี้หัวจ่ายประจุไฟฟ้ากระแสตรงยังมีหัวจ่าย CHAdeMO [9] ซึ่งพัฒนาโดยประเทศญี่ปุ่น สำหรับจ่ายประจุไฟฟ้ากระแสตรงให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่มาจากประเทศญี่ปุ่น และยังมีหัวจ่ายแบบ Combined Charging System (CCS) [8] ซึ่งสามารถจ่ายประจุได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ โดยรูปที่ 2.1 แสดงหัวจ่ายประจุไฟฟ้าชนิดต่างๆ [10]



รูปที่ 2. 1 ลักษณะหัวจ่ายประจุไฟฟ้าชนิดต่างๆ [10]

2.4 ผลกระทบที่เกิดจากการประจุไฟฟ้าให้แก่ยานยนต์ไฟฟ้า

การเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าต้องการปริมาณพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากเพื่อประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่พร้อมสำหรับการใช้งาน ซึ่งมีผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังนี้

2.4.1 ความต้องการกำลังไฟฟ้า (Power Demand)

เนื่องจากผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะประจุไฟฟ้าให้แก่ยานยนต์ไฟฟ้าหลังจากใช้งานเสร็จในแต่ละวัน หรือช่วงที่กลับถึงที่พักอาศัย ซึ่งเป็นช่วงกลางคืนที่มีผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก เมื่อมีโหลดของยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มเข้าไปโดยไม่มีการควบคุม จึงทำให้กำลังไฟฟ้าในระบบไม่เพียงพอต่อผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นผลให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยความต้องการกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณยานยนต์ไฟฟ้า บทความ [11-13] ได้ศึกษาผลกระทบด้านความต้องการกำลังไฟฟ้าเนื่องจากการอัดประจุรถยนต์โดยการอัดประจุกระแสสลับระดับที่ 1 โดยพิจารณาระดับการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้ามากขึ้น ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบในหนึ่งวันจะเพิ่มขึ้นตาม

2.4.2 กำลังสูญเสียในระบบ (Power loss)

การอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสสลับ 1 เฟสเป็นที่นิยมในผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน สามารถอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าได้ที่บ้านเพียงต่อกับไฟบ้านเหมือนการอัดประจุของแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ ซึ่งเมื่อมีการอัดประจุรถไฟฟ้าเกิดขึ้นในแต่ละบ้านไม่พร้อมกัน เป็นผลทำให้เกิดความไม่สมดุลในระบบ ซึ่งความไม่สมดุลนี้ก่อให้เกิดกำลังสูญเสียในระบบ ยิ่งมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณยานยนต์ไฟฟ้ามีมากขึ้นกำลังสูญเสียในระบบยิ่งเพิ่มขึ้นตาม บทความ [11, 12, 14] ศึกษาผลกระทบด้านกำลังสูญเสียในระบบ โดยจะมีกำลังสูญเสียในระบบในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง (Peak load) มากกว่าช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำ (Off-peak) และกำลังการสูญเสียจะเพิ่มขึ้นตามระดับการเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าในระบบ

2.4.3 แรงดันเปลี่ยนแปลง (Voltage variations)

การเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ากับระบบเพื่ออัดประจุนั้นเสมือนการเพิ่มโหลดในตำแหน่งนั้นในระบบ ซึ่งหากมีการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในหนึ่งตำแหน่งมากจะสามารถทำให้เกิดแรงดันตกเนื่องจากมีโหลดที่มากขึ้นได้ บทความ [11, 12, 14, 15] ศึกษาแรงดันเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าแบบกระแสสลับระดับที่ 1 และกระแสสลับระดับที่ 2 ในระบบแรงดันปานกลางและแรงดันต่ำ ผลการศึกษาพบว่าเกิดแรงดันตกที่บัสที่มีการเชื่อมต่อรถยนต์ทั้งในระบบแรงดันปานกลางและระบบแรงดันต่ำ แต่ในระบบแรงดันปานกลางขนาดแรงดันตกยังไม่เกินมาตรฐาน แต่ในระบบแรงดันต่ำนั้นขนาดแรงดันตกมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน บทความ [16] ศึกษาแรงดันเปลี่ยนแปลงจากสถานีอัดประจุกระแสตรงเมื่อมียานยนต์ไฟฟ้าอัดประจุ 1 คันต่อหนึ่งสถานี ผลการศึกษาพบว่าเกิดแรงดันตกเมื่อมีการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า แต่ขนาดของแรงดันตกไม่เกินค่ามาตรฐาน

บทที่ 3

ปัญหาคุณภาพไฟฟ้า

3.1 ประเภทของคุณภาพไฟฟ้า

ตามมาตรฐาน IEEE Std 1159TM-2009, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality [17] สามารถจำแนกคุณภาพไฟฟ้าได้เป็น 7 ประเภท สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ประเภทและคุณลักษณะของคุณภาพไฟฟ้าชนิดต่างๆ [17]

ประเภท	ลักษณะ	ช่วงเวลา	ขนาดแรงดันไฟฟ้า
1. ภาวะชั่วคราว (Transient)			
1.1 อิมพัลส์ (Impulsive)			
1.1.1 Nanosecond	เพิ่มขึ้น 5 ns	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	เพิ่มขึ้น 1 μ s	50 ns - 1 ms	
1.1.3 Millisecond	เพิ่มขึ้น 0.1 ms	> 1 ms	
1.2 การแกว่ง (Oscillatory)			
1.2.1 Nanosecond	< 5 kHz	0.3 - 50 ms	0 - 4 p.u.
1.2.2 Microsecond	5 - 500 kHz	20 μ s	0 - 8 p.u.
1.2.3 Millisecond	0.5 - 5 MHz	5 μ s	0 - 4 p.u.
2. การเปลี่ยนแปลงช่วงระยะเวลาสั้น (Short Duration Variations)			
2.1 ทันทีทันใด (Instantaneous)			
2.1.1 ตก (Sag)		0.5 - 30 cycles	0.1 - 0.9 p.u.
2.1.2 เกิน (Swell)		0.5 - 30 cycles	1.1 - 1.8 p.u.
2.2 ชั่วขณะ (Momentary)			
2.2.1 หยุดชะงัก (Interruption)		0.5 cycles - 3 s	< 0.1 p.u.
2.2.2 ตก (Sag)		30 cycles - 3 s	0.1 - 0.9 p.u.
2.2.3 เกิน (Swell)		31 cycles - 3 s	1.1 - 1.4 p.u.

ประเภท	ลักษณะ	ช่วงเวลา	ขนาด แรงดันไฟฟ้า
2.3 ชั่วคราว (Temporary) 2.3.1 ไฟดับ (Interruption) 2.3.2 ตก (Sag) 2.3.3 เกิน (Swell)		> 3 s - 1 min > 3 s - 1 min > 3 s - 1 min	< 0.1 p.u. 0.1 - 0.9 p.u. 1.1 - 1.2 p.u.
3. การเปลี่ยนแปลงช่วงระยะเวลา ยาว (Long Duration Variations) 3.1 ไฟดับ (Interruption) 3.2 Undervoltage 3.3 Overvoltage		> 1 min > 1 min > 1 min	0.0 p.u. 0.8 - 0.9 p.u. 1.1 - 1.2 p.u.
4. ไม่สมดุล (Imbalance) 4.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage) 4.2 กระแสไฟฟ้า (Current)		steady state steady state	0.5 - 2 % 1.0 - 30 %
5. การบิดเบี้ยวของรูปคลื่น (Waveform Distortion) 5.1 องค์ประกอบไฟตรง (DC offset) 5.2 Harmonics 5.3 Interharmonics 5.4 คลื่นรอยบาก (Notching) 5.5 สัญญาณรบกวน (Noise)	0 - 9 Hz 0 - 9 Hz	steady state steady state steady state steady state	0 - 0.1 % 0 - 20 % 0 - 2 %
6. แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)	< 25 Hz	intermittent	0.1 - 7 %
7. การเปลี่ยนแปลงความถี่ของ กำลังไฟฟ้า (Power Frequency Variations)		< 10 s	± 0.1 Hz

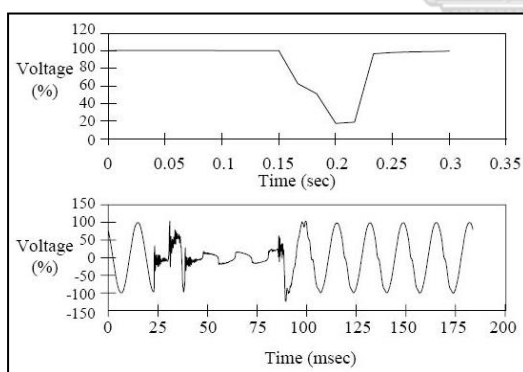
3.2 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า

3.2.1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะเวลาสั้น (Short duration variations)

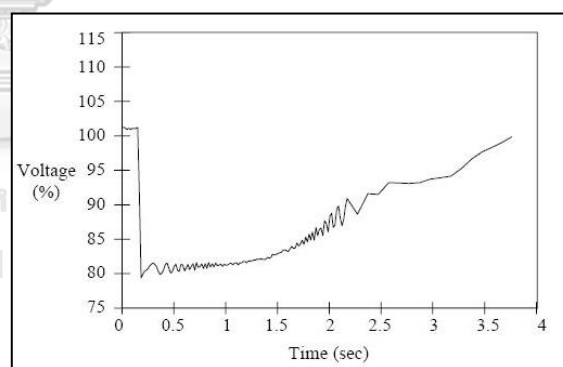
คือการการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันกำลังสองเฉลี่ย (V_{rms}) ในช่วงระยะเวลาไม่เกิน 1 นาที โดยมีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้า (Fault) เป็นผลทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag or Voltage Dip) แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) และไฟดับ (Interruption) โดยสามารถแบ่งระยะเวลาที่เกิดได้คือ ทันทีทันใด (Instantaneous) ชั่วขณะ (Momentary) และชั่วคราว (Temporary)

(1) แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag or Voltage Dip)

คือการลดลงของ V_{rms} ตั้งแต่ 0.1-0.9 ต่อหน่วย (Per Unit; p.u.) ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 0.5 รอบคลื่น ถึง 1 นาที แรงดันตกชั่วขณะส่วนใหญ่เกิดจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้า โดยในรูปที่ 3.1 แสดงแรงดันตกชั่วขณะ 20% ที่เกิดจากความผิดปกติแบบ 1 เฟสลงดิน หรือหมายถึงแรงดันคงเหลือ 0.2 p.u. นอกจากนั้นยังสามารถเกิดจากการเชื่อมต่อภาระขนาดใหญ่ และการเริ่มเดินมอเตอร์ขนาดใหญ่ ในระบบไฟฟ้า ในรูปที่ 3.2 แสดงแรงดันตกที่เกิดจากการเริ่มเดินมอเตอร์ขนาดใหญ่



รูปที่ 3.1 แรงดันตกที่เกิดจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้า แบบ 1 เฟสลงดิน

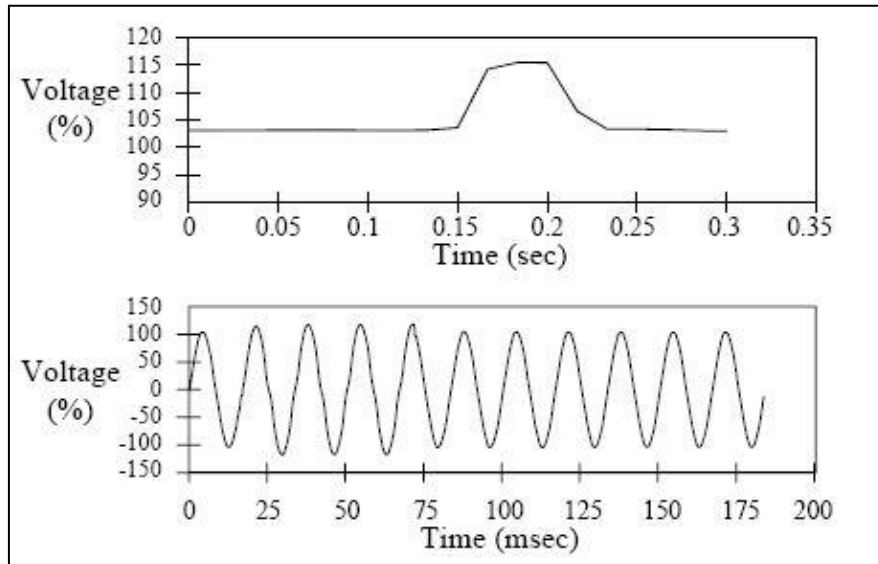


รูปที่ 3.2 แรงดันตกที่เกิดจากการเริ่มเดินมอเตอร์ขนาดใหญ่

(2) แรงดันเกินชั่วขณะ (Voltage Swell)

คือการเพิ่มขึ้นของ V_{rms} มากกว่า 1.1 p.u. ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 0.5 รอบคลื่น ถึง 1 นาที ขนาดของแรงดันเกินชั่วขณะคือค่าของแรงดันที่คงอยู่ซึ่งจะมีค่ามากกว่า 1 p.u. เสมอ เช่นเดียวกัน แรงดันเกินชั่วขณะเกิดจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้าแต่มีโอกาสน้อยกว่า

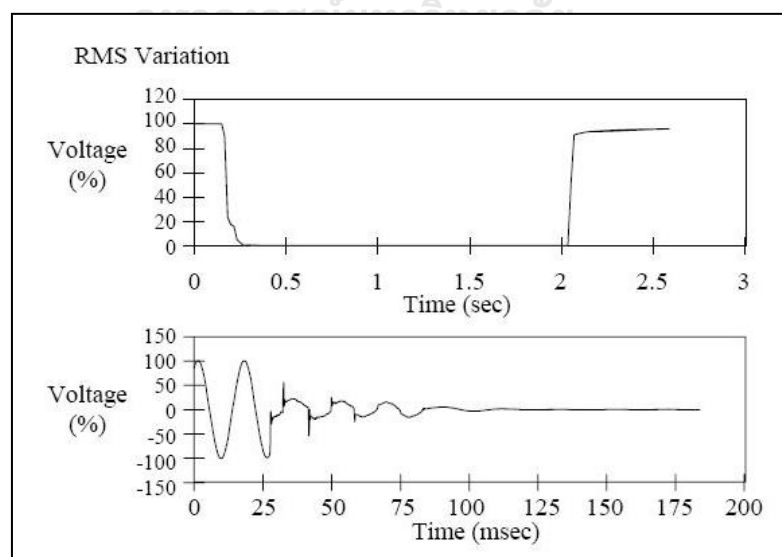
แรงดันตกชั่วขณะ นอกจากนั้นยังเกิดจากการปลดภาระขนาดใหญ่ออกจากระบบไฟฟ้า ในรูปที่ 3.3 แสดงแรงดันเกินชั่วขณะที่เกิดจากความผิดพลาดชนิด 1 เฟสลงดิน



รูปที่ 3.3 แรงดันเกินที่เกิดจากความผิดพลาดชนิด 1 เฟสลงดิน

(3) ไฟดับ (Interruption)

คือการที่ V_{rms} ลดลงต่ำกว่า 0.1 p.u. ในช่วงเวลาไม่เกิน 1 นาที มีสาเหตุเกิดจากความผิดพลาดของระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ทำงานผิดพลาด บางครั้งเกิดขึ้นหลังจากแรงดันตกชั่วขณะช่วงหลังจากเกิดความผิดพลาดและก่อนที่อุปกรณ์ป้องกันจะทำงาน ในรูปที่ 3.4 แสดงไฟดับช่วงสั้นที่เกิดจากความผิดพลาดและ Recloser ทำงาน



รูปที่ 3.4 ไฟดับชั่วขณะที่เกิดจากความผิดพลาดและ Recloser ทำงาน

3.2.2 การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะเวลายาว (Long duration variations)

คือการเปลี่ยนแปลงของ V_{rms} ในช่วงระยะเวลามากกว่า 1 นาที สาเหตุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของภาระในระบบไฟฟ้า ไม่ได้เกิดจากความผิดปกติ เป็นผลทำให้เกิดแรงดันตก (Under voltage) แรงดันเกิน (Overvoltage) และไฟดับระยะยาว (Sustained interruption)

(1) แรงดันตก (Undervoltage)

คือการที่ V_{rms} ลดลงต่ำกว่า 0.9 p.u. เป็นเวลานานเกินกว่า 1 นาที มีสาเหตุเกิดจากการต่อภาระขนาดใหญ่เข้ากับระบบไฟฟ้า หรือการปลดชุดตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor Bank) ออกจากระบบไฟฟ้า และการมีภาระมากเกินไป (Overload) เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแรงดันตกได้

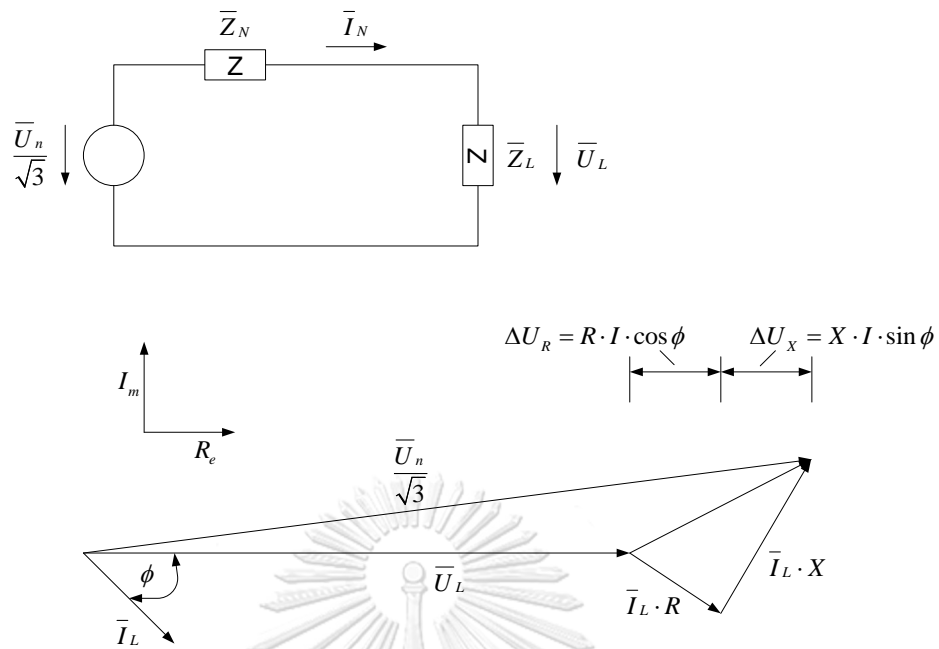
(2) แรงดันเกิน (Overvoltage)

หมายถึง V_{rms} มากกว่า 1.1 p.u. เป็นเวลานานเกิน 1 นาที มีสาเหตุเกิดจากการปลดภาระออกจากระบบ การต่อเชื่อม Capacitor Bank เข้ากับระบบไฟฟ้า ทั้งนี้ การปรับตำแหน่งหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสม เป็นผลทำให้เกิดแรงดันเกินได้เช่นกัน

(3) ไฟดับระยะยาว (Sustained interruption)

หมายถึง V_{rms} ต่ำกว่า 0.1 p.u. เป็นเวลานานเกิน 1 นาที มีสาเหตุเกิดจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้าทำให้อุปกรณ์ป้องกันตัดการเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกจากระบบถาวร

การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเกิดจากแรงดันตกในอิมพีแดนซ์ของระบบ แรงดันตกในระบบ 3 เฟส สมดุล แสดงในรูปที่ 3.5 หาได้ดังนี้ [18]



รูปที่ 3.5 แรงดันตกในระบบ 3 เฟสสมดุล [18]

$$\Delta \bar{U} = \Delta \bar{I}_L \times \bar{Z}_N \quad (3.1)$$

หรือ

$$\Delta U = \Delta U_R + \Delta U_X = (R \cos \phi + X \sin \phi) \Delta I_L \quad (3.2)$$

เมื่อ

ΔU คือ ขนาดของแรงดันตกที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากโหลด (คิดโดยประมาณ)

ΔI_L คือ ขนาดของกระแสโหลดที่เปลี่ยนแปลง

กำลังงานลัดวงจร (S_{SC}) ณ จุดต่อโหลดหาได้จาก

$$S_{SC} = \sqrt{3} \times U_n \times I_{SC} \quad (3.3)$$

หรือ

$$S_{SC} = \frac{U_n^2}{Z_N} \quad (3.4)$$

เมื่อ

U_n คือ แรงดันที่ระบุของระบบ

Z_N คือ อิมพีแดนซ์ของระบบ

กระแสโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔI_L) สามารถหาได้จากขนาดของโหลดที่เปลี่ยนแปลงไป (

ΔS)

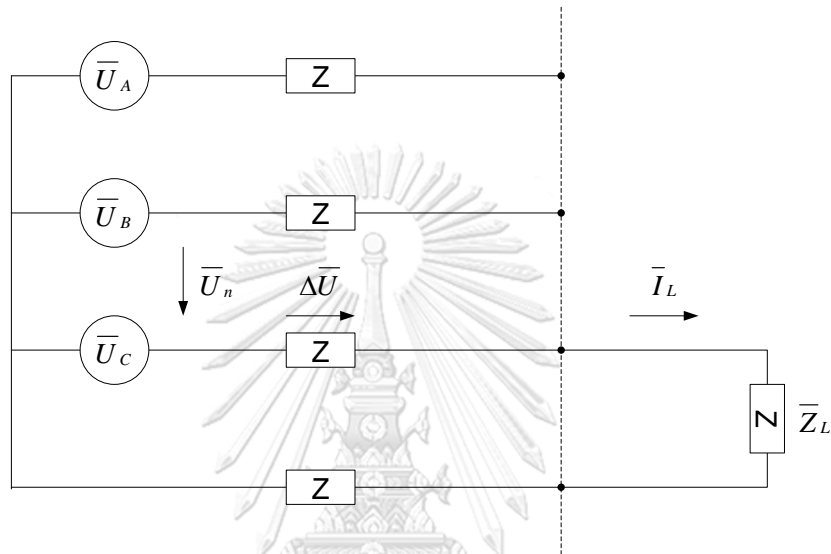
$$\Delta I_L = \frac{\Delta S}{\sqrt{3} U_L} \cong \frac{\Delta S}{\sqrt{3} U_n} \quad (3.5)$$

ΔI_L นี้เป็นการหาค่าโดยประมาณโดยตั้งเงื่อนไขว่า แรงดันตกมีค่าน้อย ดังนั้น

$$\Delta U = \Delta I_L \times Z_N = \frac{\Delta S}{\sqrt{3}U_n} \times \frac{U_n^2}{S_{SC}} = \frac{\Delta S}{S_{SC}} \times \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad (3.6)$$

$$\% \Delta U = \frac{\Delta S}{S_{SC}} \times 100 \quad (3.7)$$

ในกรณีระบบ 3 เฟส 4 สาย และต่อโหลดเฟสเดียวดังรูปที่ 3.6 สามารถวิเคราะห์หาแรงดันตกได้ดังนี้



รูปที่ 3.6 แรงดันตกในระบบ 3 เฟส 4 สาย โหลดเฟสเดียว [18]

กำลังงานลัดวงจร (S_{SC}) ณ จุดต่อโหลดหาได้จาก

$$S_{SC} = \sqrt{3} \times U_n \times I_{SC}$$

หรือ

$$S_{SC} = \frac{U_n^2}{Z_N}$$

กระแสโหลดและกำลังของโหลดหาจาก

$$I_L = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{Z_1} \cong \frac{U_n}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{Z_1} \quad (3.8)$$

$$S = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \times I_L \cong \frac{U_n}{\sqrt{3}} \times I_L \quad (3.9)$$

ขนาดแรงดันที่เปลี่ยนไปหาได้จาก

$$\begin{aligned} \Delta U &= I_L \times 2Z_N \\ &= \Delta S \times \frac{\sqrt{3}}{U_n} \times 2 \times \frac{U_n^2}{S_{SC}} \end{aligned}$$

$$= \frac{\Delta S}{S_{sc}} \times 2\sqrt{3}U_n \quad (3.10)$$

$$\% \Delta U = \frac{\Delta U}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} \times 100 = \frac{\Delta S}{S_{sc}} \times 6 \times 100 \quad (3.11)$$

3.2.3 ดัชนีที่ใช้ในการประเมินแรงดันเปลี่ยนแปลง

(1) ดัชนีแรงดันตกเฉลี่ย (Average Voltage Drop Index)

คือค่าดัชนีที่คำนวณมาจากแรงดันของทุกบัสในและทุกเวลาที่ทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ค่าดัชนีแรงดันตกเฉลี่ยนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเกิดแรงดันตกเกินกว่าเกณฑ์ที่จะสามารถยอมรับได้ โดยในการศึกษานี้กำหนดให้เกณฑ์ที่ยอมรับได้คือแรงดันตกไม่เกินร้อยละ 10 ของแรงดันฐาน หรือค่าดัชนีแรงดันตกเฉลี่ยต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 ถึงจะอยู่ในค่าที่สามารถยอมรับได้ ดัชนีแรงดันตกเฉลี่ยสามารถคำนวณได้ตามสมการ 3.12 [19]

$$AvgV_{index} = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \frac{|V_{ref} - V_{t,i}|}{V_{ref}}}{T \times N} \quad (3.12)$$

โดย

V_{ref} คือ แรงดันฐาน

$V_{t,i}$ คือ แรงดันที่บัส i ณ เวลา t

T คือ จำนวนเวลาทั้งหมดที่คำนวณ

N คือ จำนวนบัสทั้งหมด

(2) ดัชนีแรงดันตกสูงสุด (Maximum Voltage Drop Index)

คือค่าดัชนีที่มาจากแรงดันของทุกบัสในและทุกเวลาที่ทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ค่าดัชนีแรงดันตกสูงสุดนี้แสดงให้เห็นถึงค่าแรงดันตกที่สูงที่สุดในการคำนวณทั้งหมด โดยในการศึกษานี้กำหนดให้เกณฑ์ที่ยอมรับได้คือแรงดันตกไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันฐาน หรือค่าดัชนีแรงดันตกสูงสุดต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 ถึงจะอยู่ในค่าที่สามารถยอมรับได้ ดัชนีแรงดันตกสูงสุดสามารถคำนวณได้ตามสมการ [19]

$$MaxV_{index} = Max \left(\frac{|V_{ref} - V_{t,i}|}{V_{ref}} \right) \quad (3.13)$$

โดย

V_{ref} คือ แรงดันฐาน

$V_{t,i}$ คือ แรงดันที่บัส i ณ เวลา t

T คือ จำนวนเวลาทั้งหมดที่คำนวณ

3.3 ดัชนีความรุนแรงของระดับแรงดันตก (Voltage-Sag Severity Index) [20, 21]

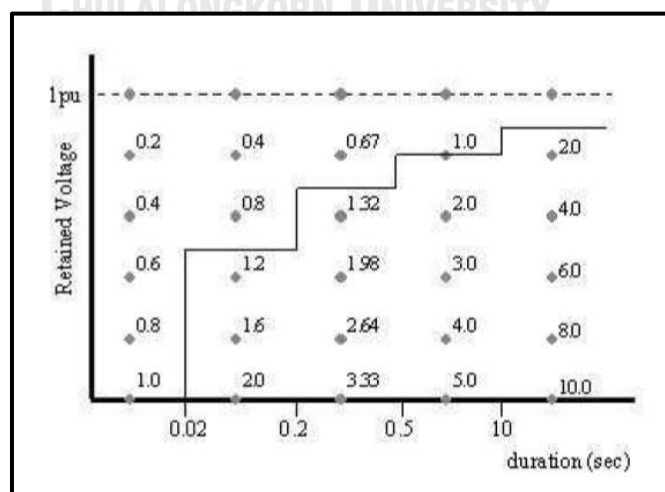
ความรุนแรงของแรงดันตกนั้นสามารถคำนวณได้จากระดับแรงดันไฟฟ้าที่คงไว้ กับ แรงดันตกที่เทียบกับระดับอ้างอิงตามสมการที่ 3.14

$$S_e = \frac{1-U}{1-U_{curve}(d)} \quad (3.14)$$

โดยที่	U	หมายถึง	ระดับแรงดันที่คงไว้ (Retain Voltage)
	d	หมายถึง	ช่วงเวลาของเหตุการณ์
	$U_{curve}(d)$	หมายถึง	ระดับแรงดันที่คงไว้ที่ระดับอ้างอิง ในช่วงเวลาเดียวกัน

การคำนวณหาดัชนีความรุนแรงของระดับแรงดันตก แนะนำให้นำเส้นโค้ง SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International Group) มาใช้อ้างอิง ซึ่งเป็นไปตาม SEMI Standard F-47 [22] ซึ่งสามารถสังเกตพฤติกรรมได้ดังรูปที่ 3.7 ดังนี้

- ที่ตำแหน่งบนกราฟอ้างอิง $S_e = 1$
- ที่ตำแหน่งเหนือกราฟอ้างอิง $S_e < 1$
- ที่ตำแหน่งใต้กราฟอ้างอิง $S_e > 1$
- ที่ระดับแรงดันที่คงไว้เหนือ Threshold ระดับแรงดันตก (90%) $S_e = 0$



รูปที่ 3.7 ความรุนแรงของระดับแรงดันตกกับเส้นโค้ง SEMI [21]

และเมื่อใช้เส้นโค้ง SEMI เป็นเส้นโค้งอ้างอิง จะให้ลำดับการคำนวณแสดงได้ตามตารางที่ 3.2 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้ $U_{curve}(d)$ มีค่าเป็น 0.9 p.u. เนื่องจากมีช่วงระยะเวลาการเกิดแรงดันตกมากกว่า 10 วินาทีขึ้นไป

ตารางที่ 3.2 ระเบียบวิธีสำหรับการคำนวณความรุนแรงของระดับแรงดันตก [21, 22]

U_{curve}	d , Duration Range	S_e , Voltage-sag Severity Calculation
0.0 p.u.	$d \leq 20$ ms	$S_e = \frac{(1-U)}{(1-0.0)} = \frac{(1-U)}{1} = 1-U$
0.5 p.u.	20 ms $\leq d \leq 200$ ms	$S_e = \frac{(1-U)}{(1-0.5)} = \frac{(1-U)}{0.5} = 2(1-U)$
0.7 p.u.	200 ms $\leq d \leq 500$ ms	$S_e = \frac{(1-U)}{(1-0.7)} = \frac{(1-U)}{0.3} = 3.3(1-U)$
0.8 p.u.	500 ms $\leq d \leq 10$ s	$S_e = \frac{(1-U)}{(1-0.8)} = \frac{(1-U)}{0.2} = 5(1-U)$
0.9 p.u.	10 s $\leq d$	$S_e = \frac{(1-U)}{(1-0.9)} = \frac{(1-U)}{0.1} = 10(1-U)$

3.4 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

คือขนาดแรงดันไฟฟ้าในระบบ 3 เฟสมีค่าต่างกัน หรือมีมุมระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนไป 120 องศา กำหนดได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าในองค์ประกอบลำดับศูนย์ (Zero Sequence) หรือองค์ประกอบลำดับลบ (Negative Sequence) ต่อแรงดันไฟฟ้าในองค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence) โดยแสดงได้ตามสมการที่ 3.15 และตามมาตรฐาน [17] กำหนดให้ดัชนีแรงดันไม่สมดุลอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 2

$$\% \text{Unbalance} = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} \times 100\% \quad (3.15)$$

โดย V_{neg} คือ แรงดันไฟฟ้าองค์ประกอบลำดับลบ
 V_{pos} คือ แรงดันไฟฟ้าองค์ประกอบลำดับบวก

3.5 การวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถวิเคราะห์ได้จากภาระไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Analysis) ซึ่งเป็นหลักการในการคำนวณขนาดและมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ที่ตำแหน่งบัสต่าง ๆ จากแบบจำลองความต้านทานของระบบไฟฟ้า แหล่งกำเนิดไฟฟ้า และภาระในระบบไฟฟ้า โดยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า กำลังมีวิธีการคำนวณที่นิยมอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ Gauss-Seidel Method และ Newton-Raphson Method ซึ่งมีลักษณะการคำนวณแบบวนซ้ำ (Iterative Method) และมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ชนิดของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
Gauss-Seidel Method	สมการในการคำนวณไม่ซับซ้อน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องพิจารณาสมการเชิงอนุพันธ์	การคำนวณด้วยวิธีนี้สามารถทำได้ครั้งละสมการเนื่องจากต้องนำผลของตัวแปรจากคำนวณในสมการก่อนหน้ามาใช้ในสมการถัดไป ทำให้มีจำนวนครั้งในการคำนวณที่มากในแต่ละรอบการคำนวณ และได้ผลลัพธ์การคำนวณช้า
Newton-Raphson Method	สามารถคำนวณข้อมูลได้แบบเป็นชุดข้อมูล ทำให้จำนวนครั้งในการคำนวณน้อย ผลลัพธ์จากการคำนวณมีแนวโน้มที่จะลู่เข้าสู่ค่าที่ถูกต้องได้เร็วกว่า Gauss-Seidel Method	สมการในการคำนวณมีความซับซ้อนกว่า เนื่องจากจำเป็นต้องพิจารณาสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งจากการประมาณผลลัพธ์ด้วยอนุกรมเทเลอร์ (Taylor's Series)

สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วย Newton-Raphson Method เนื่องจากการพิจารณาข้อมูลในแต่ละรอบเป็นชุดข้อมูลสามารถคำนวณผลลัพธ์ในแต่ละรอบคำนวณได้รวดเร็วและเป็นระบบ รวมถึงง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

3.6 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า

เนื่องจากการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าต้องเชื่อมต่อไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายแรงดันปานกลาง และระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ จึงต้องอยู่ในขอบเขตของข้อกำหนดเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ทั้งนี้จะกล่าวถึงเฉพาะปริมาณกำลังไฟฟ้าที่รับจากระบบ และ การควบคุมระดับแรงดันเท่านั้น ทั้งนี้ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นข้อกำหนดว่าด้วยการเชื่อมต่อของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และผู้ประกอบการกิจการไฟฟ้ารายอื่น ไม่ได้เป็นข้อกำหนดการเชื่อมต่อของการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ

3.6.1 ระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2558 [23]

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะหัวข้อการควบคุมแรงดันไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการต้องควบคุมระดับแรงดัน ให้สอดคล้องกับมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้านครหลวงในแต่ละกรณี ดังตารางที่ 3.4 และ ตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้านครหลวง
กรณีผู้ขอใช้บริการไม่จ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ [23]

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด (กิโลโวลต์)	ค่าต่ำสุด (กิโลโวลต์)	ค่าสูงสุด (กิโลโวลต์)	ค่าต่ำสุด (กิโลโวลต์)
115 กิโลโวลต์	117.6	106.4	123.0	96
69 กิโลโวลต์	70.4	63.6	72.5	57.3
24 กิโลโวลต์	23.6	21.8	24	21.6
12 กิโลโวลต์	11.8	10.9	12.0	10.8
400 โวลต์	410	371	416	362
230 โวลต์	237	214	240	209

ตารางที่ 3.5 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้านครหลวง
กรณีผู้ใช้บริการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ [23]

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด (กิโลโวลต์)	ค่าต่ำสุด (กิโลโวลต์)	ค่าสูงสุด (กิโลโวลต์)	ค่าต่ำสุด (กิโลโวลต์)
115 กิโลโวลต์	118.0	113.0	123.0	113.0
69 กิโลโวลต์	71.0	67.0	72.5	67.0
24 กิโลโวลต์	23.6	21.8	24	21.6
12 กิโลโวลต์	11.8	10.9	12.0	10.8
400 โวลต์	410	371	416	362
230 โวลต์	237	214	240	209

3.6.2 ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 [24]

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะหัวข้อการควบคุมแรงดันไฟฟ้า ผู้ขอใช้บริการต้องออกแบบระบบควบคุมระดับแรงดัน เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าภูมิภาคดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 มาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [24]

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด (กิโลโวลต์)	ค่าต่ำสุด (กิโลโวลต์)	ค่าสูงสุด (กิโลโวลต์)	ค่าต่ำสุด (กิโลโวลต์)
115 กิโลโวลต์	120.7	109.2	126.5	103.5
33 กิโลโวลต์	34.7	31.3	36.3	29.7
22 กิโลโวลต์	23.1	20.9	24.2	19.8
380 โวลต์	418	342	418	342
220 โวลต์	240	200	240	200

บทที่ 4

ระบบกักเก็บพลังงาน

แบตเตอรี่เป็นชื่อรวมของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีที่เก็บสะสมอยู่ในตัวมันเอง โดยประกอบด้วยขั้วบวก (Cathode) ขั้วลบ (Anode) สารอิเล็กโทรไลต์ และแผ่นกั้นขั้วไฟฟ้า ในสภาวะปกติ ระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะแปรผันตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายในขณะนั้น ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ๆ แบตเตอรี่แต่ละประเภทมีความสามารถในการจ่ายกระแสไม่เท่ากัน โดยจะพิจารณาในรูปแบบของกำลังจำเพาะ (Specific Power)

4.1 คุณลักษณะของแบตเตอรี่ [5]

- (1) ความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity : E_B)

หมายถึงการระบุปริมาณพลังงานทางไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายได้ต่อการประจุไฟฟ้าเต็มพิกัดหนึ่งครั้งในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour: Ah) ที่อัตราชั่วโมง (Hour-Rate: HR) ที่กำหนด เมื่อดำเนินการคูณกับแรงดันของแบตเตอรี่ จะได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในหน่วยวัตต์ชั่วโมง (Watt-Hour: Wh)

- (2) พลังงานที่ถูกใช้ไป (Consumed Energy : E_C)

$$E_C = d \times \varepsilon \quad (4.1)$$

โดย d = ระยะทางที่รถยนต์วิ่งก่อนการอัดประจุ มีหน่วยเป็นไมล์

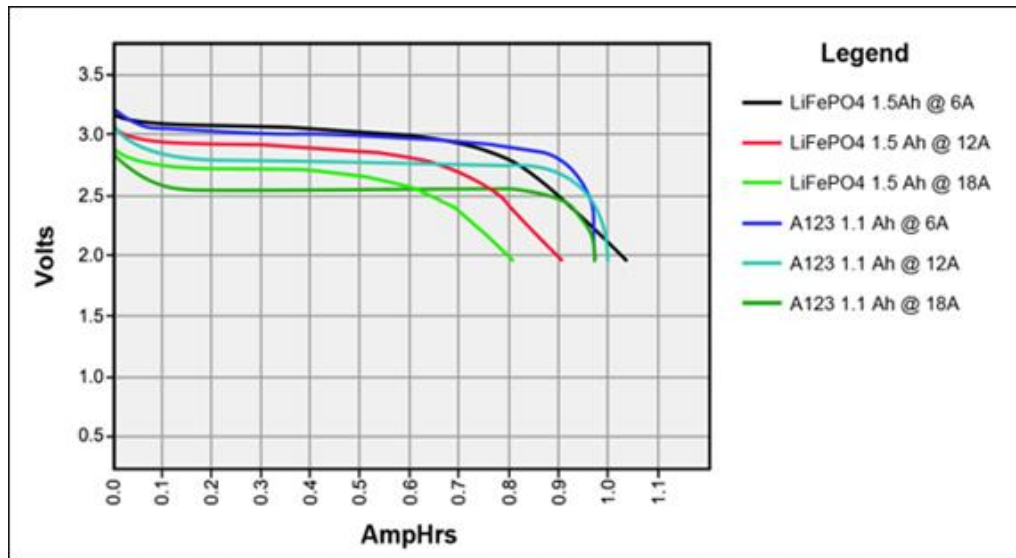
ε = energy consumption มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อไมล์

- (3) ระดับการประจุ (State of Charge: SOC)

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะส่งผลต่อการใช้งานและการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้ขณะนั้น โดยเทียบกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าเมื่อประจุเต็ม โดยแสดงตามสมการที่ 4.2 ดังนี้

$$SOC = \frac{E_B - E_C}{E_B} \times 100\% \quad (4.2)$$

โดยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน มีความสัมพันธ์ของปริมาณพลังงานกับระดับแรงดัน เป็นไปตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานกับระดับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

- (4) ความลึกการคายประจุ (Depth of Discharge: DOD)

เป็นค่าที่นิยามมาจากระดับการประจุเต็มหักออกด้วยระดับการประจุขณะนั้น ตามสมการที่ 4.3

$$DOD = \left(1 - \frac{SOC}{100}\right) \times 100\% \quad (4.3)$$

- (5) ปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ (Require energy to charge : E_R)

$$E_R = \frac{\left(1 - \frac{SOC}{100}\right) \times E_B}{\eta} \quad (4.4)$$

η = ประสิทธิภาพของการอัดประจุ

- (6) ระยะเวลาในการอัดประจุยานยนต์ไฟฟ้า (Charging duration : D)

$$D = \frac{E_R}{P} \quad (4.5)$$

P = กำลังในการประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

4.2 ชนิดของแบตเตอรี่ทุติยภูมิ [5]

แบตเตอรี่ทุติยภูมิ หรือตัวเก็บสะสมประจุ เป็นแบตเตอรี่ที่มีปฏิกิริยาของเซลล์ย้อนกลับได้ กล่าวคือเซลล์ไฟฟ้าสามารถเก็บประจุโดยการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าที่กำเนิดจากแหล่งจ่ายไฟภายนอกเซลล์ ซึ่งในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับภาระขนาดใหญ่ได้มีการนำแบตเตอรี่ทุติยภูมิบางชนิดออกมาใช้ ได้แก่

4.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่วน้ำกรด

เป็นแบตเตอรี่ที่ประกอบไปด้วยขั้วบวกทำจากตะกั่วบริสุทธิ์ (Sponge Lead; Pb) ขั้วลบทำจาก PbO_2 และสารอิเล็กโทรไลต์ทำจากสารละลายกรดกำมะถันเจือจาง เป็นแบตเตอรี่เริ่มแรก มักใช้ในการทำระบบไฟสำรอง และนำไปใช้เป็นแบตเตอรี่สำหรับให้พลังงานเป็นหลัก เนื่องจากเป็นแบตเตอรี่ที่มีค่าความจุพลังงานจำเพาะที่ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้มีราคาไม่สูงมากนัก อายุการใช้งานยาวนาน และมีความสามารถในการทนทานต่อความผิดพลาดของระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบแรกจำแนกตามการออกแบบ และอีกรูปแบบหนึ่งจำแนกตามความสามารถในการจ่ายพลังงาน

(1) จำแนกตามการออกแบบแผ่นตะกั่วและสารอิเล็กโทรไลต์

- แบบเติมน้ำกลั่นได้ (Flood type)

พบเห็นได้ทั่วไปจากการนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ติดตั้งในยานยนต์ โดยลักษณะเด่นคือมีน้ำกรดบรรจุอยู่ภายใน และมีฝาปิดสำหรับเติมน้ำกลั่น ซึ่งเป็นตัวทำละลายลงไปได้

- แบบ Sealed หรือ Gas recombinant Valve Regulate Lead Acid (VRLA)

ได้รับการออกแบบให้แก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างประจุไฟ มีการรวมตัวตามหลักปฏิกิริยาเคมี ย้อนกลับไปในระบบได้ ทำให้น้ำกรดภายในแบตเตอรี่ไม่มีการสูญเสียออกสู่ภายนอก และมีวาล์วควบคุมระดับแรงดันไว้ จึงแพร่หลายในยานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

(2) จำแนกตามความสามารถในการจ่ายพลังงานเทียบกับพิกัดของแบตเตอรี่

- แบบ Starting Lighting & Ignition

ได้รับการออกแบบให้ติดตั้งและทำหน้าที่ติดเครื่องยนต์เป็นหลัก หลังจากติดเครื่องยนต์แล้ว แบตเตอรี่จะได้รับประจุไฟกลับจากเครื่องยนต์ ซึ่งได้ทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย เนื่องจากลักษณะตะกั่วที่มีขนาดบางทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงถึง 200-300 แอมแปร์ ในระดับความลึกการคายประจุที่ 2-5% ที่ค่อนข้างแคบ ทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลานาน ๆ

- แบบ Deep Cycle

สามารถจ่ายพลังงานได้กว่า 80% ของพิกัด ทำให้สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่มีความต้องการไฟฟ้าต่อเนื่องได้ดีกว่า อาทิ รถยกของ รถกอล์ฟไฟฟ้า เป็นต้น

4.2.2 แบตเตอรี่นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์

ได้รับการพัฒนามาจากแบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม ให้มีค่าความจุพลังงานที่สูงขึ้น และลดความเป็นพิษที่เกิดจากโลหะแคดเมียม จึงนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในทางปฏิบัติ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีความแปรผันของแรงดันต่อระดับพลังงานค่อนข้างตรงกัน ทำให้เกิดความแม่นยำในการบ่งบอกระดับประจุ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของแบตเตอรี่ รวมไปถึงการรับจ่ายประจุที่ระดับแรงดันไม่ได้ขึ้นกับระดับกระแสมาจนมาก แต่ต้องประจุให้เหมาะสมเพื่อคงสมรรถนะไว้ ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดดังกล่าวได้แก่ ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ การจ่ายกำลังค่าสูงทำได้ไม่เต็มที่ อีกทั้งประสิทธิภาพการคายประจุด้วยตัวเอง และเกิดความร้อนสูง จึงต้องสร้างระบบระบายอากาศมารองรับการทำงานจึงส่งผลให้เริ่มไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน

4.2.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

มีความจุพลังงานที่สูง ค่าแรงดันต่อหน่วยสูง ให้จำนวนวัฏจักรใช้งานสูง และการบำรุงรักษาไม่จำเป็นมาก จึงทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งปัจจุบันราคาของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอยู่ที่ 80-1200 เหรียญสหรัฐฯ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ดีเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น ๆ โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีหลายประเภทแบ่งออกได้ดังนี้

(1) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide; LiCoO_2)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ประกอบด้วยขั้วลบทำมาจากโคบอลต์ออกไซด์ และขั้วบวกทำมาจากแกรไฟต์ มีขนาดเล็ก และมีจำนวนรอบของแบตเตอรี่น้อย นิยมใช้กับโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ เคลื่อนที่ และกล้องถ่ายรูป

(2) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (Lithium Manganese Oxide; LiMn_2O_4)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ให้กำลังไฟฟ้าสูงและมีขนาดเล็ก จำนวนรอบของการแบตเตอรี่จะอยู่ประมาณ 300-700 รอบ นิยมใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ และยานยนต์ไฟฟ้า

(3) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์

(Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide; LiNiMnCoO_2 or NMC)

มีขนาดใหญ่และมีกำลังไฟฟ้าที่สูง กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน นิยมใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ และยานยนต์ไฟฟ้า เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมแมงกานีสออกไซด์

- (4) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอรอนฟอสเฟส (Lithium Iron Phosphate; LiFePO_4)

มีความทนทานต่ออุณหภูมิได้เป็นอย่างดี ไม่ติดไฟหรือเกิดการเผาไหม้ จึงทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้มีความปลอดภัยสูง

- (5) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมนิกเคิลโคบอลต์อลูมิเนียมออกไซด์
(Lithium Cobalt Aluminum Oxide; LiNiCoAlO_2)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาที่สูงมาก เนื่องจากมีจำนวนรอบของแบตเตอรี่สูง กำลังไฟฟ้าสูง และมีขนาดใหญ่ นิยมติดตั้งในยานยนต์ไฟฟ้าและรถไฟฟ้า

- (6) แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไทเทเนต (Lithium Titanate; $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีจำนวนรอบสูง และมีการชาร์จไฟที่รวดเร็ว และมีช่วงอุณหภูมิต่ำ จึงทำให้มีราคาที่สูงมาก นิยมติดตั้งในเครื่องสำรองไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้า

จากการตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปข้อมูลและจำแนกลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่รูปแบบต่าง ๆ [5]

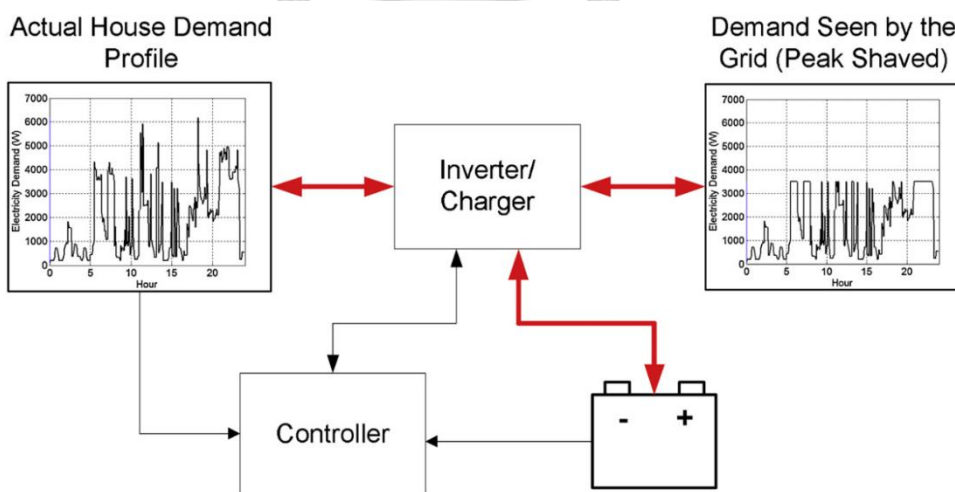
ชนิดของแบตเตอรี่	ตะกั่วน้ำกรด	นิกเกิลเมทัลไฮไดรต์	ลิเทียมไอออน
ความจุพลังงาน (วัตต์ชั่วโมง/กิโลกรัม)	30-40	75-100	110-175
พลังงานต่อปริมาตร (วัตต์ชั่วโมง/ลิตร)	54-95	200-300	250-360
กำลังจำเพาะ (วัตต์/กิโลกรัม)	200-400 (SLI) 600-800 (traction)	200-300 (SLI) 1000-1500 (traction)	300-400 (SLI) 1500-3000 (traction)
แรงดันต่อหน่วยย่อย (โวลต์)	2.1	1.2	3.2-3.6
ประสิทธิภาพ การประจุไฟฟ้า	มากกว่าร้อยละ 80	ร้อยละ 70	มากกว่าร้อยละ 95
ราคา (เหรียญสหรัฐ/ กิโลวัตต์ชั่วโมง)	35 (SLI) 100-150 (traction)	200-350 (portable) 500-800 (traction)	400 (portable) 500-1000 (traction)
การคายประจุด้วยตัวเอง (ร้อยละ/วัน)	0.3	3	0.7
อายุวัฏจักรการใช้งาน (80% DOD)	300-800	มากกว่า 1000	มากกว่า 2000
เวลาที่ใช้ประจุไฟฟ้า (ชั่วโมง)	8	1	2-3

บทที่ 5

การจัดการความต้องการใช้ปริมาณพลังไฟฟ้าสูงสุด

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา มักมีปริมาณไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณภาระที่ต่อเชื่อมในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะนั้นๆ ดังนั้น หน่วยงานที่ดูแลเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า จะต้องกำหนดขอบเขตของพลังงานไฟฟ้าที่จะสามารถจ่ายให้แก่ระบบได้ อาทิ ขนาดของแรงดันที่แต่ละจุดเชื่อมต่อของระบบ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้เอง ในการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่ายในปริมาณที่สูง จึงมักจะทำให้มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกินขอบเขตที่ผู้ดูแลระบบตั้งไว้ อีกทั้งในขณะที่มีการเชื่อมต่อในระดับที่สูงขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องเพิ่มการลงทุนในการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า และทำให้เกิดกำลังสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นอีกเป็นจำนวนมาก [25]

การปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด หมายถึง การใช้อุปกรณ์หรือระบบภายนอกเข้ามาเพื่อช่วยให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดยังคงเท่าเดิมในมุมมองของผู้ดูแลระบบ โดยปัญหามักจะเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนผลิตไฟฟ้าในปริมาณที่สูงเกินไป ทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกินชั่วขณะ หรือผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากเกินไป ทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ วิธีการแก้ปัญหาสามารถทำได้หลายรูปแบบ อาทิ การจัดการตารางการผลิตหรือการใช้ไฟฟ้า หรือการติดตั้งแบตเตอรี่ เพื่อเก็บกักพลังงานส่วนเกินจากระบบจำหน่าย การจัดการดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 [12]



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างระบบปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด [12]

5.1 การจัดการตารางการผลิตหรือใช้ไฟฟ้า

เป็นการกำหนดรูปแบบการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับปริมาณโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อาทิ การจัดการแบบเทียบเท่าเวลาจริง ซึ่งปรับข้อมูลบางอย่างในตารางและวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับภาระที่ต่อกับระบบ และพารามิเตอร์ทางเวลาต้องสอดคล้องกับขอบเขตการให้บริการ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 8 [26] แต่เนื่องจากภาระมีขนาดใหญ่ และไม่สามารถคาดคะเนการเชื่อมต่อได้ จึงส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบเช่นเดียวกัน จึงปรับปรุงโดยกำหนดแต่ละช่วงเวลาให้มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละจุดที่แตกต่างกัน [27] ในงานวิจัยบางชิ้นได้มีการนำวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้หาจุดคุ้มทุนในระบบในหลากหลายประเด็น อาทิ กำหนดให้สอดคล้องกับกำไรสูงสุดของผู้ให้บริการ หรือพลังงานที่ยานยนต์ไฟฟ้าต้องการสูงสุด โดยระบบต้องทำงานแบบพลวัต [28] แล้วพิจารณาที่ระบบปกติหรือเริ่มเกิดความผิดปกติได้ [29] วิธีการดังกล่าวมีข้อดีที่ไม่ต้องพึ่งพาอุปกรณ์เสริมมาช่วยปรับลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่มีข้อเสียในแง่ของการคาดการณ์การใช้ไฟฟ้าทำได้ยากโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบที่มีการเชื่อมต่อไม่แน่นอน

5.2 การติดตั้งแบตเตอรี่ หรือระบบกักเก็บพลังงาน

เป็นการนำระบบกักเก็บพลังงาน ซึ่งได้แก่ แบตเตอรี่ เข้ามาช่วยลดปริมาณการจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง ซึ่งคาดการณ์จากรายการใช้ไฟฟ้าของโหลด และขนาดของระบบสำรองพลังงานในรูปของราคา น้ำหนัก และขนาดของแบตเตอรี่ [30] ระบบสำรองพลังงานแบตเตอรี่สามารถประจุไฟและคายประจุไฟเมื่อมีส่วนเกินมาจากปริมาณที่เกินจากขอบเขตสูงสุดของระบบไฟฟ้า โดยอาศัยการจำลองการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรมคำนวณ ระบบสำรองพลังงานไม่ได้คำนึงถึงระดับแรงดันทำงาน เงื่อนไขอุณหภูมิ ฯลฯ [31] ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักของการหาขนาดของแบตเตอรี่คือการลดการชำระค่าไฟฟ้า โดยพัฒนาให้ระบบมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำมาก หรือการนำแบตเตอรี่มาทำงานร่วมกับกริดเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบ หรือนำไปใช้ในการเพิ่มความน่าเชื่อถือ ประสิทธิภาพ และการควบคุมไฟฟ้าในระบบจำหน่าย และอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดย่อมด้วย ซึ่งผลจากการควบคุมค่าใช้จ่ายโดยใช้แบตเตอรี่ ในงานวิจัยพบว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ร้อยละ 150 ถึงร้อยละ 500 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้าระบบ

5.3 เทคนิคการหาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยการจับกลุ่มข้อมูล (Particle Swarm Optimization)

ดังที่กล่าวไปในบทที่ 3 การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (Optimal Power Flow: OPF) นับเป็นปัญหาที่สำคัญในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า นำไปสู่การปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อวางแผนจัดการระบบไฟฟ้าในอนาคต โดยในการวิเคราะห์ OPF นั้นสามารถทำได้หลายวิธี โดยมีวิธีที่นิยมใช้ 3 วิธี ได้แก่

- (1) Generic Algorithm (GA)
- (2) Ant Colony Optimization (ACO)
- (3) Particle Swarm Optimization (PSO) [32, 33]

Particle Swarm Optimization (PSO) หรือวิธีจับกลุ่มข้อมูล นับเป็นวิธีที่ทำความเข้าใจ นำไปปรับปรุงและคำนวณได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองวิธีข้างต้น งานวิจัยหลายชิ้นจึงนำวิธีดังกล่าวไปใช้กับตัวแปรชนิดต่อเนื่อง (Continuous Variables) และไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables) และใช้เพิ่มบทลงโทษสำหรับ Objective Function

PSO จัดเป็นวิธีการคำนวณที่วิวัฒนาการมาจากพื้นฐานด้านประชากร โดยได้รับแรงบันดาลใจมาจากการศึกษาพฤติกรรมทางสังคมของสัตว์ (Animal Social Behavior) กำหนดให้กลุ่มของข้อมูลเคลื่อนที่ไปภายในขอบเขตที่สนใจ และกำหนดการเคลื่อนที่ของข้อมูลแต่ละตัวในกลุ่มด้วยตำแหน่ง (Position: x) และความเร็ว (Velocity: v) โดยมีการคำนวณความเร็วของข้อมูลตัวหนึ่งในการเคลื่อนที่รอบถัดไปตามสมการที่ 5.1 และสมการที่ 5.2

$$V_{id}^{k+1} = \omega \cdot v_{id}^k + c_1 \cdot rand_1(p_{best, id} - x_{id}^k) + c_2 \cdot rand_2(g_{best, id} - x_{id}^k) \quad (5.1)$$

โดยที่ p_{best} คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณรอบก่อนหน้า

g_{best} คือ ข้อมูลที่ดีที่สุด

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (5.2)$$

จะเห็นได้ว่า PSO เป็นวิธีที่ง่ายแต่ได้ประสิทธิภาพ เพื่อคำนวณหาปริมาณที่สนใจได้อย่างเหมาะสม โดยปราศจากการคำนวณที่ซับซ้อน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะคำนวณหาขนาดกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม โดยการนำขนาดกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่เริ่มต้นเป็น ตำแหน่ง x_{id}^1 ซึ่งมีขนาดไม่เกินกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้รับมาจากกริดภายนอก มาเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการคำนวณ

ตามสมการที่ 5.1 และ 5.2 ต่อไป โดยรายละเอียดการคำนวณในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แสดงในบทที่ 6 ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญ เกี่ยวข้องกับการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณ Particle Swarm Optimization [33]

จำนวนข้อมูล	50
จำนวนรอบการคำนวณ	100
W_{min} และ W_{max}	0.1, 0.9
จำนวนช่วงข้อมูล	15
C_1 และ C_2	2



บทที่ 6

การทดสอบ

6.1 การปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากกริดภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบด้วยระบบสำรองพลังงาน ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลักในการปรับลด

6.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด

(1) ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1. ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้พิจารณาในงานวิจัย

ในปัจจุบัน ผู้ผลิตยานยนต์ได้มีการพัฒนาและผลิตรถยนต์ไฟฟ้าออกมาจำหน่ายอย่างแพร่หลาย ทั้งในทวีปเอเชีย ยุโรป และอเมริกา คุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้าก็จะแตกต่างกันออกไปตามเทคโนโลยีของประเทศหรือผู้ผลิตรายนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้ ประเภทและคุณสมบัติของยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้สอดคล้องกับอุตสาหกรรมที่กำลังจะเกิดขึ้นในประเทศไทย เป็นไปตามตารางที่ 6.1 [34]

ตารางที่ 6.1 การจำแนกประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าที่นำมาใช้จำลองปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากยานยนต์ไฟฟ้า [34]

	Prius	BMW i8	BMW i3	Leaf	Model S	iMiEV
กำลังสูงสุด [กิโลวัตต์]	90	275	125	110	250	47
ความจุพลังงาน [กิโลวัตต์ชั่วโมง]	8.8	11.7	42.2	40	75	16
กำลังในการประจุที่ 0.2C [กิโลวัตต์]	1.76	5.85	8.44	8	15	3.2
กำลังในการประจุที่ 1C [กิโลวัตต์]	8.8	11.7	42.2	40	75	16
กำลังในการประจุที่ 2C [กิโลวัตต์]	17.6	58.5	84.4	80	150	32

2. รูปแบบการประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้า

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ตามมาตรฐาน SAE-J1772 [7] ได้กำหนดรูปแบบการอัดประจุที่มีการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างยานยนต์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า โดยมีสายเคเบิลเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อ ซึ่งในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปออกมาได้ตามตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6. 2 เปรียบเทียบระดับการประจุไฟฟ้าให้ยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐาน SAE-J1772 [7]

	ระดับแรงดันไฟฟ้า	เฟส	ปริมาณกระแสไฟฟ้า	ขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน
AC Level 1	120 โวลต์	1	12 แอมแปร์	15 แอมแปร์
			16 แอมแปร์	20 แอมแปร์
AC Level 2	208-240 โวลต์	1 หรือ 3	ไม่เกินกว่า 80 แอมแปร์	Per NEC 625
DC Level 1	200-500 โวลต์	-	80 แอมแปร์	
DC Level 2	200-500 โวลต์	-	200 แอมแปร์	

3. การจำลองปริมาณยานยนต์ไฟฟ้า

จากประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าและรูปแบบการประจุไฟฟ้าเมื่อมียานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อ สามารถจำลองปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าเปรียบเสมือนกำลังไฟฟ้า ณ เวลาใด ๆ โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 6.1

$$P_{EV, t(i)} = \sum_{j=1}^n P_{t(i),j} \quad (6.1)$$

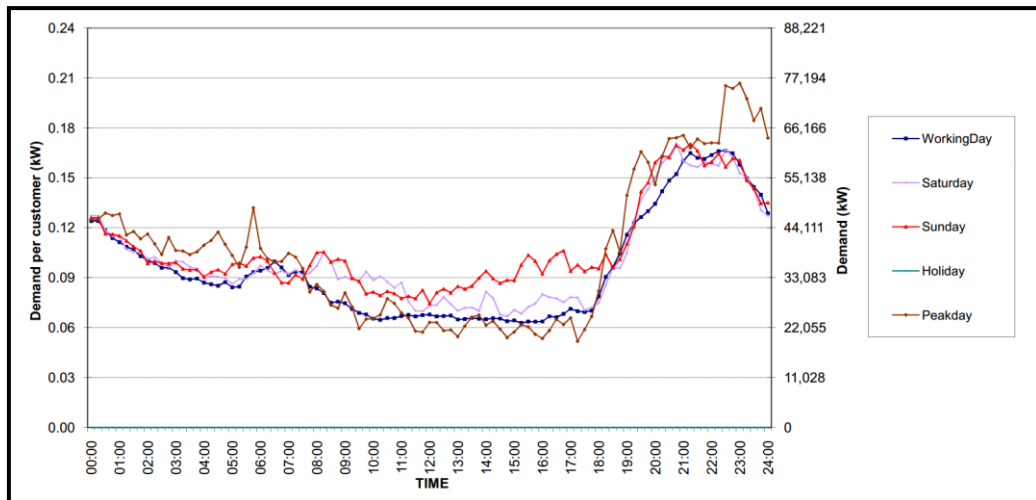
โดยที่ $P_{t(i),j}$ คือปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ยานยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่ง j ณ เวลา t ใดๆ

(2) ภาระชนิดที่อยู่อาศัย

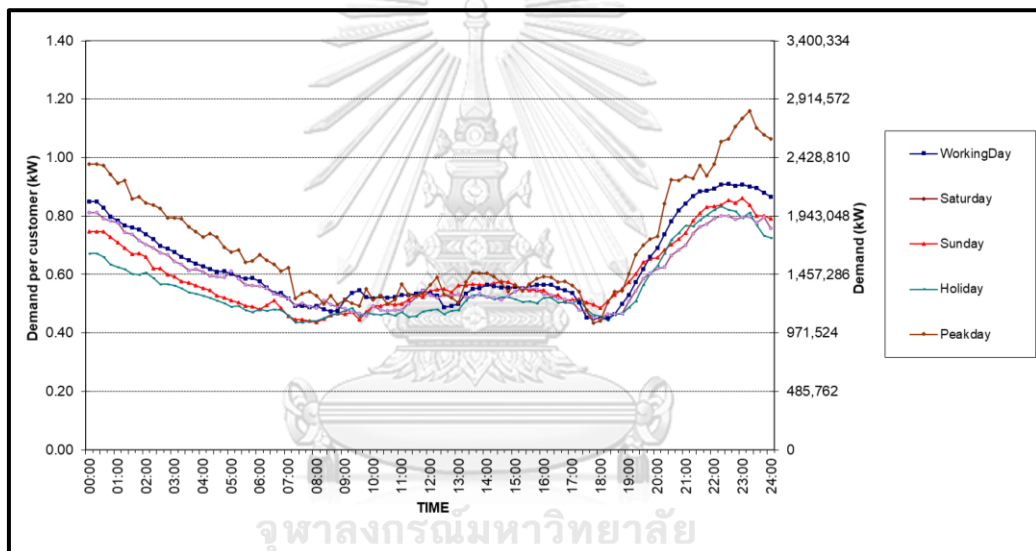
ในการปรับลดปริมาณพลังไฟฟ้าสูงสุด จะทดสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาระชนิดที่อยู่อาศัย ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่ระดับแรงดัน 240 โวลต์ และระบบจำหน่ายในระดับปานกลาง 24.9 กิโลโวลต์ มาพิจารณา โดยอ้างอิงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันจากการไฟฟ้านครหลวง ทุก 15 นาที ดังนี้

1. ภาระชนิดที่อยู่อาศัยที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่ระดับแรงดัน 240 โวลต์ ซึ่งมีปริมาณการใช้น้อยกว่า 150 หน่วยต่อเดือน [3] แสดงได้ดังรูปที่ 6.2

2. ภาระชนิดที่อยู่อาศัยรวมไปถึงกิจการขนาดเล็กบางส่วนที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันปานกลางที่ระดับแรงดัน 24.9 กิโลโวลต์ซึ่งมีปริมาณการใช้น้อยกว่า 150 หน่วยต่อเดือน [3] แสดงได้ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6. 1 ภาระชนิดที่อยู่อาศัย ที่มีปริมาณการใช้ต่ำกว่า 150 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน [3]



รูปที่ 6. 2 ภาระชนิดที่อยู่อาศัยรวมไปถึงกิจการขนาดเล็กบางส่วน ที่มีปริมาณการใช้มากกว่า 150 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน [3]

3. การจำลองข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าสำหรับภาระชนิดที่อยู่อาศัย

รูปแบบการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัยดังรูปที่ 6.2 และ 6.3 สามารถจำลองกำลังไฟฟ้าสูงสุดในหนึ่งวันได้ตามสมการที่ 6.2 โดยที่ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากรูปทั้งสอง จะกระทำการวัดทุก 15 นาที และสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าในทุกจุดเชื่อมต่อ k ที่เวลา t ใดๆ ได้ตามสมการที่ 6.3 ตามลำดับ

$$P_{Peak} = \text{Max}(P_{Load,t}) \quad (6.2)$$

$$P_{Load,t} = \sum_{k=1}^n P_{t(k)} \quad (6.3)$$

(3) การกำหนดระดับ Penetration

ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า ระดับ Penetration คือการกำหนดปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้เราสามารถแบ่งระดับ Penetration ออกได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

1. ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 30 ของปริมาณกำลังไฟฟ้าสำหรับภาระชนิดที่อยู่อาศัย (30% Penetration)
2. ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 40 ของปริมาณกำลังไฟฟ้าสำหรับภาระชนิดที่อยู่อาศัย (40% Penetration)
3. ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 50 ของปริมาณกำลังไฟฟ้าสำหรับภาระชนิดที่อยู่อาศัย (50% Penetration)

โดยระดับ Penetration คำนวณได้จากอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับยานยนต์ไฟฟ้าเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับภาระที่อยู่อาศัยเดิม แสดงได้ตามสมการที่ 6.4

$$\%Penetration = \left(\frac{Max(P_{EV,t})}{P_{Peak}} \right) \times 100\% \quad (6.4)$$

โดยที่ $P_{EV,t}$ คือปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ยานยนต์ไฟฟ้าในเวลา t และ P_{Peak} คือกำลังไฟฟ้าสูงสุด

(4) แบตเตอรี่

ตามคุณลักษณะของแบตเตอรี่ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 4 นั้น ในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ซึ่งมีคุณสมบัติตามตารางที่ 6.3 จึงเลือกคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนที่มีความหนาแน่นความจุพลังงาน 100 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม [35] และมีการคายประจุในตัวเองร้อยละ 5 [35] ซึ่งเมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุไฟฟ้าและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คงเหลือในแบตเตอรี่จะเป็นไปตามสมการที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใช้งานแบตเตอรี่จะไม่สามารถใช้งานได้เมื่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่น้อยกว่าระดับการคายประจุที่กำหนดไว้ ซึ่งระดับการคายประจุในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 80 และการคำนวณหาระดับการคายประจุเป็นไปตามสมการที่ 6.7

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน

แรงดันไฟฟ้าระหว่างเซลล์ (โวลต์)	3.7
ประสิทธิภาพการให้พลังงาน (ร้อยละ)	98
อายุการใช้งาน (ปี)	15
จำนวนรอบในการประจุไฟฟ้า	2,000
ความหนาแน่นพลังงาน (วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม)	100
ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย (ดอลลาร์สหรัฐ)	500

$$E_{Batt,t,i} = E_{Batt,t(i-1)} + (P_{Charge} \times \Delta t) \quad (6.5)$$

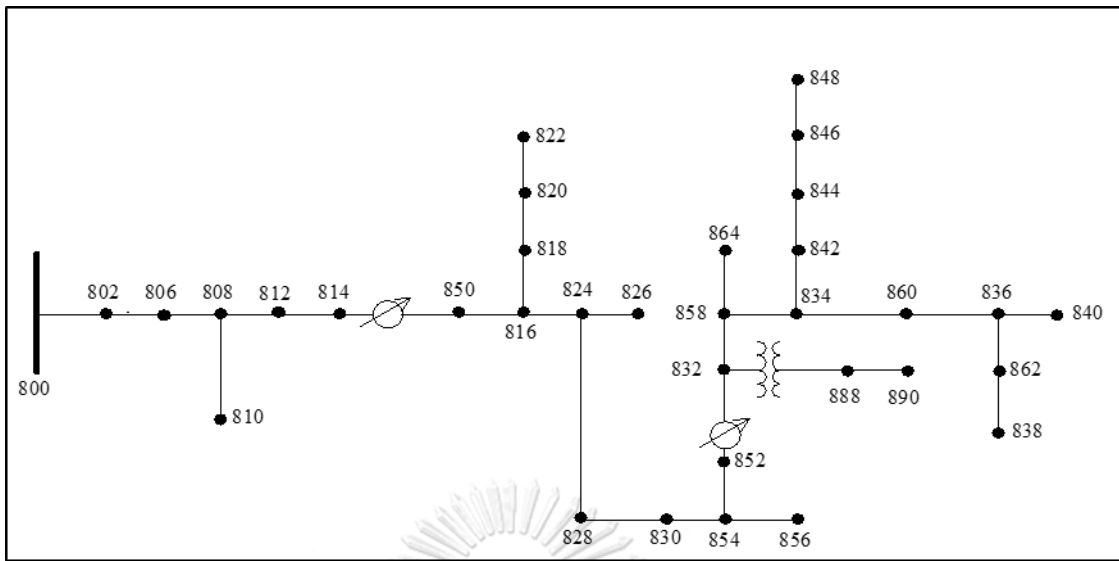
$$E_{Batt,t,i} = E_{Batt,t(i-1)} - (P_{Discharge} \times \Delta t) \quad (6.6)$$

$$\%SOC = \left(\frac{E_{Batt,t(i)}}{E_{Batt}} \right) \times 100\% \quad (6.7)$$

$$\Delta t = t(i) - t(i-1) \quad (6.8)$$

- โดยที่ E_{Batt} คือพลังงานไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมง
- $E_{Batt,t,i}$ คือพลังงานไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ขณะเวลา i มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมง
- P_{Charge} คือกำลังไฟฟ้าเมื่อประจุไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์
- $P_{Discharge}$ คือกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้งานแบตเตอรี่มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์
- Δt คือช่วงเวลาระหว่างปัจจุบันกับก่อนหน้า ตามสมการที่ 6.8
- (5) ระบบทดสอบ

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้ระบบทดสอบ IEEE 34-Node Test Feeder [36] มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเรเดียล (Radial) มีระดับแรงดันไฟฟ้าปกติอยู่ที่ 24.9 กิโลโวลต์ ซึ่งใกล้เคียงกับระดับแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง โดยระบบทดสอบมีหม้อแปลงสถานีไฟฟ้าย่อยขนาด 2,500 กิโลโวลต์-แอมแปร์ และมีอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าแบบขั้น (Step-Voltage Control) และตัวเก็บประจุ และเพิ่มหม้อแปลงระดับแรงดันต่ำ เพื่อใช้ในการทดสอบในระดับแรงดันต่ำด้วย อย่างไรก็ตามการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะละเลยอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์เหล่านี้ เนื่องจากต้องการทดสอบผลกระทบต่อด้านแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแต่ละจุดจะจำลองข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง ที่ระดับแรงดันปานกลางและระดับแรงดันต่ำดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 ระบบทดสอบ IEEE 34-Node Test Feeder [36]

(6) ความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบทดสอบ

ในระบบทดสอบ ได้กำหนดให้มีลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าใน 1 วัน ซึ่งอ่านมาตรวัดไฟฟ้าทุก 15 นาที ตามข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัยที่อ้างอิงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันจากการไฟฟ้านครหลวง ในข้อ 6.1.1 (2) จะถูกปรับให้เป็นความต้องการใช้ไฟฟ้ารวมของระบบทดสอบ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าจริงรวม 1,769 กิโลวัตต์ และ ค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟรวม 1,044 กิโลวาร์ โดยค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่แต่ละตำแหน่งในระบบทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการในแต่ละตำแหน่ง

ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่แต่ละตำแหน่งในระบบทดสอบ					
บัส	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)	บัส	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
806	55	29	838	28	14
810	16	8	840	67	41
820	34	17	844	414	320
822	135	70	846	45	23
824	5	2	848	83	59
826	40	20	856	4	2
828	4	2	858	15	7
830	52	23	860	206	121

ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่แต่ละตำแหน่งในระบบทดสอบ					
บัส	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)	บัส	กำลังไฟฟ้าจริง (กิโลวัตต์)	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (กิโลวาร์)
834	32	17	864	2	1
836	82	43	890	450	225

(7) ตำแหน่งติดตั้ง และ ขนาดกำลังไฟฟ้าของจุดเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า

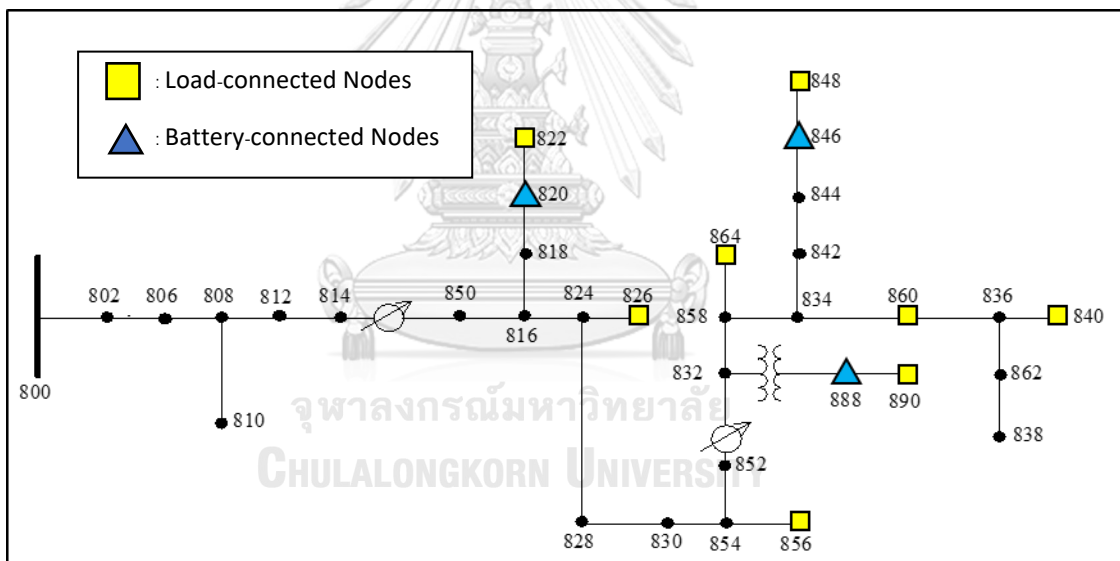
การทดสอบนี้จำลองให้ยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อปลายสาย ได้แก่หมายเลข 822, 826, 840, 848, 856, 860, 864, และ 890 ดังแสดงในรูปที่ 6.4 ทั้งนี้ที่เลือกการติดตั้งที่ตำแหน่งปลายสายเนื่องจากมีผลรวมอินพีแดนซ์จากสถานีไฟฟ้าย่อยจนถึงตำแหน่งจุดเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้ามีค่าสูงที่สุด ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ ดังกล่าว ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดเช่นกัน ตามที่ได้กล่าวไว้ส่วนของหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าในบทที่ 3 ทั้งนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะละเลยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในส่วนของอินเวอร์เตอร์ หรือกล่าวคือ จะพิจารณาค่าประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับของอินเวอร์เตอร์เป็นร้อยละ 100 โดยขนาดกำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่มาเชื่อมต่อแต่ละจุด เป็นไปตามสัดส่วน ตามตารางที่ 6.5 ดังนี้ และสามารถศึกษาาระดับแรงดันไฟฟ้าที่แต่ละจุดเชื่อมต่อได้ตามตาราง ก และ ข ที่แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 6. 5 แสดงรูปแบบขนาดกำลังไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้งานในแต่ละจุดเชื่อมต่อ

จุดเชื่อมต่อ	เฟส A (กิโลวัตต์)	เฟส B (กิโลวัตต์)	เฟส C (กิโลวัตต์)
822	41	15	0
826	10	3	27
840	16	10	36
848	44	37	0
856	5	5	40
860	10	9	41
864	43	43	0
890	15	15	39

(8) ตำแหน่งติดตั้งระบบสำรองพลังงาน

การทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะติดตั้งระบบแบตเตอรี่แบบ 3 เฟส ในระบบทดสอบเพียง 1 ระบบ เท่านั้น โดยกำหนดให้ระบบสำรองพลังงานเป็นกรรมสิทธิ์ของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย เพื่อใช้ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมถึงเพื่อให้ระบบไฟฟ้าสามารถรองรับการประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าฯ ที่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้ระบุไว้ ทั้งนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกตำแหน่งติดตั้งระบบสำรองพลังงาน เพื่อปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่ามาตรฐานตามข้อกำหนด โดยทดสอบการติดตั้งระบบสำรองพลังงาน 3 ตำแหน่งที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ขนาดแบตเตอรี่ต่อตำแหน่งติดตั้งระบบแบตเตอรี่ ได้แก่ ตำแหน่งต้นระบบ ที่บัส 820 ตำแหน่งกลางระบบ ที่บัส 846 และ ตำแหน่งปลายระบบ ที่บัส 888 ซึ่งในขณะที่ยังไม่มียานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อ ระดับแรงดันทั้งสามบัสแสดงบนตาราง ก.1 และ ข.1 ในภาคผนวก โดยตำแหน่งเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าและตำแหน่งติดตั้งระบบสำรองพลังงาน แสดงได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 การเชื่อมต่อของยานยนต์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ภายในระบบทดสอบ

(9) การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

ในงานวิจัยชิ้นนี้ อาศัยการคำนวณผ่านโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 [37] และโปรแกรม MATPOWER 6.0 [38] ช่วยในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบวิธี Newton-Raphson โดยการเก็บข้อมูล รวมไปถึงการคำนวณและแสดงผลกำลังไฟฟ้าและระดับแรงดันที่จุดเชื่อมต่อต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าได้รวดเร็วและแม่นยำ

(10) ขนาดของแบตเตอรี่

ในการทดสอบกำหนดให้ขนาดของแบตเตอรี่ในระบบสำรองพลังงาน มีค่าไม่เกิน ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้รับจากกริดภายนอก [39] ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 6.9

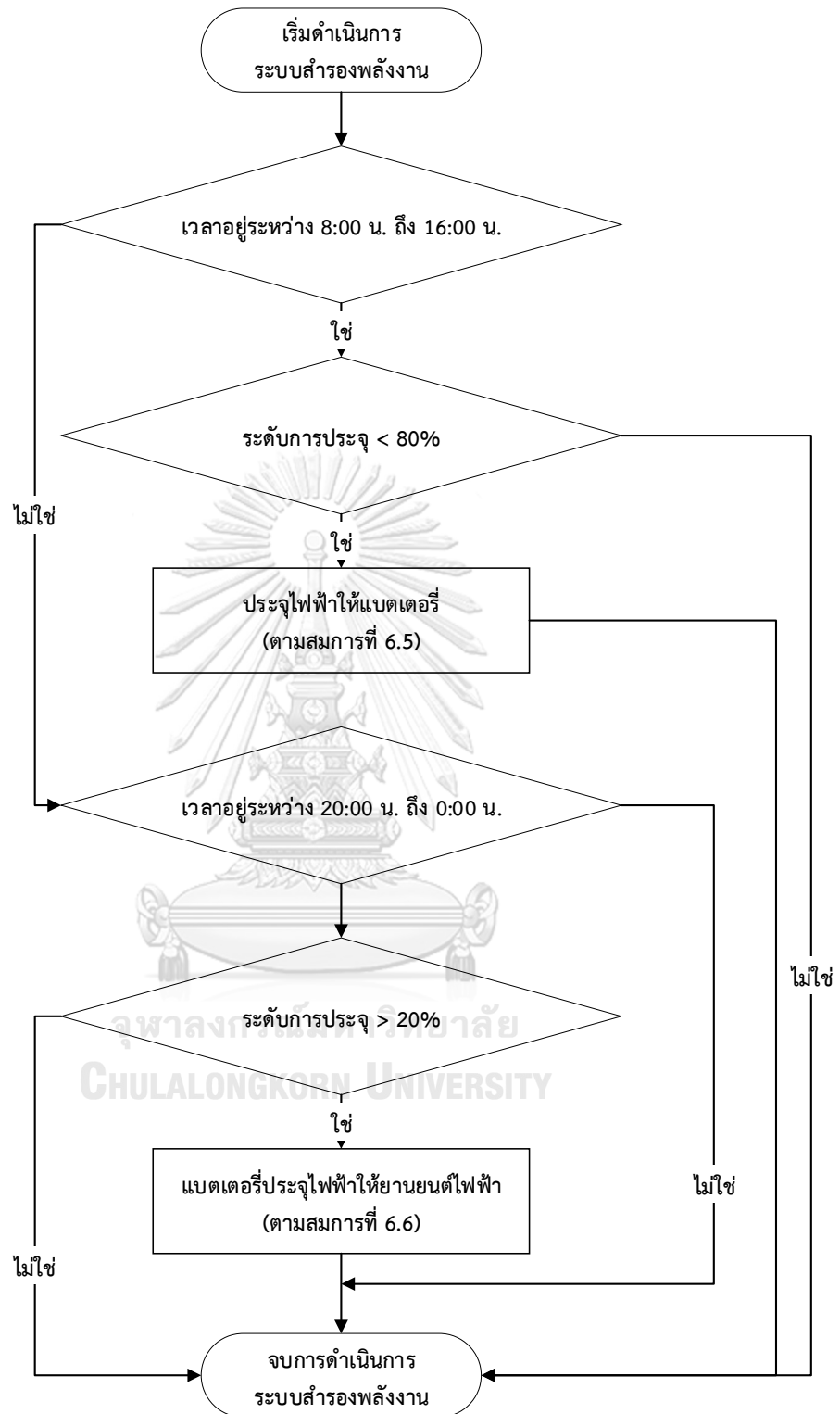
$$P_{Battery} \leq \max(P_{Grid}) \quad (6.9)$$

โดยที่ $P_{Battery}$ คือกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งสะท้อนขนาดของแบตเตอรี่
 P_{Grid} คือกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้รับจากกริดภายนอก

6.1.2 ขั้นตอนการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า

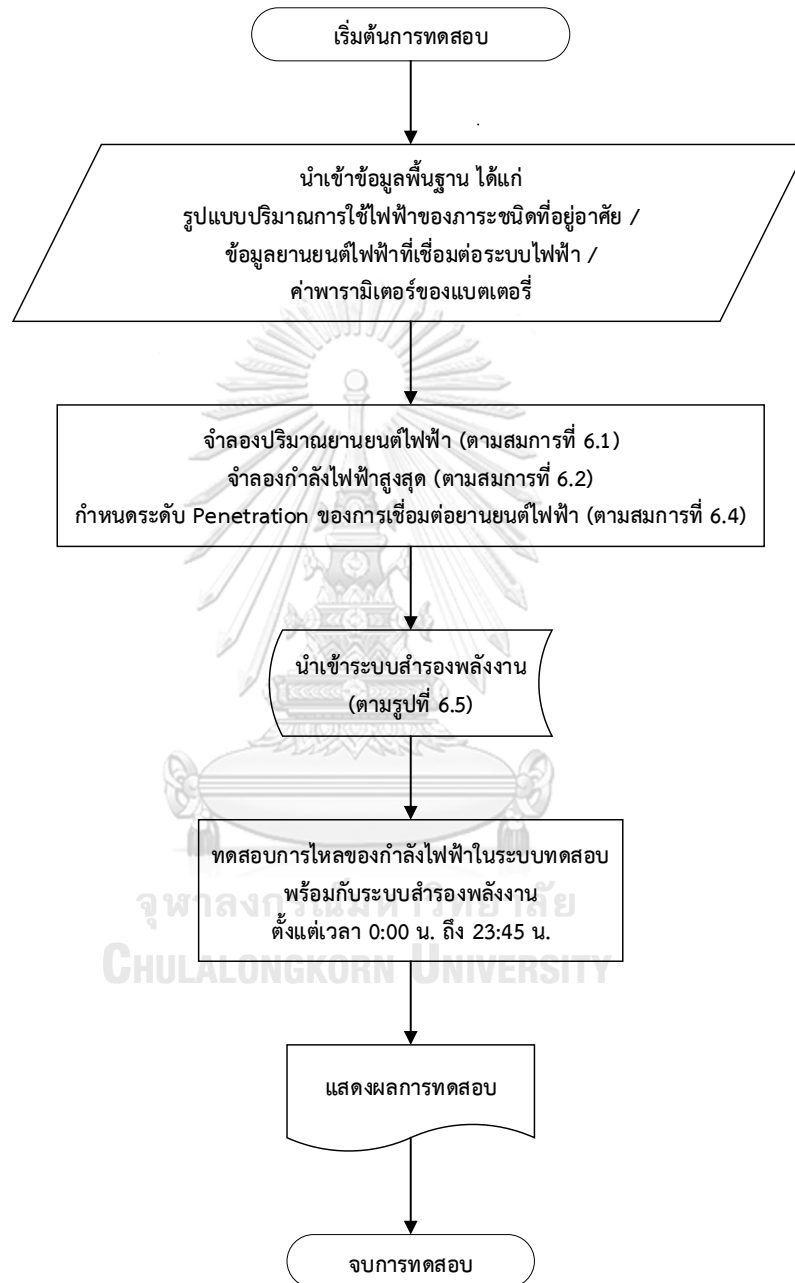
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถแบ่งขั้นตอนการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่

- ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้พิจารณาในงานวิจัย ประกอบด้วย
- (1) รูปแบบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย (Load Profile) ได้แก่รูปแบบภาระชนิดที่อยู่อาศัยที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ตามรูปที่ 6.2 และรูปแบบภาระชนิดที่อยู่อาศัยรวมไปถึงกิจการขนาดเล็กที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันปานกลาง ตามรูปที่ 6.3
 - (2) ข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อนระบบไฟฟ้า โดยการนำประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าและรูปแบบการประจุไฟฟ้าเมื่อมียานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อตามตารางที่ 6.1 และ 6.2 มาคำนวณตามสมการที่ 6.1 ตามลำดับ
 - (3) ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและขนาดของแบตเตอรี่ จำลองตามสมการที่ 6.9
- ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 1 จำลองปริมาณยานยนต์ไฟฟ้า โดยอ้างอิงตามสมการที่ 6.1 จำลองปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยอ้างอิงตามสมการที่ 6.2 ทำให้สามารถกำหนดระดับ Penetration ได้ตามสมการที่ 6.4
- ขั้นตอนที่ 3 นำเข้าระบบสำรองพลังงาน ซึ่งกำหนดให้แบตเตอรี่รับประจุไฟฟ้า ช่วง 8:00 – 16:00 น. และจ่ายประจุไฟฟ้าช่วง 20:00 – 0:00 น. ตามรูปที่ 6.5
- ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบการไหลของกำลังไฟฟ้าควบคู่กับการใช้ระบบสำรองพลังงานตั้งแต่วันที่ 0:00 น. ถึง 23:45 น. โดยกระทำทุกๆ 15 นาที



รูปที่ 6.5 แสดงผังการทำงานของระบบสำรองพลังงาน

ขั้นตอนการปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสามารถแสดงบนผังการทำงานดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 แสดงผังการทำงานของกรปรับลดปริมาณกำลังไฟฟ้า โดยใช้ระบบสำรองพลังงานที่มีแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลักในการปรับลด

6.2 การปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การทดสอบการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบนั้น ยังคงใช้ข้อมูลตามข้อ 6.1.1 แต่เพิ่มเติมรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับระดับแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

6.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ

(1) ดัชนีที่ใช้ในการประเมินแรงดัน

ในการประเมินแรงดันเปลี่ยนแปลงจะพิจารณาจากระดับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดที่ยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วงตามระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าฯ คือ มีแรงดันเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5% ของระดับแรงดันไฟฟ้าฐาน หรือมีค่าแรงดันตั้งแต่ 0.95 p.u. ถึง 1.05 p.u. โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับระดับแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีการประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้า โดยพิจารณาขนาดแรงดันไฟฟ้าในองค์ประกอบลำดับบวก (Positive Sequence Voltage)

6.2.2 ขั้นตอนการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ

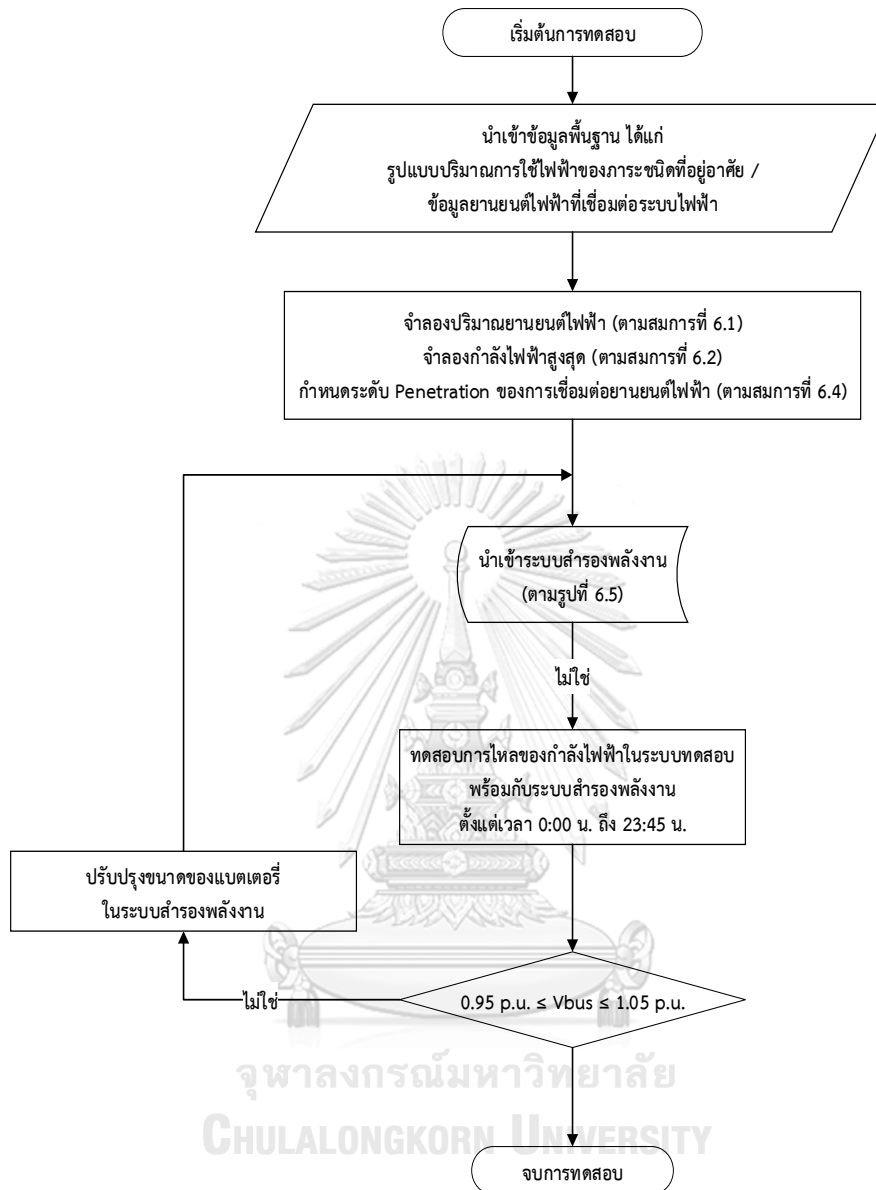
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถแบ่งขั้นตอนการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบออกได้เป็น 6 ขั้นตอน ได้แก่

- ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้พิจารณาในงานวิจัย ประกอบด้วย
- (1) รูปแบบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย (Load Profile) ได้แก่รูปแบบภาระชนิดที่อยู่อาศัยที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ตามรูปที่ 6.2 และรูปแบบภาระชนิดที่อยู่อาศัยรวมไปถึงกิจการขนาดเล็กที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันปานกลาง ตามรูปที่ 6.3
 - (2) ข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อระบบไฟฟ้า โดยการนำประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าและรูปแบบการประจุไฟฟ้าเมื่อมียานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อตามตารางที่ 6.1 และ 6.2 มาคำนวณตามสมการที่ 6.1 ตามลำดับ
 - (3) ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นและขนาดของแบตเตอรี่ จำลองตามสมการที่ 6.9
- ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 1 จำลองปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าที่ได้จาก โดยอ้างอิงตามสมการที่ 6.1 จำลองปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยอ้างอิงตามสมการที่ 6.2 ทำให้สามารถกำหนดระดับ Penetration ได้ตามสมการที่ 6.4

- ขั้นตอนที่ 3 นำเข้าระบบสำรองพลังงาน ซึ่งระบบสำรองพลังงานเป็นไปตามรูปที่ 6.5
- ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบการไหลของกำลังไฟฟ้าควบคุมกับการใช้ระบบสำรองพลังงานตั้งแต่เวลา 0:00 น. ถึง 23:45 น. โดยกระทำทุกๆ 15 นาที
- ขั้นตอนที่ 5 นำระดับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากจุดเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าที่สนใจ มาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของระดับแรงดันไฟฟ้าตามระเบียบฯ
- ขั้นตอนที่ 6 หากระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เข้าเกณฑ์ตามระเบียบฯ ที่กำหนด ให้ปรับปรุงขนาดของแบตเตอรี่ในระบบสำรองพลังงาน แล้วดำเนินการขั้นตอนที่ 3 ใหม่ จนกว่าจะตรงตามข้อกำหนด

ขั้นตอนการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ สามารถแสดงบนผังการทำงานดังรูปที่ 6.7





รูปที่ 6.7 แสดงผังการทำงานของกระบวนการปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ

6.3 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้านั้น ยังคงใช้ข้อมูลตามข้อ 6.1.1 แต่เพิ่มเติมรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการวิธ Particle Swarm Optimization ตามสมการที่ 5.1 ซึ่งกำหนดให้ราคาของแบตเตอรี่ต่ำที่สุดเป็นข้อมูลที่ดีที่สุด (g_{best}) ดังนี้

6.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้า

- (1) ข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการคำนวณ ปรับปรุงข้อมูลโดยอาศัยตารางที่ 5.1 [32, 33] ดังนี้
- | | | | | |
|----|-------------------------------|---|-----|-----|
| 1) | จำนวนรอบของการคำนวณ | : | 500 | รอบ |
| 2) | จำนวนประชากรในกลุ่ม | : | 50 | ตัว |
| 3) | สัมประสิทธิ์อัตราส่วนความหวัง | : | 0.9 | |
| 4) | สัมประสิทธิ์ความเร่งของข้อมูล | : | 2 | |
| 5) | สัมประสิทธิ์ความเร่งของกลุ่ม | : | 2 | |

- (2) ราคาของแบตเตอรี่

ในข้อ 6.1.1 (4) คุณลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนมีค่าใช้จ่ายประมาณ 500 ถึง 2,500 ดอลลาร์สหรัฐ หรือประมาณ 16,000 ถึง 40,000 บาท ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง [5] ตามตารางที่ 6.3 ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงกำหนดกรอบราคาของแบตเตอรี่ได้ตามสมการที่ 6.10 ดังแสดงตามด้านล่างนี้

$$TC_{Battery} = CPU_{Battery} \times E_{Batt} \quad (6.10)$$

โดยที่ $TC_{Battery}$ คือราคาแบตเตอรี่สุทธิ มีหน่วยเป็น บาท

$CPU_{Battery}$ คือราคาแบตเตอรี่ต่อหน่วย มีหน่วยเป็น บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง

(3) Fitness Function (FF)

Fitness Function หมายถึง การกระชับข้อมูลเพื่อหาราคาของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมที่สุด เป็นไปตามสมการที่ 6.11

$$FF = TC_{Battery} + \sum_{i=1}^{nl} K |V_{min} - V_i|^2 + \sum_{i=1}^{nl} K |V_{max} - V_i|^2 \quad (6.11)$$

โดยที่ K	คือ	ค่าคงที่การกระจายข้อมูล
V_i	คือ	แรงดันไฟฟ้าที่บัสใดๆ มีหน่วยเป็น p.u.
V_{min}	คือ	ระดับแรงดันไฟฟ้าขอบเขตล่าง มีค่า 0.95 p.u.
V_{max}	คือ	ระดับแรงดันไฟฟ้าขอบเขตบน มีค่า 1.05 p.u.

(4) ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ อาจพิจารณาได้จากหลายปัจจัย ซึ่งการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ จะพิจารณาที่ขนาดกำลังไฟฟ้าต่ำสุดของแบตเตอรี่เป็นเป้าหมาย ดังฟังก์ชันตามสมการที่ 6.12 โดยพิจารณาจากพฤติกรรมของแบตเตอรี่ตามสมการที่ 6.5 6.6 6.7 และมีขอบเขตของการคำนวณได้แก่ ขนาดของแบตเตอรี่ตามสมการที่ 6.9 ข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าฯ ตามสมการที่ 6.13 และระดับการประจุไฟฟ้า ตามสมการที่ 6.14 ดังแสดงต่อไปนี้

$$\text{Min}(P_{Battery}) \quad (6.12)$$

$$\text{s.t.} \quad E_{Batt,t(i)} = E_{Batt,t(i-1)} + (0.5 \times P_{Battery} \times \Delta t) \quad (6.5)$$

$$E_{Batt,t(i)} = E_{Batt,t(i-1)} - (P_{Battery} \times \Delta t) \quad (6.6)$$

$$\%SOC = \left(\frac{E_{Batt,t(i)}}{E_{Batt}} \right) \times 100\% \quad (6.7)$$

$$P_{Battery} \leq \max(P_{Grid}) \quad (6.9)$$

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} \quad (6.13)$$

$$20\% \leq \%SOC \leq 80\% \quad (6.14)$$

6.3.2 ขั้นตอนการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถแบ่งขั้นตอนจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าออกได้เป็น 10 ขั้นตอน ได้แก่

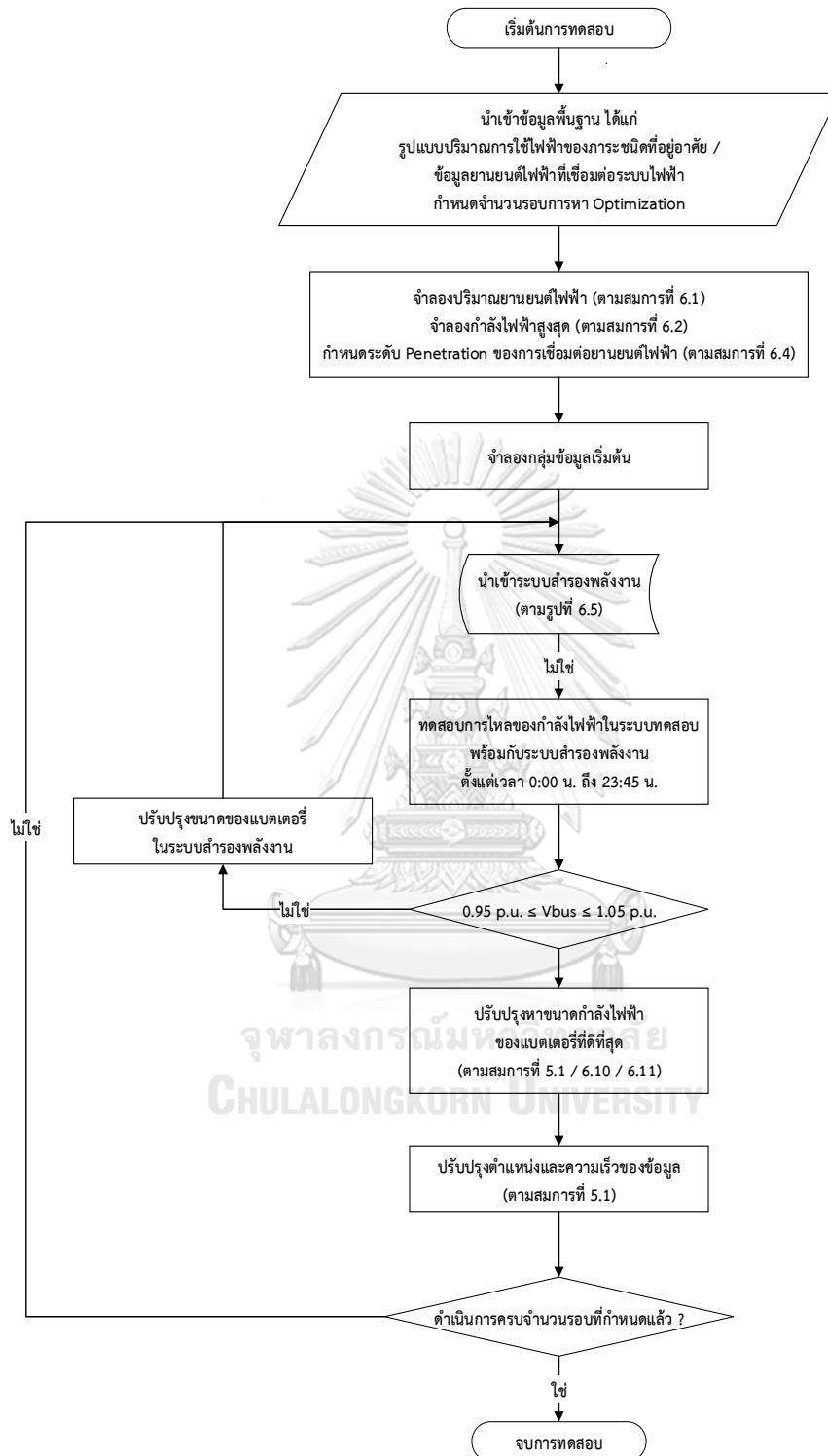
ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้พิจารณาในงานวิจัย ประกอบด้วย

- (1) รูปแบบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย (Load Profile) ได้แก่รูปแบบภาระชนิดที่อยู่อาศัยที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ ตามรูปที่ 6.2 และรูปแบบภาระชนิดที่อยู่อาศัยรวมไปถึงกิจการขนาดเล็กที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันปานกลาง ตามรูปที่ 6.3
- (2) ข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อระบบไฟฟ้า โดยการนำประเภทของยานยนต์ไฟฟ้าและรูปแบบการประจุไฟฟ้าเมื่อมียานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อตามตารางที่ 6.1 และ 6.2 มาคำนวณตามสมการที่ 6.1 ตามลำดับ

(3) ขนาดของแบตเตอรี่เริ่มต้น จำลองตามสมการที่ 6.9

- | | |
|---------------|--|
| ขั้นตอนที่ 2 | นำข้อมูลที่ได้รับจากขั้นตอนที่ 1 จำลองปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าที่ได้จาก โดยอ้างอิงตามสมการที่ 6.1 จำลองปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยอ้างอิงตามสมการที่ 6.2 ทำให้สามารถกำหนดระดับ Penetration ได้ตามสมการที่ 6.4 |
| ขั้นตอนที่ 3 | จำลองกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการหาขนาดของแบตเตอรี่ต่ำที่สุด |
| ขั้นตอนที่ 4 | นำเข้าระบบสำรองพลังงาน ซึ่งระบบสำรองพลังงานเป็นไปตามรูปที่ 6.5 |
| ขั้นตอนที่ 5 | ทดสอบการไหลของกำลังไฟฟ้าควบคุมกับการใช้ระบบสำรองพลังงานตั้งแต่เวลา 0:00 น. ถึง 23:45 น. โดยกระทำทุกๆ 15 นาที |
| ขั้นตอนที่ 6 | นำระดับแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากจุดเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าที่สนใจ มาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของระดับแรงดันไฟฟ้าตามระเบียบฯ |
| ขั้นตอนที่ 7 | หากระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เข้าเกณฑ์ตามระเบียบฯ ที่กำหนด ให้ปรับปรุงขนาดของแบตเตอรี่ในระบบสำรองพลังงาน แล้วดำเนินการขั้นตอนที่ 3 ใหม่ จนกว่าจะตรงตามข้อกำหนด |
| ขั้นตอนที่ 8 | ปรับปรุงขนาดแบตเตอรี่ที่ดีที่สุดตามสมการที่ 5.1, 6.10 และ 6.11 โดยให้อยู่ในขอบเขตตามสมการที่ 6.9 6.13 และ 6.14 |
| ขั้นตอนที่ 9 | ปรับปรุงตำแหน่งและความเร็วของข้อมูล ตามสมการที่ 5.1 และ 5.2 |
| ขั้นตอนที่ 10 | ตรวจสอบให้การดำเนินการครบตามจำนวนรอบที่กำหนดในขั้นตอนที่ 1 หากยังดำเนินการไม่ครบ ให้เริ่มดำเนินการขั้นตอนที่ 3 ใหม่ โดยใช้ค่าตำแหน่งและความเร็วของข้อมูลที่ปรับปรุงแล้ว จนกว่าจะครบรอบที่กำหนด |

ขั้นตอนการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้า สามารถแสดงบนผังการทำงานดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงผังการทำงานการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก

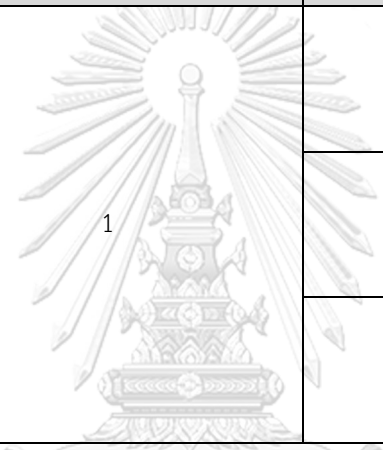
6.4 กรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

6.4.1 กรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ

ในกรณีศึกษานี้จะพิจารณาเปรียบเทียบการประจุไฟฟ้ากระแสสลับระดับที่ 1 โดยนำยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อเพื่อประจุไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ซึ่งกรณีศึกษาสามารถแบ่งย่อยได้ตามตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.6 แสดงกรณีศึกษาย่อยสำหรับกรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ

กรณีศึกษาย่อยที่	ระดับการประจุไฟฟ้ากระแสสลับ	จุดติดตั้งแบตเตอรี่	ระดับ Penetration
1		820	30
2			40
3			50
4		846	30
5			40
6			50
7		888	30
8			40
9			50

6.4.2 กรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง

ในกรณีศึกษานี้จะพิจารณาเปรียบเทียบการประจุไฟฟ้ากระแสสลับระดับที่ 1 และการประจุไฟฟ้ากระแสสลับระดับที่ 1 โดยนำยานยนต์ไฟฟ้าเชื่อมต่อเพื่อประจุไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง ซึ่งกรณีศึกษาสามารถแบ่งย่อยได้ตามตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.7 แสดงกรณีศึกษาย่อยสำหรับกรณีประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง

กรณีศึกษาย่อยที่	ระดับการประจุไฟฟ้ากระแสสลับ	จุดติดตั้งแบตเตอรี่	ระดับ Penetration
1	1 และ 2	820	30
2			40
3			50
4		846	30
5			40
6			50
7		888	30
8			40
9			50

บทที่ 7

ผลการทดสอบ

7.1 กรณีศึกษาที่ 1 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ

การทดสอบนี้จำลองการประจุไฟฟ้ากระแสสลับระดับที่ 1 ในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ โดยสามารถแบ่งเป็นกรณีศึกษาย่อยได้ 9 กรณี แบ่งผลการทดสอบตามระดับ Penetration ออกได้เป็น 3 กรณี

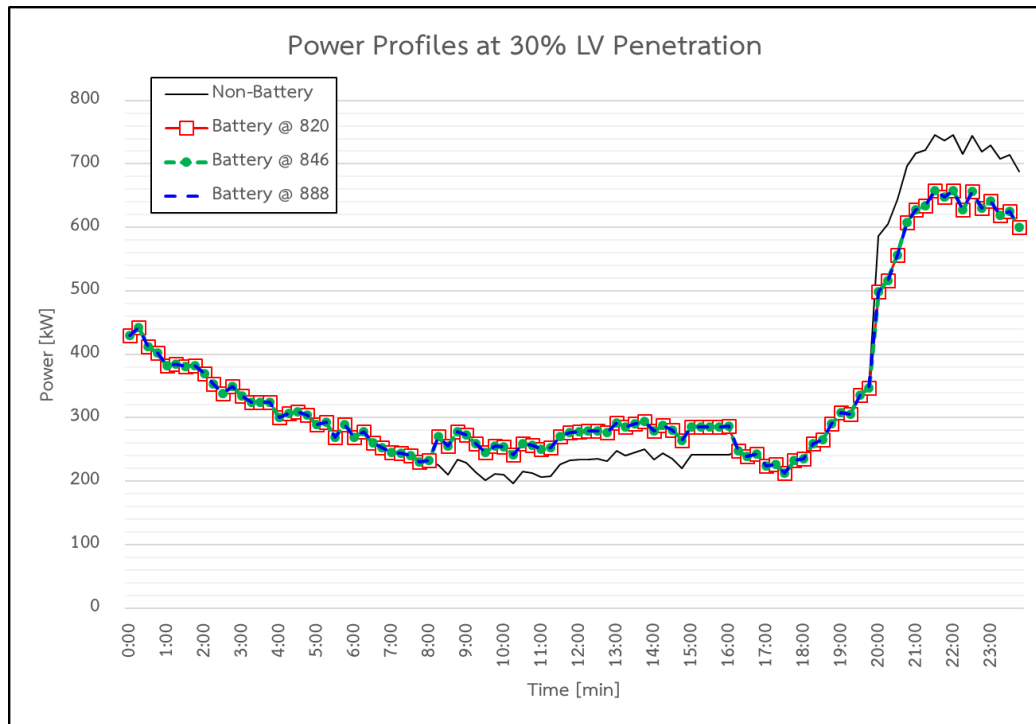
- (1) 30% Penetration
- (2) 40% Penetration
- (3) 50% Penetration

7.1.1 การปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากกริดภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบด้วยระบบสำรองพลังงาน ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลักในการปรับลด

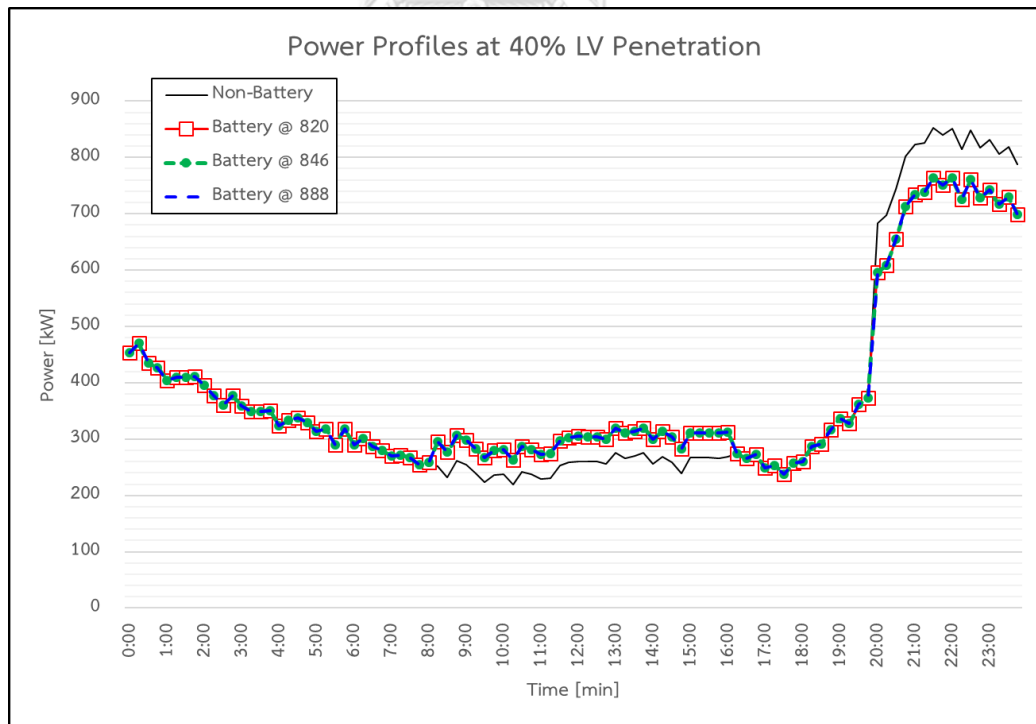
ผลการทดสอบปริมาณกำลังไฟฟ้าทั้งหมดในระบบไฟฟ้าเมื่อยานยนต์ไฟฟ้ารับการประจุไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายเดิมอย่างเดียวยุติเทียบกับเมื่อยานยนต์ไฟฟ้ารับการประจุไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายร่วมกับแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งต่างๆ ตามกรณีศึกษาย่อย ในระดับแรงดันต่ำ โดยกำหนดให้แบตเตอรี่มีขนาด 88.19 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 10 ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบจำหน่าย มีลำดับการแสดงผลดังนี้

1. การทดสอบกรณีย่อยที่ 1, 4, 7 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.1
2. การทดสอบกรณีย่อยที่ 2, 5, 8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.2
3. การทดสอบกรณีย่อยที่ 3, 6, 9 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.3

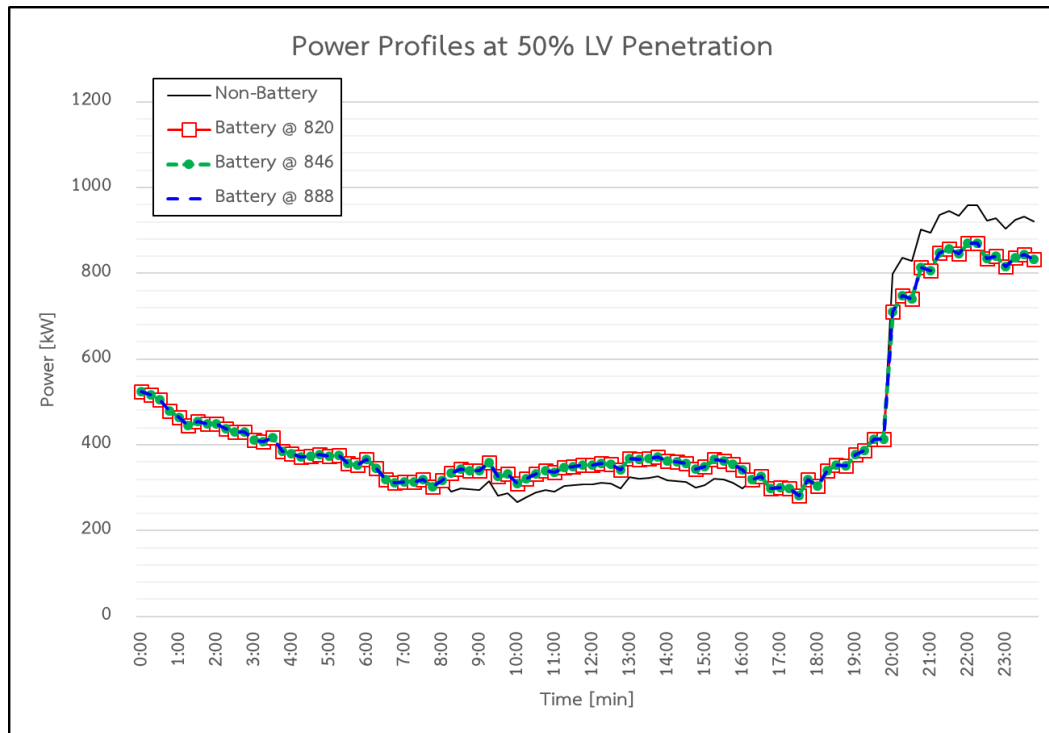
จากทั้งสามรูป จะสังเกตได้ว่า เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาเชื่อมต่อกับระบบเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้นมีผลกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แต่เมื่อมีระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ส่งผลให้รูปแบบปริมาณกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยปริมาณกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา 8:00 – 16:00 น. เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และปริมาณกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 20:00 – 23:45 น. มีค่าต่ำลง เนื่องจากระบบสำรองพลังงานประจุไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อช่วยลดการจ่ายไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลาที่ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง



รูปที่ 7.1 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7



รูปที่ 7.2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8



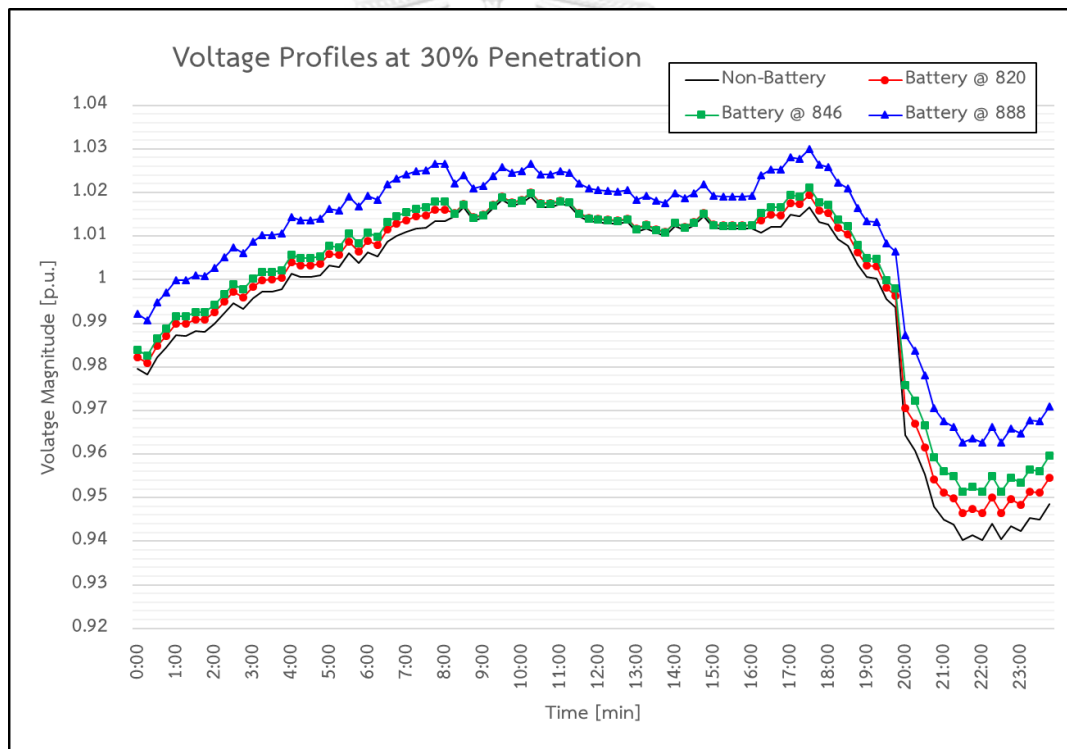
รูปที่ 7.3 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9

7.1.2 การปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ

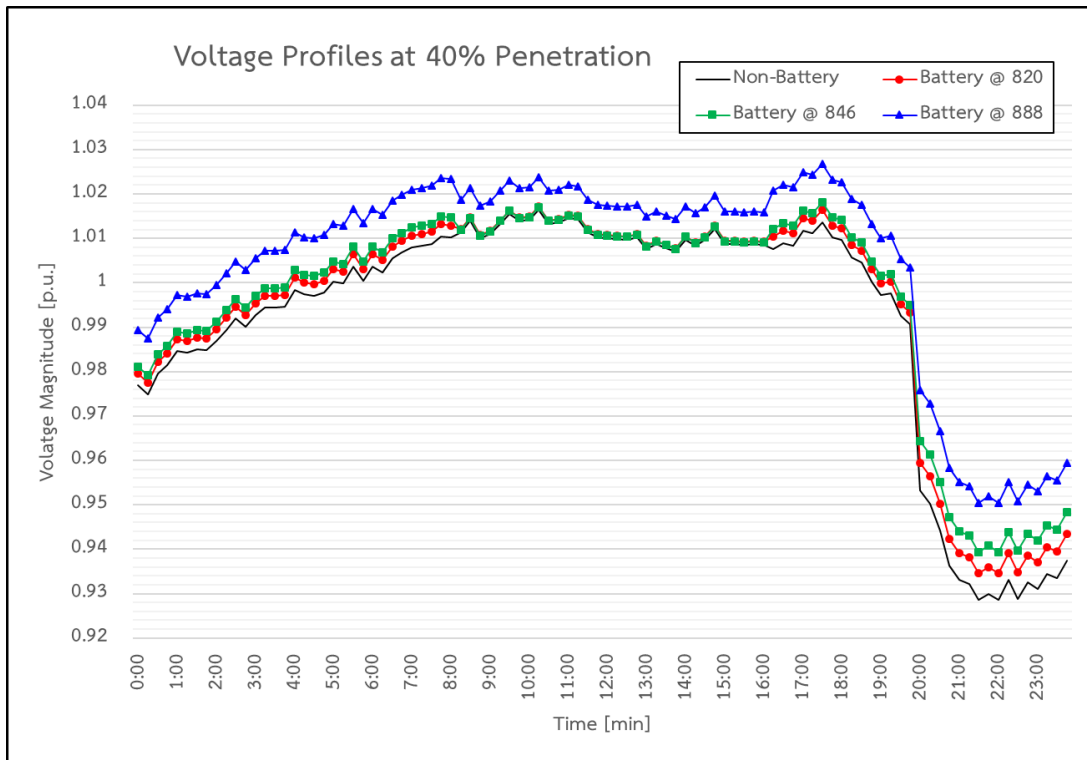
ผลการทดสอบระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อในระบบทดสอบ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อประจุไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อตามที่ได้กำหนดไว้ พบว่า ที่ตำแหน่งหมายเลข 890 ได้รับผลกระทบจากแรงดันเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังนั้น จึงนำมาเปรียบเทียบกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งดังกล่าวเมื่อประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายร่วมกับแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งต่างๆ ตามกรณีศึกษาย่อย โดยมีลำดับการแสดงผล ดังนี้

1. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4, 7 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.4
2. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5, 8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.5
3. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6, 9 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.6

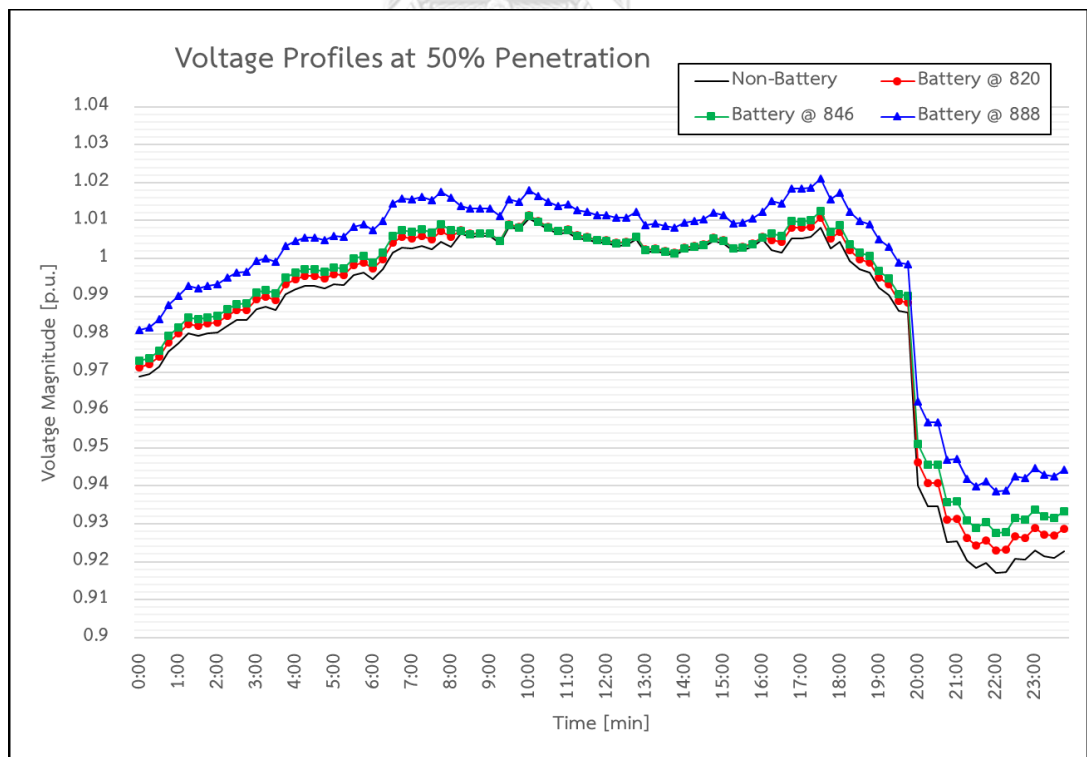
จากทั้งสามรูป จะสังเกตได้ว่า เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาเชื่อมต่อกับระบบเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้ระดับแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่ำลงน้อยกว่าข้อกำหนดการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าฯ แต่เมื่อมีระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ส่งผลให้รูปแบบของระดับแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยในช่วงเวลา 8:00 – 16:00 น. มีระดับต่ำลงเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลา 20:00 – 23:45 น. มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากระบบสำรองพลังงานประจุไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อช่วยลดการจ่ายไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลาที่ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ซึ่งสังเกตเพิ่มเติมได้อีกว่า ในกรณีศึกษาย่อยที่ระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับตำแหน่ง 888 สามารถปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่ากรณีศึกษาย่อยที่ระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับตำแหน่ง 846 และตำแหน่ง 820 ตามลำดับ



รูปที่ 7.4 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7



รูปที่ 7.5 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8

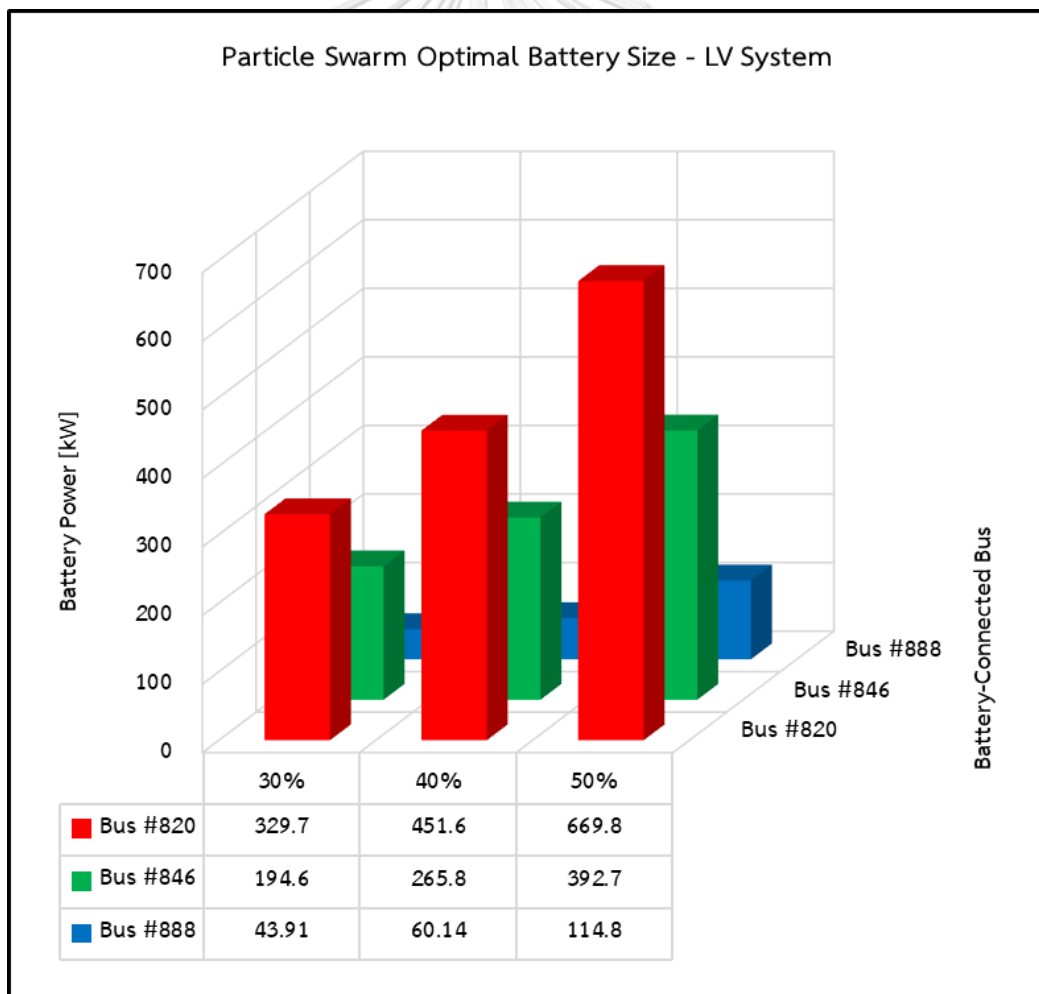


รูปที่ 7.6 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9

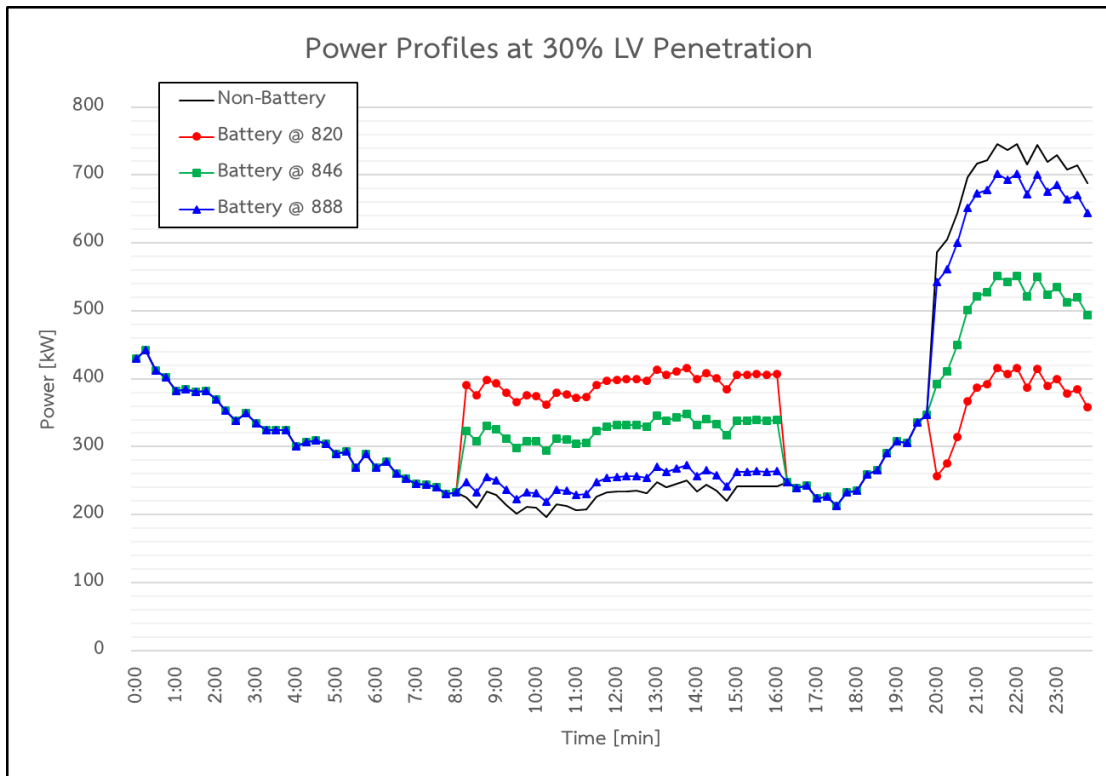
7.1.3 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก

ผลการทดสอบการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และปรับปรุงปัญหาแรงดันตก เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อประจุไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อตามที่ได้กำหนดไว้ ตามกรณีศึกษาย่อย ขนาดของแบตเตอรี่ที่ได้จากการจำลอง แสดงดังรูปที่ 7.7 โดยมีลำดับการแสดงผลการนำแบตเตอรี่ค่าต่างๆ ไปใช้ ดังนี้

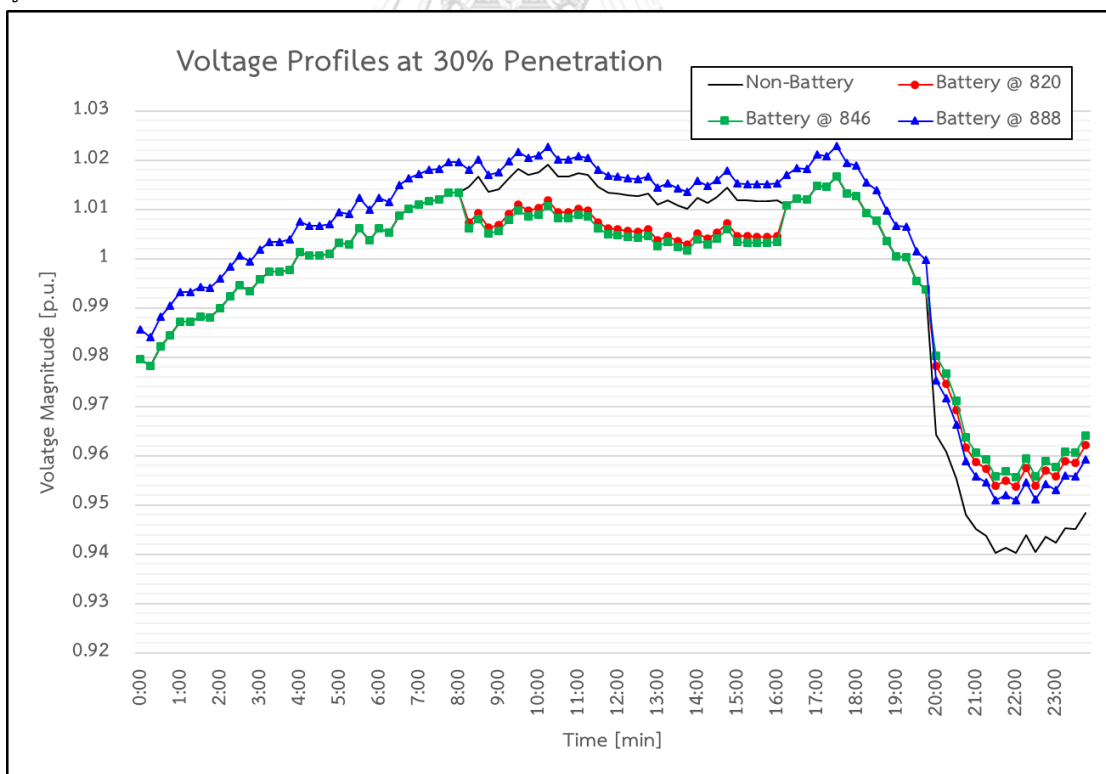
1. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4, 7 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.8, 7.9
2. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5, 8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.10, 7.11
3. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6, 9 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.12, 7.13



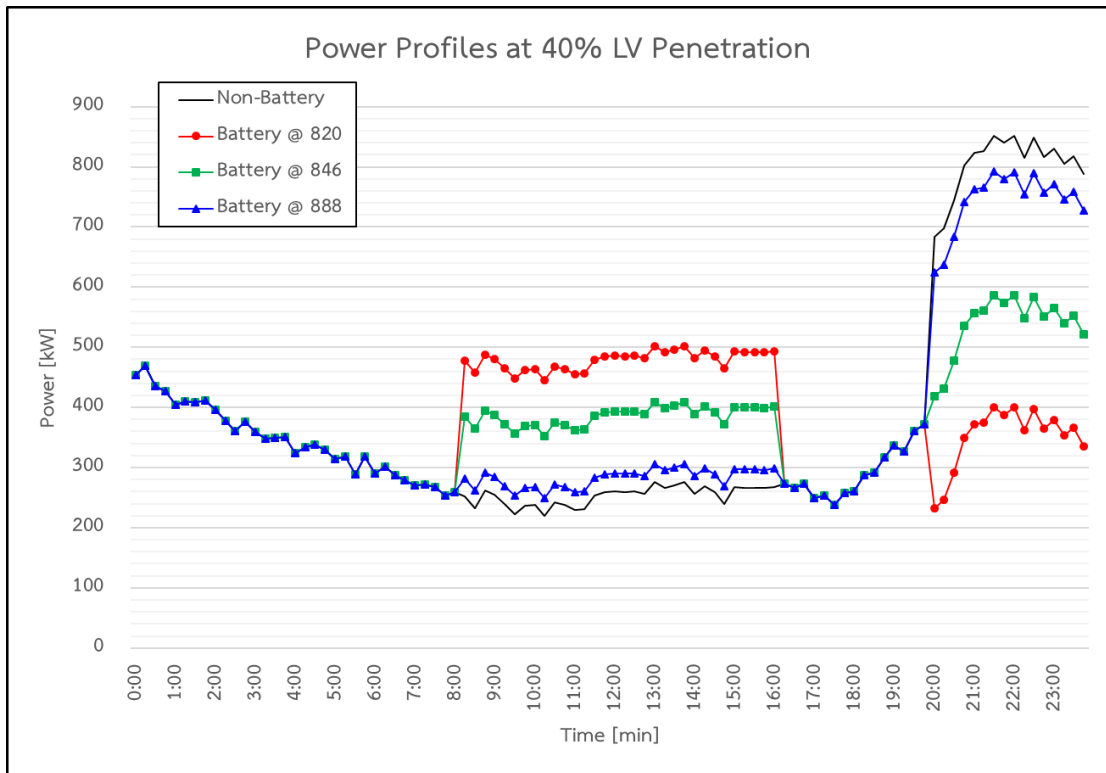
รูปที่ 7.7 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งที่กำหนดให้ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาที่ 1



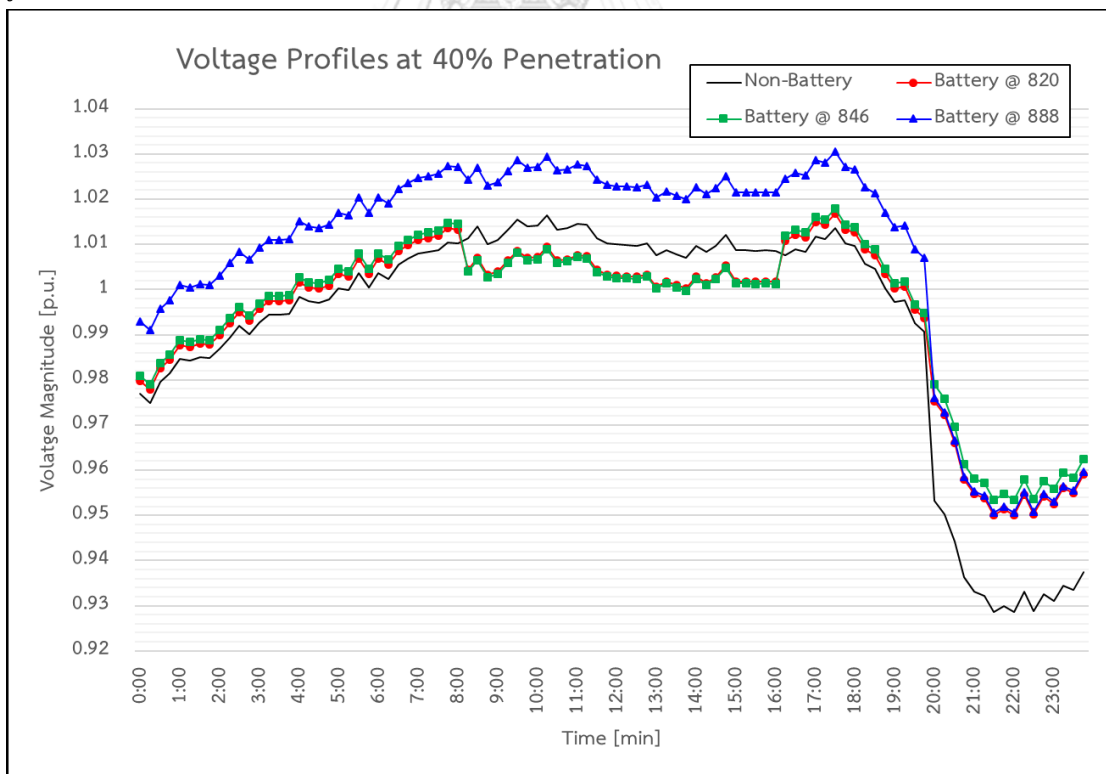
รูปที่ 7. 8 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด



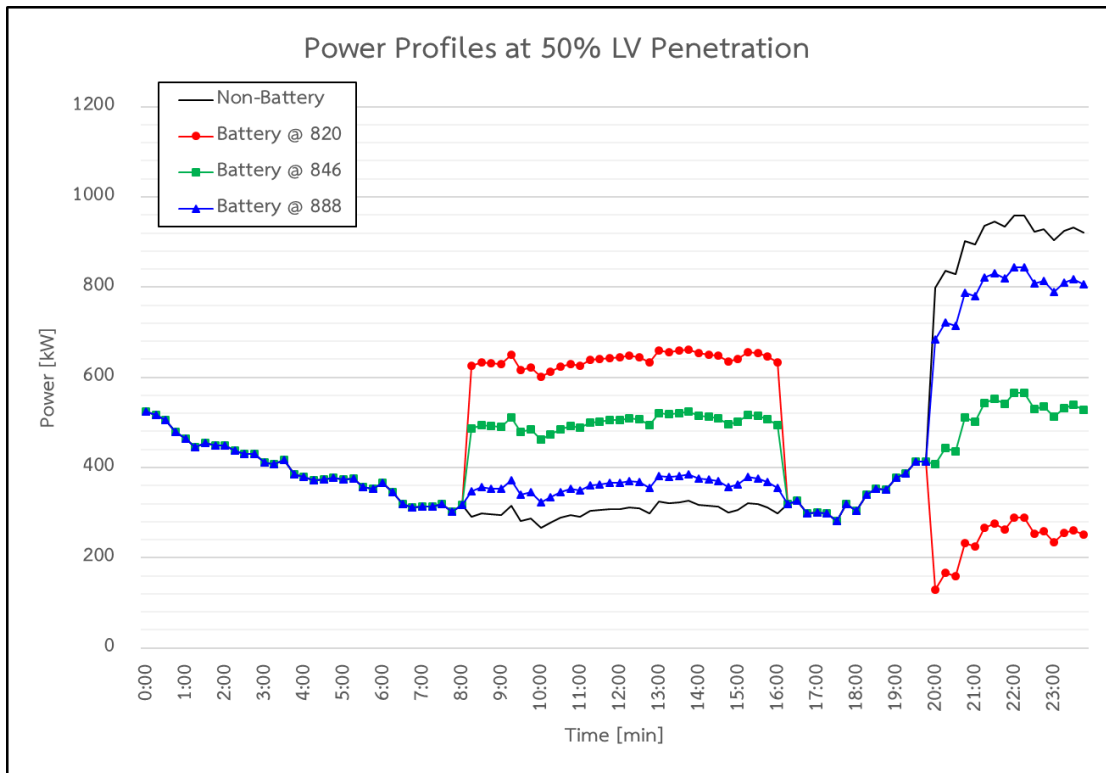
รูปที่ 7. 9 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด



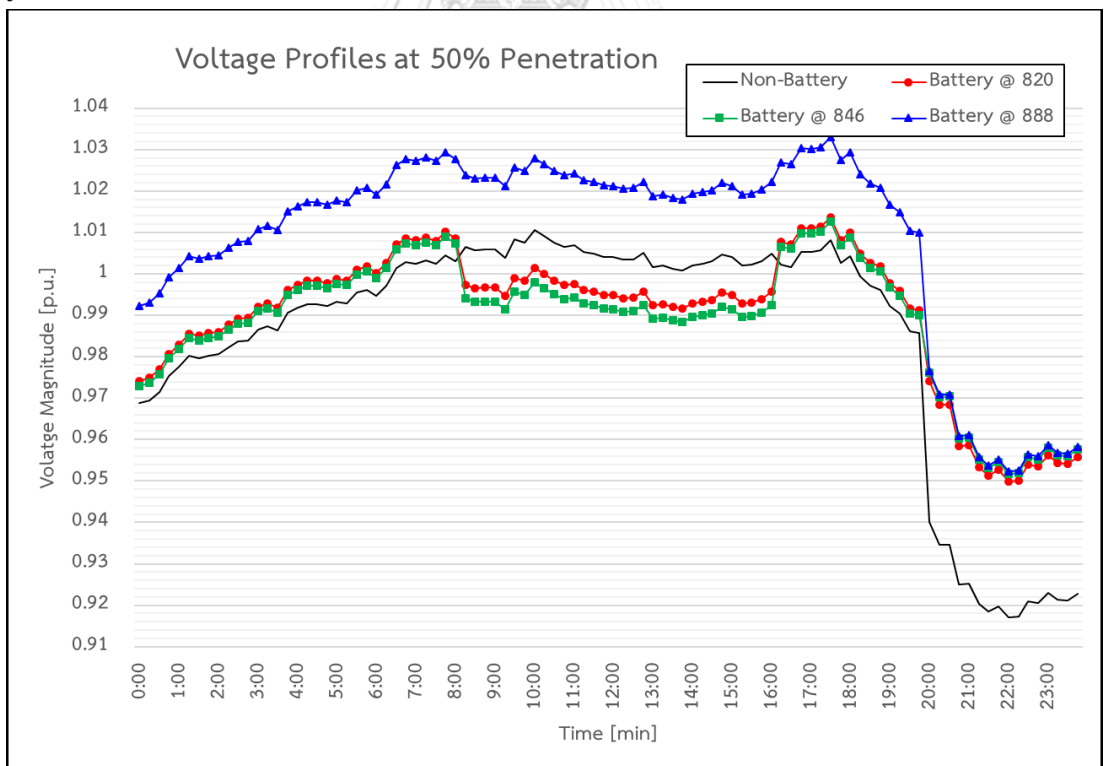
รูปที่ 7.10 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด



รูปที่ 7.11 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด



รูปที่ 7.12 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด



รูปที่ 7.13 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อบริษัทไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด

7.2 กรณีศึกษาที่ 2 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง

การทดสอบนี้จำลองการประจุไฟฟ้ากระแสสลับระดับที่ 1 และ 2 ในระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง โดยสามารถแบ่งเป็นกรณีศึกษาย่อยได้ 9 กรณี แบ่งผลการทดสอบตามระดับ Penetration ออกได้ เป็น 3 กรณี

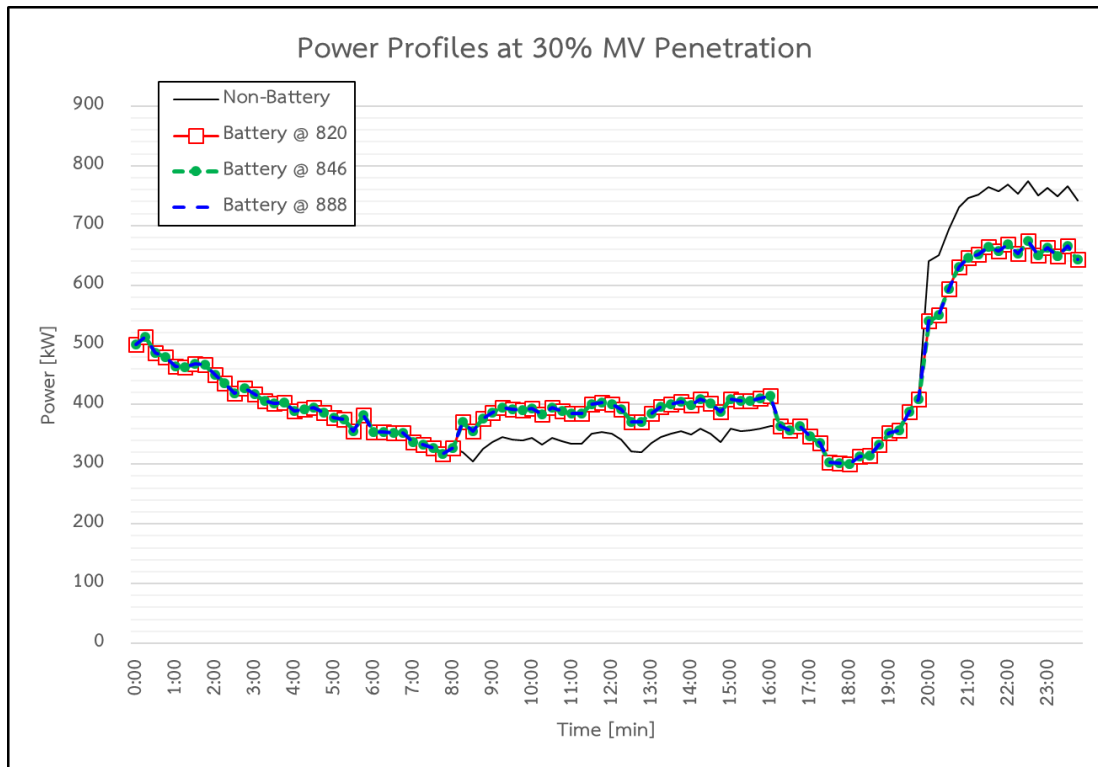
- (1) 30% Penetration
- (2) 40% Penetration
- (3) 50% Penetration

7.2.1 การปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจากกริดภายนอก ในขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบด้วยระบบสำรองพลังงาน ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลัก ในการปรับลด

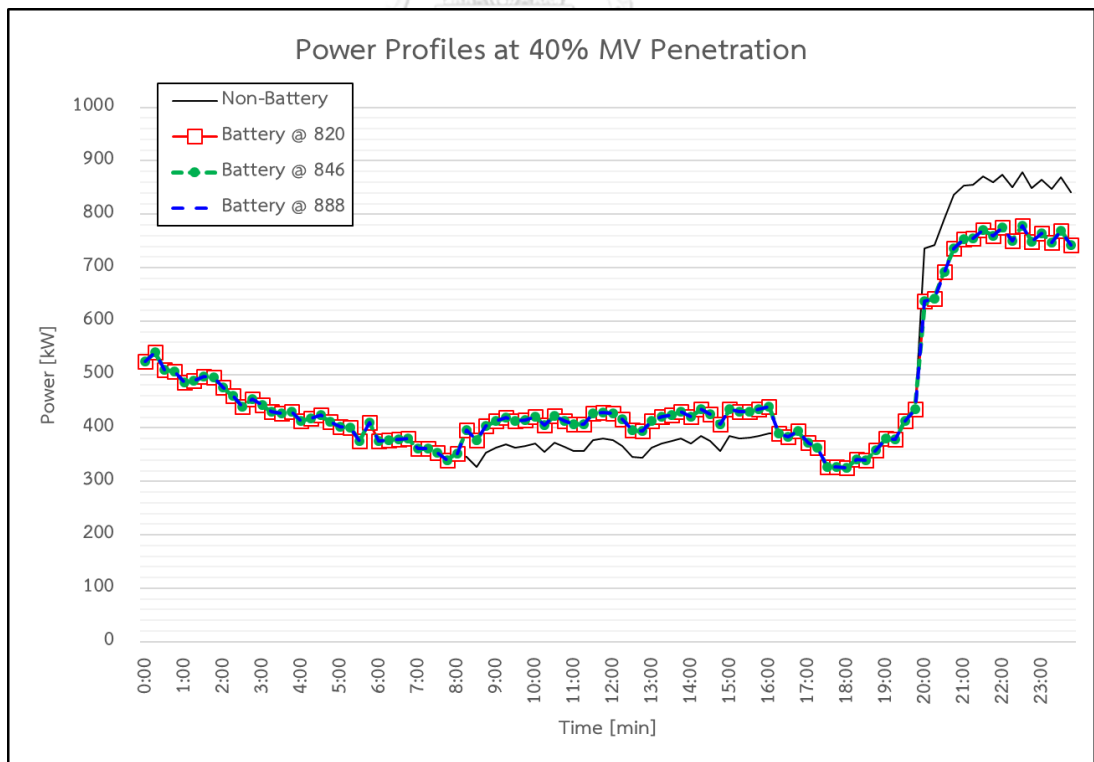
ผลการทดสอบปริมาณกำลังไฟฟ้าทั้งหมดในระบบไฟฟ้าเมื่อยานยนต์ไฟฟ้ารับการประจุไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายเดิมอย่างเดียวเทียบกับเมื่อยานยนต์ไฟฟ้ารับการประจุไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายร่วมกับแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งต่างๆ ในระดับแรงดันปานกลาง ตามกรณีศึกษาย่อย โดยกำหนดให้แบตเตอรี่มีขนาด 100.00 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 10 ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบจำหน่าย มีลำดับการแสดงผล ดังนี้

1. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4, 7 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.14
2. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5, 8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.15
3. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6, 9 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.16

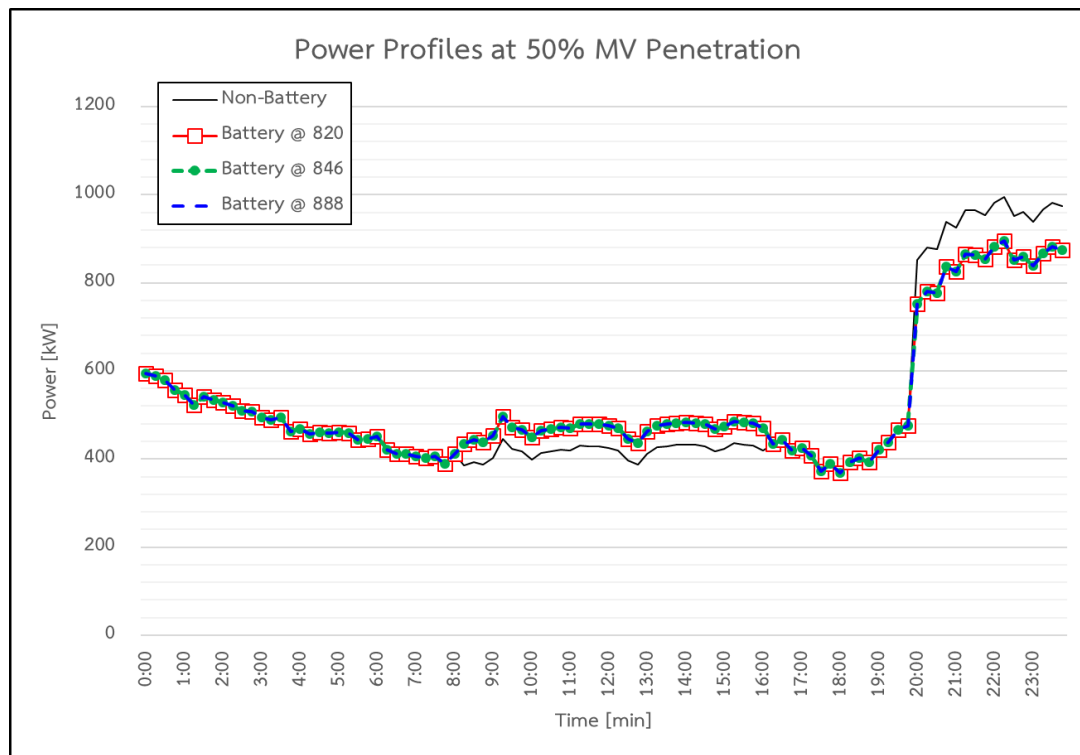
จากทั้งสามรูป จะสังเกตได้ว่า เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาเชื่อมต่อกับระบบเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลานั้นมีผลกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แต่เมื่อมีระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ส่งผลให้รูปแบบปริมาณกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยปริมาณกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา 8:00 – 16:00 น. เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และปริมาณกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 21:00 – 23:45 น. มีค่าต่ำลง เนื่องจากระบบสำรองพลังงานประจุไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อช่วยลดการจ่ายไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลาที่ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง โดยระบบสำรองพลังงานขณะที่ติดตั้ง ณ ตำแหน่ง 888 สามารถปรับลดได้น้อยกว่าขณะที่ติดตั้ง ณ ตำแหน่ง 820 และ 846



รูปที่ 7.14 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง
เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7



รูปที่ 7.15 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง
เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 45 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8



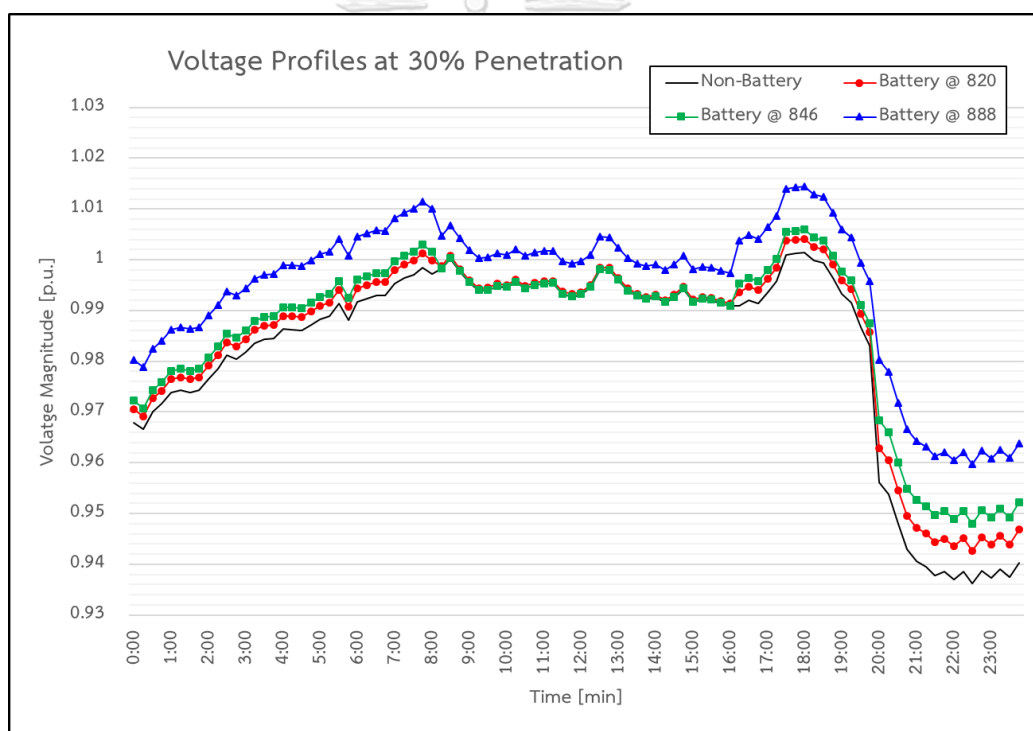
รูปที่ 7.16 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง
เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9

7.2.2 การปรับปรุงแรงดันตกขณะที่มียานยนต์ไฟฟ้าต่อเข้ากับระบบ

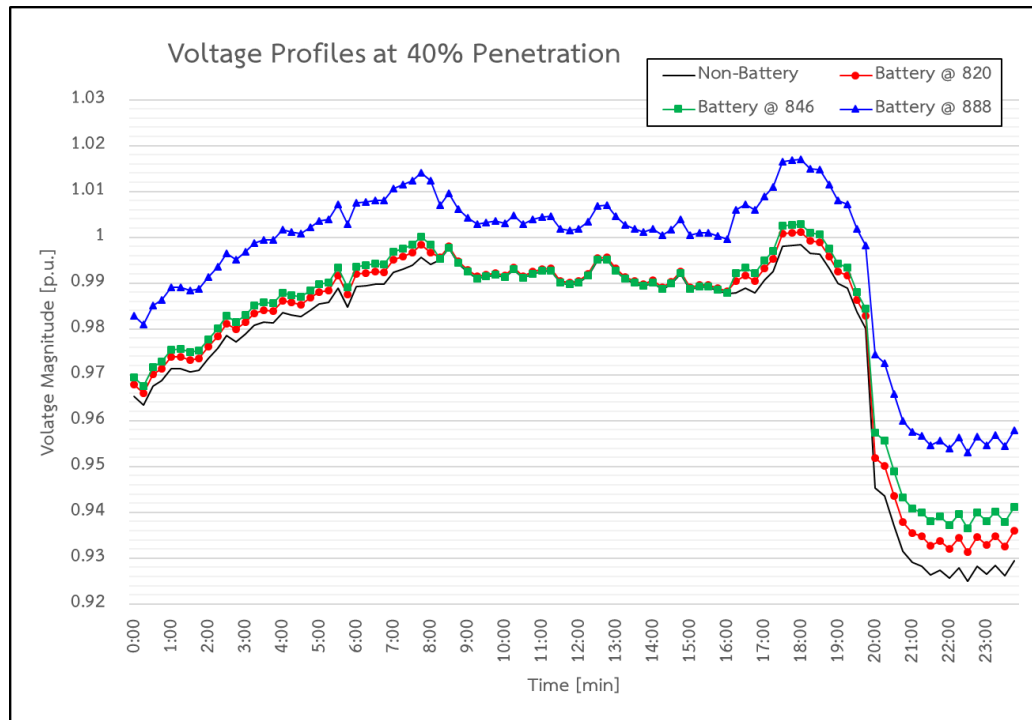
ผลการทดสอบระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อในระบบทดสอบ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เพื่อประจุไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อตามที่ได้กำหนดไว้ พบว่า ที่ตำแหน่งหมายเลข 890 ได้รับผลกระทบจากแรงดันเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ดังนั้น จึงนำมาเปรียบเทียบกับระดับแรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งดังกล่าว เมื่อประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายร่วมกับแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งต่างๆ ตามกรณีศึกษาย่อย โดยมีลำดับการแสดงผล ดังนี้

1. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4, 7 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.17
2. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5, 8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.18
3. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6, 9 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.19

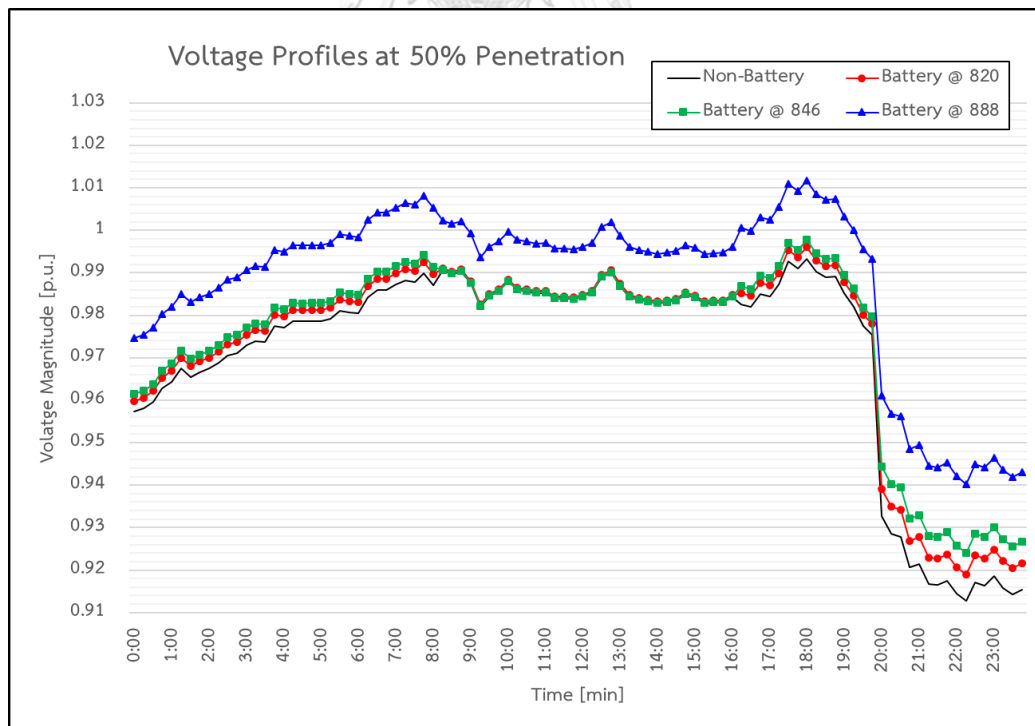
จากทั้งสามรูป จะสังเกตได้ว่า เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าที่เข้ามาเชื่อมต่อกับระบบเพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้ระดับแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่ำลงน้อยกว่าข้อกำหนดการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าฯ แต่เมื่อมีระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ส่งผลให้รูปแบบของระดับแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยในช่วงเวลา 8:00 – 16:00 น. มีระดับต่ำลงเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ และระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลา 21:00 – 23:45 น. มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากระบบสำรองพลังงานประจุไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อช่วยลดการจ่ายไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลาที่ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ซึ่งสังเกตเพิ่มเติมได้อีกว่า ในกรณีศึกษาย่อยที่ระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับตำแหน่ง 888 สามารถปรับปรุงระดับแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่ากรณีศึกษาย่อยที่ระบบสำรองพลังงานเชื่อมต่อกับตำแหน่ง 846 และตำแหน่ง 820 ตามลำดับ



รูปที่ 7.17 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4 และ 7



รูปที่ 7.18 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 45 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5 และ 8

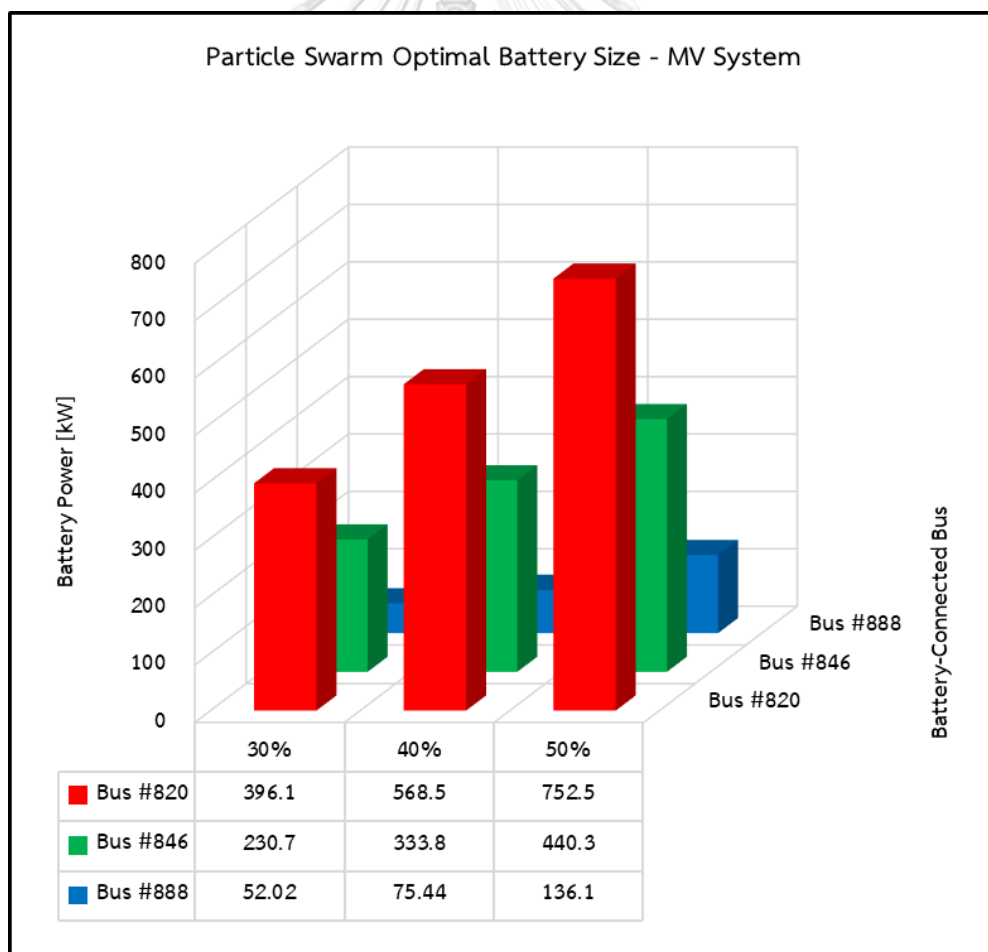


รูปที่ 7.19 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6 และ 9

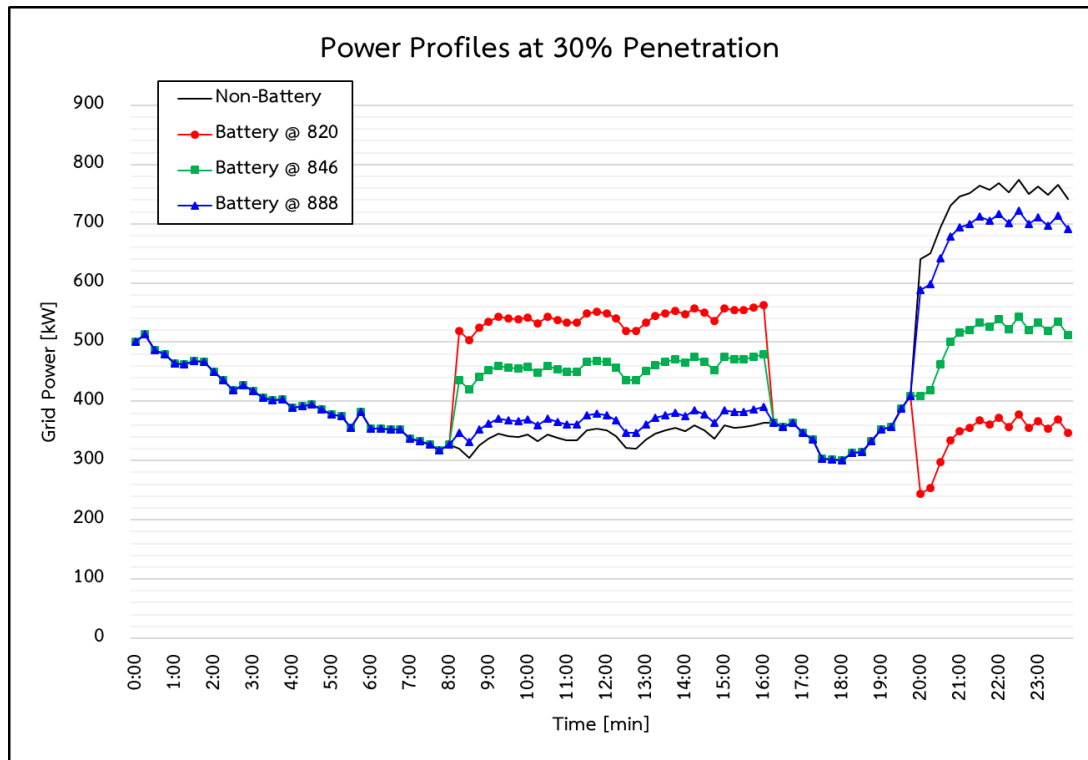
7.2.3 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและกำหนดให้แรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนดเพื่อปรับปรุงปัญหาแรงดันตก

ผลการทดสอบการจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อปรับลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และปรับปรุงปัญหาแรงดันตก เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อประจุไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อตามที่ได้กำหนดไว้ ตามกรณีศึกษาย่อย ขนาดของแบตเตอรี่ที่ได้จากการจำลอง แสดงดังรูปที่ 7.19 โดยมีลำดับการแสดงผลการนำแบตเตอรี่ค่าต่างๆ ไปใช้ ดังนี้

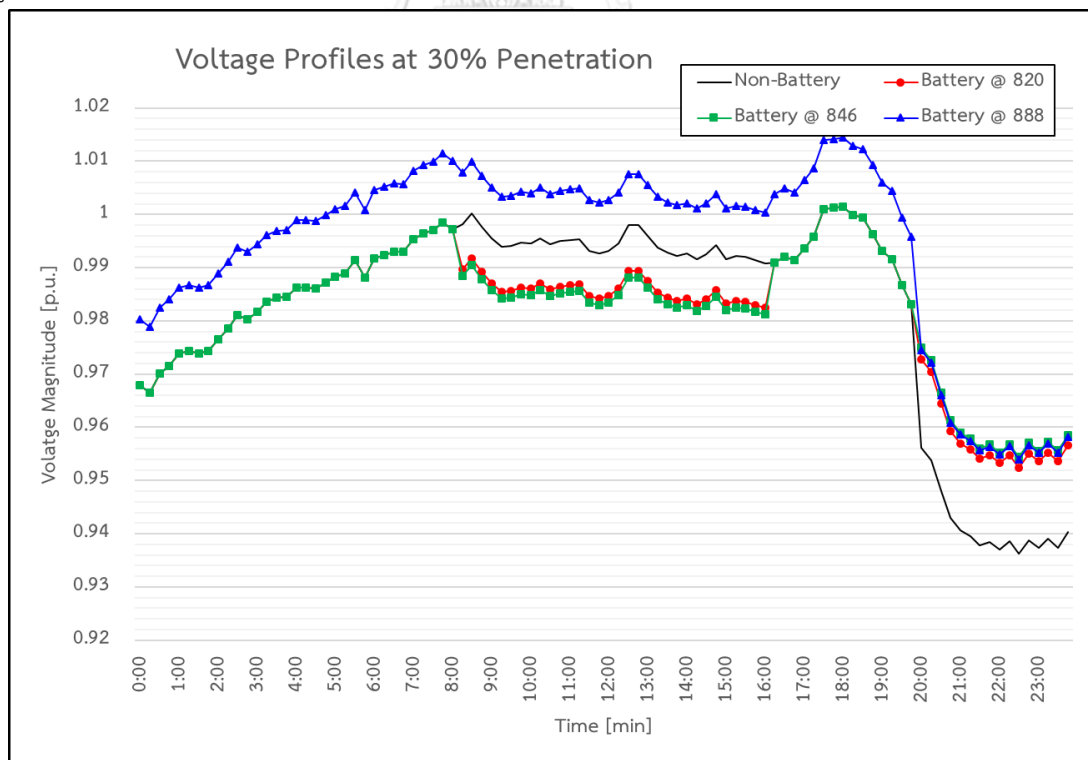
1. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 1, 4, 7 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.20, 7.21
2. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 2, 5, 8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.22, 7.23
3. การทดสอบกรณีศึกษาย่อยที่ 3, 6, 9 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7.24, 7.25



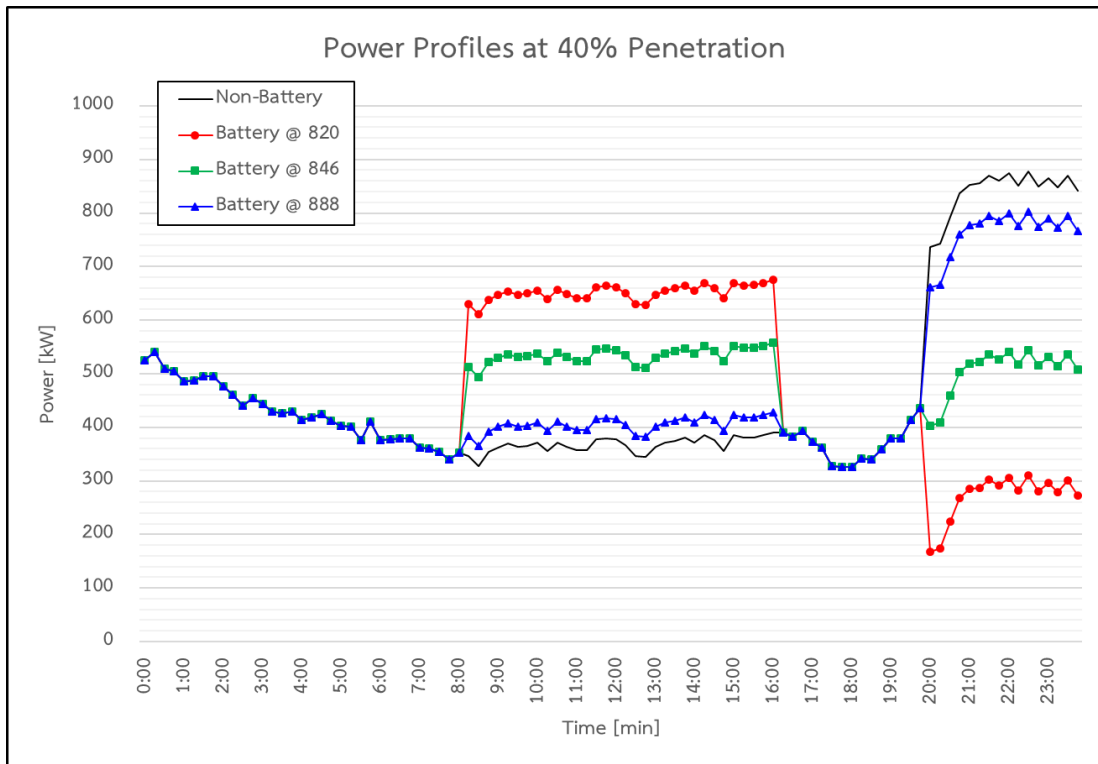
รูปที่ 7. 20 การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ ณ ตำแหน่งที่กำหนดให้ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำ ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับภาระทั้งหมด ตามกรณีศึกษาที่ 2



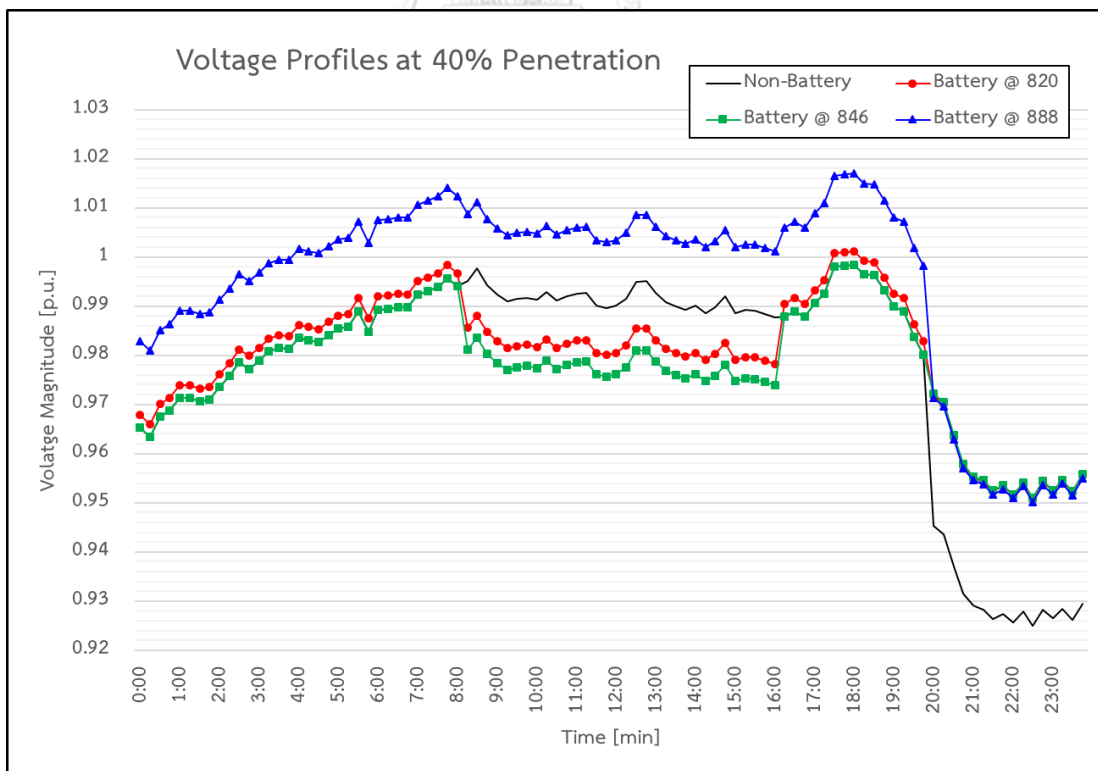
รูปที่ 7.21 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด



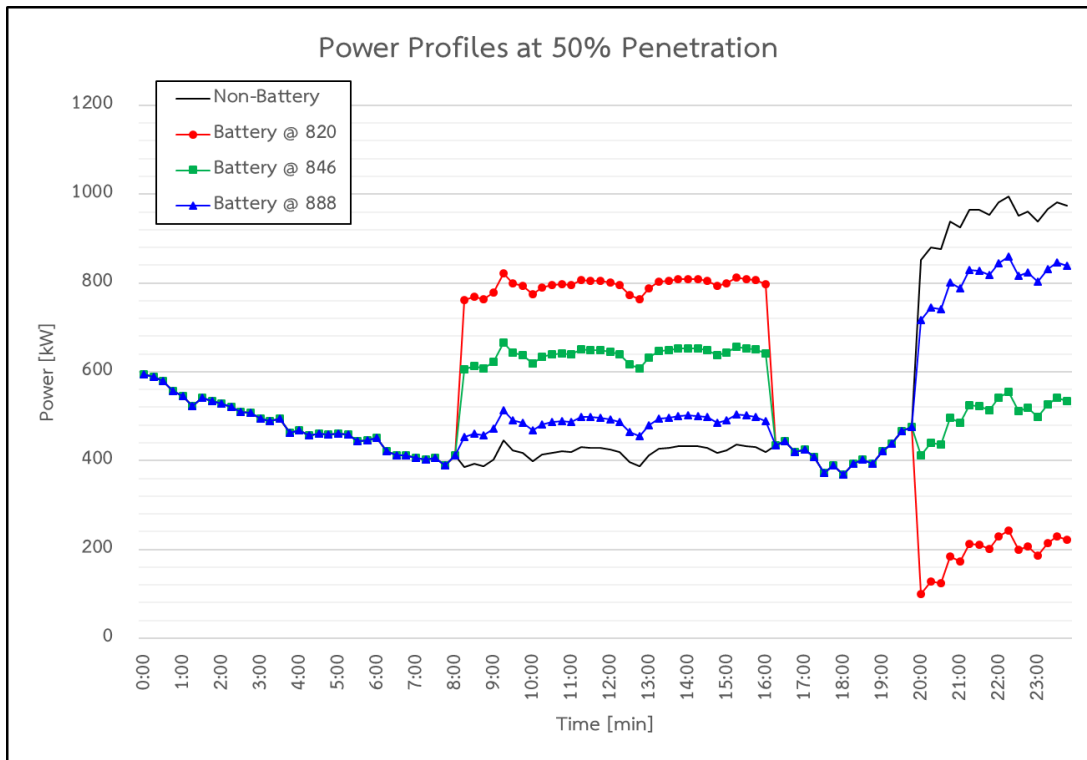
รูปที่ 7.22 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 30 ของภาระทั้งหมด



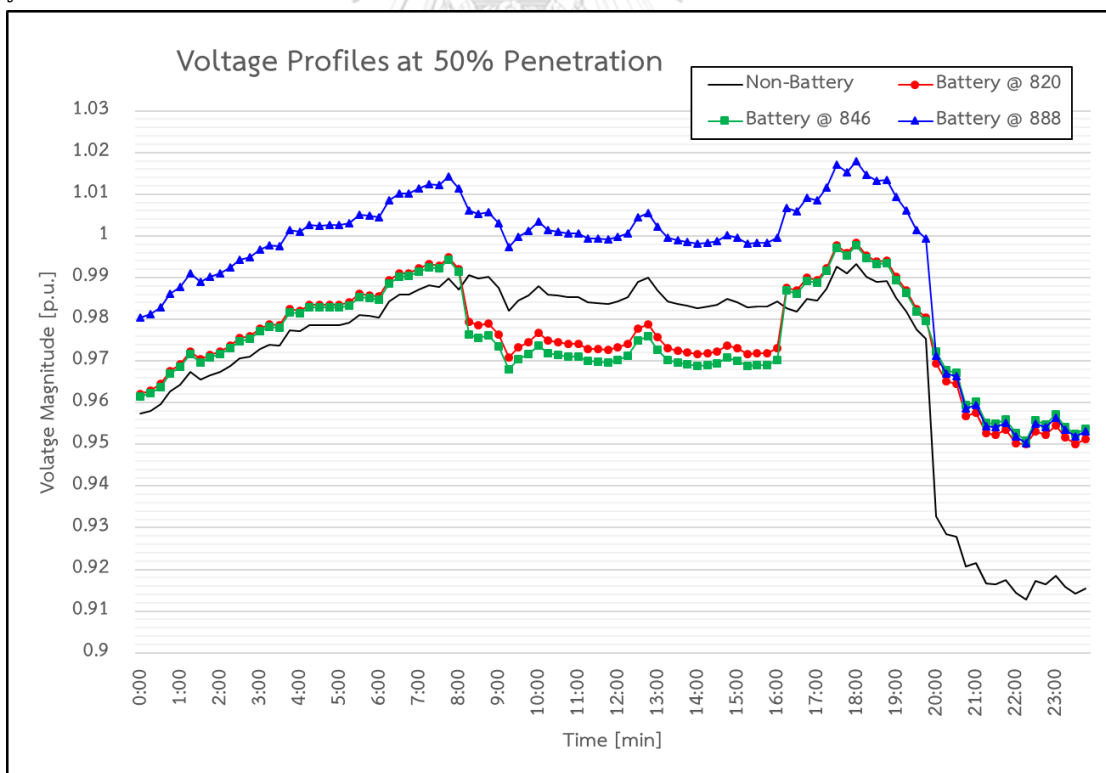
รูปที่ 7. 23 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด



รูปที่ 7. 24 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 40 ของภาระทั้งหมด



รูปที่ 7.25 ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระดับแรงดันปานกลาง เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด



รูปที่ 7.26 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าตำแหน่ง 890 เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้า
ที่ระดับแรงดันปานกลาง ในปริมาณร้อยละ 50 ของภาระทั้งหมด

บทที่ 8

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

8.1 กรณีศึกษาที่ 1 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ

จากผลการทดสอบการประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่ำ ในข้อ 7.1 นั้น เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ในช่วงที่มีปริมาณการใช้สูงสุด ที่เวลา 22:45 น. ซึ่งเกิดขึ้นจากการทดสอบการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า จึงทำให้การใช้ระบบสำรองพลังงานเพื่อปรับลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า และปรับปรุงแรงดันตก โดยใช้แบตเตอรี่ แสดงได้ดังนี้

(1) การปรับลดปรับลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าและปรับปรุงแรงดันตก

การจำลองขนาดของแบตเตอรี่ให้ไม่เกินขอบเขตตามสมการที่ 6.9 เมื่อนำแบตเตอรี่เชื่อมต่อเพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถสรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด รวมไปถึงระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด เป็นไปดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 แสดงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ในขณะก่อนและหลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่

กรณีศึกษา ย่อย	ก่อนเชื่อมต่อแบตเตอรี่				หลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่			
	ปริมาณกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)		แรงดันไฟฟ้าที่ บัส 890 (p.u.)		ปริมาณกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)		แรงดันไฟฟ้าที่ บัส 890 (p.u.)	
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
1					657.630	212.770	1.020	0.946
4	746.080	196.809	1.019	0.940	657.630	212.770	1.021	0.951
7					657.630	212.770	1.030	0.963
2					763.565	237.346	1.017	0.935
5	852.015	219.425	1.016	0.929	763.565	237.346	1.018	0.939
8					763.565	237.346	1.027	0.950
3					869.985	282.368	1.011	0.923
6	958.435	265.936	1.011	0.917	869.985	282.368	1.013	0.928
9					869.985	282.368	1.021	0.938

จากตารางที่ 8.1 จะสังเกตได้ว่า การจำลองขนาดของแบตเตอรี่ให้มีขนาดเดียวกัน เมื่อนำไปติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละกรณีศึกษาย่อย พบว่า ในมุมมองระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบตเตอรี่สามารถปรับลดปริมาณกำลังไฟฟ้าได้เท่ากัน อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงแรงดันตกที่ ตำแหน่ง 890 ซึ่งอ่อนไหวต่อระบบมากที่สุดสามารถปรับปรุงได้เพียงตำแหน่ง 846 ที่ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 30 และตำแหน่ง 888 ที่ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 30 และร้อยละ 40 ตามกรณีศึกษาย่อย ที่ 2, 3, และ 6 ตามลำดับ

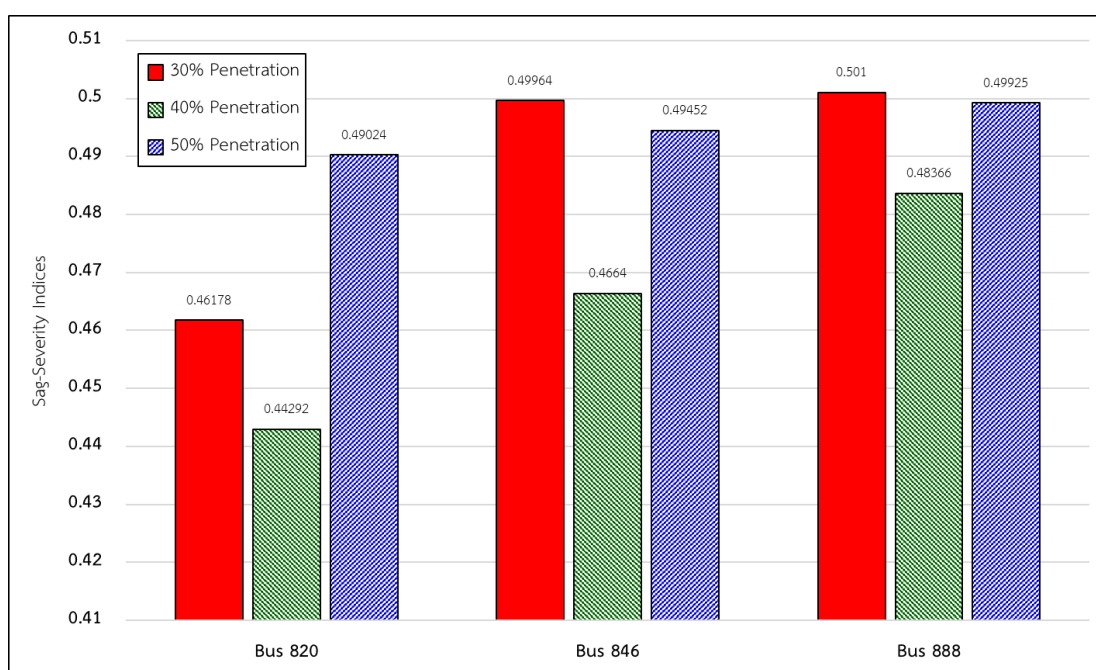
(2) การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่

การจำลองขนาดของแบตเตอรี่ในตำแหน่งต่างๆ (820, 846, 888) โดยใช้เทคนิค PSO เมื่อนำแบตเตอรี่ที่คำนวณได้มาเชื่อมต่อเพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถสรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด รวมไปถึงระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด หลังการเชื่อมต่อ และคำนวณดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกได้ โดยใช้ระดับแรงดันอ้างอิงขนาด 0.9 p.u. เนื่องจากมีช่วงระยะเวลาการเกิดแรงดันตกมากกว่า 10 วินาทีขึ้นไป เป็นไปดังตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2 แสดงปริมาณกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่จำลองได้ รวมไปถึงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ ขณะที่เชื่อมต่อแบตเตอรี่

กรณีศึกษา ย่อย	หลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่						
	กำลังไฟฟ้า แบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)	ปริมาณกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)		แรงดันไฟฟ้าที่ บัส 890 (p.u.)		ดัชนีความ รุนแรง ระดับ แรงดันตก	ดัชนีแรงดัน ไม่สมดุล (ร้อยละ)
		สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด		
1	329.700	441.686	212.770	1.017	0.954	0.46178	0.54
4	194.600	551.480	212.770	1.017	0.956	0.44292	0.54
7	43.910	702.170	212.770	1.023	0.951	0.49024	0.55
2	451.600	501.520	232.389	1.017	0.950	0.49964	0.72
5	265.800	586.215	237.346	1.018	0.953	0.4664	0.72
8	60.140	791.875	237.346	1.031	0.951	0.49452	0.73
3	669.800	662.002	129.868	1.014	0.950	0.501	0.89
6	392.700	565.735	282.368	1.013	0.952	0.48366	0.90
9	114.800	843.635	282.368	1.033	0.950	0.49925	0.91

จากตารางที่ 8.2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำแบตเตอรี่ไปเชื่อมต่อเพื่อควบคุมระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่ง ตำแหน่ง 820 ซึ่งมีระยะทางของสายส่ง 39.4 กิโลเมตร ในกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 ต้องติดตั้งแบตเตอรี่ที่มีขนาด 329.7, 451.6, 669.8 กิโลวัตต์ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 30, 40, และ 50 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการติดตั้งแบตเตอรี่ที่ตำแหน่ง 846 และ 888 ข้างต้น และเมื่อวิเคราะห์ดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกที่บัส 890 ขณะที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จากแต่ละตำแหน่งและตามปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้านั้นพบว่า เมื่อติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ใกล้กับบัส 890 มากขึ้น ดัชนีความรุนแรงดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงบนแผนภูมิดังรูปที่ 8.1



รูปที่ 8.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกที่บัส 890 ขณะที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในแต่ละตำแหน่งและตามปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ

8.2 กรณีศึกษาที่ 2 การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง

ตามที่ได้ผลการทดสอบการประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าที่ระดับแรงดันปานกลาง ในข้อ 7.2 นั้น เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ในช่วงที่มีปริมาณการใช้สูงสุด ที่เวลา 22:45 น. ซึ่งเกิดขึ้นจากการทดสอบการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า การใช้ระบบสำรองพลังงานเพื่อปรับลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า และปรับปรุงแรงดันตก โดยใช้แบตเตอรี่ แสดงได้ดังนี้

(1) การปรับลดปรับลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าและปรับปรุงแรงดันตก

การจำลองขนาดของแบตเตอรี่ให้ไม่เกินขอบเขตตามสมการที่ 6.9 เมื่อนำแบตเตอรี่เชื่อมต่อเพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถสรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด รวมไปถึงระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด เป็นไปตามตารางที่ 8.3

ตารางที่ 8.3 แสดงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง ในขณะก่อนและหลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่

กรณีศึกษา ย่อย	ก่อนเชื่อมต่อแบตเตอรี่				หลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่			
	ปริมาณกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)		แรงดันไฟฟ้าที่ บัส 890 (p.u.)		ปริมาณกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)		แรงดันไฟฟ้าที่ บัส 890 (p.u.)	
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
1					673.654	300.679	1.004	0.943
4	773.654	300.679	1.001	0.936	673.654	300.679	1.006	0.948
7					673.654	300.679	1.014	0.960
2					778.287	325.441	1.001	0.931
5	878.287	325.441	0.998	0.925	778.287	325.441	1.003	0.937
8					778.287	325.441	1.017	0.953
3					894.728	368.284	0.996	0.919
6	994.728	368.284	0.993	0.913	894.728	368.284	0.998	0.924
9					894.728	368.284	1.012	0.940

จากตารางที่ 8.3 จะสังเกตได้ว่า การจำลองขนาดของแบตเตอรี่ให้มีขนาดเดียวต้น เมื่อนำไปติดตั้งที่ตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละกรณีศึกษาย่อย พบว่า ในมุมมองระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบตเตอรี่สามารถปรับลดปริมาณกำลังไฟฟ้าได้เท่ากัน อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงแรงดันตกที่ ตำแหน่ง 890 ซึ่งอ่อนไหวต่อระบบมากที่สุดสามารถปรับปรุงได้เพียงตำแหน่ง 888 ที่ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 30 และร้อยละ 40 ตามกรณีศึกษาย่อย ที่ 2, 3, และ 6 ตามลำดับ

(2) การจำลองขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่

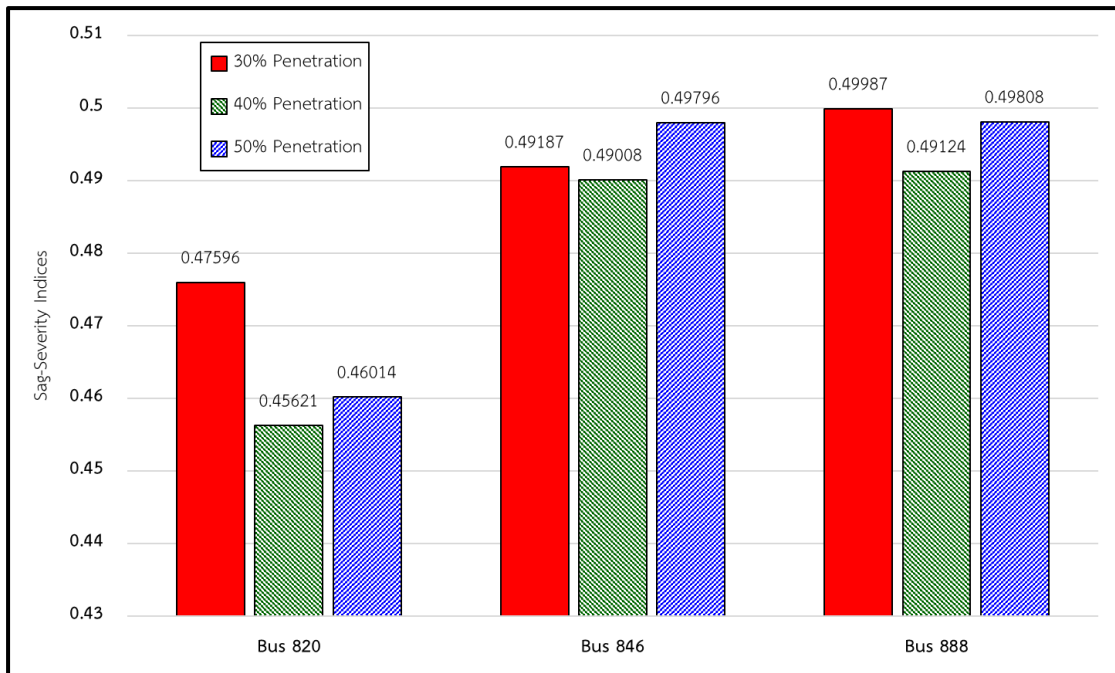
การจำลองขนาดของแบตเตอรี่ในตำแหน่งต่างๆ (820, 846, 888) โดยใช้เทคนิค PSO เมื่อนำแบตเตอรี่ที่คำนวณได้มาเชื่อมต่อเพื่อควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถสรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด รวมไปถึงระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด หลัง

การเชื่อมต่อ และคำนวณดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกได้ โดยใช้ระดับแรงดันอ้างอิงขนาด 0.9 p.u. เนื่องจากมีช่วงระยะเวลาการเกิดแรงดันตกมากกว่า 10 วินาทีขึ้นไป เป็นไปดังตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8. 4 แสดงปริมาณกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่จำลองได้ รวมไปถึงพฤติกรรมของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระดับแรงดันปานกลาง ขณะเชื่อมต่อแบตเตอรี่

กรณีศึกษา ย่อย	หลังเชื่อมต่อแบตเตอรี่						
	กำลังไฟฟ้า แบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)	ปริมาณกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)		แรงดันไฟฟ้าที่ บัส 890 (p.u.)		ดัชนีความ รุนแรง ระดับ แรงดันตก	ดัชนีแรงดัน ไม่สมดุล (ร้อยละ)
		สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด		
1	396.100	562.335	243.692	1.001	0.952	0.4760	0.53
4	230.700	542.954	300.679	1.001	0.954	0.4562	0.54
7	52.020	721.634	300.679	1.014	0.954	0.4601	0.54
2	568.500	674.752	168.345	1.001	0.951	0.4919	0.71
5	333.800	557.402	325.441	0.998	0.951	0.4901	0.71
8	75.440	802.847	325.441	1.017	0.950	0.4980	0.72
3	752.500	821.844	100.024	0.998	0.950	0.4999	0.88
6	440.300	665.744	368.284	0.998	0.951	0.4912	0.89
9	136.100	858.628	368.284	1.018	0.950	0.4981	0.90

จากตารางที่ 8.4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำแบตเตอรี่ไปเชื่อมต่อเพื่อควบคุมระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่ง ตำแหน่ง 820 ซึ่งมีระยะทางของสายส่ง 39.4 กิโลเมตร ในกรณีศึกษาที่ 1, 2, 3 ต้องติดตั้งแบตเตอรี่ที่มีขนาด 396.1, 568.5, 752.5 กิโลวัตต์ เมื่อเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าร้อยละ 30, 40, และ 50 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการติดตั้งแบตเตอรี่ที่ตำแหน่ง 846 และ 888 ข้างต้น และเมื่อวิเคราะห์ดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกที่บัส 890 ขณะที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จากแต่ละตำแหน่งและตามปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้านั้นพบว่า เมื่อติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ใกล้กับบัส 890 มากขึ้น ดัชนีความรุนแรงดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงบนแผนภูมิดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกที่บัส 890 ขณะที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในแต่ละตำแหน่งและตามปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าในระบบแรงดันปานกลาง

บทที่ 9

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรก จะสรุปผลการทดสอบกรณีศึกษาทั้ง 2 กลุ่มที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 7 และ บทที่ 8 ในส่วนที่สอง จะแนะนำข้อเสนอกับการพิจารณาเพิ่มเติม นอกเหนือจากที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

9.1 สรุปผลการทดสอบ

(1) ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าทุกประเภทที่เชื่อมต่อในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้เกิดผลกระทบกับระดับแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเกิดจากการนำยานยนต์ไฟฟ้ามาเชื่อมต่อจากภาระชนิดที่อยู่อาศัยเพื่อประจุไฟฟ้าในช่วงเวลาเร่งด่วน ตั้งแต่เวลา 20:00 น. – 0:00 น. โดยการประจุไฟฟ้าด้วยการอัดประจุระดับที่ 1 และ 2 เมื่อเชื่อมต่อกับภาระชนิดที่อยู่อาศัยในระดับแรงดันปานกลาง ที่ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วยต่อเดือน จะเกิดผลกระทบสูงกว่าการประจุไฟฟ้าด้วยการอัดประจุระดับที่ 1 เมื่อเชื่อมต่อกับภาระชนิดที่อยู่อาศัยในระดับแรงดันต่ำที่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

(2) การติดตั้งระบบสำรองพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ เพียงตำแหน่งเดียวในระบบไฟฟ้า โดยจ่ายประจุไฟฟ้าและประจุไฟฟ้าให้แก่ระบบไฟฟ้าเพียงกำลังไฟฟ้าจริงที่คำนวณขนาดได้จากโปรแกรม Particle Swarm Optimization นั้น สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในขอบเขตตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายได้ อย่างไรก็ตาม ระบบสำรองพลังงานดังกล่าว อาจไม่สามารถช่วยควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าได้ เนื่องจากความพยายามที่จะปรับปรุงเพียงแรงดันตกอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า

(3) ตำแหน่งติดตั้งระบบสำรองพลังงาน ส่งผลต่อการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ การติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดที่มีโอกาสเกิดแรงดันตกได้มาก ระบบดังกล่าวจะมีความสามารถปรับปรุงระดับแรงดันตกได้ดีกว่าการติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ไกลกว่า และสะท้อนพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตก กล่าวคือ การติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ใกล้กับจุดที่มีโอกาสเกิดแรงดันตกได้มาก จะมีค่าดัชนีความรุนแรงระดับแรงดันตกมากกว่าการติดตั้งแบตเตอรี่ในตำแหน่งที่ไกลกว่า อย่างไรก็ตาม ในแต่ละตำแหน่งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับแต่ละตำแหน่งได้

(4) การใช้โปรแกรม Particle Swarm Optimization สามารถประเมินขนาดที่เล็กที่สุดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับแต่ละตำแหน่งในระบบไฟฟ้า เพื่อประยุกต์และนำไปใช้งานได้

9.2 ข้อเสนอแนะ

(1) ความหลากหลายของประเภทภาระในระบบไฟฟ้า ส่งผลกระทบต่อลักษณะการใช้ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า ทั้งนี้ อาจจะต้องพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของภาระที่เกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายควบคู่ไปด้วย

(2) เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ทำการทดสอบเป็นระบบ 3 เฟสแบบไม่สมดุล เนื่องจากกำหนดให้ภาระต่างๆในระบบไฟฟ้าเชื่อมต่ออย่างกระจายตัว จึงอาจจำเป็นต้องใช้ดัชนีในการประเมินแรงดันไฟฟ้าอื่น นอกเหนือจากทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

(3) การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย อาจจะควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในระบบ เช่น อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบขั้น (Step Voltage Regulator: SVR) ตัวเก็บประจุ STATCOM SVC หรือแม้กระทั่งการส่งการโรงไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้าบางส่วน เป็นต้น จึงควรวิเคราะห์การทำงานของระบบสำรองพลังงานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมในระบบดังกล่าวด้วย

(4) การพิจารณาดำเนินการที่เหมาะสมของการติดตั้งระบบสำรองพลังงานโดยมีแบตเตอรี่ อาจประเมินขนาดของแบตเตอรี่ที่พิจารณาจากทุกจุดเชื่อมต่อบนสายจำหน่ายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อยืนยันทั้งตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

(5) เนื่องจากการใช้งานระบบสำรองพลังงานโดยมีแบตเตอรี่นั้น ต้องใช้ควบคู่กับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งอินเวอร์เตอร์อาจจะสามารถทำหน้าที่อื่นนอกเหนือจากควบคุมแบตเตอรี่ได้ เช่น การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยอ้างอิงจากระดับแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อ และการควบคุมตัวประกอบกำลังไฟฟ้าตามกำลังไฟฟ้าจริง ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อกำหนด หรือแนวทางของผู้ให้บริการพลังงานไฟฟ้า

(6) การใช้ระบบสำรองพลังงานโดยมีแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลักนั้น สามารถช่วยปรับลดปริมาณกำลังไฟฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ดี ควรมีการศึกษามาตรการเพื่อกำหนดขอบเขตการจ่ายปริมาณกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วย ซึ่งขนาดกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่นั้นแปรผันกับราคาของแบตเตอรี่ ซึ่งการติดตั้งแบตเตอรี่ตัวเดียวในระบบไฟฟ้า อาจจะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีกำลังไฟฟ้าสูง จึงทำให้ราคาของแบตเตอรี่สูงเช่นกัน จึงอาจจะไม่เหมาะสมแก่การลงทุน ด้วยเหตุนี้ การกระจายแบตเตอรี่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ในระบบ อาจจะใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดเล็กลง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาแบตเตอรี่ ทั้งนี้ ต้องคำนึงถึงดัชนีความรุนแรงของระดับแรงดันตกที่เหมาะสมในแต่ละตำแหน่งเช่นกัน

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, "แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 - 2579 (EEP2015)."
- [2] มติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ในการประชุมครั้งที่ 1/2559 (ครั้งที่ 6).
- [3] การไฟฟ้านครหลวง, "ข้อมูลการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า เดือนพฤศจิกายน 2559."
- [4] สำนักการจราจรและขนส่ง กรุงเทพมหานคร, "สถิติจราจร ปี 2559."
- [5] อังศิริ ศรีภคคาร, ยานยนต์ไฟฟ้า พื้นฐานการทำงานและการออกแบบ, . สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,, 2011.
- [6] SAE-J1772, 2012.
- [7] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151-2169, 2013.
- [8] CHAdeMO Association. [Online]. Available: <http://www.chademo.com/>.
- [9] *Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets - Conductive charging of electric vehicles - Part 1: General requirements*, 2014.
- [10] Y. E. R. Association. *Why we do not drive all electric?* [Online]. Available: <http://www.yera.be/waarom-rijden-we-niet-allemaal-elektrisch/>.
- [11] S. Deilami, A. S. Masoum, P. S. Moses, and M. A. S. Masoum, "Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 2, no. 3, pp. 456-467, 2011.
- [12] A. S. Masoum, S. Deilami, P. S. Moses, M. A. S. Masoum, and A. Abu-Siada, "Smart load management of plug-in electric vehicles in distribution and residential networks with charging stations for peak shaving and loss minimisation considering voltage regulation," *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 5, no. 8, pp. 877-888, 2011.
- [13] S. Shafiee, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Rastegar, "Investigating the Impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Power Distribution Systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1351-1360, 2013.
- [14] X. Jingwei, K. Zhang, X. Liu, and W. Su, "Investigating the impact of plug-in

- electric vehicle charging on power distribution systems with the integrated modeling and simulation of transportation network," in *2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, 2014, pp. 1-5.
- [15] M. K. Gray and W. G. Morsi, "Power Quality Assessment in Distribution Systems Embedded With Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30, no. 2, pp. 663-671, 2015.
- [16] M. Etezadi-Amoli, K. Choma, and J. Stefani, "Rapid-Charge Electric-Vehicle Stations," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 25, no. 3, pp. 1883-1887, 2010.
- [17] "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality," *IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995)*, pp. c1-81, 2009.
- [18] ไชยะ แซ่มซ้อย, "คู่มือคุณภาพไฟฟ้า," วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2557.
- [19] R. Leou, C. Su, and C. Lu, "Stochastic Analyses of Electric Vehicle Charging Impacts on Distribution Network," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 3, pp. 1055-1063, 2014.
- [20] "IEEE Guide for Voltage Sag Indices," *IEEE Std 1564-2014*, pp. 1-59, 2014.
- [21] F. Kinces, "Voltage Sags Indices and Statistics," 2004.
- [22] "IEEE Recommended Practice for Voltage Sag and Short Interruption Ride-Through Testing for End-Use Electrical Equipment Rated Less than 1000 V," *IEEE Std 1668-2017 (Revision of IEEE Std 1668-2014)*, pp. 1-85, 2017.
- [23] การไฟฟ้านครหลวง, "ระเบียบการไฟฟ้านครหลวงว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2558."
- [24] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559."
- [25] L. P. Fernandez, T. G. S. Roman, R. Cossent, C. M. Domingo, and P. Frias, "Assessment of the Impact of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 26, no. 1, pp. 206-213, 2011.
- [26] A. Oudalov, R. Cherkaoui, and A. Beguin, "Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application," in *2007 IEEE*

Lausanne Power Tech, 2007, pp. 621-625.

- [27] J. Leadbetter and L. Swan, "Battery storage system for residential electricity peak demand shaving," *Energy and Buildings*, vol. 55, pp. 685-692, 2012/12/01/ 2012.
- [28] T. K. Paul and H. Aisu, "Management of quick charging of electric vehicles using power from grid and storage batteries," in *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*, 2012, pp. 1-8.
- [29] J. R. Agüero, P. Chongfuangprinya, S. Shao, L. Xu, F. Jahanbakhsh, and H. L. Willis, "Integration of Plug-in Electric Vehicles and distributed energy resources on power distribution systems," in *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*, 2012, pp. 1-7.
- [30] X. Wu, X. Hu, S. Moura, X. Yin, and V. Pickert, "Stochastic control of smart home energy management with plug-in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic array," *Journal of Power Sources*, vol. 333, pp. 203-212, 2016/11/30/ 2016.
- [31] A. Trivedi, B. Menon, D. Srinivasan, A. Sharma, and W. F. D. Nicholas, "Multi-objective siting and sizing of E charging stations in the distribution system," in *2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, 2015, pp. 1-6.
- [32] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 1995, vol. 4, pp. 1942-1948 vol.4.
- [33] B. E. Turkay and R. I. Cabadag, "Optimal power flow solution using particle swarm optimization algorithm," in *Eurocon 2013*, 2013, pp. 1418-1424.
- [34] Electric Vehicle Database.
- [35] J. Cho, S. Jeong, and Y. Kim, "Commercial and research battery technologies for electrical energy storage applications," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 48, pp. 84-101, 2015/06/01/ 2015.
- [36] IEEE Distribution System Analysis Subcommittee. *IEEE 34 Node Test Feeder* [Online]. Available: <http://sites.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>.
- [37] DlgSILENT GmbH, *DlgSILENT Power Factory version 15 Tutorial*. DlgSILENT GmbH, 2013.

- [38] R. D. Zimmerman and C. E. Murillo-Sánchez. *MATPOWER : Free, open-source Electric Power System Simulation and Optimization Tools for MATLAB and Octave* [Online]. Available: <https://www.pserc.cornell.edu/matpower/>.
- [39] V. Calderaro, V. Galdi, G. Graber, G. Graditi, and F. Lamberti, "Impact assessment of energy storage and electric vehicles on smart grids," in 2014 *Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ)*, 2014, pp. 15-18.



ภาคผนวก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ก. 1 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบก่อนเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ
ความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย ของการไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0500	1.0500	836	1.0442	1.0284
802	1.0499	1.0497	838	1.0442	1.0284
806	1.0499	1.0495	840	1.0442	1.0284
808	1.0490	1.0460	842	1.0442	1.0285
810	1.0490	1.0460	844	1.0442	1.0284
812	1.0479	1.0419	846	1.0442	1.0284
814	1.0471	1.0387	848	1.0442	1.0284
816	1.0471	1.0387	850	1.0471	1.0387
818	1.0470	1.0386	852	1.0445	1.0295
820	1.0469	1.0380	854	1.0459	1.0344
822	1.0468	1.0379	856	1.0459	1.0344
824	1.0467	1.0373	858	1.0444	1.0291
826	1.0467	1.0373	860	1.0442	1.0285
828	1.0466	1.0371	862	1.0442	1.0284
830	1.0459	1.0344	864	1.0444	1.0291
832	1.0445	1.0295	888	1.0433	1.0256
834	1.0442	1.0285	890	1.0401	1.0151

ตาราง ก. 2 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ
 ในปริมาณร้อยละ 30 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย
 การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0501	1.0500	836	1.0305	0.9783
802	1.0497	1.0490	838	1.0305	0.9783
806	1.0496	1.0484	840	1.0305	0.9783
808	1.0463	1.0363	842	1.0306	0.9787
810	1.0463	1.0363	844	1.0306	0.9785
812	1.0426	1.0224	846	1.0305	0.9783
814	1.0397	1.0114	848	1.0305	0.9783
816	1.0396	1.0112	850	1.0397	1.0114
818	1.0396	1.0112	852	1.0315	0.9817
820	1.0390	1.0088	854	1.0357	0.9967
822	1.0389	1.0084	856	1.0355	0.9959
824	1.0383	1.0064	858	1.0311	0.9803
826	1.0383	1.0063	860	1.0306	0.9785
828	1.0382	1.0060	862	1.0305	0.9783
830	1.0357	0.9969	864	1.0311	0.9802
832	1.0315	0.9817	888	1.0282	0.9707
834	1.0306	0.9787	890	1.0191	0.9403

ตาราง ก.3 แร่งดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ
 ในปริมาณร้อยละ 40 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย
 การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0501	1.0500	836	1.0285	0.9697
802	1.0497	1.0489	838	1.0285	0.9696
806	1.0495	1.0482	840	1.0285	0.9696
808	1.0460	1.0346	842	1.0286	0.9701
810	1.0459	1.0346	844	1.0286	0.9699
812	1.0418	1.0190	846	1.0285	0.9698
814	1.0386	1.0066	848	1.0285	0.9697
816	1.0385	1.0064	850	1.0386	1.0066
818	1.0385	1.0063	852	1.0296	0.9735
820	1.0378	1.0037	854	1.0341	0.9901
822	1.0377	1.0031	856	1.0339	0.9891
824	1.0370	1.0009	858	1.0291	0.9719
826	1.0370	1.0008	860	1.0285	0.9698
828	1.0369	1.0005	862	1.0285	0.9697
830	1.0342	0.9903	864	1.0291	0.9718
832	1.0296	0.9735	888	1.0260	0.9616
834	1.0286	0.9701	890	1.0163	0.9286

ตาราง ก. 4 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ
 ในปริมาณร้อยละ 50 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย
 การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0501	1.0500	836	1.0244	0.9611
802	1.0497	1.0488	838	1.0244	0.9611
806	1.0494	1.0480	840	1.0243	0.9610
808	1.0451	1.0330	842	1.0245	0.9616
810	1.0451	1.0329	844	1.0244	0.9614
812	1.0402	1.0156	846	1.0244	0.9612
814	1.0363	1.0019	848	1.0244	0.9612
816	1.0362	1.0016	850	1.0363	1.0018
818	1.0362	1.0015	852	1.0256	0.9653
820	1.0354	0.9986	854	1.0310	0.9835
822	1.0352	0.9979	856	1.0306	0.9822
824	1.0345	0.9955	858	1.0251	0.9635
826	1.0344	0.9954	860	1.0244	0.9613
828	1.0343	0.9950	862	1.0244	0.9611
830	1.0311	0.9837	864	1.0251	0.9635
832	1.0256	0.9653	888	1.0217	0.9525
834	1.0245	0.9616	890	1.0106	0.9170

ตาราง ข.1 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบก่อนเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง
ความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัยและกิจกรรมขนาดเล็กบางส่วน
ของการไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0500	1.0500	836	1.0390	1.0270
802	1.0499	1.0497	838	1.0390	1.0269
806	1.0498	1.0495	840	1.0390	1.0269
808	1.0480	1.0457	842	1.0391	1.0270
810	1.0480	1.0457	844	1.0390	1.0269
812	1.0459	1.0414	846	1.0390	1.0269
814	1.0443	1.0379	848	1.0390	1.0269
816	1.0443	1.0379	850	1.0443	1.0379
818	1.0443	1.0378	852	1.0396	1.0281
820	1.0439	1.0371	854	1.0421	1.0333
822	1.0439	1.0371	856	1.0421	1.0333
824	1.0436	1.0364	858	1.0394	1.0276
826	1.0436	1.0364	860	1.0390	1.0270
828	1.0435	1.0362	862	1.0390	1.0270
830	1.0422	1.0334	864	1.0394	1.0276
832	1.0396	1.0281	888	1.0375	1.0239
834	1.0391	1.0270	890	1.0319	1.0128

ตาราง ข. 2 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง
 ในปริมาณร้อยละ 30 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย
 และกิจการขนาดเล็กบางส่วน การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0501	1.0500	836	1.0195	0.9758
802	1.0496	1.0490	838	1.0195	0.9758
806	1.0493	1.0483	840	1.0195	0.9758
808	1.0442	1.0359	842	1.0196	0.9762
810	1.0442	1.0359	844	1.0195	0.9760
812	1.0384	1.0215	846	1.0195	0.9759
814	1.0338	1.0101	848	1.0195	0.9758
816	1.0337	1.0099	850	1.0338	1.0101
818	1.0337	1.0099	852	1.0210	0.9794
820	1.0327	1.0075	854	1.0276	0.9949
822	1.0325	1.0070	856	1.0274	0.9941
824	1.0317	1.0049	858	1.0203	0.9779
826	1.0316	1.0048	860	1.0195	0.9760
828	1.0315	1.0045	862	1.0195	0.9758
830	1.0277	0.9951	864	1.0203	0.9778
832	1.0210	0.9794	888	1.0157	0.9678
834	1.0196	0.9762	890	1.0014	0.9362

ตาราง ข. 3 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง
 ในปริมาณร้อยละ 40 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย
 และกิจการขนาดเล็กบางส่วน การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0501	1.0500	836	1.0173	0.9675
802	1.0496	1.0489	838	1.0173	0.9675
806	1.0493	1.0481	840	1.0173	0.9674
808	1.0438	1.0342	842	1.0175	0.9679
810	1.0438	1.0342	844	1.0174	0.9678
812	1.0376	1.0182	846	1.0173	0.9676
814	1.0326	1.0055	848	1.0173	0.9676
816	1.0325	1.0053	850	1.0326	1.0055
818	1.0325	1.0052	852	1.0189	0.9714
820	1.0314	1.0025	854	1.0259	0.9885
822	1.0313	1.0020	856	1.0257	0.9875
824	1.0303	0.9997	858	1.0182	0.9698
826	1.0303	0.9996	860	1.0174	0.9677
828	1.0302	0.9992	862	1.0173	0.9675
830	1.0260	0.9888	864	1.0182	0.9697
832	1.0189	0.9714	888	1.0134	0.9591
834	1.0175	0.9680	890	0.9985	0.9249

ตาราง ข. 4 แรงดันไฟฟ้าในระบบทดสอบหลังเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง
 ในปริมาณร้อยละ 50 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาระชนิดที่อยู่อาศัย
 และกิจการขนาดเล็กบางส่วน การไฟฟ้านครหลวง เดือนเมษายน 2558

บัส	แรงดันไฟฟ้า สูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)	บัส	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
800	1.0502	1.0500	836	1.0136	0.9584
802	1.0495	1.0487	838	1.0136	0.9584
806	1.0492	1.0479	840	1.0136	0.9584
808	1.0431	1.0325	842	1.0138	0.9589
810	1.0431	1.0325	844	1.0137	0.9587
812	1.0361	1.0146	846	1.0136	0.9585
814	1.0306	1.0005	848	1.0136	0.9585
816	1.0305	1.0003	850	1.0306	1.0005
818	1.0304	1.0002	852	1.0154	0.9628
820	1.0293	0.9972	854	1.0231	0.9815
822	1.0290	0.9965	856	1.0227	0.9803
824	1.0280	0.9939	858	1.0146	0.9609
826	1.0280	0.9938	860	1.0137	0.9586
828	1.0278	0.9935	862	1.0136	0.9584
830	1.0232	0.9818	864	1.0146	0.9609
832	1.0154	0.9628	888	1.0095	0.9496
834	1.0138	0.9590	890	0.9934	0.9127

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายพิทยุตม์ ภิรมย์จิตต์
วัน เดือน ปี เกิด	1 มิถุนายน 2536
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 53 หมู่ 2 ถนนจรัญสนิทวงศ์ อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี ราชอาณาจักรไทย
ผลงานตีพิมพ์	P. Piromjit and T. Tayjasanant, "Peak-demand management for improving undervoltages in distribution systems with electric vehicle connection by stationary battery," 2017 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Harbin, 2017